EBU

OPERATING EUROVISION AND EURORADIO

TR 029

DVB-T2 SINGLE FREQUENCY NETWORKS AND SPECTRUM EFFICIENCY

STATUS: VERSION 1

TECHNICAL REPORT

Geneva
November 2014

TR 029

DVB-T2 SINGLE FREQUENCY NETWORKS AND SPECTRUM EFFICIENCY

Внимание!
Данный перевод **НЕ** претендует на аутентичность
и может содержать отдельные неточности.
Оригинал документа на сайте https://tech.ebu.ch

ОДНОЧАСТОТНЫЕ СЕТИ DVB-T2 И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРА

СТАТУС: ВЕРСИЯ 1

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

Женева
Ноябрь 2014

Содержание

1. Введение 6

2. Справочная информация и основы SFN 7

2.1 Зоны обслуживания 7
2.2 Определение одночастотных сетей 7
2.3 Преимущества одночастотных сетей 7
2.4 Требования и ограничения одночастотных сетей 8
2.5 Терминология зоны обслуживания SFN 9
2.6 Критерии охвата 9

2.6.1 Режимы приема 9
2.6.2 Покрытие пикселей, охват зоны, охват населения 9
2.6.3 Охват всей зоны или частичный 10
2.6.4 Определение параметров планирования 11

2.7 Определение уровня 11

3. Требования вещателей 11

3.1 Редакторские требования 11
3.2 Требования охвата 12
3.3 Операционные / сетевые требования 12

4. DVB-T2 и одночастотные сети 12

4.1 Обзор 12
4.2 Теоретическое исследование максимально достижимых скоростей передачи данных для больших зон DVB-T2 SFN 13
4.3 Практический анализ большой DVB-T2 SFN в Дании 14
4.4 Практический анализ зон обслуживания DVB-T2 в Швеции 15
4.5 Практические сценарии на базе DVB-T2, изучающие взаимозависимость охвата, пропускной способности, режима передачи и сетевой конфигурации 16

4.5.1 Справочная информация 16
4.5.2 Методология 16
4.5.3 Результаты 17

4.6 Практический анализ DVB-T2 MFN vs. SFN в Великобритании 18
4.7 Развертывание национальной DVB-T SFN в Италии 19
4.8 Планирование DVB-T/DVB-T2 с ограниченными ресурсами спектра в Великобритании 20
4.9 Резюме и выводы исследований SFN 20

4.9.1 Национальные SFN с DVB-T 21
4.9.2 Национальные SFN с DVB-T2 21
4.9.3 Региональные SFN 21
4.9.4 Относительная спектральная эффективность MFN, региональных SFN и национальных SFN 22
4.9.5 Выводы 22

5. Спектральная эффективность и потребление спектра сетей DVB-T2 23

5.1 Спектральная эффективность и потребление спектра 23
5.2 Спектральная эффективность DVB-T2 23
5.3 Эффективность использования спектра уровня DVB-T2 23
5.4 Дистанции повторного использования для сетей DVB-T2 25

6. Сравнение сетевых топологий DVB-T2 25

6.1 Топологии вещательной сети LTLP и HTHP 25
6.2 Потребление вещательного спектра LTLP и работа по реализации 26
6.3 Сетевые топологии и эффективность использования спектра для вещательных сетей с высокими и низкими вышками 27

7. Элементы выбора параметров DVB-T2 и проектирования SFN 28

7.1 Обзор 28
7.2 Распространение по морским трактам 28

7.2.1 Эффект распространения по морским трактам – пример Великобритании … 28
7.2.2 Самоинтерференция в DVB-T SFN вследствие распространения по морским трактам; пример Италии …… 29

7.3 Статические временные задержки 29

7.3.1 Статическая синхронизация в британской сети DAB …….. 29
7.3.2 Статическая синхронизация в баварской сети DAB+ …….. 30
7.3.3 Оптимизация DVB-T2 SFN в Малайзии …… 33
7.3.4 Оптимизация DVB-T SFN в Италии: Практический анализ …….. 34

7.4 Оптимизация защитного интервала в национальной SFN 38

7.4.1 Результаты и анализ …… 39
7.4.2 Резюме …… 42

7.5 Сети распространения для SFN 43

7.5.1 DVB-T Sat-fed в Италии …… 43
7.5.2 Распространение сигнала DVB-T во Франции …….. 44
7.5.3 Распространение данных DVB-T/T2 на передатчики через IP в Швеции ……. 45

7.6 SFN DVB-T2 и DVB-T2-Lite.....46

7.6.1 DVB-T2-Lite …… 46
7.6.2 Экспериментальные тесты в долине Аоста ……46

8. Резюме 50

9. Ссылки 51

10. Сокращения 52

Приложение A1: Теоретическое исследование максимально достижимых скоростей передачи данных для больших зон DVB-T2 SFN …… 53

A1.1 Введение 53
A1.2 Параметры планирования и структура сети 53
A1.3 Режимы DVB-T2 54
A1.4 Максимальная скорость передачи для охвата больших зон с теоретическими SFN DVB-T2 для мобильного, портативного и стационарного приема 55
A1.5 Минимально необходимый защитный интервал для различных расстояний между пунктами и значений C/N 59
A1.6 Резюме и выводы 60

A1.6 Ссылки..... 60

Приложение A2: Практический анализ больших DVB-T2 SFN в Дании 61

A2.1 Введение 61
A2.2 Потеря пропускной способности в SFN..... 61
A2.3 Размер SFN..... 61
A2.4 Ограничение в локальных / региональных программах 62
A2.5 Пример большой (национальной) SFN, в Дании 62
A2.6 Как меняются требования спектра с увеличением SFN?..... 67

Приложение A3: Практический анализ зон обслуживания DVB-T2 в Швеции 69

A3.1 Введение 69
A3.2 Параметры..... 69
A3.3 Планирование сети 69
A3.4 Расчет охвата населения 70
A3.5 Обсуждение 72
A3.6 Выводы..... 73

Приложение A4: Практический анализ DVB-T2 MFN в сравнении с SFN в Великобритании … 74

A4.1 Введение 74
A4.2 Справочная информация 74
A4.3 Обсуждение 75

A4.3.1 Метод 1..... 75
A4.3.2 Метод 2..... 75

A4.3.2.1 SD …… 75
A4.3.2.2 HD …….. 76
A4.3.2.3 Чувствительность к частотным каналам, требуемым на мультиплекс …… 77

A4.4 Резюме 78

Приложение A5: Практический анализ национальной DVB-T SFN и оптимизация SFN в Италии …… 79

A5.1 Мультиплекс RAI 2; пример очень большой SFN 79
A5.2 Эксплуатация сети 79
A5.3 Работа с эхо при помощи Cell ID..... 81

A5.3.1 Влияние различных Cell ID на приемники конечных пользователей 82

A5.4 SFN и феномен распространения по теплому морю 82
A5.5 SFN и феномен распространения по суше 84
A5.6 SFN и феномен отражения / рассеивания 86
A5.7 SFN, эхо и анализ корреляции 88

Приложение A6: Дистанции повторного использования сетей DVB-T2 89

A6.1 Введение 89
A6.2 Методология 89
A6.3 Результаты 90

A6.3.1 Зависимость дистанции повторного использования от значения CNR, эффективной излучаемой мощности (ERP) и эффективной высоты антенны (Heff) 90
A6.3.2 Дистанция повторного использования в разных режимах приема 92
A6.3.3 Зависимость дистанции повторного использования от расстояния между пунктами (ISD) 92
A6.3.4 Дистанция повторного использования опорной сети с разным количеством передатчиков …… 93

A6.4 В заключение 94

A6.5 Ссылки 94

Одночастотные сети DVB-T2 и эффективность использования спектра

Ключевые слова: Цифровое наземное вещание, DTT, Одночастотная сеть, SFN

1. Введение

Растущая популярность и спрос на беспроводную связь увеличивает давление на радиочастотный спектр. Ввиду таких обстоятельств вещателям, наряду с другими участниками, придется пересмотреть текущее использование выделенных им частотных полос, и могут ли они делать это более эффективно.

В контексте традиционного вещания High-Tower-High-Power (HTHP, высокомощная сеть с высокими вышками) внедрение новых технологий, например, DVB-T2, будет большим шагом к повышению эффективности, что позволит улучшить услуги, например, переход на телевидение HD. Однако часто предполагается, что для получения еще большей выгоды эти разработки можно сочетать с дальнейшими мерами, например, более глобальными SFN и сетями Low-Tower-Low-Power (LTLP, маломощная сеть с низкими вышками), которые могут быть более эффективны по использованию спектра.

Хотя эти предложения, в принципе, хорошие с технической точки зрения, их преимущества часто недооцениваются, а практические аспекты неизвестны, что может затруднять взвешенное решение об их преимуществах. Цель данного отчета – пролить свет на данную тему, представив и подытожив ряд теоретических и реальных практических примеров, чтобы понять, можно ли, и как, реализовать их потенциальные преимущества на практике и как можно их использовать для выполнения требований вещателей, таких как региональность, производительность и охват. Особый акцент ставится на телевизионное вещание через DVB-T/T2 с учетом DAB/DAB+, но следует заметить, что общие принципы, описанные в отчете, могут применяться более широко к другим системам.

Рассмотрен ряд ключевых аспектов сетей и систем передачи. Исследован потенциал SFN в обеспечении еще больших преимуществ, чем сейчас, с учетом того, можно ли их расширить на произвольно большие зоны, как в принципиальных, так и в практических сценариях. Концепция Layer Spectrum Efficiency (LSE), более четкое определение эффективности использования спектра, применяется в целях сравнения и контраста разных комбинаций сетевой топологии и технологии передачи. Сети HTHP и LTLP оценивались на этой основе для сравнения их достоинств. Также учитывались различные сетевые конфигурации от национальных SFN до региональных SFN и MFN, чтобы понять, как они могут выполнять требования вещателей для различной среды приема, включая стационарную, портативную и мобильную.

Структура отчета следующая:

После вводной части в **§1**, в **§2** дан базовый обзор SFN и важная справочная информация. Он содержит краткое введение в концепцию SFN и обсуждает некоторые аспекты оценки охвата в вещательных сетях, а также установку подходящих параметров при планировании SFN. Этот раздел краток, т.к. принципы планирования DVB-T2 SFN те же, что и для T-DAB и DVB-T, и уже общеприняты. Другие документы EBU **[TR 021, TR 022]** подробно описывают принципы T-DAB и DVB-T и могут использоваться для справки. Отчет **[TR 024]** о принципах планирования SFN включает большинство базовых характеристик SFN , а **[TR 016]** дает краткий обзор плюсов и минусов SFN. Технические детали DVB-T2 относительно сетевого и частотного планирования и, в частности, отличий от DVB-T, можно найти в отчете EBU DVB-T2 **[EBU Tech 3348]**.

В **§3** описаны требования вещателей от эффективной передачи регионального или редакторского контента до прочих высокоуровневых коммерческих требований, лежащих в основе бизнес-моделей вещателей. Они отделены от чисто технических аспектов и должны учитываться в процессе сетевого и частотного планирования.

§§ 4, **5** и **6** – основные разделы отчета, связанные с DVB-T2 SFN и спектральной эффективностью. **§4** описывает возможности расширения DVB-T2 SFN для охвата больших зон, чем возможно с DVB-T, а также детализирует оставшиеся ограничения. Для иллюстрации точек излома приведен ряд теоретических и практических примеров. Сделано также сравнение с вариантом MFN с целью выявить преимущества каждой сети. Практические примеры выявляют ограничения, налагаемые на сетевое и частотное планирование редакторскими и коммерческими требованиями.

В **§5** дан более теоретический обзор производительности сетей DVB-T2. Продемонстрировано, что спектральная эффективность DVB-T2 – не постоянная величина, а сильно зависит от выбранного типа и размера сети, а также намеченного режима приема. Кроме того, применяется Spectrum Layer Efficiency, обобщенный подход к оценке использования спектра. Также обсуждается аспект дистанций повторного использования частот.

§6 касается альтернативного подхода к сетевой топологии реализаций DVB-T2. Сделано сравнение между классическими топологиями вещательных сетей и топологиями сотовых сетей, известными в мобильных сетях.

Наконец, в **§7** собраны исследования, связанные с дальнейшим фокусом отчета: особые аспекты выбора параметров DVB-T2, дизайн и работа SFN. Он содержит материалы об актуальности прохождения сигнала над морем в дизайне SFN, о статической временной задержке и оптимизации защитного интервала SFN, о сетях распространения для SFN и о включении DVB-T2-Lite в мультиплекс DVB-T2.

В **§8** подытожены основные результаты отчета.

Приложения к отчету содержат материалы, которые использовались для результатов и выводов основных разделов отчета и которые публиковались и обсуждались в проектных группах EBU SMR-EDP и SMR-BNP. Это внутренние документы EBU, недоступные публично. Цель этих приложений - сделать их доступными всем читателям.

Приложения содержат следующее:

A1: Теоретическое исследование максимально достижимых скоростей передачи данных для больших зон DVB-T2 SFN (EBU Doc. SMR-BNP 002rev1)

A2: Практический пример большой DVB-T2 SFN в Дании (EBU Doc. SMR-EDP199)

A3: Практический пример зон обслуживания DVB-T2 в Швеции (EBU Doc. SMR-EDP260)

A4: Практический пример DVB-T2 MFN vs. SFN в Великобритании (EBU Doc. SMR-EDP261)

A5: Практический пример национальной DVB-T SFN в Италии. Этот документ также содержит материал о прохождении сигнала над морем и методы измерения для идентификации сигналов отдельных передатчиков в среде SFN (EBU Doc. SMR-BNP 088)

A6: Исследование дистанций повторного использования в сетях DVB-T2 (EBU Doc. SMR-BNP 033)

2. Справочная информация и основы SFN

2.1 Зоны обслуживания

Вещательные сети предназначены для охвата заданных, предопределенных географических зон, называемых зонами обслуживания. Их размер может существенно варьироваться – он может быть с целую страну или всего с один город, и в целом они делятся на три основные категории: национальные, региональные и локальные. В любом случае, зоны обслуживания определяются совокупностью политических, редакторских, экономических и практических аспектов.

В большинстве случаев зоны обслуживания достаточно большие и требуют множество передатчиков для обеспечения желаемого охвата, и вещательные сети обычно планируются с учетом максимально возможного удовлетворения этих требований.

2.2 Определение одночастотных сетей

Цифровые вещательные системы, например, DVB-T/T2 и T-DAB, дали потенциал для использования одночастотных сетей (SFN). В них одна частота выделяется всем передатчикам в данной сети, которая охватывает всю или часть зоны обслуживания. Для вышеупомянутых систем интерференция внутри SFN устраняется модуляцией COFDM, на которой они основаны.

SFN сейчас широко распространены и работают уже много лет. Они требуют другого принципа планирования, чем многочастотные сети (MFN), в которых каждому передатчику выделяется разная частота во избежание интерференции между ними.

SFN имеют ряд преимуществ относительно MFN, но они связаны с некоторыми недостатками. Самые существенные из этих аспектов вкратце описаны ниже.

2.3 Преимущества одночастотных сетей

Очевидное преимущество SFN – потенциал для улучшения использования спектра, т.е. повышения спектральной эффективности сети. Во многих обстоятельствах использование SFN может позволить охват зоны, или ее части, одной, а не множеством частот. Это является явным преимуществом и образует главную тему настоящего отчета.

SFN также дает гибкость в дизайне сети – возможность внедрения SFN, MFN или их смеси вводит большее количество вариантов для сетевого планирования, позволяя выбрать самое подходящее решение для данных обстоятельств.

Выигрыш сети, особенно актуальный для мобильных и портативных сетей – еще одно известное преимущество. Эта среда приема характеризуется каналом Релея, посредством которого перегруженный многолучевой тракт ведет к характеристике канала с рядом глубоких неравномерностей по всей полосе частот. Обычно SFN вводит множество передач из множества пунктов, т.е. множество мест часто обслуживаются более чем одним передатчиком. Эта проблема вводит уровень разнесения сигнала, которого нет в MFN, а это свойство часто улучшает прием. Присутствие нескольких передатчиков, передающих один и тот же сигнал на одной частоте с разных направлений с точки зрения приемника, уменьшает переменность силы поля сигнала между разными местами. Например, если один источник затеняется, то другие легко могут приниматься, и таким образом можно снизить колебание силы поля одного передатчика, обычно наблюдаемое при наличии препятствий в тракте распространения. По сравнению с MFN этот эффект создает более однородное распределение силы поля и дает большую уверенность, что сигнал будет приниматься в определенном месте. Это один из двух главных факторов выигрыша сети.

Второй главный фактор выигрыша сети – способность приемника использовать мощность в каждом сигнале, принимаемом с других передатчиков SFN. Сигналы, прибывающие в защитном интервале, можно комбинировать для увеличения мощности принятого сигнала. Этот эффект тоже наиболее благоприятен для каналов Релея, в результате чего увеличение общей принимаемой мощности перевешивает эффект дополнительного многолучевого тракта, который немного вредит уже искаженному сигналу.

SFN также способны повысить эффективность планирования спектра. Они позволяют планирование частот, которое может упростить технические аспекты процесса координации частот, т.к. детали сети передачи не нужно знать заранее – их можно определить позже на этапе планирования или даже во время или после реализации. Однако в целом работа по сетевому планированию не сокращается, т.к. просто смещается с этапа координации далее по ходу жизненного цикла сети. Хотя общее планирование для MFN и SFN похоже, SFN могут давать больше гибкости.

Распределение частот SFN также позволяет прогрессивно модифицировать или изменять зону покрытия сети, добавляя новые передатчики без необходимости перепланирования использования частот или их дополнительной координации, пока соблюдаются ограничения частотного плана. Это облегчит повышение качества охвата шаг за шагом, как, например, при расширении охвата от стационарного приема на крыше до портативного.

2.4 Требования и ограничения одночастотных сетей

Для успешной работы SFN должны избегать самоинтерференции. Они делают это, жертвуя часть пропускной способности сигнала защитному интервалу или цикличному префиксу. В результате SFN обычно не могут достичь той же пропускной способности в отдельном мультиплексе, которая возможна в эквивалентной MFN. Этот момент является ключевым аспектом SFN и более подробно изучается в **§4**.

Кроме того, передатчики внутри SFN не могут работать независимо – передаваемый контент должен быть идентичен, а время передачи должно точно контролироваться. Сигналы, передаваемые со станций внутри SFN, должны:

- иметь точную временную синхронизацию (которая может целенаправленно вводить строго контролируемую задержку относительно друг друга),
- быть согласованными по частоте (в пределах нескольких Hz),
- иметь идентичный и синхронизированный контент во всем мультиплексе.

Эти требования вносят в сеть сложность. Например, нужно дополнительное оборудование, чтобы выполнялись и поддерживались вышеупомянутые условия. Помимо увеличения расходов, повышается и операционная сложность, т.к. нужно все время поддерживать точный контроль передачи. Хотя обычно эти дополнительные требования и сложности не создают значительных помех внедрению SFN, они требуют внимания, т.к. увеличивается число передатчиков внутри SFN. Например, сети, включающие несколько сотен пунктов, должны более детально учитывать эти факторы. Эти аспекты детализированы в отчете ITU-R BT.2253 **[BT 2253]**.

Требование идентичного и синхронизированного контента означает, что любые региональные или локальные программы внутри SFN будут передаваться во всей ее зоне покрытия. Передача локального контента внутри глобальной SFN означает, что она доступна в зонах, где может использоваться не интенсивно. На практике часто эффективнее ограничить размер SFN определенной зоной, в которой требуется контент.

2.5 Терминология зоны обслуживания SFN

Чтобы помочь обсуждению в остальной части отчета, полезно ввести широкие классификации типов зон, которые могут покрывать SFN. Вообще, SFN упоминаются в отчете следующими способами.

Геометрически – SFN в этом контексте относится к физическому или географическому размеру зоны охвата. Они могут определяться как малые, средние, большие, очень большие или, в количественном отношении, иметь диаметр 30 км, 150 км, 300 км или даже больше.

Геополитически – SFN в этом контексте определяются более обобщенно относительно геополитических границ, которые они должны покрывать (например, национальные, региональные или локальные). По этому определению SFN одинаковой номинальной классификации могут иметь большую разницу в размере или зоне охвата – например, Люксембург, страна, которая меньше многих регионов Германии.

Структурно – SFN в этом контексте относится к охвату, обеспечиваемому определенной инфраструктурой передатчиков, или сетью. Например, может быть целесообразно продолжать использовать существующую сетевую структуру передатчиков MFN, чтобы, например, главная станция и ее релейные станции могли работать в региональной или локальной SFN. Альтернативно страны могут использовать плотную или распределенную сеть передатчиков для SFN большой зоны. Тогда в основном охват устанавливается определенной сетевой конфигурацией передатчиков.

В оставшейся части этого раздела описано несколько аспектов, связанных с критериями охвата и с определением параметров планирования для SFN.

2.6 Критерии охвата

2.6.1 Режимы приема

Услуги DTT обычно планируются для трех режимов приема: стационарного, портативного (наружного / комнатного) и мобильного, с возможной дополнительной дифференциацией внутри этих категорий. Для сетевого планирования намеченный режим приема – главный критерий планирования. Он определяет топологию сети, в частности, плотность передатчиков, и бюджет мощности (или линии связи) передатчиков. Краткое описание этих режимов приема приведено ниже.

Стационарный прием с антенной определяется как прием, где используется направленная антенна, установленная на уровне крыши. В вычислении эквивалентной силы поля, необходимой для стационарного приема, характерной считается высота антенны на 10 м выше уровня земли.

Портативный прием определяется как прием в покое (стационарный прием) или на очень малой скорости (скорость пешехода). Хотя на практике прием в этом режиме бывает в совершенно разных условиях (наружный, комнатный, на первом и верхнем этажах), обычно он характеризуется двумя основными классами: портативный наружный и портативный комнатный.

Мобильный прием определяется как прием приемником в движении с антенной, расположенной не менее чем на 1.5 м выше уровня земли. Скорость приемника может быть от скорости пешехода до автомобиля на шоссе. В этом режиме также можно рассматривать скоростные поезда, автобусы и другие транспортные средства, которые в некоторых случаях могут быть целью приема.

Кроме того, в планировании делается различие между портативным приемом с внешней (дипольной) антенной и антенной, интегрированной в карманное устройство. Разница между портативным приемом и карманным портативным приемом состоит в разном усилении антенны, предполагаемом для двух режимов приема.

Более подробное описание различных режимов приема и их характеристику параметрами планирования можно найти в **[EBU Tech 3348]**.

2.6.2 Покрытие пикселей, охват зоны, охват населения

В этом разделе рассматриваются некоторые аспекты определения охвата. Во-первых, при описании охвата нужно провести принципиальное отличие, на чем основана цель охвата – на зоне или на обслуживаемом населении. Поскольку население распределено по зоне неоднородно, могут быть большие отличия между зоной охвата и обслуживаемым населением в данной сети. Это отличие следует учитывать при сравнении статистики охвата, чтобы охват населения непреднамеренно не сравнивался, например, с охватом зоны.

Вычисление охвата, на основе населения или зоны, также может проводиться двумя основными способами: отсечения и пропорциональным.

В методе отсечения все население зоны пикселя (маленькой зоны, например, 100 x 100 м) считается обслуживаемым, если прогнозируемая вероятность охвата превышает определенный порог. Если, однако, она не превышает данный порог, то ни население, ни зона не считаются обслуживаемыми. Типичные значения этого порога – от 70% до 95% для стационарного и портативного приема и 99% для мобильного. Например, если порог 70%, а прогнозируемая вероятность охвата в этом пикселе 84% и население 200 домов, то обслуживаемое население по методу отсечения будет 200. Если в том же пикселе у нас тот же порог (70%), но прогнозируемая вероятность охвата 68%, то обслуживаемое население по методу отсечения будет 0 домов.

Если оценка охвата основана на зоне, то вся зона пикселя может считаться покрытой, если достигнут определенный порог, и полностью непокрытой, если вероятность охвата ниже порога. Полный охват определяется суммированием всех семейных единиц или зон, где пиксели обслуживаются как минимум до порога отсечения.

Вещатели обычно применяют этот метод для описания охвата зоны или населения.

Пропорциональный метод – альтернативный подход. В этом методе прогнозируемая вероятность охвата пикселя определяет пропорцию населения в этом пикселе или область пикселя, которая обслуживается. Например, если пиксель с 200 домами обслуживается с прогнозируемой вероятностью охвата 84%, то обслуживаемыми считаются 168 домов. В этом методе считается покрытой только доля пикселя, в то время как в методе отсечения он считается полностью обслуживаемым, если удовлетворен порог. Подобный подход можно применять к зоне, где используется эта метрика. Полный охват определяется затем суммированием доли каждого пикселя, либо населения, либо зоны, соответствующей вероятности охвата в каждом.

2.6.3 Охват всей зоны или частичный

Еще одно отличие в охвате – планируется ли охват всей площади страны или региона или только его частей. Например, может понадобиться охват только городских зон. Обычно они не смежные. а отделены некоторым расстоянием. Если они отделены дальше, чем дистанция повторного использования частоты, то можно существенно снизить число требуемых частот, т.к. можно повторно использовать одну частоту для всех или многих локальных зон – даже если для каждой передается разный контент. Следовательно, парадигма частичного несвязного охвата всегда имеет меньше требований к спектру, чем охват всей зоны, где смежные зоны обслуживания должны использовать разные частоты во избежание интерференции.

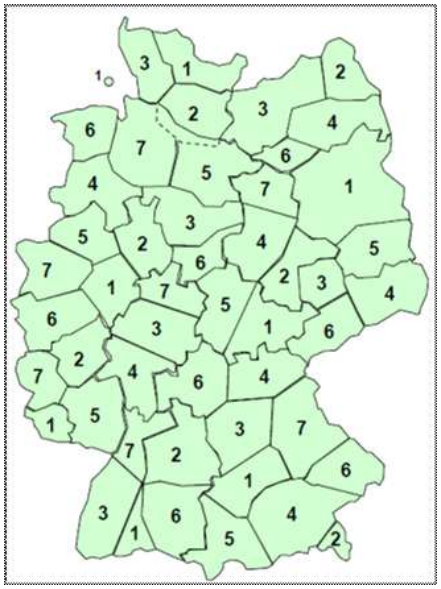


Рис. 1a: Пример охвата всей зоны с 7 каналами

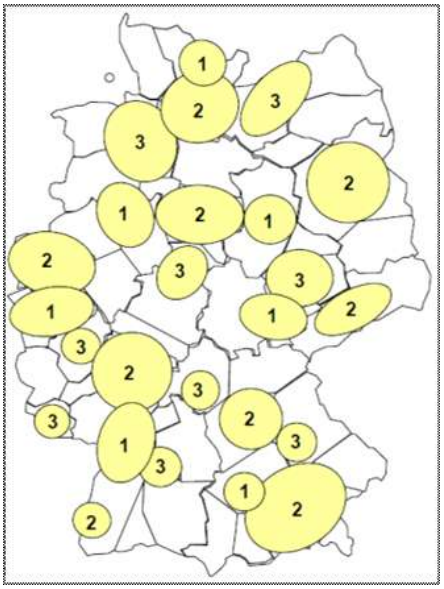


Рис. 1b: Пример охвата городской зоны с 3 каналами

Примеры приведены на **Рис. 1a** и **1b,** где изображены вымышленные сценарии охвата для Германии. На **Рис. 1a** представлен охват всей зоны, а на **Рис. 1b** – городской. Гипотетическое распределение каналов показано на рисунках каналами 1 – 7 в случае полного охвата и каналами 1 – 3 в случае городского. Пример показывает, что в случае охвата всей зоны необходимо большее число каналов во избежание интерференции между зонами обслуживания в одном канале. В этом примере предполагается территориальный разнос (дистанция повторного использования) около 120 км.

С этим тесно связано планирование охвата всей зоны на неполной основе, т.е. может быть достаточно покрыть определенный, но высокий процент площади. Например, может быть адекватен охват 80% или 90% зоны, где непокрытые участки распределены по всей площади и в тех местах, где охват на самом деле не требуется. Например, когда цель – охват населенных зон, скажем, семейных единиц, без необходимости охвата автомагистралей или дорог. В этом случае полный охват требуется лишь в части общей площади. Относительно требования полного охвата, это послабление уменьшает число частотных каналов, в частности, для MFN, а также в случае обширных зон SFN.

Эти аспекты подробнее описаны в **§4**.

2.6.4 Определение параметров планирования

Для достижения запланированного охвата посредством SFN нужно тщательно определить систему и параметры планирования.

В первом случае нужно выбрать соответствующую сетевую топологию. Возможны два принципиальных подхода: High-Tower-High-Power (HTHP) или Low-Tower-Low-Power (LTLP), с промежуточными вариантами. Этот аспект подробнее обсуждается в **§§ 5** и **6**. Обычно для распространения вещательного контента прагматичен подход HTHP, т.к. позволяет повторное использование существующей инфраструктуры передающих пунктов.

Во-вторых, нужно определить цель охвата и режим приема. Это определяет выбор системных параметров, например, схемы модуляции, кодовой скорости, защитного интервала, пилотного шаблона и т.д., и ведет к пропускной способности (Mbit/s) системы. Пример типичных сценариев с их наборами параметров приведен в п.5 **[EBU Tech 3348]**.

Наконец, нужно определить бюджеты линий связи для зоны обслуживания для настройки характеристик передатчиков и оценки покрытия сети. Подробное описание компонентов и методологию вычисления бюджетов каналов связи можно найти в Приложении 1 к **[EBU Tech 3348]**.

2.7 Определение уровня

В данном отчете, как и во многих странах, уровень считается набором частотных каналов, вместе с их зонами обслуживания, которые могут использоваться для обеспечения общенационального или частичного охвата, или его значительной части, для мультиплекса.

3. Требования вещателей

3.1 Редакторские требования

Вещатели имеют разные требования, которые влияют на размер зон обслуживания. Они могут включать, например:

- Коммерческие требования: сама услуга может содержать программы, предназначенные для всей нации, региона или локальной зоны. Кроме того, может потребоваться разбить большие зоны на более мелкие – например, даже когда программы национальные, может требоваться вставка локальной или региональной рекламы.
- Демографические требования: может требоваться обеспечение услуги в определенной зоне, вследствие культурных и языковых вариаций, или в хонах определенной группы населения. Пример – передачи на языках меньшинств.
- Нормативные требования: разрешение властей и регуляторов может определять зону, где должна быть возможность приема программ(ы), часто эти хоны определяются на основе коммерческих или демографических границ (как сказано в двух первых пунктах).
- Социальные требования: часто нормативные требования учитывают социальные задачи службы вещания, особенно в случае jобщественных вещателей, где ключевая задача - минимизировать риск социального исключения, обеспечив легкий доступ к высококачественному бесплатному приему для всех зрителей, слушателей или абонентов услуги.

Вследствие многообразия, фактический размер зон вещания в Европе существенно отличается. В наземном вещании зона национальной услуги может охватывать всю страну с большим количеством передатчиков, в то время как в некоторых странах для национального охвата их может требоваться лишь несколько. Требования регионального и локального контента тоже разные, в зависимости от требований страны, региона или зоны.

Внедрение цифровых систем вещания увеличило количество передаваемых программ, многие из которых часто передаются на коммерческой основе. В некоторых случаях это привело к увеличению требований вставки локальной или региональной рекламы и даже региональных радиослужб, пере-

даваемых по DTT. Хотя цифровые системы вещания позволили внедрение глобальных SFN, они не подходят для всех практических условий.

3.2 Требования охвата

Требования охвата отличаются между странами, а также зависят от задач вещателей. Кроме того, требования могут определяться рядом различных организаций, включая, например, регулирующие органы и самих вещателей. Для DTT они часто определяются в терминах охвата населения, а не обеспечения определенной степени покрытия зоны.

В большинстве стран требования охвата для общественных вещателей выше, т.к. они часто обязаны обеспечить почти полный охват населения. Например, в Великобритании они должны охватывать минимум 98.5% населения, а SVT (шведское телевидение) – более 99.8% населения.

Обязательства охвата для коммерческих вещателей могут определяться регулирующими органами, но, возможно, чаще всего основаны на рыночных аспектах. В Швеции, например, коммерческие вещатели требуют охват населения 98%.

Во многих случаях также довольно просто достичь полного охвата населения, используя только главные передатчики. Это обусловлено неравномерным распределением населения с концентрацией в нескольких главных городах. Обеспечение охвата последними несколькими процентами обычно требует гораздо больше усилий и намного дороже. Поэтому требования охвата также можно устанавливать по экономическим соображениям.

На требования охвата также может влиять режим приема, установленный вещателями. Одни страны нацелены на портативный комнатный прием, а другие – на стационарные антенны на крыше.

3.3 Операционные / сетевые требования

Характер вещания, особенно для сетей HPHT, где отдельные пункты охватывают большое количество населения, часто ставит перед сетями передачи задачи очень высокой доступности. Сбои в сети могут вызвать нарушение услуг, которое, в свою очередь, может привести к значительной потере удовольствия для зрителей и слушателей, особенно в пиковые часы, с возможностью перехода аудитории на конкурирующие платформы. Для коммерческих операторов, финансируемых рекламой, сбой в сети также может привести к финансовым потерям. Для предотвращения таких случаев операторы сетей и планировщики должны быть внимательны при разработке, реализации и эксплуатации сетей, чтобы обеспечить вещателям выполнение требуемой доступности услуг.

По сравнению с MFN, сети SFN вносят дополнительные параметры при учете аспектов надежности сети, в смысле оборудования и сетевого планирования.

Для корректной работы SFN требуют жесткого контроля частоты и времени; обычно используется глобальная локационная система (GPS) для обеспечения стабильной частоты и эталона времени, по которым можно управлять синхронизацией сети. Сбой синхронизации в любой части сети или дрейф в частоте передатчика может привести к большой интерференции, отследить источник которой может быть трудно и долго, особенно в SFN.

В национальной MFN, где части зоны могут подвергаться интерференции, возникающей из-за аномальных условий распространения, маловероятно, что будут затронуты все частоты во всех зонах – частотное разнесение в MFN в некоторой степени смягчает интерференцию, когда она возникает в какой-либо момент. В большой SFN, например, национальной, такого частотного разнесения не существует, поэтому интерференция, когда она возникает в данный момент времени, может затрагивать гораздо большие зоны, чем в MFN во время такого же распространения. Поэтому в SFN, если при планировании не были приняты меры по оценке интерференции, могут возникнуть проблемы покрытия сети, особенно при наличии морских трактов.

В связи с этим нужно не только учесть резервирование ключевых компонентов, связанных с синхронизацией сети, но и временную переменность сигналов, особенно в морских трактах, см. **§7.2**.

4. DVB-T2 и одночастотные сети

4.1 Обзор

DVB-T2, относительно своего предшественника DVB-T, дает гораздо больше свободы в отношении планирования и реализации SFN. В частности, увеличение защитного интервала позволяет увеличить максимально осуществимый размер SFN, сохраняя высокую пропускную способность (или,

наоборот, увеличить пропускную способность существующих SFN, сохраняя охват). Степень использования DVB-T2 для внедрения новых или модификации существующих SFN, обсуждается здесь наряду с некоторыми практическими соображениями по этому поводу.

В первом примере нас интересует максимально возможный размер SFN, т.е. есть ли ограничения по географической зоне, которую может покрывать SFN? В принципе, зоны SFN могут быть произвольно большими, но на практике ряд технических и нетехнических факторов ограничивает их полезный размер.

Самоинтерференция налагает главное ограничение на размер SFN. В целом, SFN будет содержать дыры покрытия, если любые два передатчика внутри нее отделены расстоянием, превышающим защитный интервал (точнее, расстоянием, которое проходит сигнал в течение периода защитного интервала). До определенного предела эту интерференцию можно преодолеть и восстановить охват, увеличив защитный интервал сигнала или повысив его устойчивость. Однако любое из этих действий снизит пропускную способность сети, и придется пойти на компромисс между охватом и пропускной способностью, чтобы найти их наиболее удовлетворительную комбинацию.

Альтернативно, увеличение числа пунктов внутри сети для сокращения дистанции между пунктами (ISD) устранит самоинтерференцию без сокращения охвата или пропускной способности. Однако этот вариант может быть очень дорогим, и исключен в тех случаях, где предпочтителен прагматический подход повторного использования существующей инфраструктуры.

Эти факторы складываются в самые практичные варианты ограничения масштаба внедрения SFN.

Дополнительные нетехнические факторы также ограничивают их размер – редакторские или коммерческие регионы играют важную роль в определении их размеров, как описано в **§3**.

Чтобы увидеть, как эти факторы влияют на SFN на практике, было сделано несколько исследований, которые подытожены в этом разделе:

- Теоретическое исследование IRT (Германия) на основе регулярных шестиугольных сетей изучает максимальную скорость передачи данных, которую может достичь мультиплекс DVB-T2 для портативного / мобильного приема в больших и очень больших зонах обслуживания (значение больших и очень больших объясняется ниже).
- Еще одно исследование, завершенное Progira и DR (Danish Broadcasting Corporation), изучает потенциал для национальных SFN на основе практических обстоятельств в Дании. Оно также выявляет преимущества DVB-T2 для существующей сети на базе DVB-T.
- Следующее исследование для Швеции от Teracom изучает соответствующий размер SFN относительно требований к существующей инфраструктуре.
- Два следующих исследования, BBC/Arqiva на основе Великобритании, сравнивают охват и пропускную способность, достижимые DVB-T2, с различными режимами в различных сетевых конфигурациях HTHP, таких как MFN, региональные SFN и национальные SFN.
- Шестое исследование для Италии от Rai Way описывает внедрение национальной DVB-T SFN и достижимый охват.
- Седьмое исследование Arqiva описывает опыт планирования SFN с ограниченными ресурсами спектра в Великобритании.

§§ 4.2 – **4.8** дают краткое введение и обзор этих исследований, а **§4.9** представляет синопсис и делает из них общие выводы. Полные исследования, до сих пор не доступные публично, включены в данный отчет как приложения.

4.2 Теоретическое исследование максимально достижимых скоростей передачи данных для больших зон DVB-T2 SFN

В исследовании IRT **[BNP 002]** (см. **Приложение A1**) теоретические шестиугольные сети использованы в сочетании с моделью распространения ITU Rec. P.1546 для проверки ограничений и возможностей больших SFN на базе DVB-T2. Были проанализированы два варианта, большая SFN 360 x 360 км и очень большая SFN (720 x 720 км), для поиска режимов, которые обеспечивают для 100% покрытия зоны максимально достижимую скорость передачи данных для мобильного, портативного и стационарного приема.

В этой модели предполагалась дистанция между передатчиками 60 км. Все передатчики в SFN имели одинаковые характеристики: всенаправленная антенна, эффективная высота антенны 300 м и ERP 100 kW.

Кроме того, обсуждается компромисс между покрытой зоной и увеличением скорости передачи данных. Хотя большая SFN и так довольно обширна, вследствие дополнительной интерференции за

пределами защитного интервала внедрение новых передатчиков для увеличения размера SFN влияет на производительность сети и ухудшает прием. Эта характеристика тесно связана с дальнейшим компромиссом между повышением скорости передачи данных и снижением качества приема, что также было проверено. С увеличением скорости уменьшается процент зоны покрытия. Например, в большой SFN можно достичь 100% охват со скоростью 20.1 Mbit/s для мобильного приема, а увеличение скорости до 22.4 Mbit/s покрывает лишь 52% зоны с требуемой вероятностью местонахождения – остальная площадь (48%) находится ниже этого предела (но все равно выше 95% вероятности местонахождения)[1].

Менее требовательные параметры для портативного приема по сравнению с мобильной связью позволяют большие скорости передачи; например, в большой SFN возможно до 30 Mbit/s. Это существенное отличие, в основном обусловленное предположением допуска 5 dB для деградации Доплера (которая может быть консервативной), сделанного для мобильного приема.

Тем не менее, оказалось, что даже для большой SFN, а также для очень большой SFN, требуется защитный интервал 448 µs (GI 1/4 с 16k FFT). Меньшие GI не могут выполнить требования охвата. Лишь в случае портативного приема, где модуляция более устойчива (64-QAM снижено до 16-QAM), меньший защитный интервал даст приемлемый охват.

Наконец, на основе шестиугольной сети размером 360 x 360 км было проанализировано отношение между устойчивостью сигнала и минимально необходимым защитным интервалом для сетей с различными дистанциями между пунктами. Как и ожидалось, требуемый защитный интервал увеличивается при увеличении дистанции между пунктами и значения C/N. Например, режим DVB-T2 с C/N 20 dB в SFN с типичной дистанцией между пунктами 50 км требует защитный интервал минимум 425 µs. Для 16k FFT есть лишь одно такое значение защитного интервала – GI 1/4 (448 µs).

Эти результаты можно использовать для руководства на первых этапах процесса планирования сети при выборе режима DVB-T2 для определенных сценариев охвата.

4.3 Практический анализ большой DVB-T2 SFN в Дании

Исследование Progira и DR **[EDP 199]** (см. **Приложение A2**) было нацелено на определение, могут ли национальные SFN быть практичным методом осуществления нынешнего почти универсального охвата в Дании. Оно рассматривало прием на направленные антенны на крышах из существующей сети HPHT DTT для DVB-T и DVB-T2.

В **Таблице 1** показано, что нынешняя сеть DTT в Дании обеспечивает почти универсальный охват (99.7% населения) с антеннами на крышах. Она имеет 47 передатчиков (18 главных станций и 29 менее мощных вторичных станций), сконфигурированных в основном в региональных SFN диаметром 150 – 160 км с единичной MFN. В таблице также показаны результаты прогнозов охвата для этой сети с режимами DVB-T и DVB-T2, которые являются практическими и могут внедряться в реальных сетях.

Таблица 1: Охват национальной SFN для различных режимов в Дании

	Нынешняя сеть DVB-T	**Национальная SFN DVB-T**	**Национальная SFN DVB-T2**	**Национальная SFN DVB-T2**	**Национальная SFN DVB-T2**
Режим	DVB-T 64-QAM 2/3 GI 1/4 (224 µs)	DVB-T 64-QAM 2/3 GI 1/4 (224 µs)	DVB-T2 256-QAM 3/5 GI 1/8 (448 µs)	DVB-T2 256-QAM 3/5 GI 19/128 (532 µs)	DVB-T2 64-QAM 3/5 GI 19/128 (532 µs)
C/N	19.5 dB	19.5 dB	19.6 dB	19.6 dB	15.2 dB
Население	99.7%	37.0%	97.0%	97.1%	99%
Пропускная способность	19.9 Mbit/s	19.9 Mbit/s	29.9 Mbit/s	29.4 Mbit/s	21.8 Mbit/s

В результатах были выявлены следующие основные моменты:

- Максимальный защитный интервал для DVB-T (1/4) слишком короткий для формирования национальной SFN на базе нынешней сети. Обширная самоинтерференция ограничивает охват примерно до 37% населения. Поэтому необходимо DVB-T2.
- SFN на базе DVB-T2 с защитным интервалом 1/8 (448 µs) существенно увеличит охват, хотя остается дефицит почти 3%. Несмотря на удвоение защитного интервала, самоинтерференция остается ограничивающим фактором (C/N в этом режиме аналогичен текущему режиму DVB-T, что означает, что потери охвата можно приписать SFN)

[1] В этом сценарии лишь малая доля пикселей имеет вероятность местонахождения от 98.5% до 99%. Для 100% покрытия зоны с желаемым значением C/N требование вероятности местонахождения было снижено с 99% до 98.5%

- Дальнейшее увеличение защитного интервала до 532 μs лишь незначительно улучшит охват – 0.1% дополнительного населения.
- Принятие более устойчивого режима DVB-T2 (64-QAM 3/5) с меньшим C/N 4.4 dB все равно не полностью восстановит охват – 0.7% обслуживаемого сейчас населения останется без покрытия – а национальная SFN увеличит пропускную способность всего на 1.9 Mbit/s, что несущественно.
- Для вышеупомянутых случаев с использованием DVB-T2, однако, считается, что остальные проблемы самоинтерференции SFN можно в значительной степени решить внедрением статических временных задержек в сочетании с настройками диаграмм направленности антенн в некоторых передающих пунктах.

В отчете обозначены следующие основные пункты относительно SFN:

- Национальные SFN могут облегчить добавление к сети новых маломощных передатчиков (ретрансляторов).
- Можно получить некоторый выигрыш сети для сетей, предназначенных для мобильного или портативного приема.
- Региональный и локальный контент, важное требование вещателей, неэффективно передается в национальной SFN.
- Пропускная способность мультиплекса, сконфигурированного в SFN, снижена относительно MFN. Это прямой результат увеличения защитного интервала во избежание самоинтерференции. Даже если это было бы возможно, потребовался как минимум один дополнительный мультиплекс для восстановления потерянной пропускной способности, если MFN на базе DVB-T или региональные SFN конвертировать в национальные SFN, также на базе DVB-T. Поэтому общая выгода этой схемы остается спорной.

Исследование включало упрощенное предположение, что в Дании неограниченное использование одночастотного канала и что в нем нет интерференции из других стран. На практике это предположение может быть оптимистично.

Также было отмечено, что вследствие большого количества трактов передачи по воде (условия, увеличивающие потенциал самоинтерференции) Дания может считаться проблемным, но, тем не менее, практичным примером. Эти аспекты следует учитывать при экстраполировании результатов для других зон.

Исследование пришло к следующим выводам:

Национальные SFN – нецелесообразное средство обеспечения почти универсального охвата с DVB-T вследствие ограниченной продолжительности защитного интервала. DVB-T2 даст большие улучшения, как и ожидалось, но исследование показывает, что национальная SFN на базе существующей сетевой инфраструктуры, сохраняя достаточную пропускную способность, не полностью обеспечит охват нынешней сети SFN/MFN.

Эффективная передача регионального контента с национальной SFN невозможна. Для этой цели лучше подойдут региональные SFN, которые могут оставаться самой привлекательной конфигурацией для вещателей.

4.4 Практический анализ зон обслуживания DVB-T2 в Швеции

Исследование Teracom **[EDP 260]** (см. **Приложение A3**) сравнивает ограниченный интерференцией охват населения в Швеции с двумя разными сетевыми конфигурациями: национальной SFN и рядом меньших субнациональных «региональных»[2] SFN с четырьмя частотными каналами. В обоих случаях DVB-T2 использовалось с одинаковым режимом передачи.

В случае региональной SFN максимальное расстояние между любыми двумя крупными станциями внутри каждой зоны SFN было в пределах длины защитного интервала. Однако в некоторых случаях были меньшие станции за пределами этого расстояния.

Исследование целиком сфокусировано на Швеции без учета соседних стран и как таковое должно считаться не предложением, а лишь примером.

Основные результаты исследование следующие:

Охват Швеции региональными SFN в 4-частотной сети даст значительно большее покрытие, ограниченное интерференцией, чем национальная SFN.

[2] В иллюстративных целях были использованы гипотетические регионы с размерами, соответствующими выбранному защитному интервалу.

Даже если в изоляции для Швеции достаточно одной частоты, соседним странам требуются собственные отдельные частоты. Хотя детально это не рассматривалось, по оценкам четыре частоты могут потребоваться для большей зоны, чтобы другие страны могли достичь целевого охвата – примерно то же количество, что требуется и для региональных SFN.

При той же степени ограниченного интерференцией охвата вариант региональных SFN, который за счет наличия меньших регионов позволяет использование большей пропускной способности / режимов с меньшим защитным интервалом, может привести к большей общей пропускной способности в установленном объеме спектра.

Вариант региональных SFN также дает гораздо большие – хотя ни в коем случае не идеальные – возможности передачи региональных программ.

4.5 Практические сценарии на базе DVB-T2, изучающие взаимозависимость охвата, пропускной способности, режима передачи и сетевой конфигурации

4.5.1 Справочная информация

Исследование пропускной способности Arqiva и BBC на базе Великобритании проводилось с целью обеспечения высокоуровневого руководства по производительности и охвату, которые может достичь DVB-T2 с различными режимами передачи в сочетании с тремя широкими сетевыми конфигурациями (MFN, региональная SFN и национальная SFN). Также рассматривалось, как меняются производительность и охват в зависимости от объема спектра, выделенного мультиплексу, или уровню. Всего было оценено 360 различных комбинаций, или сценариев, в т.ч. 18 режимов DVB-T2, три сетевые конфигурации и распределение спектра от 3 до 6 частотных каналов на мультиплекс.

Область исследования ограничивалась существующей сетевой инфраструктурой HTHP и стационарным приемом на крыше. Для упрощения работы было сделано много высокоуровневых предположений (большая часть которых не изложена в данном обзоре), в частности, о передачах в соседних странах. Поскольку некоторые предположения могут неточно отражать операционные условия или быть непрактичными, результаты следует считать ориентировочными и использовать лишь для высокоуровневых выводов о возможностях, и хотя считается, что приблизительные выводы очень общие, они могут быть неприменимы напрямую ко всем странам[3].

Исследование включало информацию о реальной местности и, в известной степени, существующие системы антенн, мощность передатчиков и географический разброс населения.

Также следует отметить, что исследование не составляет никакого определенного предложения по частотному плану, как в Великобритании, так и за границей. Это была просто исследовательская работа с целью формирования общих выводов о достижимой пропускной способности и охвате с различными сетевыми конфигурациями в сочетании с DVB-T2.

Полное исследование публично недоступно, но методология и наиболее актуальные результаты работы вкратце описаны ниже.

4.5.2 Методология

Исследование имело целью определить производительность и охват, достижимые с предопределенным числом частотных каналов, выделенных одному мультиплексу, или уровню, в одном из трех сетевых конфигураций. Всего было рассмотрено 360 сценариев, каждый из которых был образован комбинацией субсценария и режима передачи, согласно **Таблице 2**. Субсценарии состояли из комбинации сетевой конфигурации (MFN, региональная SFN или национальная SFN) и числа частотных каналов (3 – 6) на мультиплекс. Например, полный сценарий мог состоять из 4 каналов, выделенных мультиплексу, или уровню, сконфигурированному в региональной SFN, в которой была пропускная способность 34 Mbit/s. Затем был вычислен охват населения. Вместе эти полные сценарии включают широкий диапазон потенциальных сетевых конфигураций и режимов, давая хорошее показание, чего можно достичь в ряде обстоятельств.

[3] Исследование проводилось в ограниченной зоне, не включающей известные горячие точки, где частотное планирование особенно сложно. В этих регионах результаты исследования могут требовать некоторой адаптации.

Таблица 2: Рассмотренные в исследовании субсценарии и режимы передачи; изучены все 360 комбинаций

Субсценарий	**Режим передачи**
Сетевая конфигурация	Групповая кодовая скорость
MFN	256-QAM 2/3
MFN + релейные SFN	256-QAM 3/5
Региональная SFN	64-QAM 5/6
SFN нации[4]	64-QAM 3/4
Национальная SFN	64-QAM 3/5
	16-QAM 2/3
Кол-во частотных каналов на мультиплекс	**Защитный интервал (μs)**
6	28
5	224
4	448
3	

Была создана специальная система для автоматического генерирования частотного плана для каждого субсценария (сетевой конфигурации и наличия каналов). Она выделяла каждой станции частоту из предопределенного списка и предполагала, что частоты станций в Великобритании и соседних странах могут свободно меняться для наилучшего охвата населения во всей зоне планирования. Далее предполагалось, что для каждого субсценария используется одинаковая сетевая конфигурация во всей зоне планирования – например, в сценарии региональной SFN все страны в зоне планирования принимали региональные SFN, содержащие одинаковое количество частотных каналов. Ни в одном сценарии не было сделано изменений в мощности передатчиков или диаграммах направленности антенн станций.

Охват Великобритании для каждого сценария вычислялся на базе существующих 80 основных станций и включал интерференцию от основных станций соседних стран с прагматическими предположениями на основании соглашений о взаимодействии.

4.5.3 Результаты

Ниже представлено три графика с итогами высокоуровневых результатов для MFN, региональных SFN и национальных SFN. Лучше всего они описаны примером, в котором цель – достижение охвата минимум 95%. На **Рис. 2** показано, что 80 основных станций в MFN требуют минимум 4 канала, и около 27 Mbit/s может быть достигнуто из сети. Пять каналов, с другой стороны, могут достичь 34 Mbit/s, а шесть – 40 Mbit/s. На **Рис. 3** показано, что региональная SFN может достичь целевой охват с 3 каналами, но пропускная способность снизится примерно до 23 Mbit/s. В этой конфигурации 4 канала могут обеспечить около 35 Mbit/s (больше, чем MFN), и хотя 6 каналов дадут больший охват в региональной SFN, чем MFN, максимальная производительность снизится из-за расширенного защитного интервала, необходимого в SFN. Национальные SFN, как показано на **Рис. 4**, могут достичь около 33 Mbit/s с 4 каналами при достижении целевого охвата.

Графики четко показывают обратную связь между охватом и пропускной способностью – увеличение одного уменьшает второе. Они также показывают преимущество, которое может дать охвату и пропускной способности использование большего количества частот – оба могут увеличиться, используя больше спектра. Также выявлена связь между длительностью защитного интервала, охватом и пропускной способностью внутри SFN. Увеличение защитного интервала может улучшить охват, но снизит пропускную способность.

[4] Определение нации см. в Приложении А4.

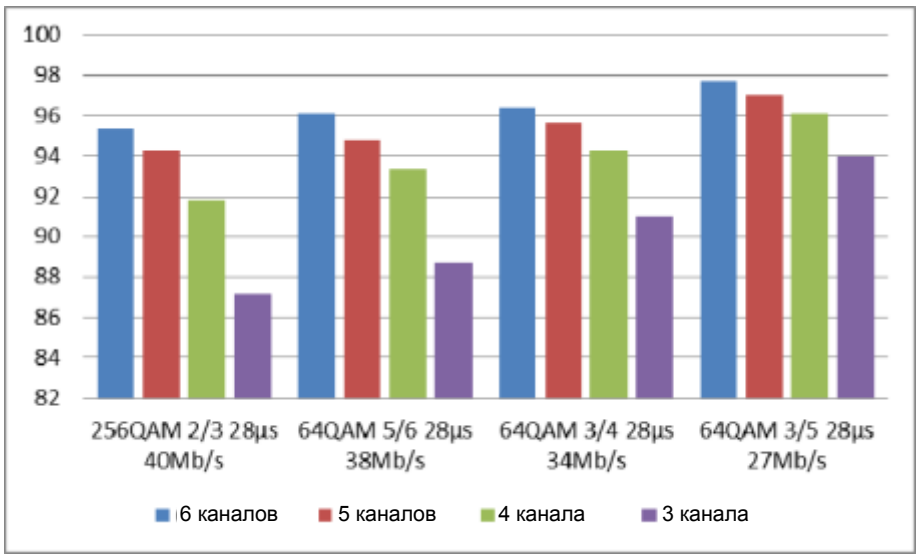


Рис. 2: MFN

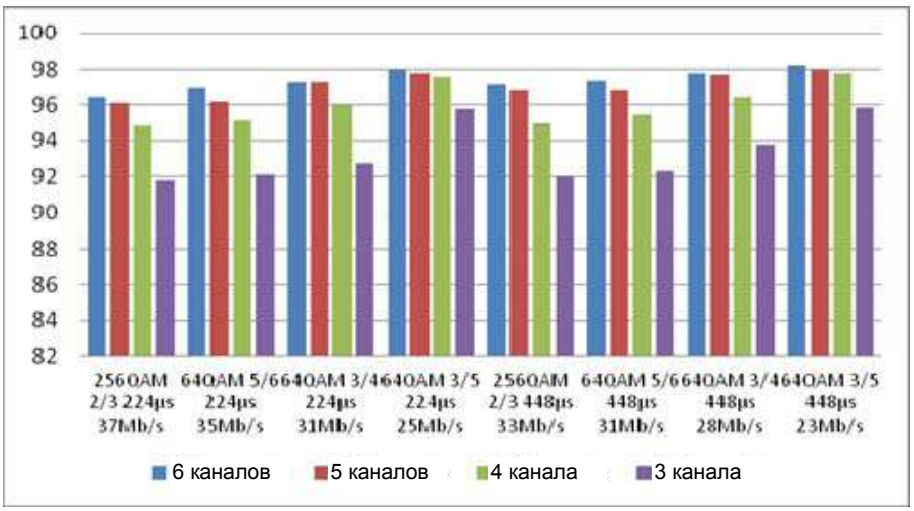


Рис.3: Региональная SFN

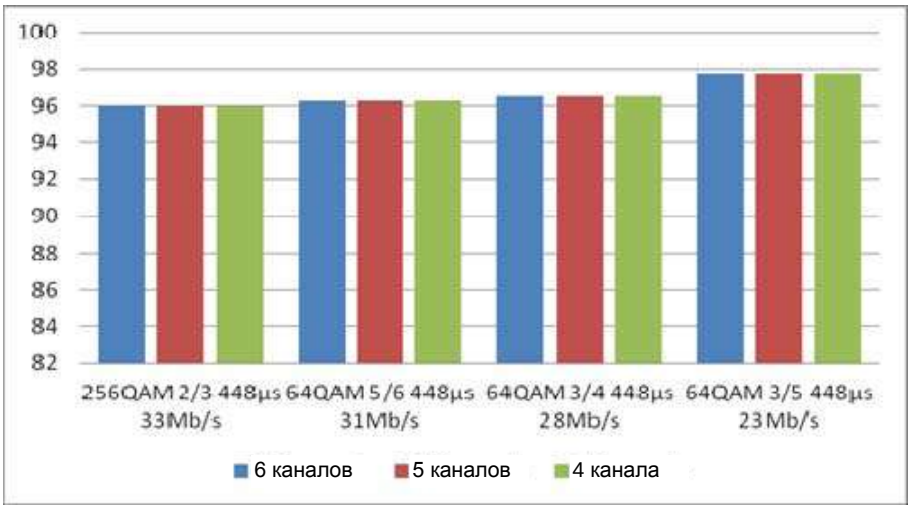


Рис.4: Национальная SFN

4.6 Практический анализ DVB-T2 MFN против SFN в Великобритании

Исследование BBC **[EDP 261]** (см. **Приложение A4**) включает и следует результатам в **§4.5**. Оно предназначено для оценки эффективности национальных SFN, региональных SFN и MFN относительно друг друга. Использовались два метода. 1-й метод основан на знакомой метрике спектральной эффективности, измеряемой в bit//Hz. 2-й метод рассматривает эффективность в смысле количества

программ, которые можно передавать в каждом частотном канале[5] с учетом эффектов статистического мультиплексирования и компрессии MPEG. Оба метода основаны на результатах **§4.5,** которые определяют, сколько частотных каналов потребуется для достижения различной производительности в национальной сети, составляющей MFN, региональные SFN или национальные SFN.

1-й метод показал, что SFN могут быть на 25% эффективнее национальной MFN и на 10% эффективнее региональной SFN.

2-й метод также показывает приблизительно похожие результаты, хотя, как и ожидалось, с некоторыми отклонениями вследствие эффекта квантования, который оказывает передача дискретного количества программ на пропускную способность мультиплекса (т.е. в мультиплексе возможно передавать только целое число программ – невозможно, например, передать половину программы). Для определенного качества программ этот эффект может привести к «откладыванию» большей или меньшей части общей производительности, и это более выражено для высококачественных HD программ. В зависимости от производительности определенного мультиплекса, внутри него могут передаваться лишь три из четырех HD программ, что делает эффект квантования более значимым. Это может вести к снижению эффективности SFN, т.к. в некоторых случаях остается значительная «отложенная» пропускная способность. Например, может случиться, что внедрение трех HD каналов номинально «отложит» 2 Mbit/s в пропускной способности мультиплекса, которых может быть недостаточно для другой HD программы.

Этот метод также опирается на субъективное измерение качества изображения, которое, на первый взгляд, может иметь потенциал для изменения выводов об эффективности, сделанных по результатам анализа 1-го метода. Однако это исследование рассматривало разное качество изображения, и хотя в некоторой степени влияет на результат, этого недостаточно для изменения выводов, за исключением, наверное, случая с очень высоким качеством HD изображений в мультиплексе с меньшей пропускной способностью.

Главный фактор, влияющий на спектральную эффективность – это число частотных каналов, необходимое для разных сетевых конфигураций. Результаты **§4.5** использовались для определения этих требований в первом примере и привели к вышеупомянутым выводам.

Был проведен анализ чувствительности для определения, как эти результаты могут измениться, если в различных сетевых конфигурациях потребуются дополнительные частотные каналы. Для этой оценки использовался 1-й метод, и оказалось, что если каждая сетевая конфигурация потребует дополнительный канал относительно MFN, то эффективность национальной SFN упадет примерно до 20%. Также выяснилось, что если MFN потребуют дополнительный канал, а национальные SFN – нет, относительная эффективность SFN превысит MFN на 50%.

Во всех случаях следует заметить, что платой за повышение эффективности SFN будут ограничения регионального и локального охвата.

Поскольку неэффективно передавать региональный контент в национальной SFN, региональные SFN – хороший компромисс между MFN и полной общенациональной SFN. Их эффективность в основном находится между этими двумя сетями, и они позволяют поддерживать региональность.

4.7 Развертывание национальной DVB-T SFN в Италии

Отчет Rai Way **[BNP 088]** (см. **Приложение A5**) описывает внедрение национальной DVB-T SFN в Италии. Максимальный защитный интервал DVB-T 224 μs относительно мал по сравнению с большой протяженностью Италии, что затрудняет задачу. Хотя DVB-T2 не страдает от этого ограничения, итальянский пример показывает, чего можно достичь и на какие пойти компромиссы с системой OFDM на базе инфраструктуры HTHP и с ограничением защитного интервала до 224 μs.

В 2010 г. Italian Authority (AGCOM) издал первый план цифрового телевидения, в котором учитывалось минимум 21 национальных, 13 региональных и другие локальные SFN. Принятым вариантом системы GE06 был C2 (64-QAM, FEC 2/3) для UHF и F3 (64-QAM, FEC 3/4) для VHF. За исключением 1-го мультиплекса RAI, все уровни планировались с 1-SFN or 2-SFN, т.е. с использованием 1 или 2 каналов на мультиплекс для охвата всей Италии. Желаемые сигналы рассматривались в 50% времени, а сигналы интерференции – в 10% времени для национальной территории и в 1% времени для соседних стран[6].

[5] Следует заметить, что в этом исследовании используется другое определение спектральной эффективности, чем в §§ 5 и 6.

[6] Rai Way использует разные проценты для источников помех в зависимости от ситуации (от 1% до 10%) и от принятой модели распространения.

Что касается 1-го мультиплекса, RAI было поручено охватить население с одинаковым процентом лучшей бывшей аналоговой сети, т.е. 99%. Такой высокий процент недостижим с национальной 1-SFN или 2-SFN. Поэтому данный уровень был внедрен с помощью региональных SFN. Кроме того, Rai Way пришлось достичь минимум 90% охвата для 2-го и 3-го мультиплексов и 80% для 4-го. 2-й и 3-й мультиплексы, развернутые как 1-SFN и состоящие из 117 передатчиков с ERP более 1 kW и 283 маломощных передатчиков с ERP менее1 kW, достигают измеренного покрытия 91.5%.

Приложение A5, с полным отчетом также содержит полный обзор методов планирования и измерения для внедрения SFN.

4.8 Планирование DVB-T/DVB-T2 с ограниченными ресурсами спектра в Великобритании

В совокупности 6 основных британских мультиплексов используют 32 канала, приводя к шаблону повторного использования средней частоты на мультиплекс 5.3. Исследования Arqiva **[Ar 2009, Ar 2011]** рассматривали, достаточно ли 6 каналов (31 – 35 и 37) с шаблоном повторного использования 3 для создания двух национальных уровней DTT (7 и 8) при совпадении с существующими редакторскими регионами.

В таких более ограниченных условиях станции были организованы так, чтобы любая зона обслуживания имела четное число смежных зон, т.к. при такой расстановке возможна трехцветная карта (т.е. смежные зоны обслуживания не попадают в один канал). Однако для создания таких условий некоторые передатчики в определенных регионах, которые обычно были в MFN, пришлось реконфигурировать в SFN.

Оказалось, что по сравнению с главной сетью, где больше повторное использование частот, 3-канальная сеть ограничена по охвату и пропускной способности: первое – результат шаблона более частого повторного использования, а второе – увеличения защитного интервала, необходимого для работы некоторых передатчиков в SFN. Было отмечено, что DVB-T2 дает преимущества и для охвата, и для пропускной способности. В этих условиях она исключает самоинтерференцию SFN и может, путем перехода в более устойчивый режим, увеличить охват, пожертвовав дополнительной пропускной способностью, появившейся относительно DVB-T.

Одно исследование **[Ar 2011]** также рассматривало, целесообразна ли национальная SFN (уровень 9). С DVB-T оказалось, что, хотя можно достичь квазинационального охвата, пропускная способность такой сети будет недопустимо низкой из-за требований большого защитного интервала. DVB-T2, однако, дает большие преимущества для охвата и пропускной способности.

В **Таблицах 3** и **4** подытожены результаты исследований[7].

Таблица 3: Охват с повторным использованием 3

Режим		Пропускная способность	Охват 7 уровня (%)	Охват 8 уровня (%)
DVB-T	8k 64-QAM 2/3 FEC 1/4 GIF	19.9 Mbit/s	89.3	87.2
DVB-T2	32k 256-QAM 2/3 FEC 1/16 GIF	38 Mbit/s	88.1	85.9

Таблица 4: Охват национальной SFN

Режим		Пропускная способность	Охват 9 уровня (%)
DVB-T	8k 64-QAM 2/3 FEC 1/4 GIF	19.9 Mbit/s	84.4
DVB-T2	32k 256-QAM 2/3 FEC 1/8 GIF	35.8 Mbit/s	91.2

Таким образом, для DVB-T результаты Arqiva и Rai Way, описанные в предыдущем разделе, аналогичны. С несколькими каналами или даже всего с одним можно достичь соответствующий национальный охват; однако эта экономия каналов идет за счет неполного охвата, который может достигать 10 – 20% неохваченного населения, (более или менее) неконтролируемо распределенного по стране.

4.9 Резюме и выводы исследований SFN

Семь вышеупомянутых исследований рассматривали, возможно ли, практично и эффективно передавать услуги с национальными или глобальными SFN с DVB-T и DVB-T2. Все они были основаны на инфраструктуре HPHT и включали от анализа общей шестиугольной сети на ровной поверхности до оценки с существующей сетевой инфраструктурой. Тем не менее, был разработан ряд общих тем, которые обсуждаются ниже.

[7] Следует заметить, что вычисление охвата включало соглашения о взаимодействии, которые в разных условиях могут быть ослаблены, ведя к улучшению охвата. Подробности можно найти в отчетах.

Во всех исследованиях была подчеркнута важность регионального контента для вещателей. Это ведет к рассмотрению региональных SFN наряду с национальными SFN в качестве потенциальных сетевых конфигураций, т.к. первые сохраняют региональность и, следовательно, будут хорошим компромиссом между полными MFN и национальными SFN.

Следует заметить, что ни одна из работ не представляет и не образует предложение для стран; были проведены чисто высокоуровневые исследования для дальнейшего понимания вариантов дизайна сети.

4.9.1 Национальные SFN с DVB-T

Исследование на основе Дании пришло к выводу о нецелесообразности охвата всей страны национальной DVB-T SFN; самый большой защитный интервал в DVB-T (1/4 или 224 µs) слишком мал для устранения самоинтерференции. По прогнозам, охват национальной DVB-T SFN ограничен примерно 40% населения, что гораздо ниже нынешнего почти универсального охвата 99.7%, обеспечиваемого сочетанием региональных SFN и отдельной MFN. Следующий шаг принятия более устойчивого режима оказался недостаточно смягчающим фактором для восстановления охвата, и это сопровождается дополнительным недостатком падения пропускной способности мультиплекса ниже нынешней.

Исследование Arqiva обнаружило, что в Великобритании и охват, и пропускная способность национальной DVB-T SFN не удовлетворяет требованиям PSB.

Однако итальянский отчет о внедрении национальной SFN показывает, что с большим числом дополнительных маломощных передатчиков можно достичь значительного улучшения охвата, хоть и не в той степени, что удовлетворяет требованиям охвата, а часто и обязательствам общественных вещателей. Отчет приходит к выводу, что это возможно только с большим числом дополнительных маломощных передатчиков.

4.9.2 Национальные SFN с DVB-T2

Практический анализ в Дании и Великобритании показал, что DVB-T2, как и ожидалось, дает значительное улучшение по сравнению с DVB-T для национальных SFN. Однако все исследования признают, что пропускная способность – важный аспект сети и что увеличение SFN до национального размера возможно лишь за счет пропускной способности в отдельном мультиплексе. Это подтверждается теоретическим исследованием, которое показывает, что при очень больших SFN в мультиплексе бывает потеря пропускной способности минимум 5% - 15% по сравнению с пропускной способностью большой региональной SFN.

Исследование в Дании пришло к выводу, что невозможно обеспечить полный охват (99.7%) и пропускную способность нынешней сетевой инфраструктуры с национальной SFN на базе DVB-T2, хотя оптимизация сети может дать улучшения (см. **§7**).

Исследование в Швеции приняло максимальную длительность защитного интервала 532 µs (32k, 19/128) и обнаружило самоинтерференцию, прежде всего в морских трактах, как ограничивающий фактор охвата. Был спрогнозирован охват 89.1% населения с обеспечением требуемых 36.7 Mbit/s.

Исследование пропускной способности в Великобритании рассматривало более устойчивые режимы передачи для национальных SFN и пришло к выводу, что возможен почти 96% охват с пропускной способностью 33 Mbit/s из базовой 80-пунктовой сети, но в большей зоне планирования потребуется 4 или более частотных каналов, включая смежные страны. При более высокой пропускной способности 35.8 Mbit/s и с существующими соглашениями о взаимодействии исследование Arqiva обнаружило, что возможен охват почти 91% населения.

4.9.3 Региональные SFN

Все практические исследования отметили преимущества региональных SFN:

- Региональность, по определению, может поддерживаться.
- По сравнению с целой нацией, меньший размер региона совпадает с практическими защитными интервалами. Это позволяет избежать самоинтерференции SFN, что улучшает охват, позволяя увеличить рабочую нагрузку.
- В практических зонах планирования, т.е. включающих много соседних стран, региональные SFN могут требовать такое же количество частотных каналов, что и национальная SFN, делая сопоставимой эффективность обоих сетевых конфигураций.

В примере Дании размер регионов совпадал с длиной защитного интервала, что имеет эффект устранения самоинтерференции – ограничивающий фактор охвата в национальных SFN. Подобный результат наблюдался в гипотетических регионах в исследовании на основе Швеции и в исследовании Arqiva повторного использования – 3.

Межрегиональная интерференция между регионами в одном канале также может присутствовать и предсказана в шведском исследовании, но ее можно существенно исключить большим территориальным разносом между регионами в одном канале.

4.9.4 Относительная спектральная эффективность MFN, региональных SFN и национальных SFN

Все исследования отметили для национальных SFN следующее:

- Хотя национальная SFN требует лишь один частотный канал на страну, если рассматривать отдельно, при включении соседних стран их требуется 4-5 – то же число требуется и региональным SFN. В некоторых «горячих» зонах может требоваться даже больше частотных каналов.
- Глобальные SFN требуют соответственно большего защитного интервала для преодоления самоинтерференции, а потому дают меньше пропускной способности на мультиплекс.
- Региональные SFN, вследствие ограниченного размера, позволяют меньший защитный интервал и поэтому больше пропускной способности на мультиплекс, чем национальная SFN.
- Национальные SFN нецелесообразны и неэффективны для передачи регионального контента.

Исследование эффективности в Великобритании сравнивало спектральную эффективность (в Mbit/s/Hz) разных сетей более прямо, определяя, сколько нужно частотных каналов для обеспечения определенного уровня охвата в Великобритании при данной пропускной способности. В целом оказалось, что в умеренно большой зоне планирования при одинаковом охвате региональные SFN требуют меньше каналов, чем MFN, а национальные SFN – еще меньше. Однако компенсирующий фактор состоит в том, что MFN обеспечивают больше пропускной способности на мультиплекс, чем два других метода, а национальные SFN – меньше всего. Сравнивая различные сети и три конкурирующих фактора – охват, частотные каналы и пропускную способность, оказалось, что региональные SFN могут быть на 10% эффективнее, чем MFN, а национальные SFN – тоже на 15% эффективнее. Британское исследование также сравнивало эффективность в смысле количества программ, которое можно передавать в разными сетевыми конфигурациями при требуемом количестве частотных каналов. Этот метод включал эффекты статистического мультиплексирования и аспекты качества изображения , в т.ч. SD и HD. В целом, этот метод привел к тем же выводам, что и вышеупомянутый стандартный метод спектральной эффективности.

4.9.5 Выводы

DVB-T нецелесообразно доя национальных SFN в выполнении требований охвата общественных вещателей, которые в большинстве стран составляют около 99% охвата (населения).

DVB-T2, с улучшениями по сравнению с DVB-T, позволяет реализацию более глобальных SFN. Однако они необязательно могут быть произвольно большими с практической точки зрения. Практический анализ в Дании и Швеции показал, что в этих странах национальные SFN могут оставаться нецелесообразными даже с максимально возможным защитным интервалом в DVB-T2, особенно, если требуется почти универсальный охват.

Региональные SFN, эксплуатируемые сейчас вещателями, предлагают хороший компромисс между национальными SFN и полными MFN. В этих конфигурациях ограниченный размер регионов (относительно нации) позволяет избежать самоинтерференции SFN, в то же время обеспечивая большую полезную нагрузку и, что важно, эффективную передачу регионального контента.

Хотя национальная SFN может требовать один канал в данной стране, более широкая зона планирования (как минимум, с непосредственными соседями) подразумевает, что потребуется 4-5 частотных каналов для устранения интерференции из одной страны в другую – то же число каналов, что и в региональной SFN, где их может требоваться 4-6. Этот фактор, в сочетании с пониженной пропускной способностью национальной SFN, показывает, что в некоторых случаях (когда достаточен охват порядка 98%) национальная SFN может быть на 25% эффективнее, чем MFN, относительно общего потребления спектра[8], но всего на 15% эффективнее региональных SFN. Учитывая, что национальные SFN не позволяют эффективную передачу регионального контента, региональные SFN - привлекательный вариант для вещателей с требованиями регионального распространения.

[8] Более подробное обсуждение спектральной эффективности и потребления спектра дано в §5.

5. Спектральная эффективность и потребление спектра сетей DVB-T2

5.1 Спектральная эффективность и потребление спектра

В **§ 4** рассматривался вопрос спектральной эффективности реализации сети DVB-T2 посредством практического анализа для нескольких стран на основе практических соображений.

В этом разделе спектральная эффективность DVB-T2 рассматривается в более теоретическом свете и вводится понятие эффективности использования спектра уровня (Layer Spectrum Efficiency – LSE). Эта концепция – более обобщенный способ оценки спектральной эффективности, который включает в одной цифре первоначальную эффективность использования спектра системы передачи, а также дистанцию повторного использования (фактор, который характеризует расстояние, за пределами которого канал может повторно использоваться без интерференции – это оказывает большой влияние на общее потребление спектра системы передачи). Поэтому LSE более комплексно, чем традиционные измерения эффективности, обычно основанные на производительности системы передачи в изоляции (т.е. производительности эфирного интерфейса). LSE более четко устанавливает общий объем спектра, требуемый системе для передачи ряда услуг, и позволяет прямое сравнение одной системы с другой, учитывая такие факторы как сетевая топология и частотные планы.

Потребление спектра вместе с факторами стоимости – главные аспекты, определяющие эффективность определенной сетевой топологии и режима (SFN или MFN).

5.2 Спектральная эффективность DVB-T2

Базовая характеристика системы радиопередачи – спектральная эффективность. Она определяется как доступная скорость передачи данных на единицу частоты, измеренная в bit/s/Hz. DVB-T2 специально предназначено для наземного распространения линейного вещательного контента и само по себе имеет высокую спектральную эффективность, в частности, для стационарного приема. В **Таблице 5 это** показано установкой спектральной эффективности ряда режимов DVB-T2, подходящих для сетевой топологии НТНР. Данные взяты из **[EBU Tech 3348]** и называются здесь сценариями 1 – 8. Это типичные режимы в эксплуатации. Теоретически возможны даже большие значения спектральной эффективности.

Таблица 5: Системные параметры и спектральная эффективность нескольких режимов DVB-T2

Сценарий	Модуляция FFT	Кодовая скорость	GI [µs]	Скорость передачи данных [Mbit/s]	C/N [dB]	Тип сети	Режим приема	Спектр. эффективность [bit/s/Hz]
1	32K-ext 256-QAM	2/3	28	40.2	20.0	MFN	стационарный	5.0
2	32K-ext 256-QAM	2/3	448	33.4	21.2	Большая SFN	стационарный	4.2
3	32k-ext 256-QAM	2/3	224	37.0	20.8	Средняя SFN	стационарный	4.6
4	16K-ext 64-QAM	2/3	224	26.2	17.9	Средняя SFN	портативный наружный / мобильный	3.3
5	32K-ext 64-QAM	2/3	448	26.2	17.9	Большая SFN	портативный наружный	3.3
6	16K-ext 64-QAM	1/2	448	16.9	15.1	Очень большая SFN	портативный наружный / мобильный	2.1
7	16K-ext 16-QAM	2/3	224	17.5	13.2	Средняя SFN	портативный комнатный	2.2
8	16K-ext 16-QAM	1/2	224	13.1	9.8	Средняя SFN	(глубокий) портативный комнатный	1.6

5.3 Эффективность использования спектра уровня DVB-T2

В **§ 5.2** рассматривалась только первоначальная спектральная эффективность системы передачи. Для более полного решения вопроса эффективности нужно учитывать общее потребление спектра с включением фактора повторного использования частот.

Системы передачи, вместе с их сетевой топологией, часто характеризуются минимально необходимым количеством частотных каналов для покрытия большой зоны, или уровня. Это называется величиной повторного использования частот. Это число каналов должно быть доступно для охвата всего уровня, даже если не все каналы используются во всех местах.

Однако для реалистичной оценки потребления спектра системы передачи величина повторного использования частот – приблизительная метрика. Например, в плане GE06 требуется 6 – 7 каналов

для охвата одного уровня в Европе. Но это не значит, что все эти каналы заблокированы во всей данной зоне (т.е. не могут использоваться в другой ее части). Блокируется один канал, т.к. он используется намеченной службой. Но, вообще, лишь часть этой зоны блокируется для всех остальных каналов. Таким образом, остается часть зоны, где оставшиеся каналы могут повторно использоваться в других целях. Следовательно, коэффициент блокировки будет лучшей характеристикой потребления спектра системы передачи с ее сетевой топологией, чем величина повторного использования частот.

В **[BS 2014-1]** описан принцип определения такого коэффициента блокировки. Он называется коэффициентом блокировки повторного использования. Этот коэффициент зависит от чувствительности системы, сетевой топологии, размера и формы зон обслуживания и в меньшей степени – от распределения частотных каналов данного частотного плана. Таким образом, этот коэффициент класса реализаций плана не постоянный, а слегка варьируется в разных реализациях частотного плана. На основании этих соображений вводится обобщение концепции спектральной эффективности, которая называется эффективностью использования спектра уровня (LSE). Она позволяет более комплексную оценку спектра, необходимого для реализации определенного сценария. Результаты **[BS 2014-1]** подытожены здесь.

В сущности, значение LSE дано отношением спектральной эффективности к коэффициенту блокировки повторного использования (RBF):

$$ЭффективностьИспользованияСпектраУровня = \frac{СпектральнаяЭффективность}{КоэффициентБлокировкиПовторногоИспользования}$$

Чем больше коэффициент блокировки повторного использования, тем меньше эффективность использования спектра уровня; а чем больше спектральная эффективность, тем больше эффективность использования спектра уровня. Поскольку RBF безразмерен, LSE имеет ту же размерность, что и спектральная эффективность SE; bit/s/Hz.

Концепция эффективности использования спектра уровня применялась в сценариях, перечисленных в **§ 5.2**. В целях упрощения примеров все сценарии предполагают полный охват зоны (100%).

Для варианта MFN[9] предполагается RBF 7. Для варианта SFN для региональных зон обслуживания, требующего SFN среднего размера, используется RBF 5, как вычислено в **[BS 2014-1]**. Менее регионально ориентированный подход к зоне обслуживания позволяет большие SFN, которые могут иметь RBF 4. Национальные зоны обслуживания, которые еще больше и соответствуют очень большой SFN, показывают RBF около 2, как объясняется в **[BS 2014-1]**.

В **Таблице 6** собраны эти данные для сценариев **§ 5.2** на базе DVB-T2, а в последней колонке даны типичные значения результирующей эффективности использования спектра уровня.

Можно наблюдать две четкие тенденции: высокие требования относительно региональности (от большой SFN до средней SFN и MFN, последняя позволяет наибольшую степень региональности) оплачиваются меньшей эффективностью использования спектра уровня, а высокие требования относительно легкости приема (от стационарного до портативного наружного / мобильного и портативного комнатного) также оплачиваются меньшей эффективностью использования спектра уровня.

Эти результаты вполне совпадают с результатами **§ 4.5** по составляющим элементам.

Таблица 6: Эффективность использования спектра уровня различных сценариев DVB-T2

Сценарий	Тип сети DVB-T2	Режим приема	Спектральная эффективность SE [bit/s/Hz]	Типичное значение коэффициента блокировки повторного использования RBF	Типичное значение эффективности использования спектра уровня LSE [bit/s/Hz]
1	MFN	стационарный	5.0	7	0.71
2	Большая SFN	стационарный	4.2	4	1.05
3	Средняя SFN	стационарный	4.6	5	0.93
4	Средняя SFN	портативный наружный / мобильный	3.3	5	0.66
5	Большая SFN	портативный наружный	3.3	4	0.83
6	Очень большая SFN	портативный наружный / мобильный	2.1	2	1.05
7	Средняя SFN	портативный комнатный	2.2	5	0.44
8	Большая SFN	(глубокий) портативный комнатный	1.6	4	0.40

[9] Если требуемое покрытие зоны менее 100%, то можно достичь меньшего RBF, что особенно верно для MFN где RBF 5 достигается уже с охватом 98%. Однако в целях сопоставимости все сценарии предполагают 100% покрытие зоны.

5.4 Дистанции повторного использования для сетей DVB-T2

Для оптимального использования спектра, который является ограниченным природным источником, неизбежно повторное использование одной частоты в различных географических зонах. Каждая из этих зон, покрытых одночастотных сетью, называется зоной обслуживания. Для возможности повтора частотных каналов необходимо минимальное расстояние – дистанция повторного использования – между зонами обслуживания в одном канале, иначе будет недопустимое ухудшение работы систем в одном канале. Дистанция повторного использования – метрика, которая играет важную роль в определении потребления спектра, и основной компонент в оценке коэффициента блокировки повторного использования.

В исследовании IRT **[BNP 033]** (см. **Приложение A6**) изучалось общее поведение опорной шестиугольной сети в присутствии еще одной опорной сети в том же канале. Также было изучено минимально необходимое расстояние между зонами обслуживания в одном канале и установлено отношение между различными системными параметрами SFN и дистанцией повторного использования.

Типичные реализации сети DVB-T2 имеют дистанции повторного использования от 80 до 120-130 км. Наблюдается заметная зависимость от бюджета мощности. Необходим запас мощности минимум 3 dB выше минимальной силы поля для ограничения дистанций повторного использования до разумного значения.

Следующий интересный результат исследования – что типичная эффективная высота антенн в сетях оказывает заметное влияние на дистанцию повторного использования. При меньшей эффективной высоте антенн дистанции повторного использования быстрее увеличиваются с увеличением значений C/N, чем при большей.

Причина такого эффекта в том, что на больших расстояниях (за пределами радио горизонта) сила поля медленнее уменьшается с уменьшением эффективной высоты антенн, чем на меньших. Таким образом, с уменьшением высоты антенн уменьшается разность между желательной силой поля (от меньших расстояний) и нежелательной (от больших расстояний), а вместе с этим и достижимая вероятность охвата. Для компенсации этого требуется большая дистанция повторного использования.

Заметны также различия в дистанции повторного использования относительно разных режимов приема. Самые требовательные режимы требуют больших дистанций. В **Таблице 7** приведен пример для определенного режима DVB-T2.

Таблица 7: Дистанции повторного использования DVB-T2 в сухопутном тракте для различных режимов приема

64-QAM 3/5, PP1, 1/4 , 16k , скорость передачи данных = 20.1 Mbit/s (вероятность местонахождения 95%)		
Стационарный прием на крыше	Портативный наружный прием	Мобильный наружный прием
Дистанция повторного использования = 60 км	Дистанция повторного использования = 100 км	Дистанция повторного использования = 165 км

Кроме того, изучалось влияние расстояния между передатчиками в сети на дистанцию повторного использования. Как и ожидалось, с увеличением расстояния между пунктами увеличивалась и дистанция повторного использования. Однако этот эффект больше выражен для портативного приема, чем для стационарного на крыше, из-за направленного характера приемной антенны в случае стационарного приема.

6. Сравнение сетевых топологий DVB-T2

6.1 Топологии вещательных сетей LTLP и HTHP

В предыдущем разделе было выявлено, что потребление спектра вещательной сети – не только функция спектральной эффективности применяемой системы передачи. Важную роль также играют планируемый режим приема, форма зон обслуживания и режим сети (MFN или SFN). В этом разделе рассматривается следующий критичный и даже более влиятельный аспект: сетевая топология, т.е. плотность и, как производная характеристика, мощность и высота антенн передатчиков в сети.

Типичные вещательные сети обычно характеризуются как High-Tower-High-Power (HTHP):

- главные передатчики в сети редко расставлены по зоне обслуживания, обычно с дистанцией от 50 до 100 км,
- эффективная высота антенн 150 – 1500 м, и
- диапазон ERP от 10 kW до 200 kW.

При такой топологии требуется относительно мало передатчиков для покрытия больших зон обслуживания, и линейный контент легко передается массовой аудитории.

В отличие от этого, для мобильной широкополосной связи используются сотовые сети или Low-Tower-Low-Power (LTLP). Они обычно характеризуются:

- расстоянием между пунктами (ISD) от менее 1 км до 10 км и более,
- малой высотой антенн от 10 до 50 м, и
- ERP в несколько ватт, до 1 kW.

Они используются для обеспечения двунаправленного трафика данных, обычно речевого, нелинейного мультимедийного контента и т.д. Их топология в основном руководствуется требованиями радиочастоты восходящего канала пользовательских терминалов к базовым станциям и сетевым трафиком, или аспектами пропускной способности.

Сети LTLP также могут использоваться для обеспечения линейного вещательного контента. Далее в этом разделе подведены результаты двух исследований **[Ny 2014, BS 2014-1], которые** изучают гипотетические сети LTLP DVB-T2 и сравнивают их производительность с производительностью сети HTHP вместе с необходимой работой по реализации.

6.2 Потребление вещательного спектра LTLP и работа по реализации

В **§ 5** подчеркнута актуальность величины повторного использования частот и коэффициента блокировки повторного использования в реализации сети для оценки ее потребления спектра. В исследовании IRT **[BS 2014-1],** которое уже цитировалось в **§ 5,** также изучалось влияние сетевой топологии на эти величины. Результаты подытожены здесь.

Вообще, частотный канал не может эффективно использоваться в смежных зонах обслуживания, если в них требуется разный контент, из-за взаимной интерференции между двумя соседними разнородными сетями. Потенциальная интерференция в соседнюю зону обслуживания сильно зависит от сетевой топологии. Сеть LTLP имеет гораздо меньший потенциал интерференции, чем сеть HTHP. Поэтому расстояние, за пределами которого можно повторно использовать канал, в варианте LTLP намного меньше, чем в HTHP. Типичные значения дистанции повторного использования для сетей HTHP DVB-T2 – от 60 до 120 км (для сухопутного тракта), а для сети LTLP реалистичны значения от 10 до 20 км (для сухопутного тракта).

Это отличие между сетями LTLP и HTHP оказывает значительное влияние на количество каналов, необходимое для полного охвата большой зоны или территории, состоящей из нескольких или многих отдельных зон обслуживания. Чем больше дистанция повторного использования, тем больше число требуемых каналов для данного распределения зон обслуживания, прежде чем можно повторно использовать исходный канал. Следовательно, величина повторного использования частот, а также коэффициент блокировки повторного использования увеличиваются.

В **Таблице 8** рассмотрен случай портативного комнатного приема. Коэффициент блокировки повторного использования и эффективность использования спектра уровня в реализации HTHP DVB-T2, как описано в **§ 5,** сравнивается с гипотетическими реализациями LTLP DVB-T2. Данные последних взяты из **[BNP 084]**.

Таблица 8: Эффективность использования спектра уровня HTHP и (гипотетические) сценарии LTLP DVB-T2

Сетевая топология DVB-T2	Тип сети	Режим приема	Спектральная эффективность SE [bit/s/Hz]	Коэффициент блокировки повторного использования RBF	Эффективность использования спектра уровня LSE [bit/s/Hz]
HTHP	Средняя SFN	портативный комнатный	2.2	5.0	0.44
LTLP	Сотовая SFN ISD = 2 км	портативный комнатный	6.0	1.7	3.53
	Сотовая SFN ISD = 5 км	портативный комнатный	3.5	1.4	2.50

Результат показывает, что преимущество варианта LTLP двойственное. Во-первых, он позволяет использовать съемы большей модуляции и меньшие защитные интервалы, повышая спектральную эффективность данного режима DVB-T2. Во-вторых, короткие дистанции повторного использования дают возможность более быстрого повторного использования частот, т.е. достигаются меньшие коэффициенты блокировки повторного использования. Вместе эти эффекты ведут к гораздо большей эффективности использования спектра уровня по сравнению с сетями HTHP.

Важно понимать, что такая высокая эффективность достигается путем сочетания высокой спектральной эффективности и низкого коэффициента блокировки повторного использования. Если один из этих компонентов отсутствует, эффект уменьшается. Пример описан в **[BS 2014-1]** с режимом вещания LTE eMBMS.

За высокую эффективность варианта LTLP надо расплачиваться. Цена – большая работа по реализации. **[BS 2014-1]** показывает, что на примере Германии необходимо около 90000 базовых станций для покрытия 90% площади страны (с ISD 2 км). Такого большого количества базовых станций сегодня нет. Стоимость такой реализации и эксплуатационные расходы подсчитаны в **[BS 2014-2]**.

6.3 Сетевые топологии и эффективность использования спектра для вещательных сетей с высокими и низкими вышками

В теоретическом исследовании Progira **[Ny 2014]** сравниваются разные топологии вещательной сети SFN и эффективность использования спектра сетей LTLP и HTHP. Исследование предполагает использование SFN с системой DVB-T2.

Сеть HTHP представлена SFN с использованием 300-метровой высоты антенн и ERP 50 kW. Для сетей LTLP рассматривалась высота антенн 50 и 30 м с ERP от 50 W до 5 kW. Предполагалось, что и HTHP, и LTLP SFN состоят из 7 передатчиков.

Вывод, как и в предыдущем разделе – что уменьшение высоты антенн и мощности в вещательной сети увеличит необходимое количество передающих пунктов.

По результатам, для охвата той же географической зоны, что и в соответствующей сети с высокими вышками, потребуется примерно в 108 раз больше пунктов с низкими вышками, антеннами 30 м и ERP 50 W (расстояние между пунктами 10.0 км). Альтернативно, примерно в 37 раз больше пунктов потребуется для сетей с антеннами 30 м и ERP 500 W, а в случае сетей с антеннами 50 м и ERP 500 W – в 23 раза больше.

Результаты подытожены в **Таблице 9**.

Таблица 9: Коэффициент умножения пунктов для разных сетевых топологий LTLP DVB-T2

HT/LT	Высота антенн (м)	ERP (W)	Расстояние между пунктами (км)	Площадь зоны обслуживания на пункт (км^2)	Коэффициент умножения пунктов
HT	300	50000	104	7123	1
LT	50	50	12.8	108	66
LT	50	500	21.6	308	23
LT	50	5000	34.6	790	9
LT	30	50	10.0	66	108
LT	30	500	17.0	191	37
LT	30	5000	27.4	495	14

Применение этих результатов к Швеции показывает, что общенациональная зона охвата потребует 63 пункта с высокими вышками, антеннами 300 м и ERP 50 kW или, альтернативно, 4161 пунктов с низкими вышками, антеннами 30 м и ERP 50 W, 2360 пунктов с антеннами 30 м и ERP 500 W. Нынешняя сеть DTT в Швеции состоит из 53 передатчиков HTHP, дополненных примерно 500 передатчиками с меньшей мощностью и меньшей высотой антенн.

Также был изучен пространственный разнос в одном канале для разных сетевых топологий на основе предположения запаса помехоустойчивости 3 dB. Как и в предыдущем исследовании, упомянутом в **§6.2,** пространственный разнос в одном канале уменьшается при использовании сетевых топологий LTLP. Например, сеть LTLP SFN с высотой антенн 30 м и 50 W ERP имеет дистанцию повторного использования одного канала около 40 км, что гораздо меньше, чем в сети HTHP (300 м, 50 kW), где дистанция повторного использования частот 195 км.

Меньший пространственный разнос в одном канале дает больше гибкости в частотном планировании, но не всегда может повысить эффективность потребления спектра. Требование спектра для сети тесно связано с размером и формой желаемых сервисных зон вещания.

В плане GE06 запланировано много SFN на базе выделения частот. Вообще, размер выделенных частот ограничен длиной защитного интервала в DVB-T. Однако при использовании системы DVB-T2 есть возможность реализации больших SFN вследствие большего защитного интервала.

Вывод исследования: При условии, что зоны выделенных частот SFN достаточно большие, эффективность использования спектра сетей HTHP и LTLP будет одного порядка. Однако сеть LTLP даст больше гибкости в подгонке зон обслуживания под требуемые сервисные зоны вещания.

7. Элементы выбора параметров DVB-T2 и проектирования SFN

7.1 Обзор

Как система OFDM, DVB-T2 подчиняется таким же правилам проектирования сетей, что и другие системы OFDM типа T-DAB и DVB-T. Они подробно описаны в документах EBU **[TR 021, TR 022, TR 024]** и не требуют повторения здесь. Кроме того, дополнительную информацию о некоторых аспектах проектирования, специфичных для DVB-T2, можно найти в **[EBU Tech 3348]**. Этот раздел касается только определенных аспектов, которые заслуживают дополнительного внимания. Это распространение по морю, статическая временная задержка, выбор защитного интервала, комбинация T2-Base и T2-Lite для мобильного приема в одном мультиплексе и распространение сигналов мультиплекса на передатчики. Некоторые примеры, выбранные для иллюстрации этих аспектов, взяты из планирования сетей DVB-T и T-DAB, но принципы применимы и к DVB-T2.

7.2 Распространение по морским трактам

В **§ 4** рассматривалась особая актуальность и ограничивающий характер самоинтерференции в одночастотных сетях. В больших SFN сигналы вне защитного интервала вносят помеховый компонент, который увеличивается с удлинением задержки. В каждом месте зоны обслуживания SFN этот помеховый компонент должен быть ниже критического порога (системного C/(N+I)) во избежание потери охвата вследствие самоинтерференции.

Сигналы проявляют изменчивость во времени; в частности, в небольшом проценте времени бывает большая сила поля вследствие метеорологических феноменов, например, тропосферного рассеяния или распространения волн в атмосферном волноводе. Это бывает преимущественно в морских трактах и больше заметно в теплых, чем в холодных морях.

Практическая значимость феноменов тропосферного рассеяния и распространения волн в атмосферном волноводе по морским трактам хорошо обоснована, и практический пример был в 2012 г., когда сообщалось о проблемах самоинтерференции в DVB-T SFN в Португалии. Их источником оказались помехи тропосферного распространения, переменные во времени и с большим радиусом действия, достаточно серьезные для оправдания частичного перепроектирования сети, где использовались дополнительные частоты для разбивки большой зоны SFN на несколько меньших SFN в целях устранения дальней интерференции.

Обычно в планировании вещания для чрезмерной интерференции допускается верхняя граница 1% времени, т.к. это дает высокую временную надежность вещательного сигнала. Эта граница также применяется к самоинтерференции. В зависимости от расстояния между передатчиком и приемником, сила поля в 1% времени может быть гораздо выше, чем средняя (50% времени) сила поля, и эта разница особенно большая для распространения по морю. Поэтому для правильного планирования вещательной сети необходимо учитывать эти феномены.

Следующие два примера иллюстрируют этот аспект, первый – планирование охвата в Великобритании, а второй – практический пример идентификации эффектов самоинтерференции, возникающих в результате распространения по морским трактам.

7.2.1 Эффект распространения по морским трактам – пример Великобритании

Ниже в этом отчете, в **§ 7.4,** подытожено британское исследование относительно оптимизации защитного интервала для глобальных SFN. В том числе, рассматривается дальняя интерференция извне защитного интервала по сухопутным и морским трактам. Здесь, в этом разделе, освещается аспект морского тракта.

Оптимальный защитный интервал можно взять за измерение силы самоинтерференции в сети. Большие защитные интервалы требуются в случае больших компонентов самоинтерференции сигналов SFN. В этом исследовании оценивается оптимальный защитный интервал для всей Великобритании, а также для четырех составляющих наций: Уэльса, Шотландии, Северной Ирландии и Англии.

Исследование показало, что общебританская SFN, включающая все четыре нации, относительно английско-шотландской SFN имеет большие защитные интервалы, даже хотя максимальная географическая протяженность сети меняется незначительно, причина в том, что включение Уэльса и Северной Ирландии вводит больше интерференции от морских трактов сигнала. Это могут быть серьезные источники интерференции, которые необходимо учитывать во время проектирования любой сети. Детали исследования описаны в **§ 7.4**.

7.2.2 Самоинтерференция в DVB-T SFN вследствие распространения по морским трактам; пример Италии

Приложение A.5 содержит конкретный пример самоинтерференции в DVB-T SFN из-за определенных условий распространения трактов сигнала через теплое море. Исследование **[BNP 088]** проводилось Rai Way на севере Адриатического моря. Оказалось, что передатчик SFN, находящийся более чем за 200 км, вызывал интерференцию, которую можно было объяснить только определенными характеристиками распространения теплого моря. Для решения этой проблемы Rai Way перенес помеховый передатчик, устранив интерференцию из этих зон. В исследовании описаны измерения для идентификации помехового передатчика и, в частности, как это было достигнуто путем присвоения индивидуальных ID сот передатчикам SFN.

7.3 Статические временные задержки

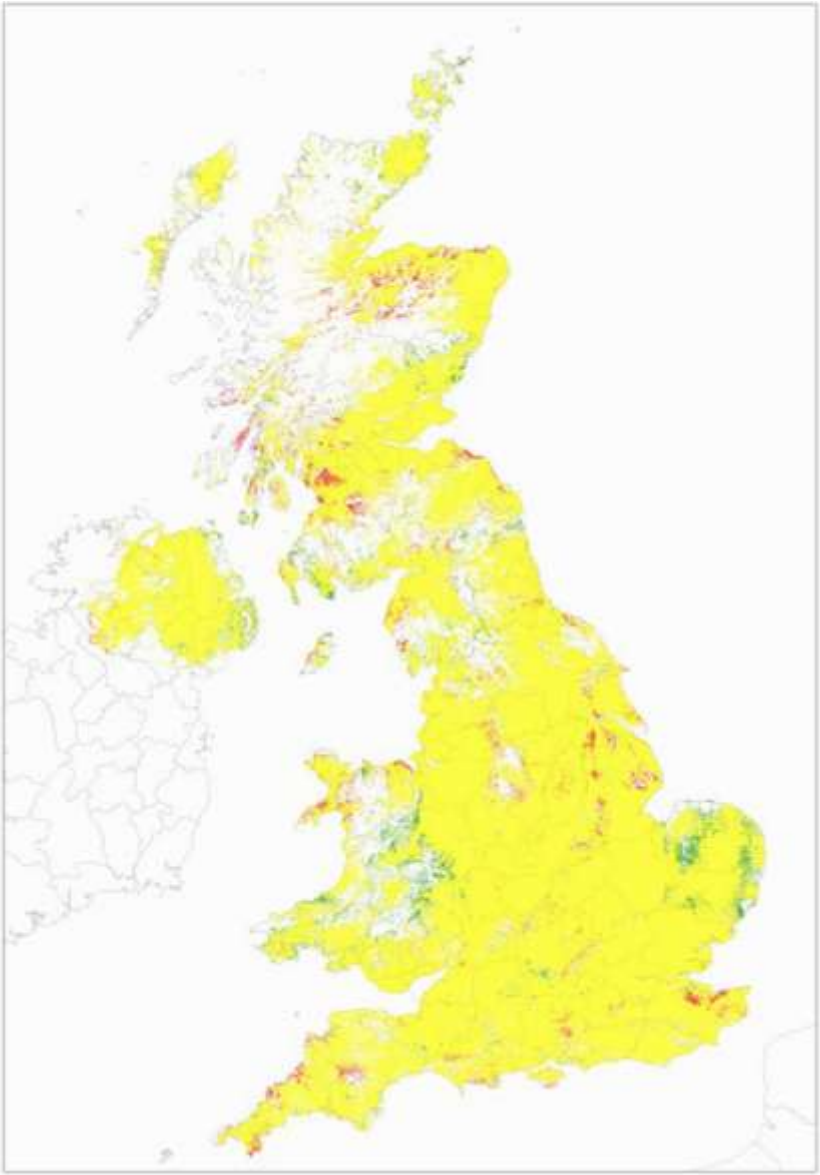
В практических вещательных сетях передающие пункты часто отделены расстоянием выше защитного интервала. Такие обстоятельства могут вести к самоинтерференции в SFN и последующей потере охвата или пропускной способности. Для смягчения этой интерференции можно использовать статическую синхронизацию, посредством которой сигналы со станций в сети задерживаются относительно друг друга. Этот метод может позволить размещение интерференции в ненаселенных районах, например, в море, или переместить ее в зоны, обслуживаемые другими передатчиками, эффективно ее маскируя.

В этом разделе описано несколько практических примеров, где оптимизация охвата SFN достигается применением статической синхронизации, часто сопровождаемой дополнительно оптимизирующими диаграммами направленности антенн и мощностью передатчиков. Подробное описание настройки времени задержки можно найти в **[HL 2009]** (для случая T-DAB).

7.3.1 Статическая синхронизация в британской сети DAB

В Великобритании имеется две сети DAB, работающие как национальные SFN. Их прогнозируемый охват показан на **Рис. 5,** де охват сети с оптимизированной статической синхронизацией (синхронизированная сеть) сравнивается с охватом той же сети с установкой всех передатчиков на одинаковую относительную задержку 0 μs (несинхронизированная сеть) – все остальные параметры идентичны в обеих ситуациях. Желтым цветом показан охват, общий для синхронизированной и несинхронизированной сетей, красным – охват только несинхронизированной сети, а зеленым – только синхронизированной.

Ясно, что в некоторых зонах несинхронизированная сеть работает лучше, чем синхронизированная, и наоборот. В целом, статическая синхронизация полезна, т.к. улучшает охват населения почти на 1% и охват на дорогах на 4.7%. По расчетам, в ином случае для такого увеличения охвата потребуется 20 – 40 передатчиков.



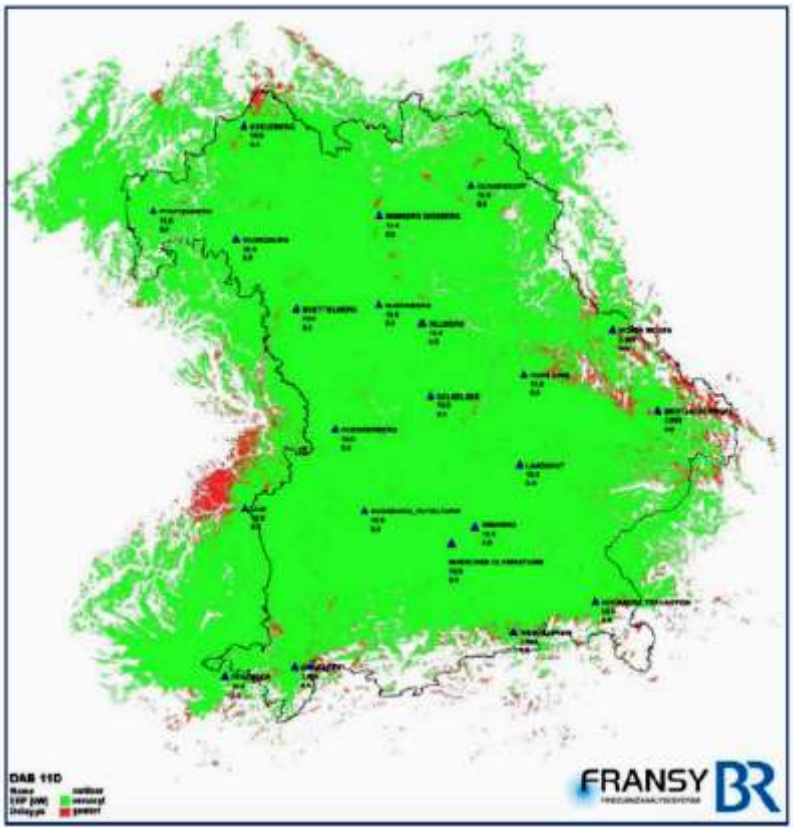
(Желтый: охват, общий для синхронизированных и несинхронизированных сетей,
Красный: охват только в несинхронизированной сети
Зеленый: охват только в синхронизированной сети)

Рис. 5: Преимущества статической синхронизации в британской сети T-DAB

7.3.2 Статическая синхронизация в баварской сети DAB+

Еще один пример настройки времени задержки – сеть DAB+ в Баварии. Она состоит из 22 передатчиков, большая часть которых имеет индивидуально установленные задержки смещения для оптимизации охвата. Такая мера необходима, поскольку характеристики передатчиков относительно расстояния от следующего передатчика, высоты антенн или мощности передатчика очень разнородны. Оптимизация проводилась Bayerischer Rundfunk (BR).

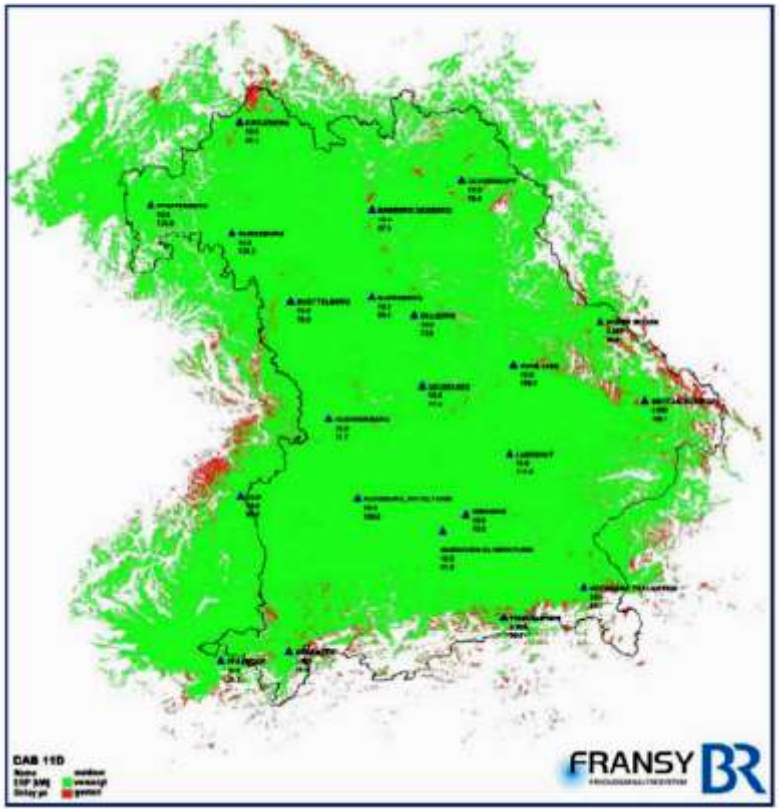
На **Рис. 6** показан график охвата с передающими пунктами и мощностью передатчиков, но без оптимизации времени задержки. Зеленым отмечены покрытые места для мобильного приема DAB+, а красным – места, где есть достаточная сила поля, но прием невозможен из-за самоинтерференции. Неоптимизированная сеть уже имеет очень хороший охват; однако остаются зоны интерференции, главным образом на границах.



Показаны передающие пункты, ERP передатчиков (kW) и начальная статическая задержка (0 μs)

Рис. 6: Охват сети DAB+ в Баварии – без оптимизации статической временной задержки

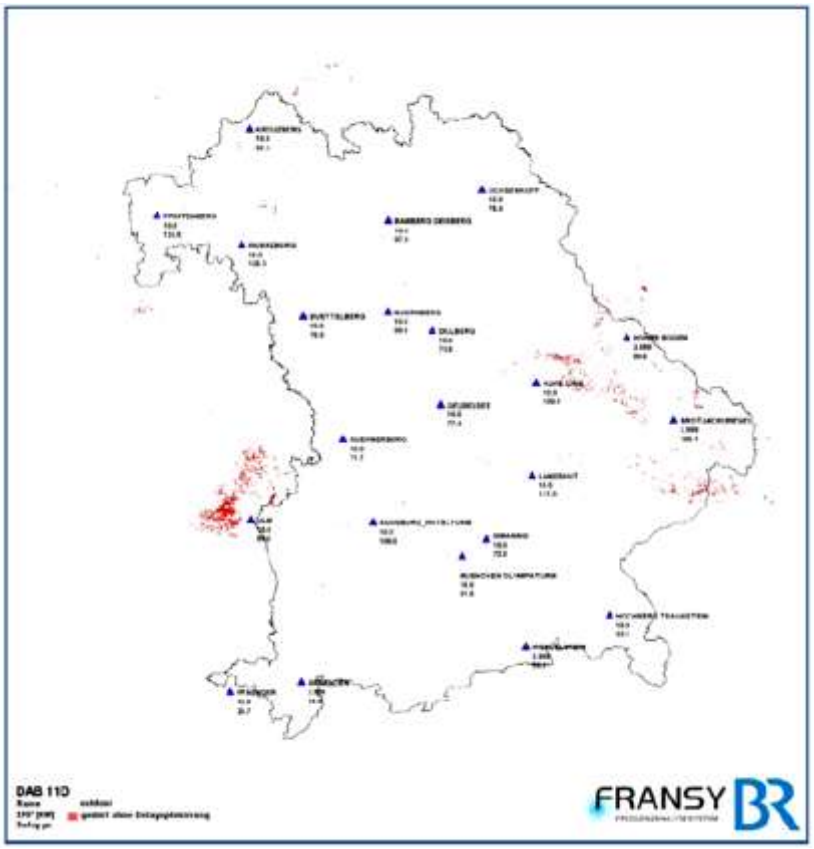
Оставшиеся зоны интерференции можно уменьшить оптимизацией статической временной задержки, как видно на **Рис. 7**, где на графике охвата показаны отдельные задержки. Все равно остаются регионы, где бывает самоинтерференция. Это обусловлено тем, что оптимизация временной задержки может быть средством улучшения ситуации самоинтерференции, но не может полностью ее исключить.



Показаны передающие пункты, ERP передатчиков (kW) и индивидуальные статические задержки (μs)

Рис. 7: Охват сети DAB+ в Баварии – с оптимизацией статической временной задержки

Рис. 8 – график анализа разностей, показывающий зоны, где оптимизация задержки улучшила ситуацию. По сравнению с общей зоной покрытия это составляет небольшой процент, обусловленный уже выбранной топологией передатчиков.



Места, где оптимизация статической временной задержки улучшила охват

Рис. 8: Сеть DAB+ в Баварии – график анализа разностей

Для иллюстрации влияния настройки задержки на ситуацию сигнала было выбрано место приема, где прием был улучшен оптимизацией, и были вычислены спектры временной задержки для обоих случаев – с оптимизацией задержки и без. Это показано на **Рис. 9**.

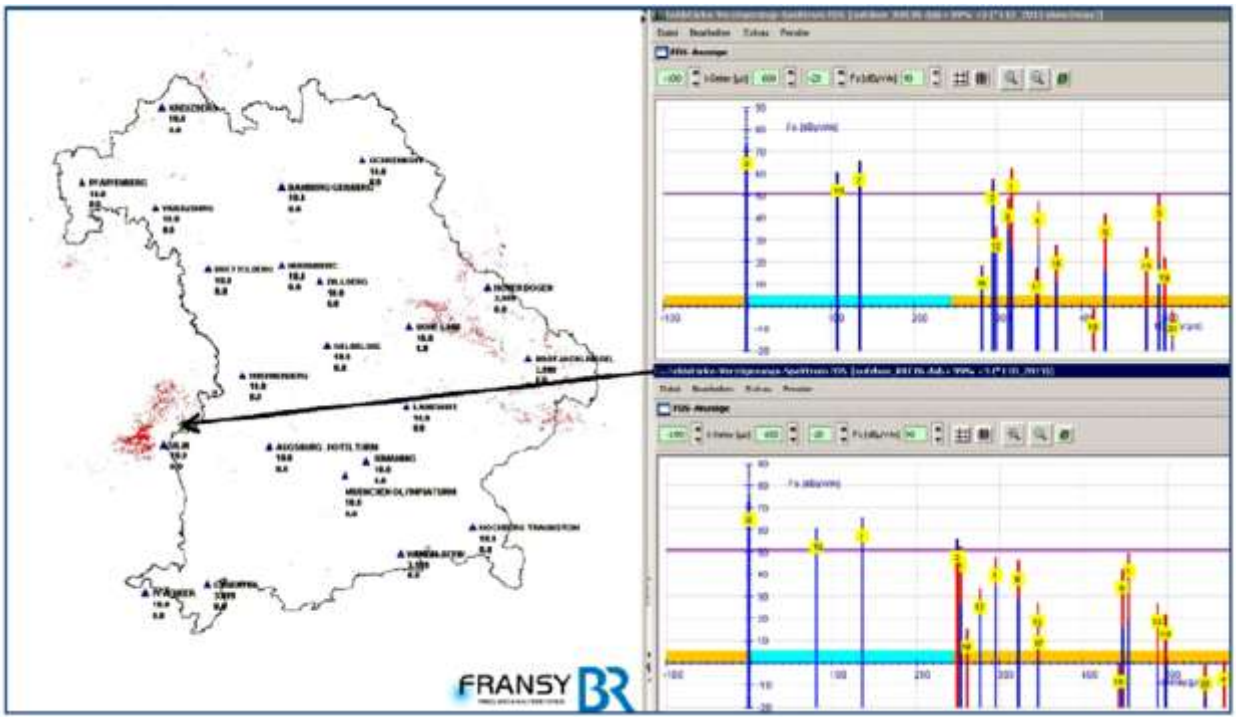


Рис. 9: Спектры временной задержки в типичном месте приема

Верхний спектр задержки представляет ситуацию сигнала без оптимизации задержки, а нижний – с оптимизацией. Голубой временной регион показывает сигналы внутри защитного интервала. Они конструктивно влияют на желаемую силу поля, обозначенную синей полосой. Вне защитного интервала, в оранжевом временном регионе, сигналы имеют и конструктивные, и помеховые компоненты. Помеховые компоненты обозначены красными полосами. В целях совмещения двух компонентов они изображены в одном месте на временной оси, и меньший компонент стоит на переднем плане. Таким образом, оба сигнала всегда можно идентифицировать и наблюдать – кроме того случая, когда оба компонента равны; тогда видна только красная помеховая полоса.

7.3.3 Оптимизация DVB-T2 SFN в Малайзии

Национальная DVB-T2 SFN планировалась Progira **[BNP 087]** в Малайзии в составе заявки провайдера сети для DTT. Планирование проводилось для западной и восточной Малайзии, но в данном примере показаны только результаты для западной Малайзии, и следует заметить, что сеть пока не реализована. Предлагалось использование национальных DVB-T2 SFN, т.к. они обеспечивают эффективное использование частот.

Цель – обеспечение приема на крыше для 98% населения, что эквивалентно нынешнему аналоговому охвату. Кроме того, было вторичное требование обеспечить комнатный прием в главных городах. Общая рассматриваемая площадь – около 700 x 200 км^2.

Главные параметры планирования:

- Использование варианта системы DVB-T2: 256-QAM, R= 3/5, GI 1/8 или 19/128, 448 µs или 532 µs, PP2 со скоростью 30 Mbit/s или более
- Предполагаемое C/N: 19.6 dB (на крыше)
- Использование по возможности существующей инфраструктуры для аналогового ТВ, которое означает, что по возможности используются существующие передающие и приемные антенны

Всего в планировании использовалось около 74 передатчиков, предполагая ERP от 1 kW до 60 kW.

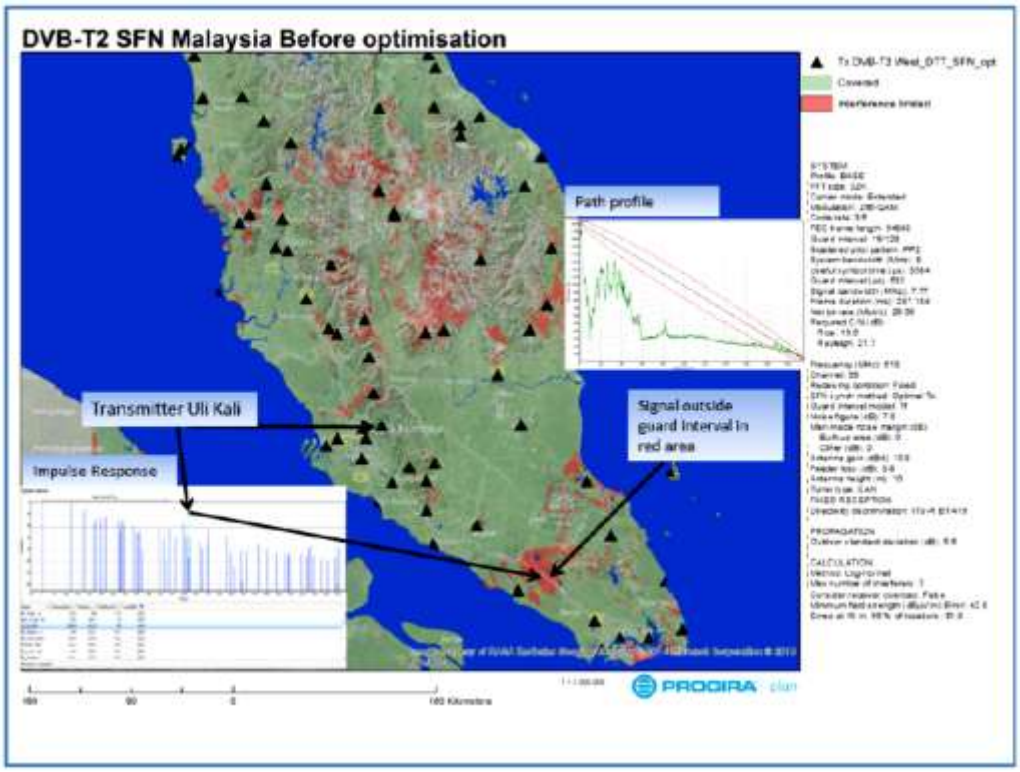
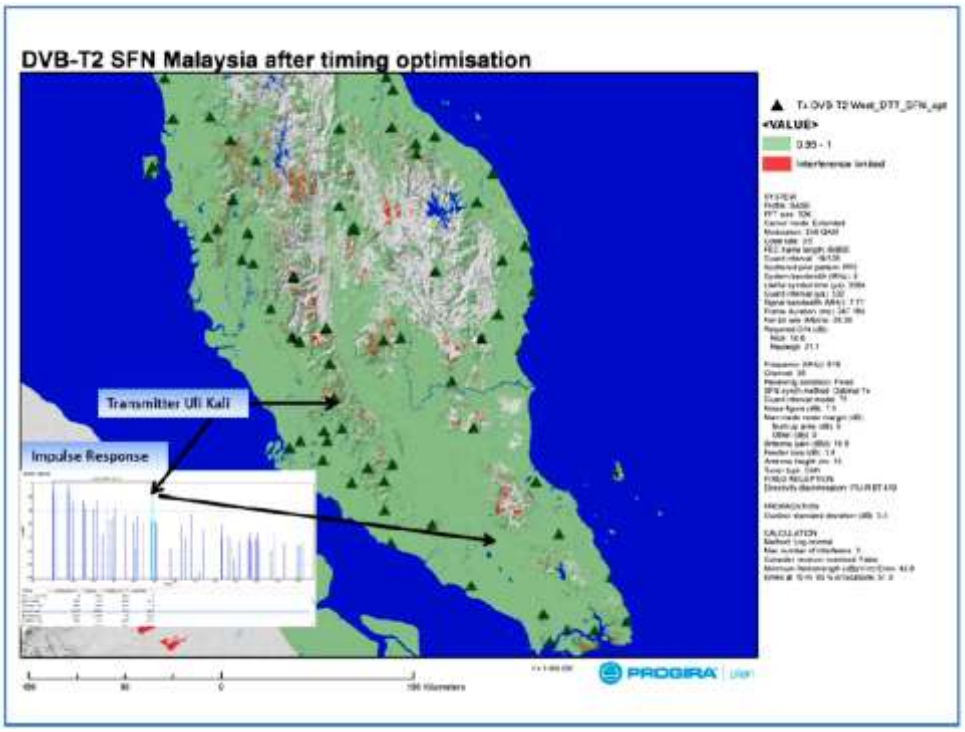


Рис. 10: Потенциальные зоны SFN самоинтерференции в DVB-T2 SFN

Сначала был вычислен охват с помощью номинальных параметров передатчиков, предполагая отсутствие временных сдвигов в отдельных передатчиках SFN. Результат показан на **Рис. 10,** где достигнут охват 95% населения, чуть ниже требования 98%. При анализе результирующего охвата стало ясно, что некоторые зоны потенциально затронуты самоинтерференцией, несмотря на использование длинного защитного интервала. Это видно при анализе помеховых сигналов в 1% времени, где зоны самоинтерференции SFN обозначены красным на **Рис. 10**. В 50% времени эта самоинтерференция не видна – она заметна лишь при учете аномалий распространения, например, в 1% времени.

Как видно, самоинтерференция рассеяна по всей стране, но особенно она встречается в горах, которые, за редкими исключениями, заселены не густо.

На **Рис. 10** также показан пример импульсной характеристики в точке, где прогнозируется самоинтерференция. Можно заметить, что бывают задержанные сигналы вне защитного интервала 532 µs. Это потенциально возможно от передатчиков, расположенных в возвышенных местах. В данном примере передатчик Uli Kali имеет эффективную высоту антенны около 1700 м в некоторых направлениях. Профиль тракта от передатчика до зоны, где бывает самоинтерференция, также показан на **Рис. 10**.



Проблемы с сигналами вне защитного интервала уменьшаются
комбинацией временных сдвигов и настройки диаграмм направленности антенн.

Рис. 11: Результирующий охват DVB-T2 после оптимизации самоинтерференции SFN

Для снижения эффекта самоинтерференции SFN оптимизация проводилась следующими этапами:

1) Анализ зон самоинтерференции с идентификацией передатчиков, которые могут создавать помехи вне защитного интервала.
2) Оптимизация статической синхронизации передатчиков для минимизации потенциальной самоинтерференции. Это проводилось с помощью функции в программе планирования *Progira Plan,* где можно оптимизировать охват на основе населения.
3) Настройки диаграмм направленности антенн и, в частности, наклона антенн для ряда передатчиков в целях дальнейшего снижения потенциальной самоинтерференции .
4) Оптимизация синхронизации для дальнейшего улучшения ситуации самоинтерференции в SFN.

Результат оптимизации показан на **Рис. 11**. Ограниченная самоинтерференция потенциально может оставаться в горных районах. Однако она менее существенна по сравнению с первичной. Общий охват населения прогнозируется 98.5%, что выше требований. Население, которое потенциально может страдать от самоинтерференции SFN , очень мало.

7.3.4 Оптимизация DVB-T SFN в Италии: практический анализ

В Италии общественный мультиплекс с региональным контентом (RAI Multiplex 1) обычно внедряется с двумя частотами VHF (каналы 5 и 9) в конфигурации MFN и еще одной частотой UHF для каждого региона в конфигурации SFN, с учетом международной координации.

Для примера рассмотрим регион Апулия на юге Италии. Он имеет очень большую площадь, состоящую в основном из ровной поверхности, и включает несколько передатчиков HTHP: а потому представляет подходящий практический пример для планирования SFN.

В Апулии канал 32 (562 MHz) используется для развития региональной SFN, которая включает 27 передатчиков, разбросанных по всей области, как показано на **Рис. 12**. Поскольку Multiplex 1 общественный, он должен охватывать минимум 99% населения с хорошим качеством.

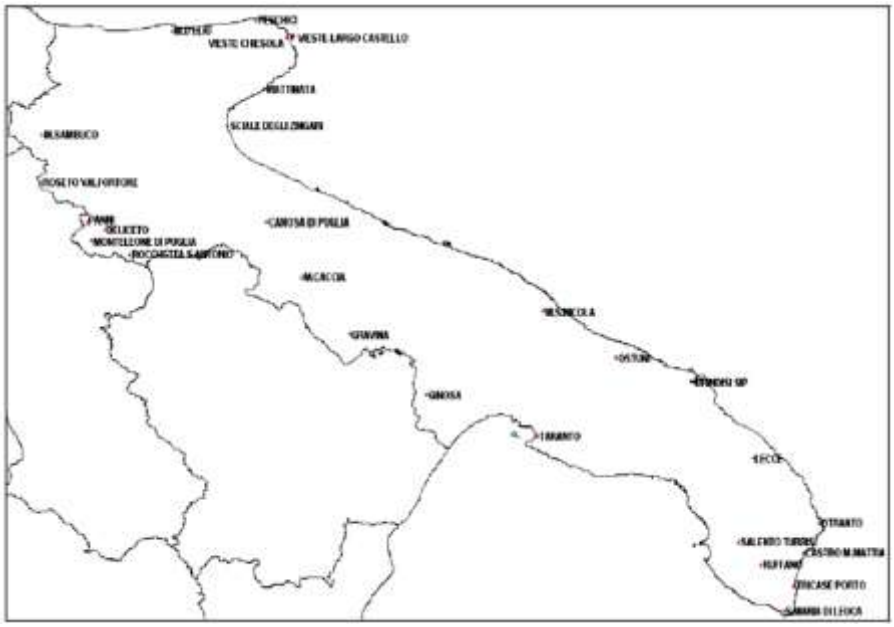


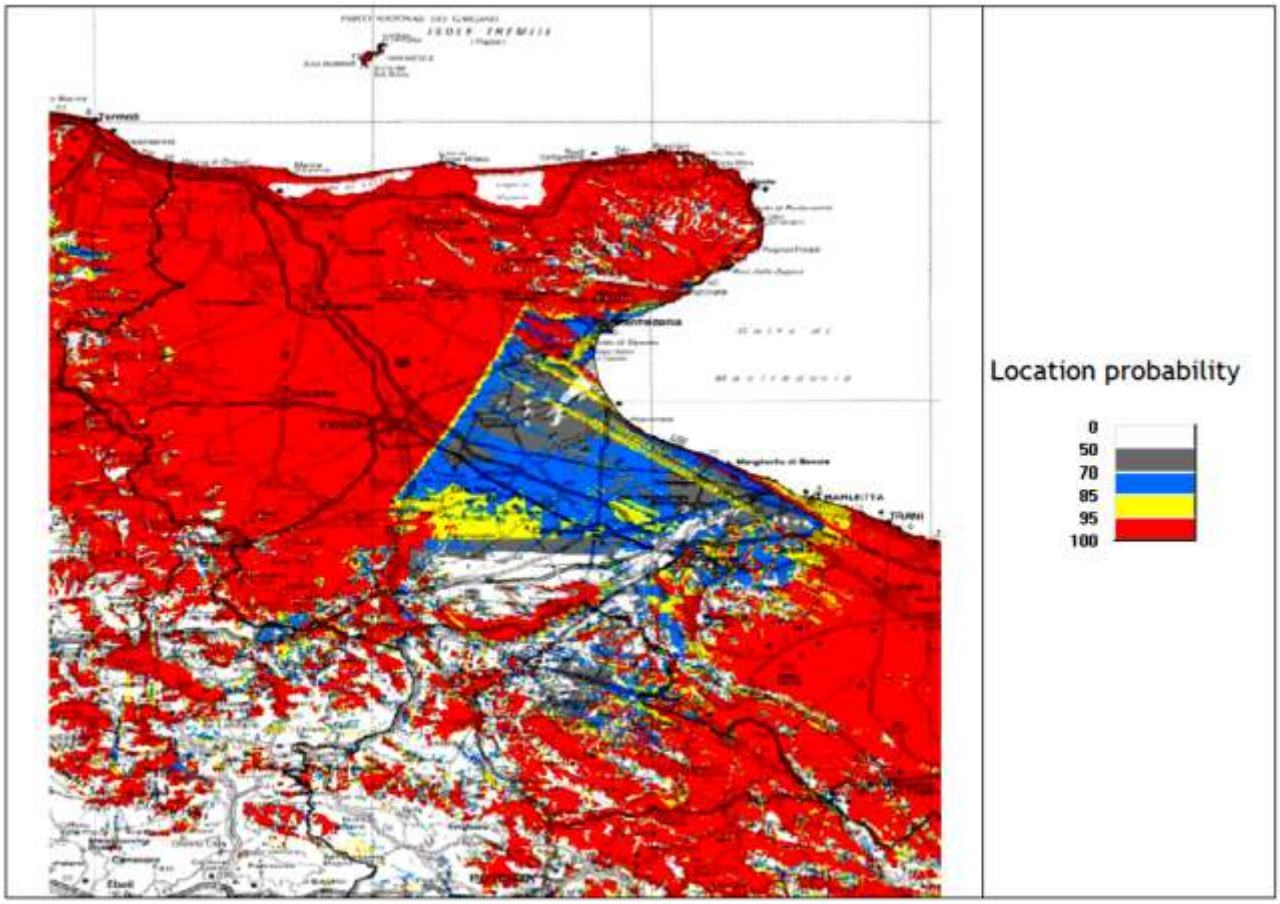
Рис. 12: Передающие пункты в Апулии

Выбор пунктов зависит от:

- требований охвата (указанных в терминах вероятности местонахождения)
- зоны обслуживания передатчиков transmitters (подтвержденной теоретически и на месте)
- приоритета использования каналов 5 и 9 в других пунктах
- наличия / поставки передающей антенны в полосе UHF
- наличия пользовательской приемной антенны в полосе UHF
- международной координации

После выбора пункта основные технические параметры, используемые для оптимизации SFN, будут следующие:

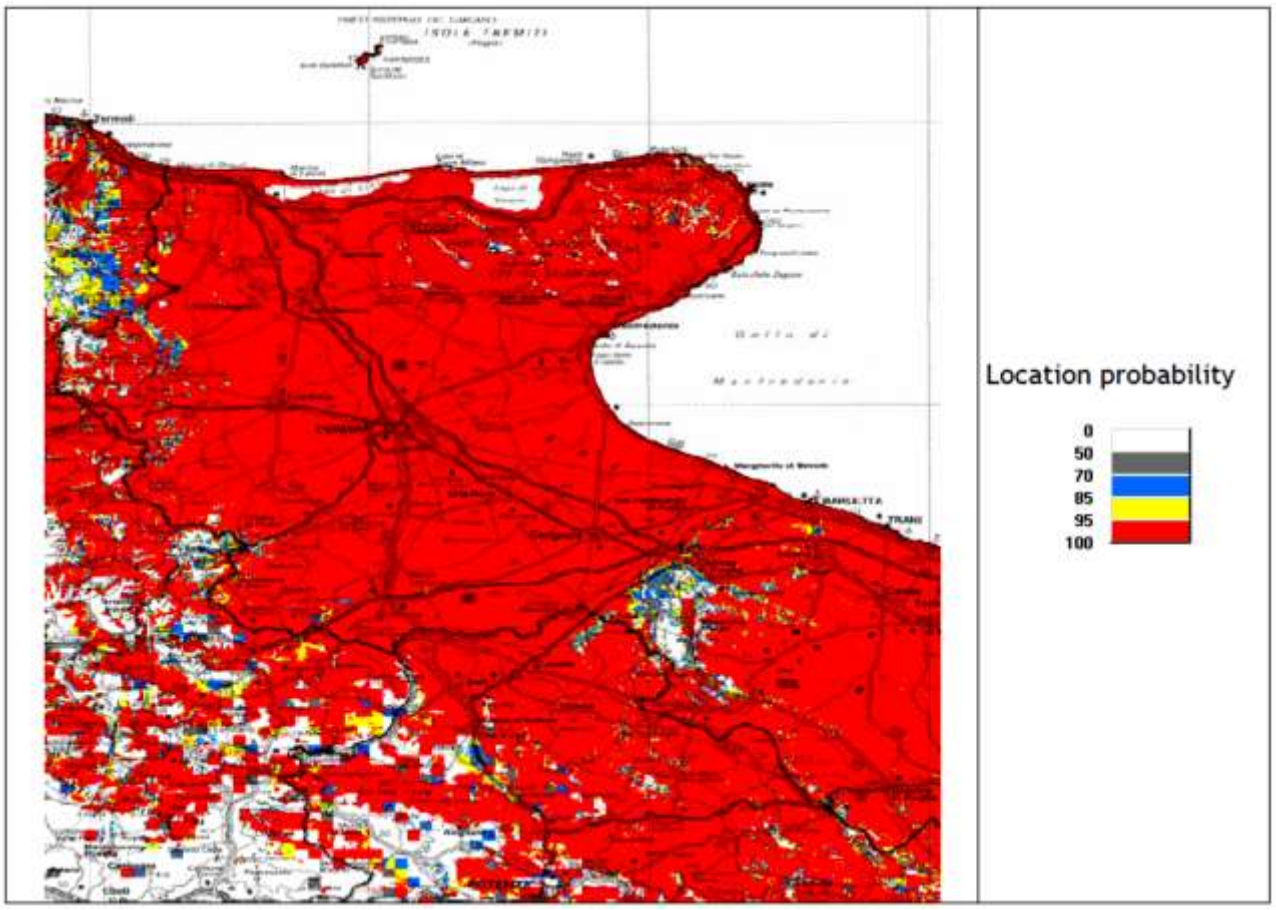
- статическая задержка каждого передатчика SFN
- диаграмма направленности антенн / мощность передатчиков



Вероятность местонахождения	Жители	Процент на региональной основе
95%	3,646,682	89.98%
90%	3,742,624	92.35%
70%	3,974,559	98.08%

Рис. 13: Охват SFN в Северной Апулии без оптимизации статической задержки / диаграмм направленности антенн

Один из пунктов с самой высокой мощностью интерференции в Апулии – M.CACCIA: На **Рис. 13** показана зона покрытия SFN в этом регионе без оптимизации статической задержки / диаграмм направленности антенн для вышеупомянутого передатчика.



Вероятность местонахождения	Жители	Процент на региональной основе
95%	4,016,147	99.10%
90%	4,031,106	99.47%
70%	4,045,670	99.83%

Рис. 14: Охват SFN в Северной Апулии после оптимизации статической задержки

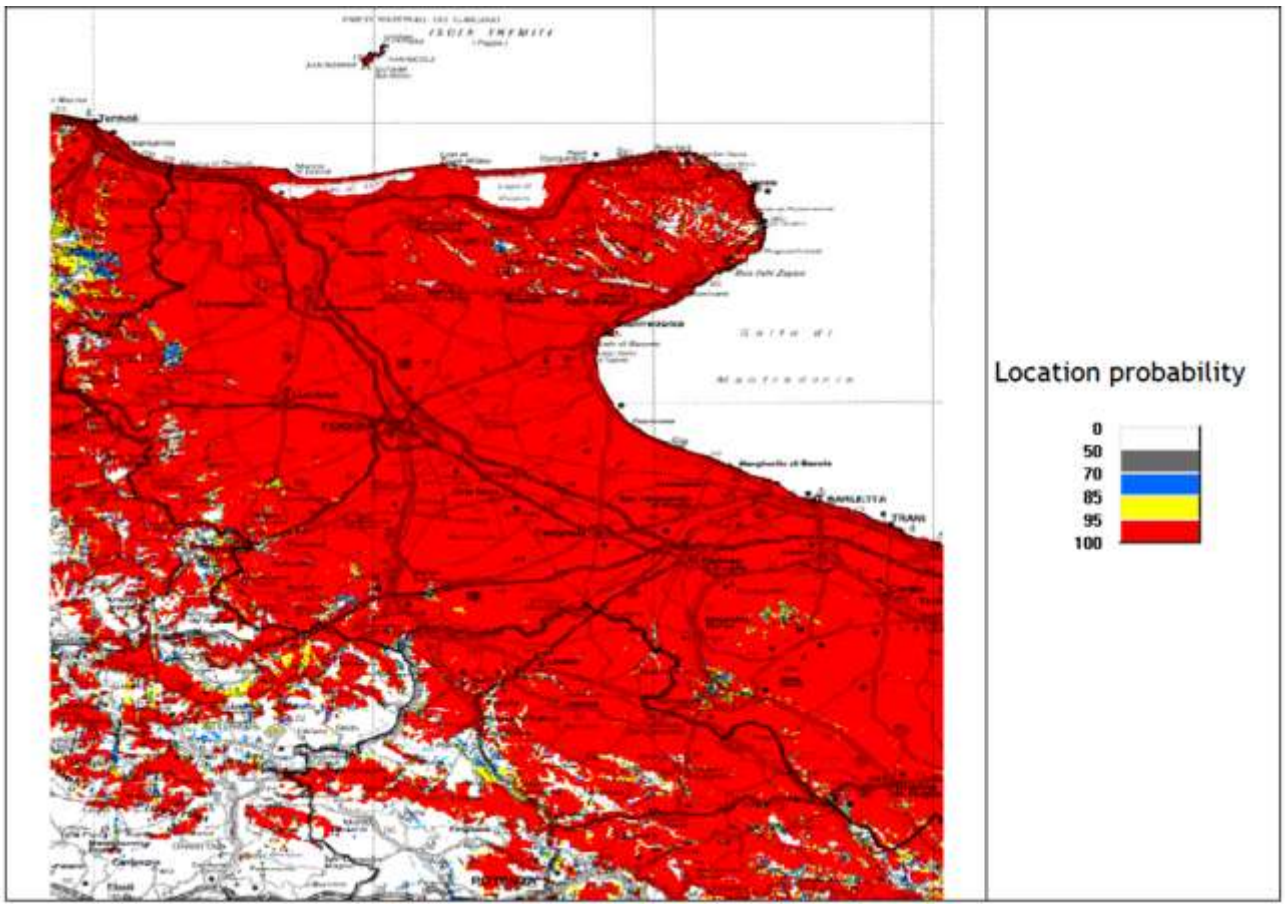
В большой зоне, между городами Фоджа и Барлетта, сила поля M.CACCIA очень высока, но сигнал некорректно синхронизируется с сигналами других пунктов SFN, особенно с другим высокомощным передатчиком M.SAMBUCO (расположенным дальше, чем 110 км). По этой причине первым действием Rai Way для улучшения охвата было проведение оптимизации статических задержек с учетом:

- требуемого битрейта (модуляции, кодовой скорости и защитного интервала)
- плотности населения (например, самые населенные города с наивысшим приоритетом)
- ожидаемой зоны обслуживания передатчиков
- основных и потенциальных источников интерференции для каждого города в зоне
- расстояния между пунктами
- эффективного диапазона статической задержки
- полевых измерений
- топографии
- опыта планирования в подобных контекстах.

Следовательно, работа Rai Way по оптимизации SFN – это сочетание теоретического анализа, полевых исследований и опыта персонала.

Чтобы найти лучшее решение, некоторые задачи процесса оптимизации можно повторить несколько раз и реализовать некоторые из них, подходящие для организации в установленные процедуры, в модуле программного обеспечения.

На **Рис. 14** показана зона покрытия SFN в Апулии после оптимизации статической задержки. Как видно, зона интерференции сильно уменьшилась и достигнут целевой охват, но остаются зоны, где качество услуг низкое.



Вероятность местонахождения	Жители	Процент на региональной основе
95%	4,039,424	99.68%
90%	4,043914	99.79%
70%	4,050,591	99.95%

Рис. 15: Охват SFN в Северной Апулии после оптимизации статической задержки и диаграмм направленности антенн

По этой причине Rai Way затем провело переформирование диаграммы направленности антенн M.CACCIA с учетом:

- городов, где M.CACCIA исторически является главным сервером и, таким образом, по-прежнему требует, чтобы его сигнал имел силу поля, подходящую для передачи услуг
- городов, где сигнал M.CACCIA имел значительную силу поля до отключения, но теперь главными серверами являются другие передатчики, т.е. его сигнал не столь необходим
- городов, где M.CACCIA исторически не являлся главным сервером, но после отключения его сигнал частично или полностью стал главным вследствие переформирования диаграммы направленности антенн / изменения частоты других передатчиков
- городов, где аналоговый охват обеспечивался M.CACCIA, но качество услуг после отключения повысилось благодаря добавлению в сеть новых пунктов

Все эти вопросы оценивались как теоретически, так и посредством полевых измерений.

На **Рис. 15** показана зона обслуживания SFN в конечной конфигурации, также после оптимизации диаграмм направленности антенн. После этих этапов оптимизации очевидно значительное улучшение охвата.

7.4 Оптимизация защитного интервала в национальной SFN

Оптимальный защитный интервал в национальной SFN будет зависеть от ряда факторов, включая размер страны, длину морских трактов и любые обязательства охвата. Великобритания – хороший пример страны, сложной для обслуживания национальной SFN, т.к. ее ширина и длина превышают длину защитного интервала любого доступного режима DVB-T2, страна окружена водой, поэтому учет морских трактов играет важную роль в любом планировании, и имеет обязательства охвата относительно наций, составляющих Объединенное Королевство (Великобританию).

Анализ охвата по всей Великобритании с национальной одночастотной сетью (SFN) был проведен Arqiva. Он был основан на DVB-T2 следующим образом:

- Схема модуляции: 256-QAM
- Режим: 32k
- Кодовая скорость: 2/3.

Прогноз охвата делался с использованием последовательности защитных интервалов для проверки влияния на охват населения. Они были в диапазоне 300 – 566 μs с дополнительным значением 900 μs в качестве верхней границы[10].

Обратите внимание, что использованные значения не содержатся в спецификации DVB-T2; таким образом, данные результаты необязательно демонстрируют практически достижимые сценарии. Скорее, задача состояла в учете продемонстрированных тенденций. Конечно, на практике изменение защитного интервала может иметь и другие вторичные эффекты. Например, с существующей спецификацией DVB-T2 изменение защитного интервала также может вести к необходимости изменения пилотного шаблона. Поэтому на практике результирующее изменение скорости передачи данных может не совпадать с первичным расчетом. Однако для данного исследования такие соображения были отброшены; любые изменения битрейта считаются исключительно вследствие изменения самого защитного интервала[11]. По этой причине при проведении анализа использовались нормализованные значения скорости передачи данных.

Расчет охвата производился с использованием 80 первичных пунктов[12]. Это число считалось достаточно большим для оценки влияния на охват и при этом достаточно малым для проведения многочисленных прогонов в разумные сроки.

7.4.1 Результаты и анализ

На **Рис. 16** показано изменение охвата[13] с защитным интервалом. Население каждой страны дано как доля общего населения этой страны.

N.B.: Заметная неровность на 566 μs – артефакт; он бывает из-за того, что на графике нет точек между 566 μs и конечной точкой 900 μs.

Как и ожидалось, охват населения растет с увеличением защитного интервала.

Следующий шаг в оценке – использование результатов для определения оптимального защитного интервала. Для этого мы должны сдвинуть растущий охват с соответствующей падающей скоростью передачи данных. Один из подходов – рассмотреть произведение населения, обслуживаемого с данной скоростью. Однако простое произведение не позволит учесть специфические требования.

Например, полный национальный охват составит минимум 98.5% населения. Следовательно, высокая скорость передачи данных менее интересна, если охват населения ниже требуемого порога. Аналогично, если обслуживается достаточная доля населения, то увеличение скорости можно считать приоритетным относительно увеличения охвата.

---

[10] Для DVB-T2 900 μs представляют защитный интервал чуть более ¼ символьного периода; считается, что не стоит изучать эффект использования защитных интервалов длиннее этой величины.

[11] Если первичный защитный интервал – дробь (1/Xold), а новый – дробь (1/Xnew), то мы предполагаем:

$$\mathrm{DataRate}_{New} = \frac{(X_{new})(X_{old}+1)}{(X_{new}+1)(X_{old})}\,\mathrm{DataRate}_{Initial}$$

[12] Британская сеть общественного телевещания (PSB) состоит из 1154 станций, 80 первичных пунктов, которые обслуживают около 95% населения, и 1074 релейных станций, обеспечивающих охват до 98.5%.

[13] Охват Великобритании основан на методологии, разработанной Joint Planning Project (JPP). Покрытие 70% мест с доступом в 99% времени.

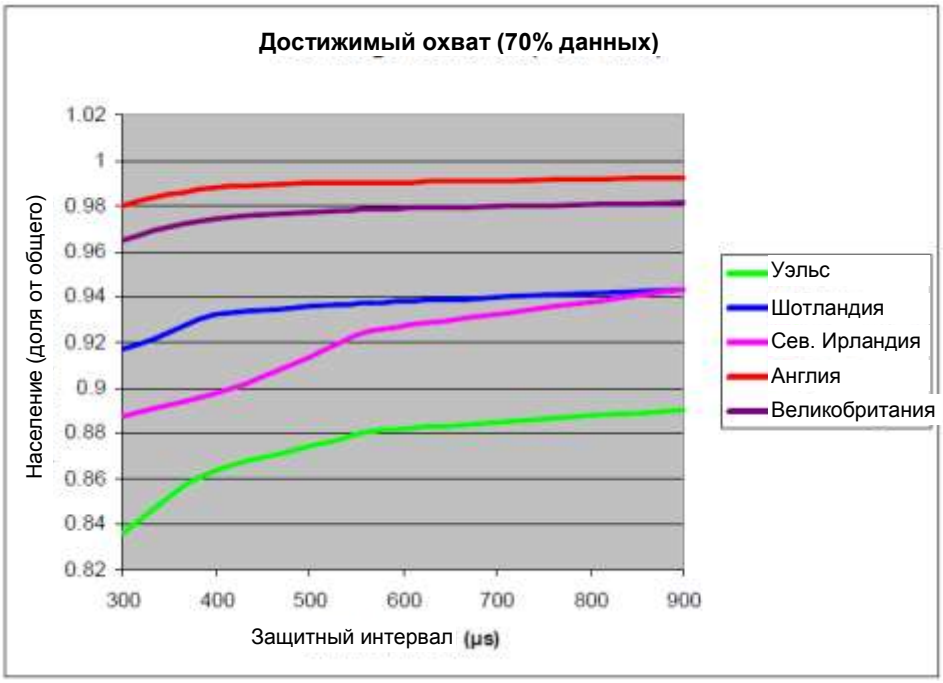


Рис. 16: Нормализованный относительный охват населения в Великобритании и составляющих ее нациях, обслуживается в 70% мест.

Для этой цели использовалось взвешенное произведение населения и скорости передачи данных.

Взвешивание производилось следующим образом:

- Определить порог охвата населения. Полный национальный охват соответствует 98.5%. Однако в данном примере, используя всего 80 первичных пунктов, мы выбрали 97.5%; дополнительные релейные пункты дадут больший охват населения.
  ср.: 80 первичных пунктов с использованием национального плана переключения (базовой конфигурации) дают общий охват Великобритании 95.5%.
- Для охвата населения ниже этого порога применять:
  (Доля обслуживаемого населения)^2 x (Нормализованная скорость передачи данных)
  иначе – применять:
  (Доля обслуживаемого населения) x (Нормализованная скорость передачи данных)^2
  т.е., при низком охвате населения больше веса придается охвату населения, а при высоком – скорости передачи.

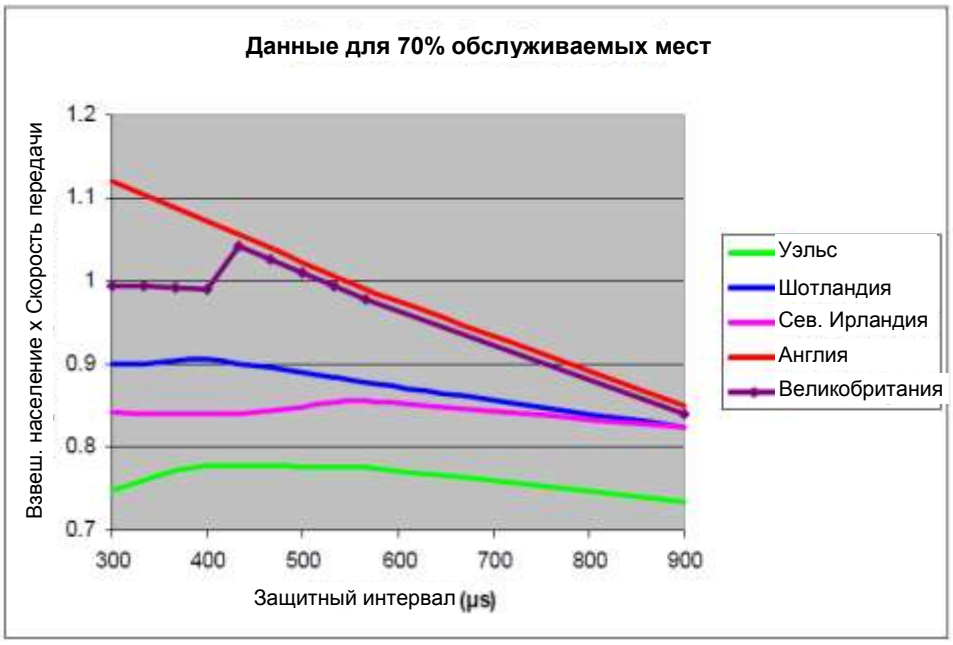


Рис. 17: Нормализованный охват, взвешенный для снижения емкости данных с увеличением защитного интервала (обслуживается 70% мест)

График на **Рис. 17** подводит результаты для 70% мест после учета снижения емкости данных с увеличением защитного интервала; график на **Рис. 18**, связан с аналогичными результатами, но для 90% мест.

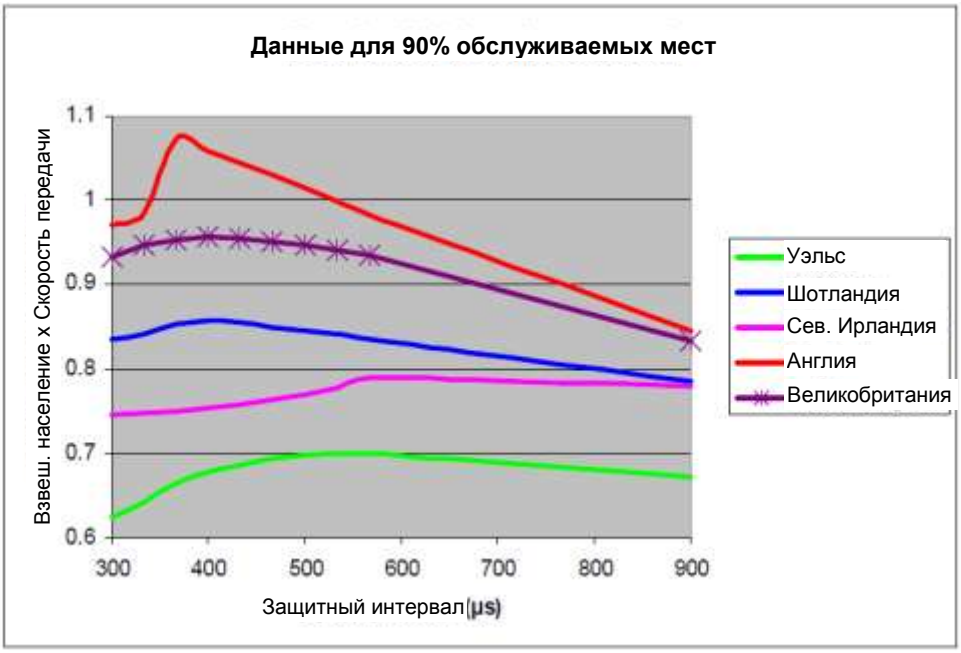


Рис. 18: Нормализованный охват, взвешенный для снижения емкости данных с увеличением защитного интервала (обслуживается 90% мест)

Обратите внимание, что числовые значения на оси ординат сами по себе неуместны. Нас интересуют относительные значения.

Применяя этот подход для Великобритании в целом, мы видим оптимальное значение защитного интервала свыше 400 µs. Если изменить порог населения до 97%, то пик графика соответствует защитному интервалу ниже 400 µs.

При повторе с данными для 90% мест максимум кривой соответствует защитному интервалу около 400 µs для порогов 97% и 97.5%.

Таким образом, в оставшейся части исследования анализ охвата SFN проводился с защитным интервалом 400 µs.

Наконец, стоит потратить немного времени на кривые для отдельных наций. Как ожидалось, в тракте британской кривой доминирует Англия и в меньшей степени – Шотландия. Это не удивительно, т.к. эти страны составляют более 90% населения Великобритании.

Если основывать защитный интервал на результатах для Уэльса и Северной Ирландии, то кривые будут предполагать больший защитный интервал. Это можно объяснить, учитывая географию.

Для Уэльса и Ирландии сигнал с более удаленных источников помех намного существеннее из-за большего процента морского тракта. И наоборот, обратное воздействие главной станции Divis (Северная Ирландия, Белфаст) на эти станции ниже в смысле общего влияния на охват в Англии.

На **Рис. 19** показано расположение пунктов. Синий круг имеет радиус, соответствующий задержке 400 µs.

Рис. 19: Расположение первичных пунктов в Великобритании

Как видно, тракты из таких пунктов как Caldbeck до Северной Ирландии преимущественно морские, а из того же пункта (Caldbeck) до материковой Британии – сухопутные. Таким образом, интерференция от Caldbeck до Северной Ирландии будет выше, чем в зонах на подобном расстоянии в Англии.

7.4.2 Резюме

Рис. 20 сравнивает охват, достижимый национальной SFN с защитным интервалом 400 μs, с охватом базовой конфигурации (MFN).

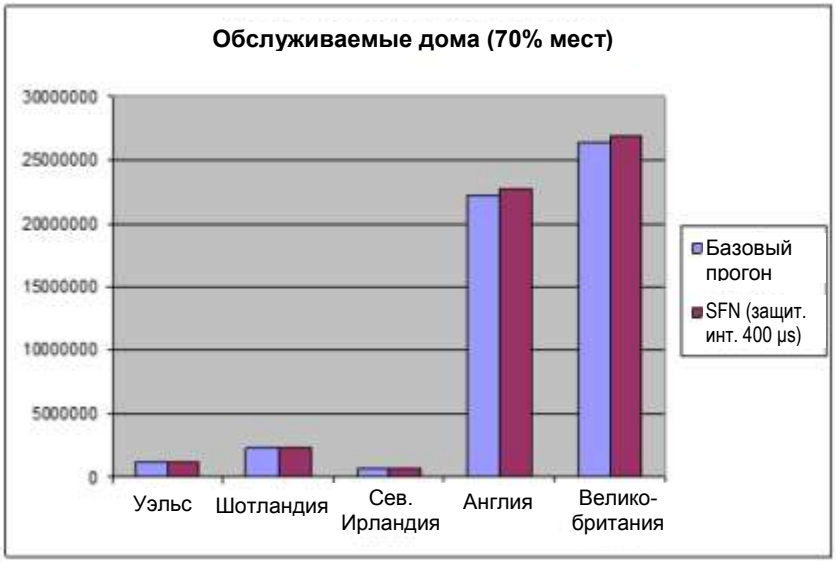


Рис. 20: Сравнение охвата национальной SFN и MFN

Как видно, национальная SFN дает общее увеличение населения в Великобритании, преимущественно в Англии. Охват в Уэльсе и Шотландии также увеличился, хотя и в меньшей степени, а в Северной Ирландии обслуживаемое населения немного уменьшилось.

Следует заметить, что сеть MFN обеспечивает 40 Mbit/s, а SFN с эффективным защитным интервалом 400 µs (фактически 448 µs) – 33 Mbit/s.

Требования к региональности в Великобритании для услуг PSB исключают использование национальной SFN.

7.5 Сети распространения для SFN

Для правильной эксплуатации SFN необходима надежная сеть распространения для передачи контента мультиплекса на передатчики внутри нее. Во многих странах эта задача решается посредством спутникового распространения, но часто и наземным, а также IP. В этом разделе описаны три примера: сеть распространения, используемая в Италии Rai Way, распространение сигнала DVB-T во Франции и DVB-T/T2 в Швеции.

7.5.1 DVB-T Sat-fed в Италии

В Италии Rai Way передает 5 мультиплексов: первый – общественный с региональным контентом, а остальные – с национальным, как указано ниже.

- **Mux1: региональный**
  - RAI 1, RAI 2, RAI 3, RAI News, Radio
  - Несколько других региональных программ в определенной зоне
  - > 22 Mbit/s
  - Охват > 99%
- **Mux2-3-4: национальные**
  - Тематические каналы (RAI Sport, RAI Movie, RAI Scuola и т.д.)
  - ≈ 20 Mbit/s
  - Охват > 90%
- **Mux5: национальный**
  - HD каналы RAI
  - В процессе определения

Логическая схема, представляющая сеть распространения DVB-T, показана на **Рис. 21**.

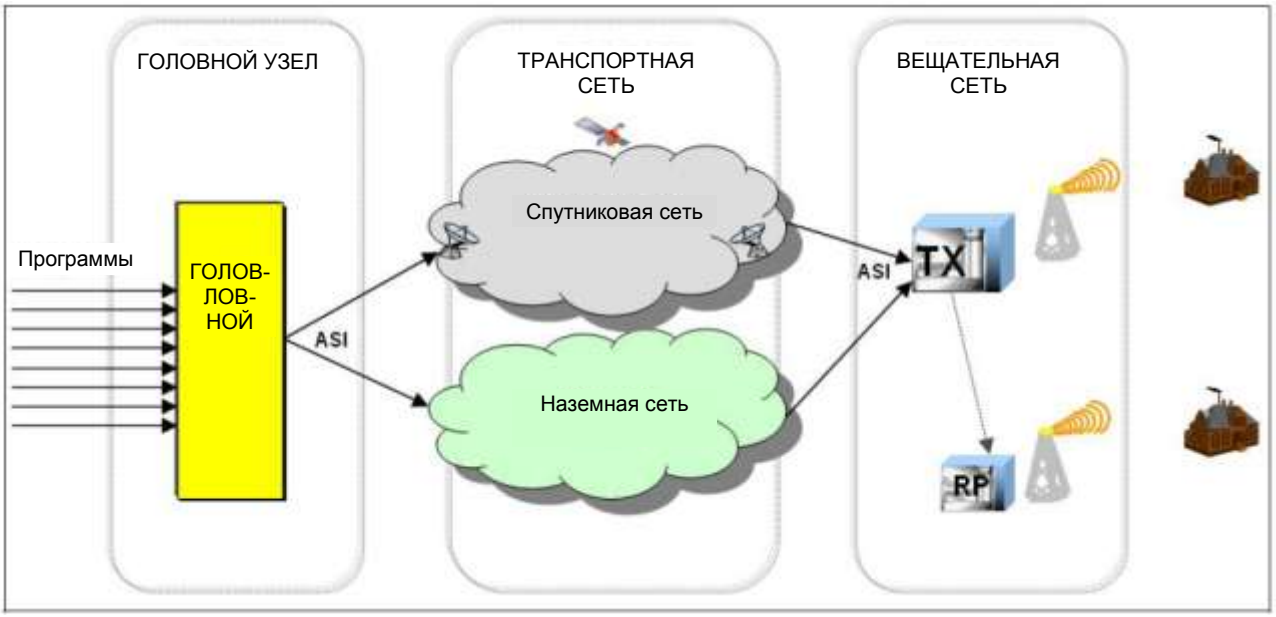


Рис. 21: Сеть распространения DVB-T

Транспортная сеть распространения использует и наземные, и спутниковые системы. Наземная сеть передачи основана на радиоканалах и арендованных волоконных линиях от Рима до региональных штаб-квартир. Эта сеть использует технологию Next Generation SDH (состоящую из преобразования TS пакетов в SDH VC). Спутниковая сеть передачи основана на 7 транспондерах (AB3 5°W / HB8 13°E) со стандартом DVB-S / DVB-S2.

1-й мультиплекс требует высокого охвата и высокого приоритета: по этой причине в конфигурации MFN главная сеть передачи наземная, а спутниковая сеть используется лишь как резерв (с системами антенн обычно ≥120 см), как показано на **Рис. 22**. Архитектура распространения становится более сложной при использовании SFN. Поскольку трудно обеспечить мелкие пункты радиоканалами, в некоторых случаях требуется спутниковое распространение (с системами антенн = 90 см). Для них региональный контент локально вставляется в базовый национальный транспортный поток (принимаемый со спутника). Этот процесс, а также SFN, требует также сигнала синхронизации, который обеспечивается через GPS.

Для мультиплексов с национальным контентом концепция аналогична: в главных пунктах, обеспечивающих около 80% охват населения, главная сеть передачи наземная, а спутниковая сеть используется лишь как резерв. В самых маленьких пунктах, охватывающих около 10% населения, единственная сеть распространения – спутниковая (с системами антенн обычно ≥120 см).

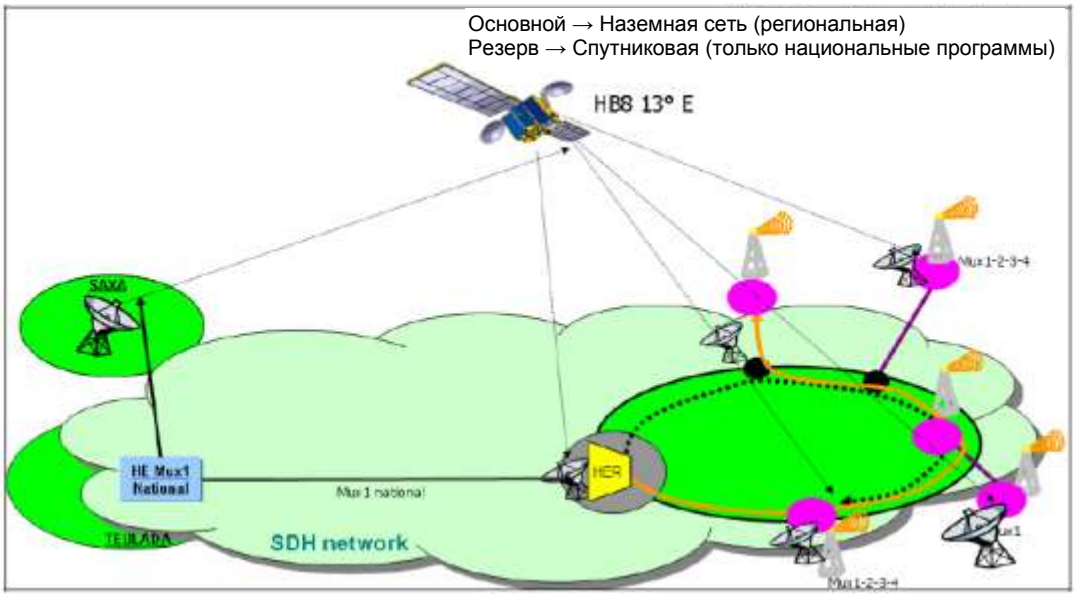


Рис. 22: Наземная сеть распространения со спутниковой сетью для резерва

По плану Rai Way сейчас оценивает различные решения для создания новых наземных сетей распространения, таких как радиоканал ASI и IP. В частности, IP – многообещающая технология с высокой гибкостью; пример описан в **§ 7.5.3**.

7.5.2 Распространение сигнала DVB-T во Франции

Во Франции сейчас передается 6 мультиплексов с частичным внедрением двух дополнительных. Первый мультиплекс передает региональный контент, а остальные – национальные программы.

Вещание всех мультиплексов основано на 1626 передающих пунктах для 98.5% охвата населения, в зависимости от мультиплекса, со следующей архитектурой:

- Все главные пункты основаны на спутниковых или наземных линиях связи
- Вторичные пункты основаны на UHF или спутниковых линиях связи (когда каналы UHF невозможны, например, из-за плохих условий распространения между передающим и приемным пунктами)

Всего есть более 10,000 каналов распространения:

- Более 3000 каналов используют спутниковые или наземные линии связи
- Остальные используют линии связи UHF:
    - 6000 релейных станций – ретрансляторы в канале (вторичные передатчики ретранслируют тот же канал, который передается родительским передатчиком), либо в SFN (одинаковый контент), либо в одном канале (одинаковый контент или локальная вставка других программ).
    - Около 660 релейных станций – ретрансляторы MFN или релейные станции (вторичные передатчики ретранслируют в другом канале в пилотный, или родительский передатчик).
    - Остальные релейные станции используют метод MFN-SFN: пилотный сигнал принимается с ретранслятора MFN, но контент и канал, в котором он ретранслируется, подразумевают, что передача является частью существующей SFN в заданном канале.

7.5.3 Распространение данных DVB-T/T2 на передатчики через IP в Швеции

Teracom в Швеции эксплуатирует сеть DTT, состоящую из 54 главных передатчиков HPHT и 450 меньших дополняющих передатчиков. Сейчас работает 7 мультиплексов DTT; 5 DVB-T и 2 DVB-T2.

В начале передач DTT в 1997 г. (официальный ввод – 1999) с DVB-T распространение сигналов на главные передатчики осуществлялось с помощью микроволновых каналов с ATM/SDH, независимо от того, работали они в MFN или SFN. На меньшие дополняющие передатчики MFN подавался сигнал с эфира с главной станции, который они переносили в другую частоту и повторяли. Локальное ремультиплексирование применялось для вставки локального и регионального контента в национальный или базовый сигнал, который был общим для всех главных передатчиков – принцип одноуровневого распространения. На **Рис. 23** приблизительно показана архитектура старой сети распространения DTT.

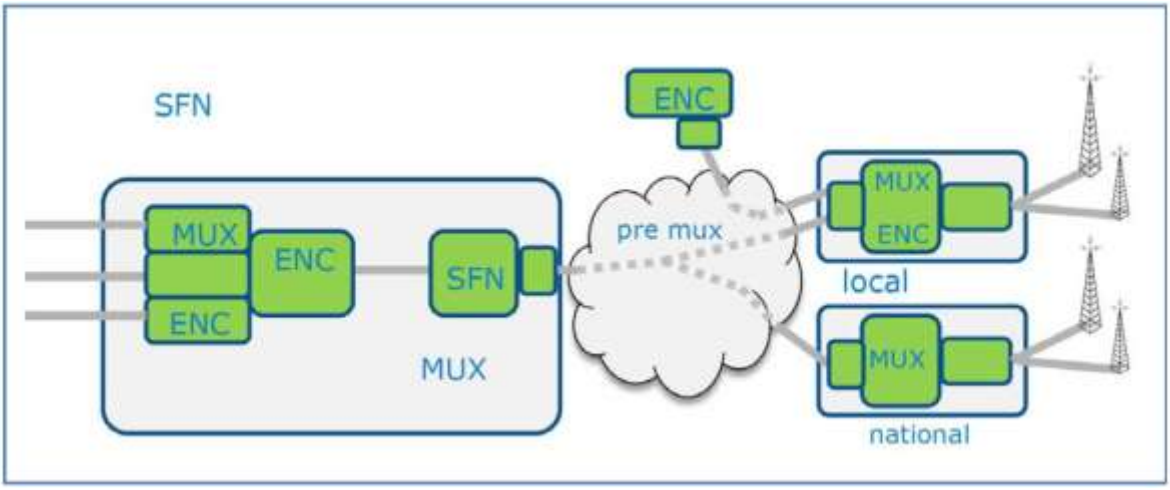


Рис. 23: Старая структура MPEG сети DTT. Кодирование (ENC) и мультиплексирование производится на национальном уровне, а также в локальных пунктах для локального / регионального контента.

Однако недавно в качестве первичного механизма распространения использовался IP/Ethernet по DTM от центрального головного узла (см. **Рис. 24**) до главных передатчиков DTT. Новая сеть распространения на базе DTM основана на двухуровневом принципе с волоконно-оптической базовой сетью большой емкости и комбинацией микроволновой и волоконной связи для сети распространения от базовой сети до передающих пунктов.

Одно из главных отличий новой архитектуры распространения (**Рис. 24**) в том, что все мультиплексы генерируются централно в головном узле. Это включает и мультиплексы, не имеющие локального контента, и мультиплексы с локальным контентом. Локальный контент / услуги возвращаются в центральный головной узел с помощью сети DTM. Затем мультиплекс распространяется вместе со всеми остальными национальными и локальными мультиплексами. Например, 2-й мультиплекс имеет национальные службы, имеющие около 30 региональных новостных зон. В центральном головном узле 30 полных региональных версий создаются и передаются в разные регионы. Локальные и региональные мультиплексы, конечно, передаются только на соответствующие региональные или локальные передатчики. Этот подход возможен потому, что стоимость первичной передачи на Mbps ниже в новой сети DTM по сравнению с прежней. Новая сеть распространения Teracom на базе DTM (базовая сеть) имеет гораздо больше емкости, чем замененная сеть на базе ATM. Вся сеть распространения DTM принадлежит и эксплуатируется Teracom.

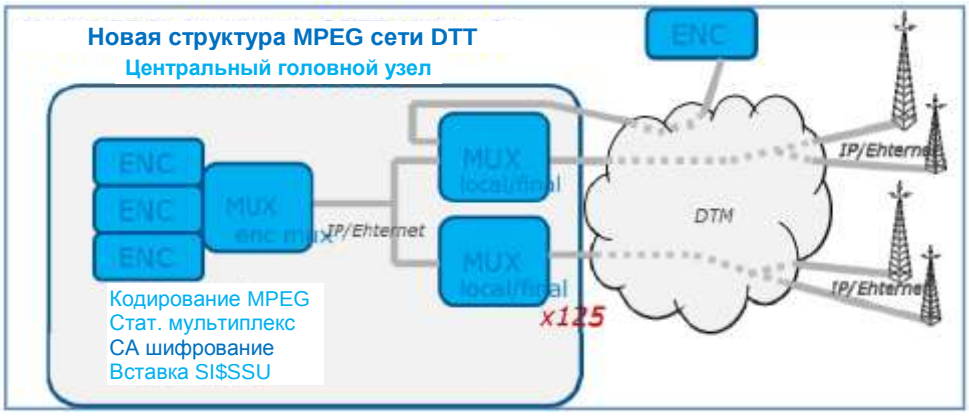


Рис. 24: Новая структура сети DTT с IP распространением

Такой подход с централизованными системами для региональной вставки и т.д. обычно означает большую стоимость первичного распространения, но это компенсируется снижением стоимости для всех региональных систем. Кроме того, это намного облегчает контроль и эксплуатацию. С централизацией региональных систем DTT (например, мультиплексирование MPEG, адаптация SFN, шлюз T2 и т.д.) возможно использовать для этих систем стратегии с гораздо большим резервом N+1, где раньше часто приходилось использовать резерв 1+1. Но в большой сети есть и другие преимущества: упрощение обслуживания, запчасти, мониторинг и т.д. Это значительно снижает затраты для региональных систем.

Это значит, что в передающем пункте снижается сложность, позволяя снизить расходы на обслуживание, т.к. это можно делать в центральном месте, а не в удаленных передающих пунктах. Соединение передатчиков также упрощается, т.к. новые передатчики подключаются к тем же сигналам, используя Ethernet в качестве интерфейса. (Однако для старых передатчиков по-прежнему используется интерфейс ASI; он управляется через внешний сетевой адаптер в передающем пункте, конвертирующий сигналы IP/Ethernet в ASI). Использование IP/Ethernet упростило переключение, когда в передатчиках используется резерв N+1.

7.6 SFN DVB-T2 и DVB-T2-Lite

7.6.1 DVB-T2-Lite

В нескольких странах уже внедрены или планируются сети DVB-T2 для передачи телевизионного контента SD и HD по наземным каналам.

Часто эти сети предназначены для стационарного приема, но растет спрос на линейный ТВ просмотр в портативных устройствах, например, планшетах. Рост численности этих устройств накладывает большую нагрузку на сети операторов мобильной связи, которые пытаются обслуживать пользователей одноадресной передачей.

Вещание, однако, технически и экономически лучше для охвата большой аудитории в пиковые часы или во время крупных событий. По этой причине в 2011 г. DVB внедрил T2-Lite **[EN 302 755]**, который поддерживает портативный и мобильный прием в дополнение к услуге DVB-T2 для стационарного приема.

Для снижения стоимости развертывания сети можно комбинировать T2-Lite с T2-Base (т.е. DVB-T2) и внедрять в существующих сетях с помощью Future Extension Frames (FEF) в стандарте DVB-T2, избегая таким образом необходимости создания новой сети, предназначенной исключительно для мобильных услуг. Краткое описание, как этого достичь, можно найти в 4-й редакции **[EBU Tech 3348]**.

7.6.2 Экспериментальные тесты в долине Аоста

Исследовательский центр RAI, в сотрудничестве с Rai Way и другими итальянскими производителями, провел испытания, где услуги HDTV для стационарного приема и мобильные ТВ услуги T2-Lite передавались в одном канале. Таким образом был продемонстрирован устойчивый прием очень разных услуг.

Испытания на базе SFN с двумя передатчиками в горной долине Аоста позволили протестировать и продемонстрировать в проблемных условиях ряд аспектов системы, включая: технические характеристики системы, производительность мобильного охвата, взаимодействие оборудования различных поставщиков, особенно для SFN, и поведение приемников в эксплуатации. Испытания проводились в канале UHF 53 с использованием на первом этапе передатчиков Aosta-Gerdaz и Saint Vincent-Salirod, результаты которых изложены здесь. На втором этапе сеть была расширена включением еще двух передатчиков: Tete d'Arpy и Col Courtil, и с новой конфигурацией GI 1/16 (56 μs) для T2-Lite. Описание второго этапа можно найти в **[AI 2014]**.

Программный пакет берет начало в головном узле, расположенном в здании RAI в Аосте, и состоит из трех программ HD для T2-Base и трех услуг, ориентированных на мобильный прием для T2-Lite. Сигнал распространялся по цифровым радиоканалам SDH.

Схема, выбранная для тестов, включала использование «смешанной» системы: сигнал T2 делился на два субкадра, один совместимый со стандартным T2-Base, а другой T2-Lite, оптимизированные соответственно для стационарного и мобильного приема.

Географический контекст вместе с размещением передатчиков и их характеристиками показан на **Рис. 25**.

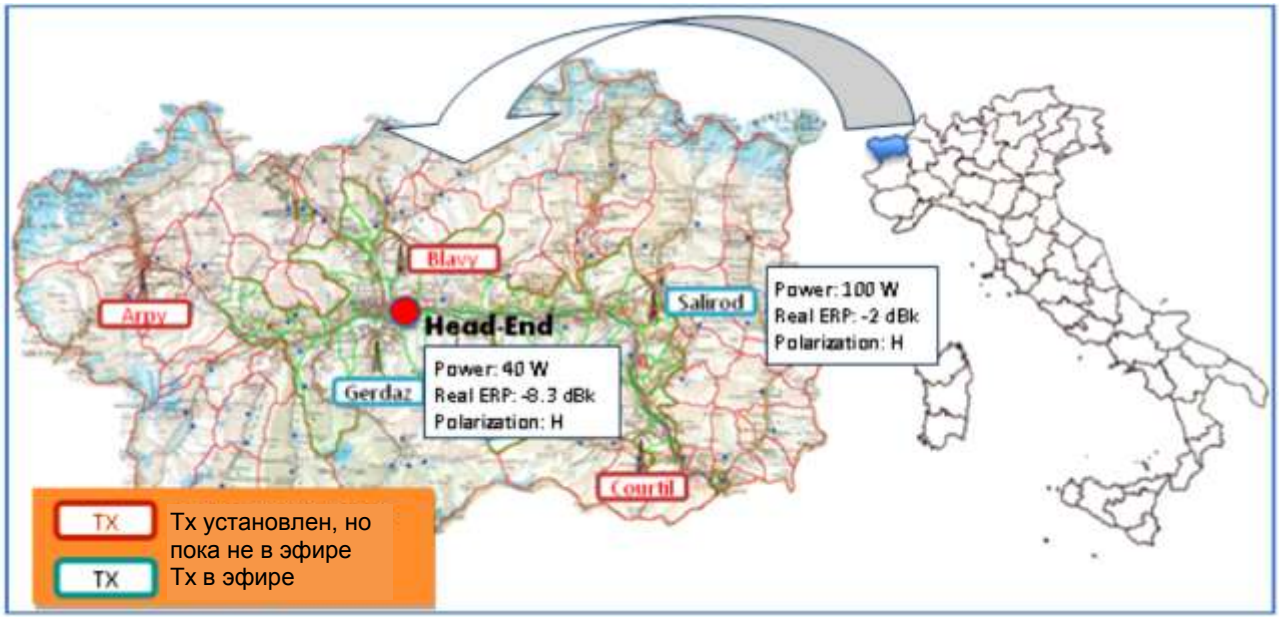


Рис. 25: Географический контекст – долина Аоста

Параметры модуляции, принятые во время полевых испытаний, следующие:

DVB-T2 Base

- Созвездие: 256-QAM, вращающееся
- FEC: 3/4 – доступный битрейт 28.2 Mbit/s
- FFT: 32k
- Защитный интервал: 1/128 (28 μs)
- Пилотный шаблон: PP7

DVB-T2-Lite

- Созвездие: QPSK вращающееся
- Тесты в трех конфигурациях FEC:
  - 1/3 - доступный битрейт 1.6 Mbit/s;
  - 1/2 - доступный битрейт 2.2 Mbit/s;
  - 2/3 - доступный битрейт 3.3 Mbit/s
- FFT: 8k
- Защитный интервал: 1/32 (28 μs)
- Пилотный шаблон: PP4

Два передатчика на первом этапе (Aosta-Gerdaz и Saint Vincent-Salirod) имеют частичный перехлест покрытия; таким образом, во избежание интерференции вне защитного интервала в этой зоне (28 μs для выбранного режима передачи к передатчику Aosta-Gerdaz применялась статическая задержка 72 μs, как изображено на **Рис. 26**.

Рис. 26: Сетевая установка испытаний T2-Lite в долине Аоста (1 этап)

Для каждого выбранного значения FEC DVB-T2-Lite были проведены измерения и охвачено более 400 км вдоль дорог долины Аоста. Результаты многообещающие. DVB-T2-Lite обеспечил отличный мобильный прием для автомобилей, движущихся на скорости до 130 км/ч. Охват очень хороший на

всех типах дорог (шоссе, автомагистрали, второстепенные дороги и т.д.) в большей части основной долины, в городских зонах (Аоста, Сент-Винсент и Шатильон), а также вполне хороший охват во многих второстепенных долинах. Наличие мобильного приема для SFN показано на **Рис. 27**.

Рис. 27: Наличие мобильного приема SFN
(принимаемый сигнал – зеленый, не принимаемый - розовый) – FEC 1/2

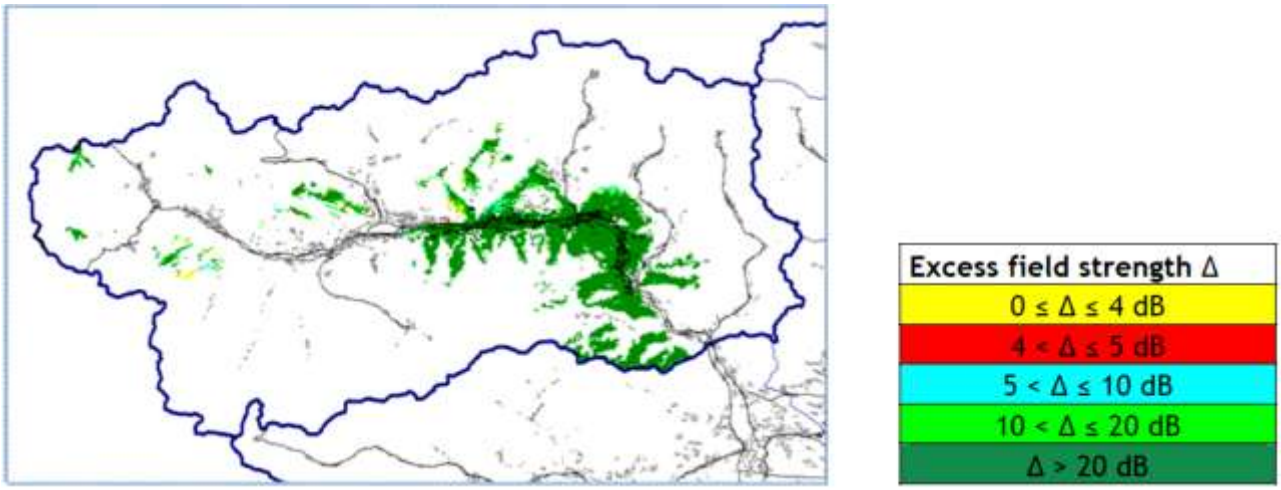


Рис. 28: Зона, где сигнал с передатчика Saint Vincent превышает сигнал с передатчика Gerdaz

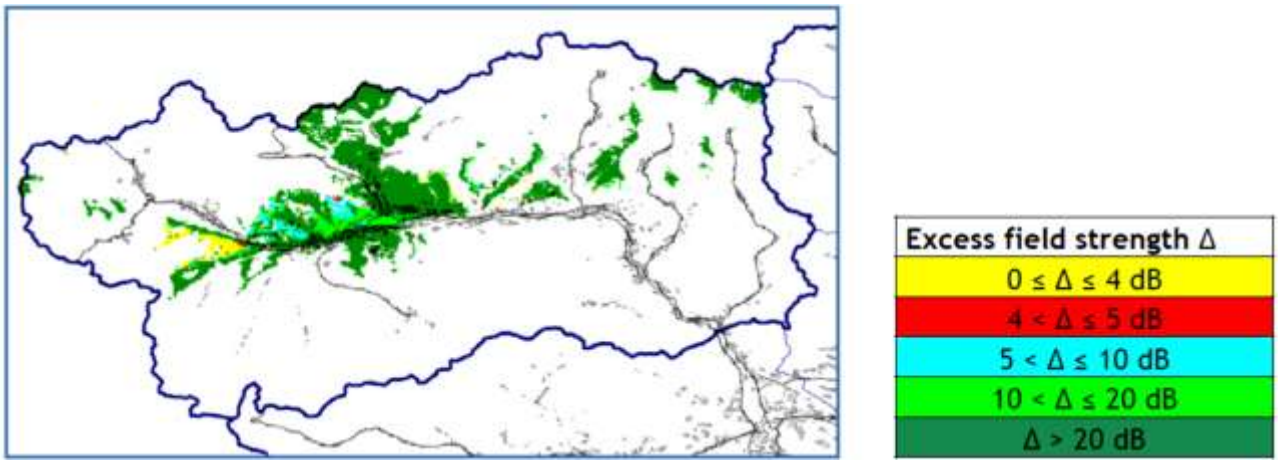


Рис. 29: Зона, где сигнал с передатчика Gerdaz превышает сигнал с передатчика Saint Vincent

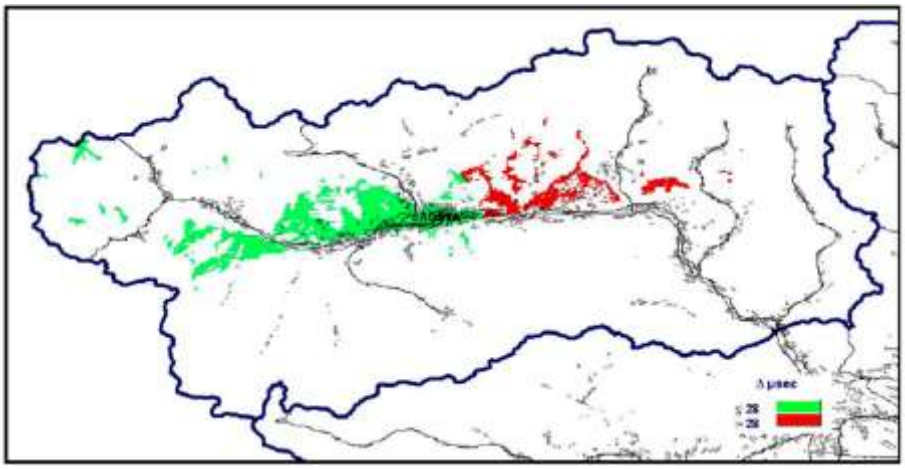


Рис. 30: Зона, где сигналы двух передатчиков находятся в GI (зеленый) и вне GI (красный)

На **Рис. 28** и **29** показано прогнозируемое превышение относительной силы поля сигналов двух передатчиков. Прием в этих зонах возможен, а в некоторых местах принимается лишь один передатчик. На **Рис. 30** показаны места, где принимаются оба передатчика, и их сигналы находятся в GI и вне GI. Совмещение зон на трех рисунках позволяет идентифицировать возможные критические зоны приема. Эти зоны были проверены во время измерительной кампании, см. **Рис. 27**.

Был выполнен тест с профилем 8k PP7, но с данной конфигурацией, при езде со скоростью 70/80 км/ч в радиальном направлении относительно передатчика, приемник не мог правильно декодировать сигнал.

Кроме того, теоретические исследования и лабораторные тесты показывают, что с профилем 8k PP4 прием возможен даже на скорости 250 км/ч и выше; поэтому данная система подходит для телевещания с приемом в скоростных поездах.

Также был выполнен ряд стационарных измерений для оценки зоны обслуживания DVB-T2-Base. Измерения проводились на 15 м выше уровня защитного интервала с направленной антенной типа «волновой канал яги» для каждого передатчика. Они показали высокий предел приема во всей прогнозируемой зоне покрытия. Предел приема измерялся затуханием входящего сигнала до порога приема.

На **Рис. 31** показано расположение тестовых пунктов вместе с результатами измерений.

Tx Gerdaz (45°42'07.18" - 7°38'33.64")				
Test point	Position	EMF [dBµv/m]	MER [dB]	Margin [dB]
Saint Christophe roundabout	45°44'21,26" 7°21'14,57"	90,5	32,9	40
Aosta cemetery	45°43'50,37" 7°21'34,18"	91,8	33,5	37
Quart cemetery	45°44'32,98" 7°22'33,33"	83,5	31,2	29
Quart station FF.SS.	45°44'39,89" 7°26'51,53"	35,8	NA	NA
Saint Pierre Nobel Chateau	45°42'33,94" 7°33'37,58"	85,3	31,0	31
Invereno school parking	45°42'53,15" 7°16'29,67"	85,2	32,9	35
Brissen-Ehins public weight	45°47'20,80" 7°30'23,34"	31,3	31,4	27
Pontboset Chapelle parking	45°43'17,05" 7°30'05,72"	35,0	31,2	31

Tx Saliroul (45°44'37.60" - 7°40'40,76")				
Test point	Position	EMF [dBµv/m]	MER [dB]	Margin [dB]
Saint Christophe roundabout	45°44'21,26" 7°21'14,57"	78,1	27,9	18
Brissogne Palafleri	45°44'13,7" 7°26'29,6"	77,0	29,7	30
Nus football court	45°44'29,27" 7°28'50,66"	75,0	30,9	20
Chambave cemetery	45°44'16,44" 7°32'56,18"	79,7	32,3	25
Chatillon Porollos van parking	45°44'56,51" 7°37'25,17"	85,0	30,0	30
Montjovet (crossroads Ollay Morad)	45°42'24,84" 7°40'05,05"	87,5	NA	32
Champdepraz Piazza Foy	45°41'09,49" 7°38'49,52"	87,0	NA	32

Рис. 31: Измерения силы поля – стационарный прием, отдельные передатчики

Для проверки SFN в зоне обслуживания, где сигналы двух передатчиков накладываются, было проведено много измерений для записи информации о спектре, импульсной характеристике, созвездии, MER, параметрах модуляции, силе поля и т.д.

Пример этих измерений показан на **Рис. 32**.

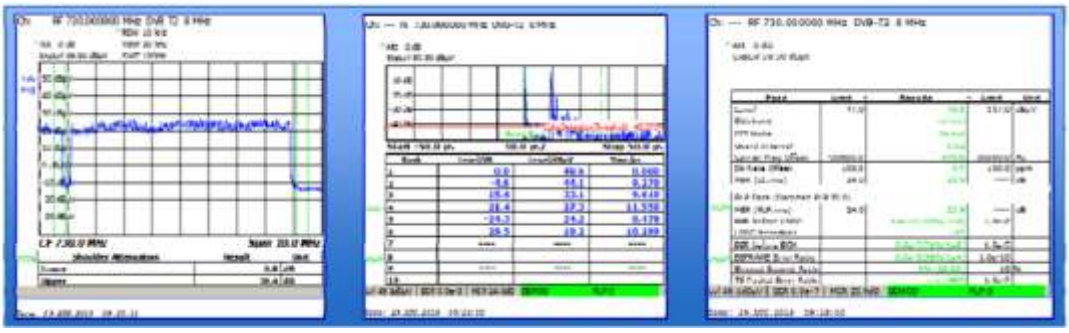


Рис. 32: Пример измерений стационарного приема SFN

8. Резюме

Настоящий отчет об одночастотных вещательных сетях включает три основные темы, связанные с DVB-T2, эффективностью использования спектра и вариантами проектирования и реализации сетей SFN.

Посредством практического анализа, максимально возможный размер и адекватный размер SFN рассматривается в свете новых вариантов параметров, обеспечиваемых DVB-T2, с одной стороны и сервисных требований вещателей с другой стороны. Оба аспекта участвуют в вопросе потребления спектра системами телевещания.

Исследования показали, что с DVB-T2, отличной от предыдущей системы DVB-T, технически осуществимы SFN в большой зоне при благоприятных условиях, даже национальные зоны обслуживания. Это достигается применением больших защитных интервалов, доступных с DVB-T2, хоть и за счет емкости данных в передаче: допустимо типичное снижение на 15% по сравнению с региональными SFN.

Региональные SFN дают хороший компромисс между национальными SFN и полными MFN. В этих конфигурациях ограниченный размер регионов позволяет избежать самоинтерференции SFN, в то же время позволяя большую полезную нагрузку и, что важно, эффективную передачу регионального контента.

Хотя национальная SFN может требовать один канал в данной стране, более широкая зона планирования (как минимум, с непосредственными соседями) подразумевает, что потребуется 4-5 частотных каналов во избежание интерференции из одной страны в другую – то же число каналов, что и в региональной SFN, где их может требоваться 4-6. Учитывая этот фактор, в сочетании с пониженной пропускной способностью национальной SFN и при том, что национальные SFN не позволяют эффективную передачу регионального контента, региональные SFN оказались привлекательным вариантом для вещателей с требованиями региональной передачи.

Во второй части отчета более подробно изучается эффективность использования спектра вещательных сетей DVB-T2. Первичная спектральная эффективность DVB-T2 (скорость передачи данных системы передачи на используемую частотную полосу) колеблется от 1.6 до 5.0 bit/s/Hz и сильно зависит от планируемого режима приема и сетевой конфигурации. MFN для стационарного приема на крыше имеют очень высокие показатели спектральной эффективности; SFN имеют меньшие цифры, т.к. емкость данных приходится тратить на преодоление самоинтерференции, а сети для портативного комнатного приема reception имеют самую низкую спектральную эффективность из-за самого сложного канала передачи.

Но спектральная эффективность идентифицируется как приблизительная метрика для оценки потребления спектра, т.к. не учитывает аспекты повторного использования частот. Для этого применяется более реалистичная концепция, Layer Spectrum Efficiency (LSE). Она выявляет, что большие SFN (умеренно) эффективнее по потреблению спектра, чем MFN или мелкие и средние SFN. Однако более уместные отличия относительно потребления спектра вводятся разными режимами приема: чем сложнее канал передачи, тем ниже эффективность использования спектра.

В следующем разделе рассматривается потребление спектра гипотетических сотовых сетей DVB-T2. Оказывается, что в принципе, сети Low-Tower-Low-Power DVB-T2 дают большую эффективность в отношении потребления спектра. Это преимущество, однако, оплачивается очень большой работой по реализации. Практический анализ для одной страны заключает. что главное преимущество сотового подхода – гибкость адаптации зоны обслуживания, а не более высокая эффективность потребления спектра.

В третьей части описаны некоторые аспекты дизайна и оптимизации SFN.

Два исследования подчеркивают актуальность учета морских трактов. Поскольку тропосферное распространение в малом проценте времени особенно актуально для этих трактов, эффекты самоинтерференции в SFN могут встречаться на расстояниях, обычно некритичных в стандартном планировании сетей.

Несколько исследований демонстрируют потенциал оптимизации статических временных задержек в планировании сетей SFN. Этот метод планирования позволяет смягчение самоинтерференции путем перемещения зон интерференции в ненаселенные районы, например, в море, или в зоны, обслуживаемые другими передатчиками, маскируя самоинтерференцию .

Исследование планирования в Великобритании изучает факторы, важные для выбора оптимального защитного интервала в гипотетической национальной SFN. Они включают размер страны, длину морских трактов и любые обязательства охвата. В данном случае оптимальное значение защитного интервала оказалось около 400 μs. Режим DVB-T2 с таким защитным интервалом теряет около 20% емкости мультиплекса по сравнению с режимом DVB-T2, который применяется в варианте MFN.

Следующий раздел посвящен сетям распространения для DVB-T/T2 SFN. Различным методы, распространение через спутниковые, наземные сети или IP описаны со ссылкой на практику трех стран.

Наконец, описано успешное размещение службы DVB-T2-Lite, обеспечивающей охват мобильных приемников в мультиплексе DVB-T2 в полевых испытаниях в Италии. T2-Lite дает возможность услуг для мобильных приемников в мультиплексе DVB-T2, предназначенном для стационарного приема на крыше.

9. Ссылки

[Al 2014] Alberico, G., et al., “DVB-T2 Lite: Exploiting broadcast HDTV networks for services to mobile receivers”, Best of IET and IBC 2014, том 6, стр. 5-11

[Ar 2009] Arqiva, “CH21 to CH60. Creation of Layers 7 and 8 in Released Spectrum”, Study by Arqiva, prepared for Ofcom, 2009 http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/spectrum/spectrum-policy-area/projects/ddr/ch21.pdf

[Ar 2011] Arqiva, “Creation of Broadcast Layers 7, 8 and 9 in 600 MHz Released Spectrum”, Study by Arqiva, prepared for Ofcom, 2011 http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/spectrum/spectrum-awards/600 MHz/600 MHz-Band-Study.pdf/ 07 марта 2011

[BNP 002] EBU Doc. SMR-BNP002rev1, “Optimal DVB-T2 system parameters for the coverage of large single frequency networks”, Contribution by IRT, EBU, Geneva, 2013

[BNP 033] EBU Doc. SMR-BNP033, “A Study on Re-use Distance in DVB-T2 Networks”, Contribution by IRT, EBU, Geneva, 2013

[BNP 084] EBU Doc. SMR-BNP084, “Spectral efficiency of the DVB-T2 LTLP single frequency network”, Contribution by IRT, EBU, Geneva, 2014

[BNP 087] EBU Doc. SMR-BNP087, “Optimisation of a DVB-T2 SFN in Malaysia”, Contribution by Progira, EBU, /Geneva, 2014

[BNP 088] EBU Doc. SMR-BNP088, “Italy experience”, Contribution by Rai Way, EBU, Geneva, 2014

[BS 2014-1] Brugger, R., Schertz, A., “TV Distribution via Cellular Networks I: Spectrum Consumption”, EBU Tech Rev Q2/2014, Geneva, 2014

[BS 2014-2] Brugger, R., Schertz, A., “TV Distribution via Cellular Networks II: Cost Aspects”, EBU Tech Rev Q2/2014, Geneva, 2014

[BT 2253] ITU Report BT.2253-0, “GPS timing receivers for DVB-T SFN application: 10 MHz phase recovery”, ITU-R, Geneva, 2012

[EDP199] EBU Doc. SMR-EDP199, “Considerations when extending SFNs using DVB-T and DVB-T2”, Contribution by Progira and DR, EBU, Geneva, 2012

[EDP 260] EBU Doc. SMR-EDP260, “Large SFN areas for DVB-T2”, Contribution by Teracom, EBU, Geneva, 2012

[EDP 261] EBU Doc. SMR-EDP261, “MFN vs SFN Efficiency”, Conribution by BBC, EBU, Geneva, 2012

[EN 302 755] ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2011 11), "Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB T2)", ETSI, Sophia Antipolis, 2011

[HL 2009] Hoeg, W., Lauterbach, Th., “Digital Audio Broadcasting - Principles and Applications of DAB, DAB + and DMB”, 3. edition, Wiley, 2009

[Ny 2014] Nygren, P., (Progira), “High and Low-tower Broadcast Networks. A study comparing network topologies and spectrum efficiency for high-tower and low-tower broadcast networks commissioned by Broadcast Networks Europe (BNE)”, Lulea, 2014, / http://www.broadcast-networks.eu/wp-content/uploads/2014/05/High-and-Low-Tower-Broadcast-Networks.pdf

[Tech 3348] EBU, “Frequency & Network Planning Aspects of DVB T2”, EBU Tech 3348, 4. ed., EBU, Geneva, 2014

[TR 016] EBU, “Benefits & Limitations of SFNs for DTT“, EBU Tech Report 16, EBU, Geneva, 2012

[TR 021] EBU, “Technical Bases for T-DAB Services Network Planning and Compatibility“, EBU Tech Report 21, EBU, Geneva, 2013, (Supercedes EBU BPN 003, 3. ed., 2003)

[TR 022] EBU, “Terrestrial Digital Television Planning Considerations“, EBU Tech Report 22, EBU, Geneva, 2013, (Supercedes EBU BPN 005, 3. ed., 2001)

[TR 023] EBU, “Report on spectrum requirements for DVB-T implementation“, EBU Tech Report 23, EBU, Geneva, 2013, (Supercedes EBU BPN 038, 2001)

[TR 024] EBU, “Planning and Implementation for T-DAB and DVB-T“, EBU Tech Report 24, EBU, Geneva, 2013, (Supercedes EBU BPN 066, 2005)

10. Сокращения

ATM	Asynchronous Transfer Mode Режим асинхронной передачи
CR	Code Rate Кодовая скорость
DTM	Dynamic synchronous Transfer Mode Режим динамической синхронной передачи
DTT	Digital Terrestrial Television Цифровое наземное телевидение
DVB-T/T2	Digital Video Broadcasting/Terrestrial Цифровое видео вещание / Наземное
FEC	Forward Error Correction Прямая коррекция ошибок
FFT	Fast Fourier Transformation Быстрое преобразование Фурье
GE06	Частотный план ITU для DTT Женева 2006
GI	Guard Interval Защитный интервал
GIF	Guard Interval Fraction (= GI) Дробь защитного интервала
HD	High Definition Высокая четкость
HTHP	High-Tower-High-Power Высокие вышки, высокая мощность
ISD	Inter-Site Distance Расстояние между пунктами
LSE	Layer Spectrum Efficiency Эффективность использования спектра уровня
LTLP	Low-Tower-Low-Power Низкие вышки, малая мощность
MFN	Multiple Frequency Network Многочастотная сеть
Mbit/s	Megabit per second Мегабит в секунду
PSB	Public Service Broadcaster Общественный вещатель
RBF	Re-use Blocking Factor Коэффициент блокировки повторного использования
SD	Standard Definition Стандартная четкость
SFN	Single Frequency Network Одночастотная сеть

Приложение A1: Теоретическое исследование максимально достижимых скоростей передачи данных для больших зон DVB-T2 SFN

(EBU SMR-BNP002r1)

IRT V/FM
Sato Telemi / Roland Brugger
29 июля 2013

Оптимальные параметры системы DVB-T2 для охвата больших одночастотных сетей

A1.1 Введение

Цель данного исследования – анализ возможностей одночастотных сетей (SFN) в DVB-T2, когда миссия состоит в покрытии большой зоны. Это может быть штат, регион или целая страна.

Планирование сети требует компромисса между размером зоны покрытия и максимально достижимой скоростью передачи данных. Другими словами, невозможно покрыть большую SFN с максимальной доступной скоростью. Это обусловлено тем, что вредную разницу задержки сигналов с разных передатчиков нужно компенсировать так называемым защитным интервалом. Этот механизм оплачивается емкостью данных. Поэтому мы пытаемся найти оптимизацию для выполнения обоих требований наилучшим путем.

В этой проблеме оптимизации есть разная степень свободы. Это расстояние между пунктами, высота антенн передатчиков, эффективная излучаемая мощность, модуляция и кодовая скорость, и, среди прочего, защитный интервал.

Для общего понимания поведения одночастотной сети в отчете сначала представлено теоретическое исследование. Цель – найти лучший операционный режим, дающий возможность покрытия зон. Здесь эти зоны – немецкая провинция Бавария и целая страна – Германия. В обоих случаях анализируются сценарии приема на крыше, портативный и мобильный.

A1.2 Параметры планирования и структура сети

Исследование большой SFN проводится в теоретической шестиугольной сети. Сеть расположена на ровной поверхности, и во время исследования не используется никаких топографических и морфографических данных. Поэтому лучший выбор – модель распространения ITU-R Rec. P.1546 **[A1-1]**.

Структура такой сети показана на **Рис. A1.1**. Расстояние между передатчиками или расстояние между пунктами (ISD) – 60 км. Это расстояние выбрано из-за подобия реальным сетям в Германии. Передающие антенны имеют эффективную высоту 300 м, и дефекты появляются из-за недостатка мощности. В реальной сети реализация мощности передатчиков будет адаптирована и может быт менее 100 kW.

Как уже говорилось, теоретические шестиугольные сети должны покрывать зоны размером с Баварию и Германию в стационарном, портативном и мобильном режимах. Поэтому выбран размер сети с тремя шестиугольными кольцами диаметром 360 км для Баварии («SFN большого размера») и шестью кольцами диаметром 720 км для Германии («SFN очень большого размера»). Ни одна из этих реальных зон не имеет форму квадрата; поэтому выбраны достаточно большие шестиугольные сети для охвата всей площади Германии и Баварии. На **Рис. A1.2** показана карта Германии с географическими размерами.

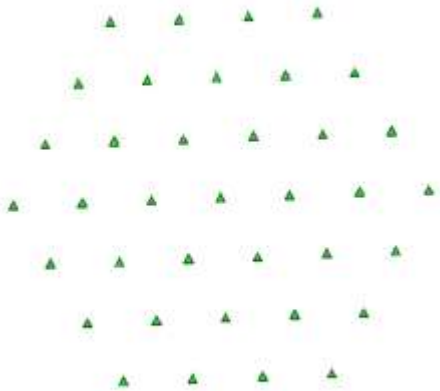


Рис. A1.1: Теоретическая шестиугольная сеть (SFN большого размера)

Рис. A1.2: Размер Германии и Баварии

В **Таблице A1.1** дан список параметров планирования, применяемых в симуляции. Они взяты либо из EBU TECH3348 по планированию DVB-T2 **[A1-2],** либо из технического приложения к Соглашению GE06 **[A1-3]**. Для стационарного приема предполагается обычная направленная антенна, описанная в ITU-R Rec. BT.419-3 **[A1-4],** а для портативного и мобильного используются простые ненаправленные приемные ТВ антенны. Их нужно отличать от встроенных карманных антенн, у которых производительность хуже. Все расчеты сделаны в Band IV/V в канале 40. Минимальная вероятность местонахождения для мобильного приема предполагается 98% (для очень большой SFN) и 98.5% (для большой SFN), соответственно, что слегка отличается от общего значения 99%. Причина прагматическая: если применять точно 99%, подходящие варианты DVB-T2 будут неудачны в процессе оптимизации только из-за небольших потенциальных пробелов в охвате. Для стационарного и портативного приема предполагается минимальная вероятность местонахождения 95%.

Таблица A1.1: Параметры планирования

	Мобильный прием	**Портативный наружный прием**	**Стационарный прием на крыше**
Шум-фактор приемника [dB]	7	7	7
Среднеквадратическое отклонение затенения [dB]	5.5	5.5	5.5
Rx высота антенны [м]	1.5	1.5	10
Вероятность охвата [%]	98.0 (очень большая SFN) 98.5 (большая SFN)	95.0	95.0
Потери в фидере [dB]	0	0	4
Усиление антенны [dB]	0	0	11
Rx диаграмма направленности антенн	Ненаправленная	Ненаправленная	Направленная ITU-R BT.419-3-Band IV/V

A1.3 Режимы DVB-T2

Было изучено большое количество режимов DVB-T2, т.е. комбинаций системных параметров DVB-T2, в поиске оптимальных вариантов. Параметры этих и некоторых дополнительных режимов подытожены в **Таблице A1.2**. Таблица содержит скорости передачи данных и значения C/N этих режимов в канале Райса и в статическом и переменном во времени каналах Релея.

Таблица A1.2: Значения C/N и скорости передачи данных для выбранных вариантов DVB-T2

Режим DVB-T2 [размер FFT / модуляция / кодовая скорость / защитный интервал / пилотный шаблон]	C/N [dB]			Скорость передачи данных [Mbit/s]
	Мобильный прием	Портативный прием	Стационар-ный прием	
16k ext, 64-QAM-2/3, 1/4, PP1	20.1	15.1	13.1	16.8
16k ext, 64-QAM-2/3, 1/4, PP1	21.9	16.9	15.2	20.1
16k ext, 64-QAM-2/3, 1/4, PP1	23.3	18.3	16.5	22.4
16k ext, 64-QAM-3/4, 1/4, PP1	25.4	20.4	18.0	25.2
16k ext, 64-QAM-4/5, 1/4, PP1	27.0	22.0	19.3	26.9
16k ext, 256-QAM-1/2, 1/4, PP1	24.5	19.5	17.5	22.3
16k ext, 256-QAM-2/3, 1/4, PP1	26.7	21.7	19.6	26.9
16k ext, 256-QAM-2/3, 1/4, PP1	28.4	23.4	21.2	30.0
6k ext, 64-QAM-1/2 ,19/128, PP2	20.1	15.07	13.1	18.3
6k ext, 64-QAM-3/5, 19/128, PP2	21.9	16.9	15.2	22.0
16k ext, 16-QAM-3/5, 19/128, PP2	16.9	11.9	10.4	14.7
32k ext, 256-QAM-3/4, 19/256, PP2	30.9	25.9	23.2	39.2
32k ext, 256-QAM-3/4, 1/8, PP2	30.9	25.9	23.2	37.5

Статический канал Релея применяется для портативного приема, переменный – для мобильного, а канал Райса – для стационарного. Эти значения выбраны в соответствии с EBU Tech 3348 по планированию DVB-T2 **[A1-2]**. Для мобильного приема добавлено еще 5 dB поверх значений статического канала Релея для оправдания переменности во времени и доплеровской деградации канала мобильной связи.

Увеличение на 5 dB для мобильного приема считается ориентировочным. Это результат измерений бытовых приемников, которые не особенно предназначены для мобильного приема, а используются скорее в среде стационарного приема. Ожидается, что в будущем появятся специальные мобильные приемники с лучшей производительностью; в частности, разнесение антенн должно быть эффективным. Поэтому результаты для мобильного приема можно считать умеренными.

A1.4 Максимальная скорость передачи данных для охвата больших зон с теоретическими SFN DVB-T2 для мобильного, портативного и стационарного приема

В этом разделе рассматривается максимально возможная скорость передачи данных с допустимой устойчивостью с охватом средних и больших SFN в режимах мобильного, портативного и стационарного приема. Был выбран следующий подход. Во-первых, все места в зоне SFN должны покрываться с минимально требуемой вероятностью местонахождения. Из всех вариантов DVB-T2, выполняющих это требование, выбран тот, что обеспечивает наибольшую скорость передачи. Вследствие высокой уязвимости режима 32k FFT к деградации Доплера этот режим исключен для портативного и мобильного приема. Хотя для мобильного приема этот факт очевиден, это условие применяется и к режиму портативного приема для гарантии определенной мобильности в этом режиме. На **Рис. A1.3** представлен снимок этого процесса. Там показана схема покрытия для мобильного приема большой SFN (360 x 360 км) для варианта DVB-T2 16k 64-QAM-2/3-GI 1/4. Цвета означают вероятность охвата; белый: (>98.5%), зеленый: (95% - 98.5%), желтый: (70% - 95%), серый: (<70%). Требование охвата выполняется, если вся зона SFN белая. Здесь этого нет. По этой причине следующий вариант нельзя считать подходящим для охвата большой SFN для мобильного приема.

На практике не нужно вычислять всю зону SFN. Высокая симметрия сетевой топологии позволяет ограничиться ее небольшой долей. Это действительно полезно, т.к. вычисления для такого большого количества передатчиков занимают много времени.

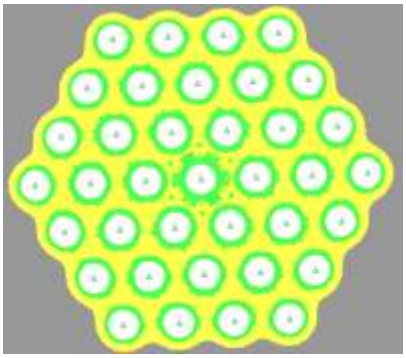


Рис. A1.3: Схема покрытия большой шестиугольной SFN (диаметр 360 км) для мобильного приема с вариантом DVB-T2 16k 64-QAM-3/4, GI=1/4 PP1

В Таблице A1.3 дан обзор результатов. Для каждой категории SFN и режима приема дан оптимальный вариант DVB-T2, обеспечивающий полный охват зоны, где критерий оптимизации – скорость передачи данных.

Таблица A1.3: Режимы DVB-T2 с максимальной скоростью передачи, позволяющие полный охват DFN

	Большая SFN (360 x 360 км)	**Очень большая SFN (720 x 720 км)**
Стационарный прием	32k-ext, 256-QAM-3/4 PP2 GI 19/256 (266 µs) Скорость передачи: 39.2 Mbit/s	32k-ext, 256-QAM-3/4 PP2 GI 1/8 (448 µs) Скорость передачи: 37.5 Mbit/s
Портативный прием	16k-ext, 64-QAM-2/3 PP1 GI 1/4 (448 µs) Скорость передачи: 30.0 Mbit/s	16k-ext, 64-QAM-3/4 PP1 GI 1/4 (448 µs) Скорость передачи: 25.2 Mbit/s
Мобильный прием	16k-ext, 64-QAM-3/5 PP1 GI 1/4 (448 µs) Скорость передачи: 20.1 Mbit/s	16k-ext, 64-QAM-1/2 PP1 GI 1/4 (448 µs) Скорость передачи: 16.8 Mbit/s

Максимальная скорость передачи для мобильного режима приема – 20.1 Mbit/s для большой SFN и 16.9 Mbit/s для очень большой SFN. При такой скорости 100% зон покрывается с вероятностью местонахождения не менее 98%. Для портативного приема эти цифры будут 30.0 Mbit/s и 25.2 Mbit/s для большой и очень большой SFN, соответственно. Для стационарного приема обнаружены режимы 32k FFT с высокой схемой модуляции, обеспечивающие скорость передачи почти 40 Mbit/s.

Далее мы сосредоточимся на портативном и мобильном приеме. Здесь выделяются три результата. Во-первых, есть большая разница между производительностью портативного и мобильного режимов приема. В предыдущем разделе уже упоминалось, что параметры мобильного приема могут быть умеренными. С другой стороны, статический канал Релея может быть слишком оптимистичен для устойчивого портативного приема. В результате можно сделать вывод, что будущие портативные и мобильные приемники DVB-T2 могут иметь производительность где-то между двумя сценариями, описанными выше. Однако, пока на рынке таких приемников нет, это остается неясным. Наше исследование как минимум доказывает, что по этой теме необходимо больше исследований.

Во-вторых, по-прежнему заметна разница в скорости передачи между сценариями большой и очень большой SFN. Это интересный результат, т.к. считалось, что размер большой SFN достаточно велик, и добавление передатчиков не особенно увеличит пагубное влияние самоинтерференции . Результаты для очень большой SFN показывают, что это не так. Даже на расстоянии в несколько сотен километров эффект самоинтерференции заметен, и добавление передатчиков влияет на результаты самоинтерференции.

В-третьих, согласно результатам, наибольший защитный интервал (448 µs в режиме 16k FFT) – самый подходящий выбор для охвата большой SFN. Можно использовать меньший защитный интервал с устойчивой кодовой скоростью, но тогда скорость передачи будет намного ниже.

Варианты DVB-T2 в **Таблице A1.3** выполняют требование полного покрытия зоны. Варианты с большей скоростью передачи не обеспечивают 100% охват зоны. Такие режимы DVB-T2 также были изучены.

Для мобильного приема и большой SFN на **Рис. A1.4** указан процент покрытых мест в порядке их вероятности местонахождения для 9 вариантов DVB-T2. В этот рисунок также включены два варианта из **Таблицы A1.3**. 64-QAM-3/5-GI 1/4 – лучший вариант, который выполняет требование 100% охвата. Другие варианты 64-QAM-GI 1/4 с менее устойчивой кодовой скоростью неудачны; однако 64-QAM-2/3-GI 1/4 со скоростью передачи 22.4 Mbit/s дает как минимум полный охват зоны с вероятностью местонахождения более 95%. 256-QAM-1/2-GI 1/4 дает похожий, чуть худший, результат почти с полным покрытием зоны. Варианты с меньшим защитным интервалом 19/128 (266 µs) показывают очень плохую производительность, которая подчеркивает критическое влияние защитного интервала. В **§ A1.5** представлено более детальное исследование аспекта защитного интервала.

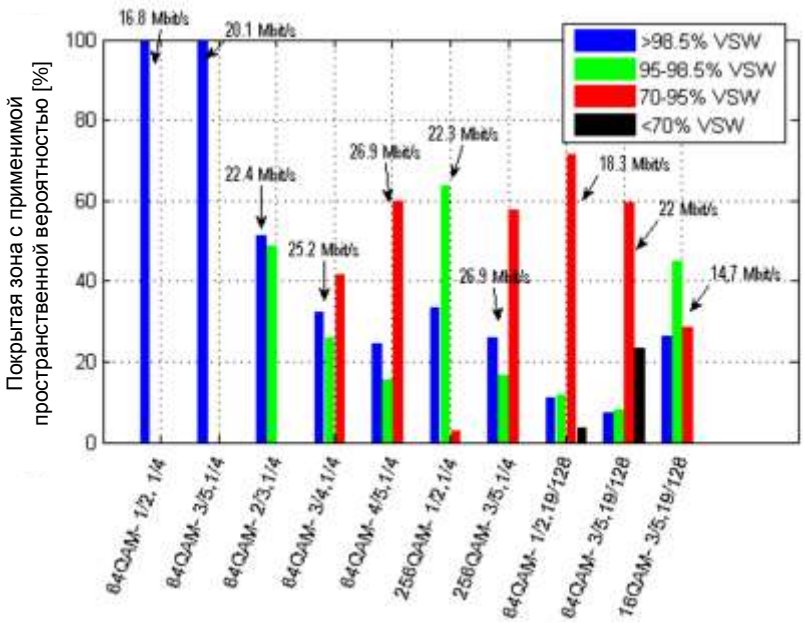


Рис. A1.4: Процент покрытых мест в большой SFN (360 x 360 км) для 9 вариантов DVB-T2 и мобильного приема в порядке по 4 классам вероятности местонахождения

На **Рис. A1.5** показаны результаты для мобильного приема и очень большой SFN. Все варианты испытывают большее ухудшение от самоинтерференции, чем в большой SFN. Сейчас только 64-QAM-1/2-GI 1/4 выполняет требования охвата. 64-QAM-3/5-GI=1/4 имеет как минимум почти полное покрытие зоны с вероятностью местонахождения 95%, а для 64-QAM-2/3-GI=1/4 процент мест с вероятностью местонахождения менее 95% уже около 20%.

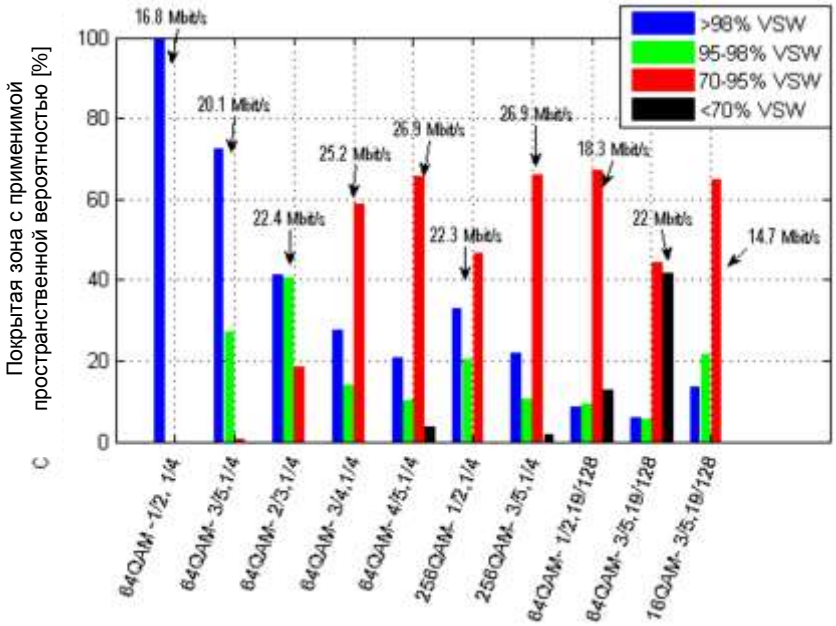


Рис. A1.5: Процент покрытых мест в очень большой SFN (720 x 720 км) для 9 вариантов DVB-T2 и мобильного приема в порядке по 4 классам вероятности местонахождения

Как уже говорилось в этом разделе, ситуация заметно улучшается, если приняты менее требовательные параметры для портативного приема по сравнению с мобильным. На **Рис. A1.6** показаны результаты для тех же 9 режимов DVB-T2 с большой SFN. Теперь все варианты GI 1/4 выполняют требования охвата. Варианты с меньшим защитным интервалом 19/128 still не могут достичь полного покрытия зоны с вероятностью местонахождения 95%. Лишь переход с модуляции 64-QAM на более устойчивую 16-QAM дает требуемый охват; однако за счет меньшей скорости передачи.

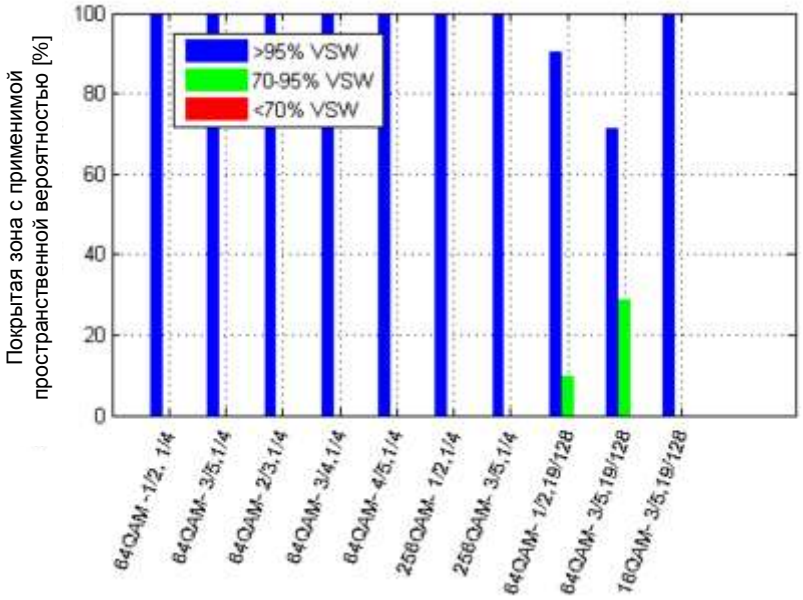


Рис. A1.6: Процент покрытых мест в большой SFN (360 x 360 км) для 9 вариантов DVB-T2 и портативного приема в порядке по 3 классам вероятности местонахождения

Ситуация для очень большой SFN, изображенная на **Рис. A1.7**, очень похожа на предыдущую. Варианты 64-QAM GI 19/128 опять неудачны; теперь с большим процентом непокрытых мест. А более устойчивый вариант 16-QAM опять выполняет требование.

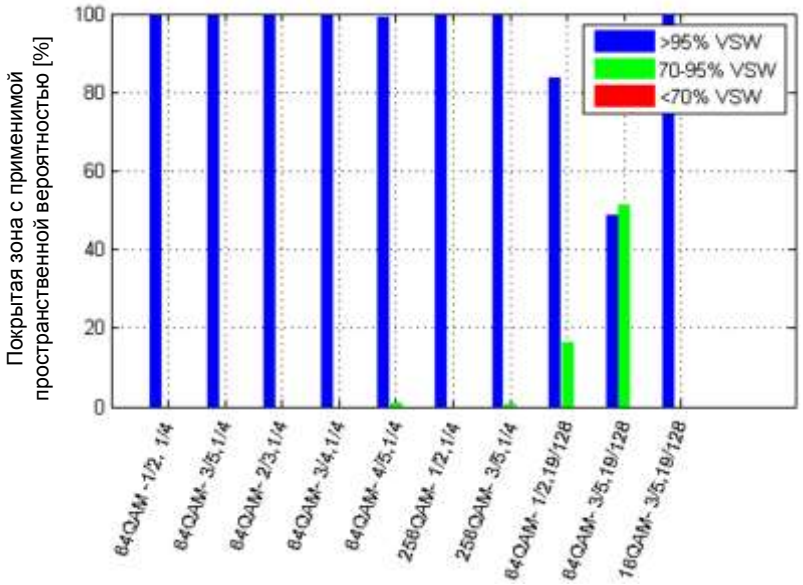


Рис. A1.7: Процент покрытых мест в очень большой SFN (720 x 720 км) для 9 вариантов DVB-T2 и портативного приема в порядке по 3 классам вероятности местонахождения

Кроме того, вкратце изучено влияние расстояния между передатчиками ISD на производительность SFN. Для примера взят режим DVB-T2 с модуляцией 64-QAM, кодовой скоростью 3/5 и защитным интервалом 19/128 для мобильного режима приема и большой SFN. В **Таблице A1.4** показано, как меняется охват, если расстояние между пунктами уменьшится с 60 до 50 км.

Таблица A1.4: Охват для определенного режима DVB-T2 с разным расстоянием между пунктами

Режим DVB-T2 64-QAM-3/5, 19/128	>98.5 % VSW	95 - 98.5% VSW	70 - 95% VSW	<70% VSW
ISD = 60 км	7.4%	8.1%	59%	23%
ISD = 50 км	13.7%	12.9%	71.2%	2.12%

Как и ожидалось, негативное влияние самоинтерференции уменьшилось. В диапазоне >95% вероятности местонахождения наблюдается улучшение на 5 – 6 процентов. Заметнее всего улучшение относительно 70% уровня. Однако изменения в большем диапазоне вероятности местонахождения не очень большие. Поэтому результаты для ISD = 60 км можно считать характерными, как минимум для Германии, где типичное расстояние от главного передатчика 50 – 60 км, а иногда даже больше.

Необходимо учитывать следующий аспект. Диаметр сети с ISD = 50 км меньше, что уже уменьшает самоинтерференцию по геометрическим причинам. Увеличение SFN до прежнего размера 360 км (или 400 км, чтобы оставаться в рамках модели шестиугольных колец) в некоторой степени уменьшит вышеупомянутое повышение производительности.

A1.5 Минимально необходимый защитный интервал для различных расстояний между пунктами и значений C/N

В этом разделе более подробно рассматривается связь защитного интервала, плотности расстановки передатчиков и устойчивости (значения C/N). Оценивается минимально необходимый защитный интервал для покрытия зоны с различными значениями C/N.

Зона – это шестиугольник диаметром 360 км. Эффективная высота антенн is 300 м, а 50 kW - эффективная излучаемая мощность. Полный охват зоны требует вероятности местонахождения 98.5% для ненаправленной приемной антенны на высоте 1.5 м. В отличие от предыдущего раздела, число шестиугольных колец теперь меняется для каждого расстояния между пунктами для покрытия той же зоны внутри шестиугольника диаметром 360 км. Лишь в двух исключительных случаях расстояния между пунктами 40 и 50 км диаметр сети – 400 км.

Защитные интервалы не обязательно выбираются из стандартных режимов DVB-T2, но это минимальные пороги, дающие возможность покрытия внутри шестиугольника. Это значит, что защитный интервал гарантирует 100% охват с вероятностью местонахождения более 98.5%. Если защитный интервал уменьшается ниже этого порога, то начинают появляться пробелы.

В данном месте компоненты самоинтерференции появляются сразу, как только относительная задержка между сигналами SFN превысит длину защитного интервала. Кроме того, после защитного интервала есть небольшая фаза, характеризуемая так называемым пороговым коэффициентом (CEQ), которая принимает часть принятых символов как полезную и часть как межсимвольную интерференцию. Теперь покрытие места выполнено, если сумма сил полезной части больше, чем сумма сил поля (плюс защитный коэффициент), вызывающая самоинтерференцию. Это тракты, которые идут после защитного интервала, плюс время CEQ. Чем больше передатчиков выпадают из защитного интервала, тем большее значение получится из суммирования сил поля, вызывающих самоинтерференцию.

Как показано на **Рис. A1.8,** защитный интервал увеличивается, когда увеличивается расстояние между пунктами и значение C/N. Эта цифра может использоваться для руководства в выборе режима DVB-T2 для определенного сценария покрытия. Для примера: режим DVB-T2 с C/N 20 dB (зеленая кривая, см. **Таблицу A1.2**), работающий в SFN с типичным расстоянием между пунктами 50 км, требует защитный интервал минимум 425 µs. Для 16k FFT есть всего одно такое значение защитного интервала – GI 1/4 (448 µs). Или второй пример – в режиме DVB-T2 с C/N 18 dB и защитным интервалом GI 19/128 (266 µs для 16k FFT) требуется типичное расстояние между передатчиками около 32 км для полного охвата зоны в большой SFN.

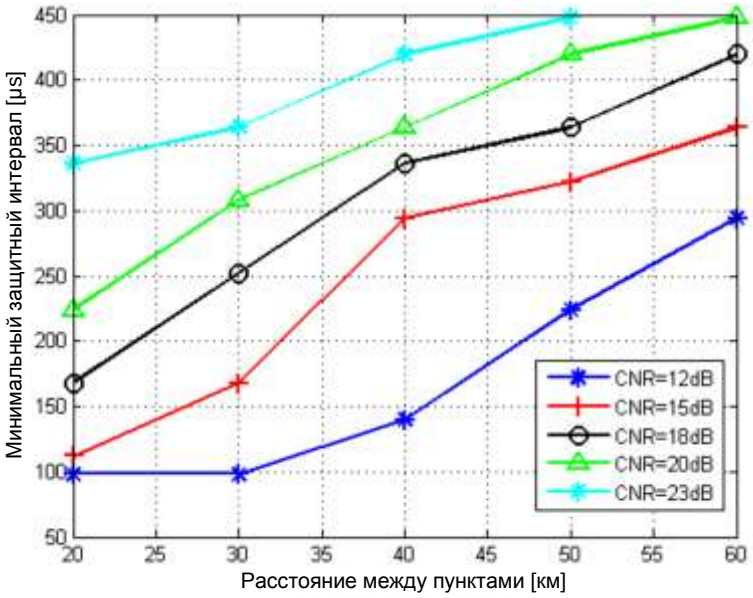


Рис. A1.8: Связь между расстоянием между пунктами, устойчивостью (C/N) и минимальным защитным интервалом

A1.6 Резюме и выводы

Теоретические шестиугольные сети используются в этом исследовании для проверки ограничений и возможностей большой SFN DVB-T2.Проанализированы два варианта, большая SFN размером 360 x 360 км и очень большая SFN размером 720 x 720 км, и определены режимы DVB-T2 с максимально достижимой скоростью передачи данных для мобильного, портативного и стационарного сценариев приема.

Кроме того, обсуждается потеря зоны покрытия в сравнении с увеличением скорости передачи. Хотя большая SFN и так довольно обширна, дополнительные кольца для увеличения размера SFN влияют на производительность сети и ухудшают прием.

Далее рассматривается компромисс между большей скоростью передачи и худшим качеством приема. С увеличением скорости уменьшается процент покрытия зоны. Например, в большой SFN можно достичь 100% охват со скоростью 20.1 Mbit/s для мобильного приема. Увеличение скорости до 22.4 Mbit/s возможно, но тогда лишь 52% мест будет покрыто с требуемой вероятностью местонахождения (>98.5%), а остальные 48% - (лишь) с 95 - 98.5%.

Менее требовательные параметры для портативного приема, по сравнению с мобильным, позволяют значительно большие скорости передачи; например, для большой SFN возможно до 30 Mbit/s. Это большое отличие обусловлено, вероятно, скромными предположениями для мобильного приема. Следовательно, необходимо более детальное определение этих параметров для лучшего моделирования мобильных приемников.

Кроме того, оказывается. что даже для большой, а также для очень большой SFN требуется защитный интервал 448 µs (GI 1/4 для режима 16k FFT). Меньшие GI не могут выполнить требований охвата. Лишь в случае портативного приема переход на более устойчивую модуляцию (с 64-QAM на 16-QAM) позволяет использование меньшего защитного интервала.

Наконец, на основе шестиугольной сети размером 360 x 360 км анализируется связь между устойчивостью и минимально необходимым защитным интервалом для сетей с различным расстоянием между пунктами. Результаты могут использоваться для руководства в процессе планирования сетей при выборе режима DVB-T2 для определенных сценариев охвата.

A1.6 Ссылки

[A1-1]: ITU-R Rec. P.1546: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz

[A1-2]: EBU Tech 3348: Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2

[A1-3]: GE06 Agreement: Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06)

[A1-4]: ITU-R Rec. BT.419-3: Directivity and polarization discrimination of antennas in the reception of television broadcasting

Приложение A2: Практический анализ больших DVB-T2 SFN в Дании

SMR-EDP199

Mats Ek
Rev.1/Lis Grete Møller, DR

2012-06-06

Факторы расширения SFN с использованием DVB-T и DV-T2

A2.1 Введение

Следующий документ описывает некоторые аспекты планирования SFN, в частности, при увеличении размера SFN. Также обсуждаются возможности сокращения использования частот при увеличении размера SFN. Для примера взята сеть DTT в Дании. Сейчас эта сеть DTT состоит из ряда MFN и региональных SFN со стандартом DVB-T. В данных примерах предполагается, что все пункты являются частью национальной SFN со стандартом DVB-T/T2.

Разные факторы SFN рассматриваются в отдельных разделах.

Стоит упомянуть, что это чисто теоретическое исследование, не учитывающее требований для локальных или региональных услуг. Также не учитываются требования из соседних стран.

Исследование показало, что реализация большой национальной SFN с DVB-T2 в целом не дает никаких улучшений в смысле эффективности использования спектра. Однако есть и другие преимущества SFN в целом. Одно из них – в мобильном или портативном приеме, где сигналы с нескольких передатчиков в каждом месте приема улучшают и расширяют охват.

SFN также относительно облегчают добавление дополняющих станций на одной частоте для улучшения охвата без необходимости перепланирования или изменения частот.

A2.2 Потеря пропускной способности в SFN

При внедрении DVB-T/T2 SFN необходимо использовать режим с большим защитным интервалом, чем в случае MFN. Для создания больших SFN с системой DVB-T часто нужен самый большой защитный интервал 1/4 (224 μs для режима 8k). Для самого распространенного режима DVB-T 64-QAM, R= 2/3 это значит, что битрейт снижается с 24.1 Mbit/s до 19.9 Mbit/s, переходя с дроби защитного интервала 1/32 (28 μs) на 1/4 (224 μs) в режиме 8k. В этом случае будет 20% потеря пропускной способности между SFN и MFN. В результате при необходимости 5 мультиплексов с MFN потребуется 6-й мультиплекс DVB-T для компенсации потери пропускной способности вследствие внедрения SFN.

С точки зрения эффективности использования спектра применение SFN должно снизить общие требования спектра на 20% для компенсации потери пропускной способности вследствие большего защитного интервала, для возможности обеспечения того же общего битрейта, что и в случае MFN.

A2.3 Размер SFN

SFN требуют тщательного планирования, и если они слишком большого размера, то передатчики в SFN начнут создавать друг другу помехи, что называется самоинтерференцией SFN. Следует отметить, что защитный интервал 224 μs позволяет SFN диаметром до 100 – 150 км, в зависимости от сетевой топологии и рельефа. Создание больших SFN диаметром 150 – 400 км может быть невозможно с системой DVB-T из-за самоинтерференции SFN.

Однако при использовании DVB-T2 есть дополнительные варианты защитного интервала. Возможно создание SFN с охватом больших зон с меньшей потерей пропускной способности благодаря использованию режимов 32k или 16k. Например, режим DVB-T2 32k 256-QAM R= 3/5 с защитным интервалом 1/8, 448 μs или 19/128, 532 μs.

Использование одного из этих вариантов DVB-T2 SFN снизит потери пропускной способности с 20% (DVB-T) до 15% (DVB-T2 – для дроби GI 19/128) или 12% (DVB-T2 – для дроби GI 1/8). Недостаток применения режима 32k – отсутствие мобильного приема.

A2.4 Ограничение в локальных / региональных программах

Один из недостатков использования больших (национальных) SFN – невозможность внедрения региональных или локальных программ. Программы должны быть идентичны для всех передатчиков в SFN, если передатчики не будут создавать друг другу помехи. Важное преимущество наземной передачи – возможность обеспечения локальных или региональных программ хотя бы в какое-то время, например, во время рекламы. Во многих странах одной из главных областей роста наземного ТВ считается региональная или локальная передача, где, например, спутниковой передаче трудно конкурировать.

A2.5 Пример большой (национальной) SFN в Дании

В целях обозначения некоторых факторов, связанных с планированием SFN, ниже приведены примеры планирования.

Возьмем для примера цифровую ТВ сеть DR в Дании. Сеть состоит из 47 передатчиков; 18 главных и 29 меньших. Сейчас сеть состоит в основном из региональных SFN с типичным диаметром до 150 км, а а некоторых случаях – до 165 км.

На **Рис. A2.1** показан прогнозируемый охват с антеннами на крыше, когда сеть DTT превратится в национальную SFN (кроме острова Борнхольм) с DVB-T, режимом 64-QAM R=2/3 и GI= 1/4 (224 µs), что приведет к битрейту 19.9 Mbit/s[14]. Ясно, что эта SFN не будет работать. Охват будет весьма ограничен. Будет обслуживаться лишь 37% населения, в то время как при нынешней сети DVB-T с комбинацией MFN и региональных SFN охват населения составляет 99.7%. Сеть слишком большая, чтобы работать как SFN со стандартом DVB-T. Зоны, выделенные красным цветом на **Рис. A2.2,** будут иметь ограничения из-за самоинтерференции SFN.

Однако при использовании стандарта DVB-T2 (**Рис. A2.3**) с режимом 256-QAM, кодовой скоростью 3/5, GI= 1/8 (448 µs) прогнозируемый охват становится намного лучше. Расчетный охват населения – около 97.0% Этот режим DVB-T2 имеет значение C/N, очень близкое к режиму DVB-T на **Рис. A2.1,** и дает битрейт 29.9 Mbit/s. На **Рис. A2.4** мы видим потенциальные зоны, где может быть самоинтерференция. Ясно, что остаются зоны, где возможны проблемы даже при использовании этого очень большого защитного интервала. Следовательно, самоинтерференция может затрагивать около 2.5% населения.

[14] Этот режим также используется в нынешней сети.

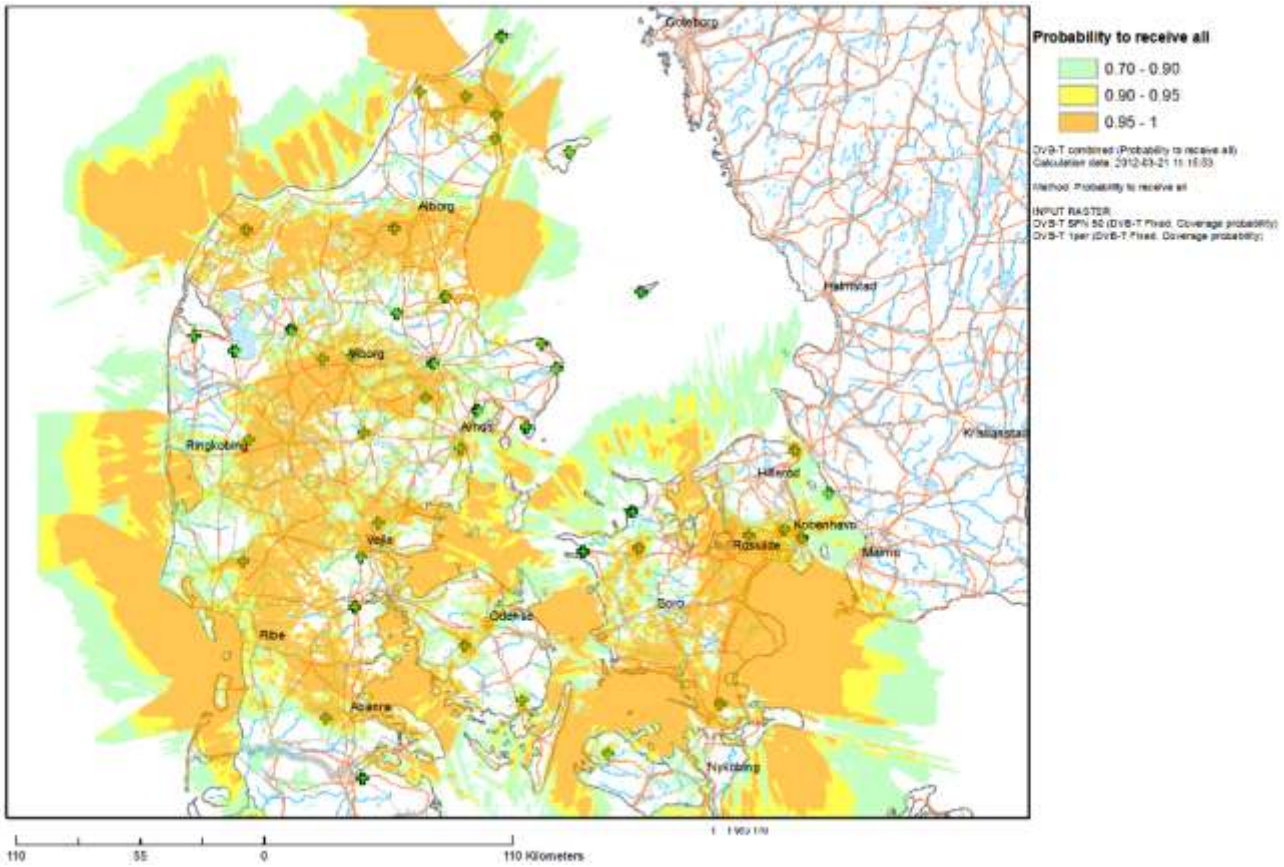


Рис. A2.1: Национальная DVB-T SFN 64-QAM R = 2/3 TG 1/4 (224 µs)

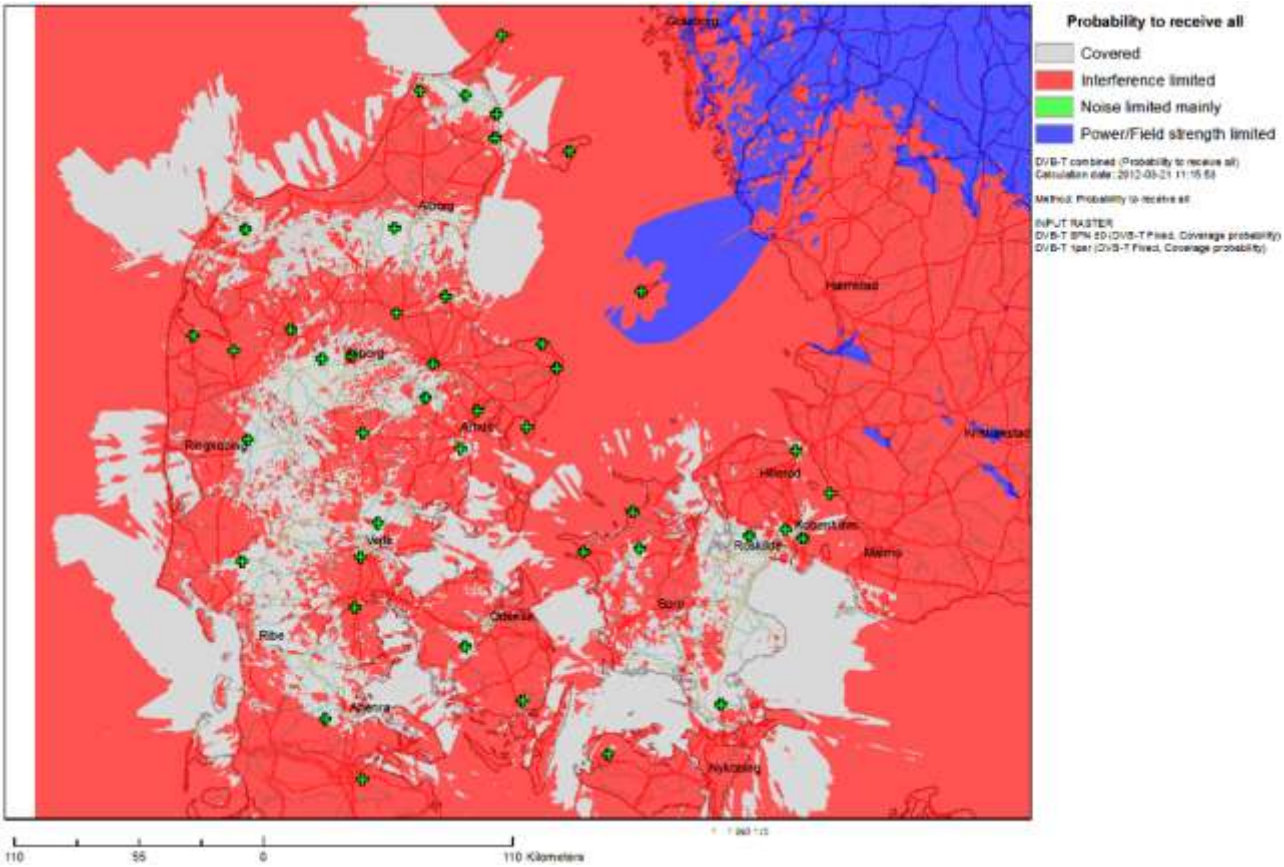


Рис. A2.2: Национальная DVB-T SFN 64-QAM R = 2/3 TG 1/4 (224 µs) Самоинтерференция

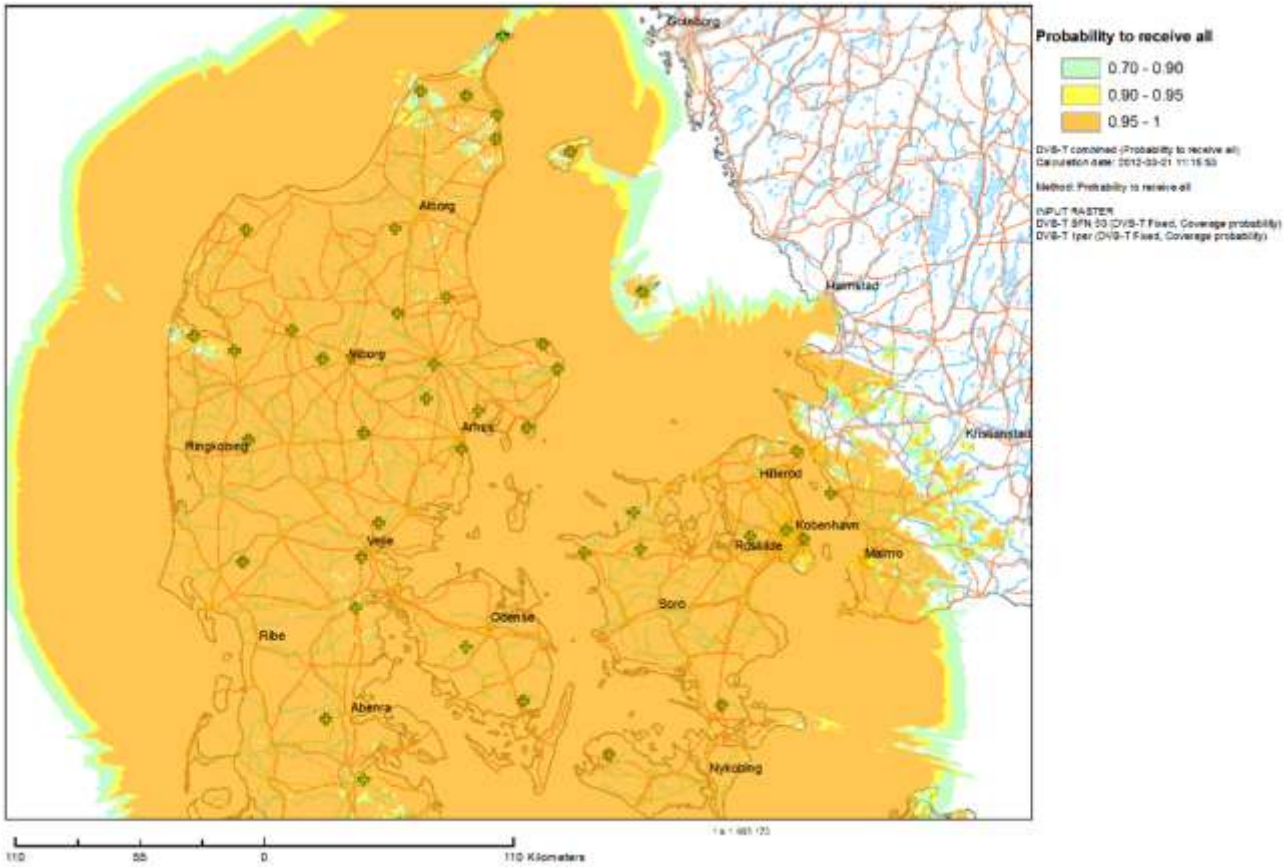


Рис. A2.3: Национальная DVB-T2 SFN 256-QAM R = 3/5 TG 1/8 (448 µs) Стационарный прием

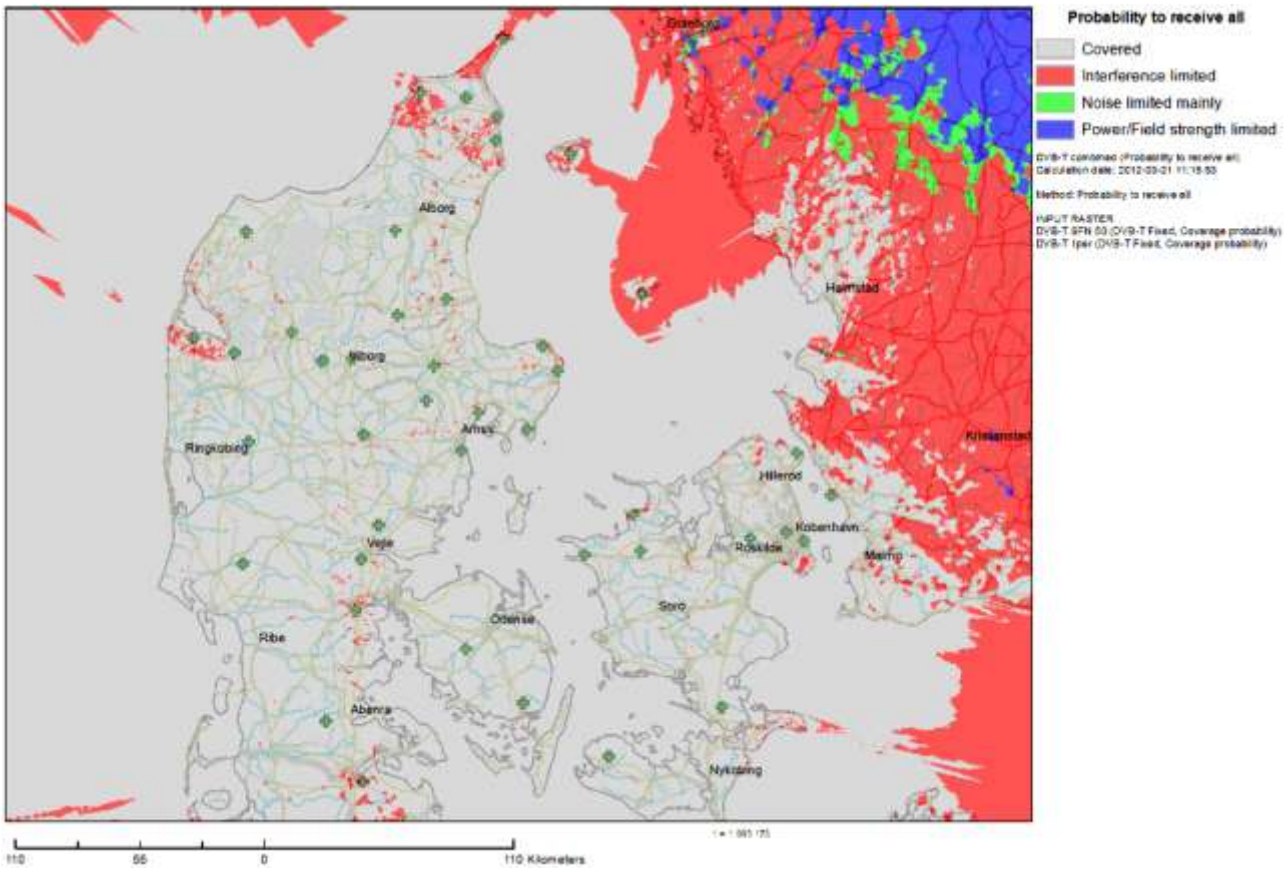


Рис. A2.4: Национальная DVB-T2 SFN 256-QAM R = 3/5 TG 1/8 (448 µs) Самоинтерференция

Если теперь попытаться решить эту проблему самоинтерференции увеличением защитного интервала до 19/128 (532 µs), мы увидим, что проблема уменьшилась лишь ненамного (**Рис. A2.5**). Потенци-

альные зоны самоинтерференции показаны на **Рис. A2.6**. Охват населения теперь 97.1%. В этом режиме битрейт будет около 29.4 Mbit/s.

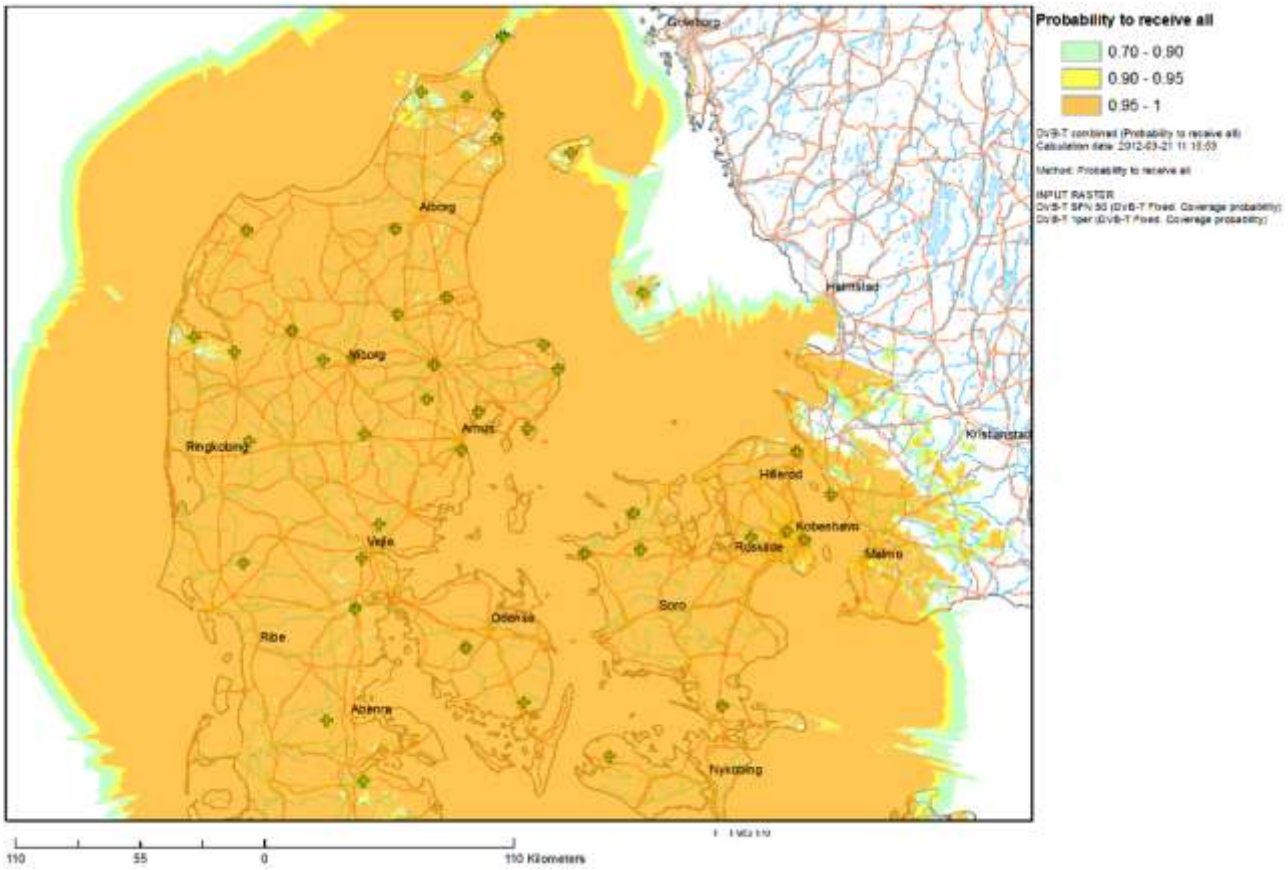


Рис. A2.5: Национальная DVB-T2 SFN 256-QAM R = 3/5 TG 19/128 (532 µs)

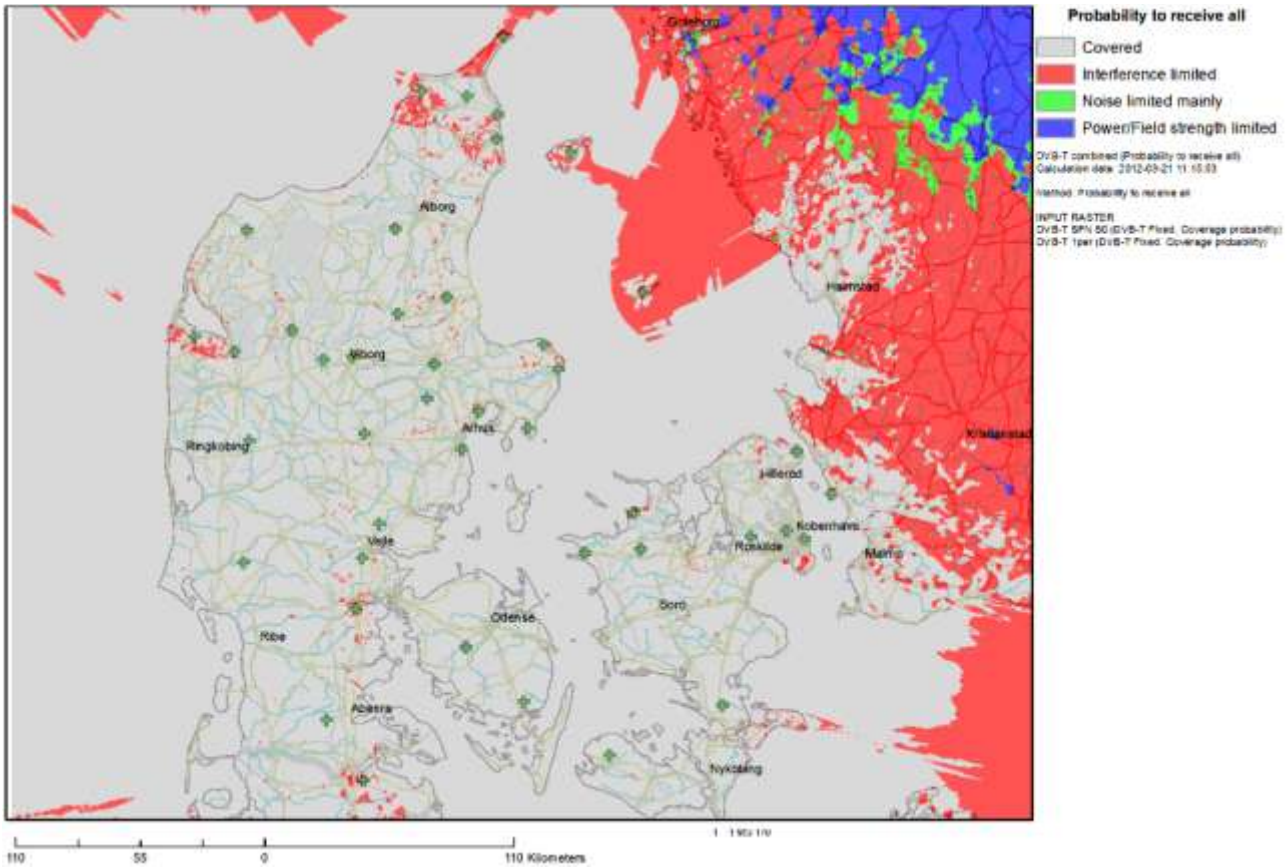


Рис. A2.6: Национальная DVB-T2 SFN 256-QAM R = 3/5 TG 19/128 (532 µs) Самоинтерференция

Итак, из этих симуляций можно сделать вывод, что даже при использовании DVB-T2 может быть трудно создание очень большой национальной SFN. В случае Дании ситуация особая, т.к. между датскими островами есть морские тракты, ведущие к хорошему распространению на дальние расстояния (в частности) в меньший процент времени, что может время от времени создавать самоинтерференцию SFN. Даже если дополнительные ретрансляторы смогут заполнить некоторые непокрытые зоны, также ясно, что большое количество пикселей, страдающих от самоинтерференции, разбросано по всей стране и не может легко покрываться дополнительными ретрансляторами.

В меньших региональных SFN обычно возможно оптимизировать охват, например, с помощью задержек в определенных передатчиках и направленных передающих антеннах. Однако в сети SFN такого размера и с таким количеством передатчиков обычно сложно полностью исключить самоинтерференцию SFN без значительных инвестиций в дополнительную инфраструктуру. Результатом, например, добавления временной задержки в некоторых передатчиках будет перемещение зон самоинтерференции в другие места.

Остается возможность использования более устойчивого режима DVB-T2; однако это приведет к дальнейшей потере пропускной способности. На **Рис. A2.7** показан результат симуляции с режимом DVB-T2 64-QAM R=3/5 и GI-дробью 19/128 (532 μs). Охват населения – чуть менее 99%, т.е. остаются небольшие зоны, где возможна самоинтерференция (**Рис. A2.8**). Этот вариант системы имеет C/N около 15 dB и пропускную способность 21.8 Mbit/s. Другими словами, этот режим будет иметь более или менее ту же пропускную способность, что и ныне работающая сеть DVB-T! Это значит, что пропускная способность в каждом мультиплексе не изменится при переходе с DVB-T на DVB-T2.

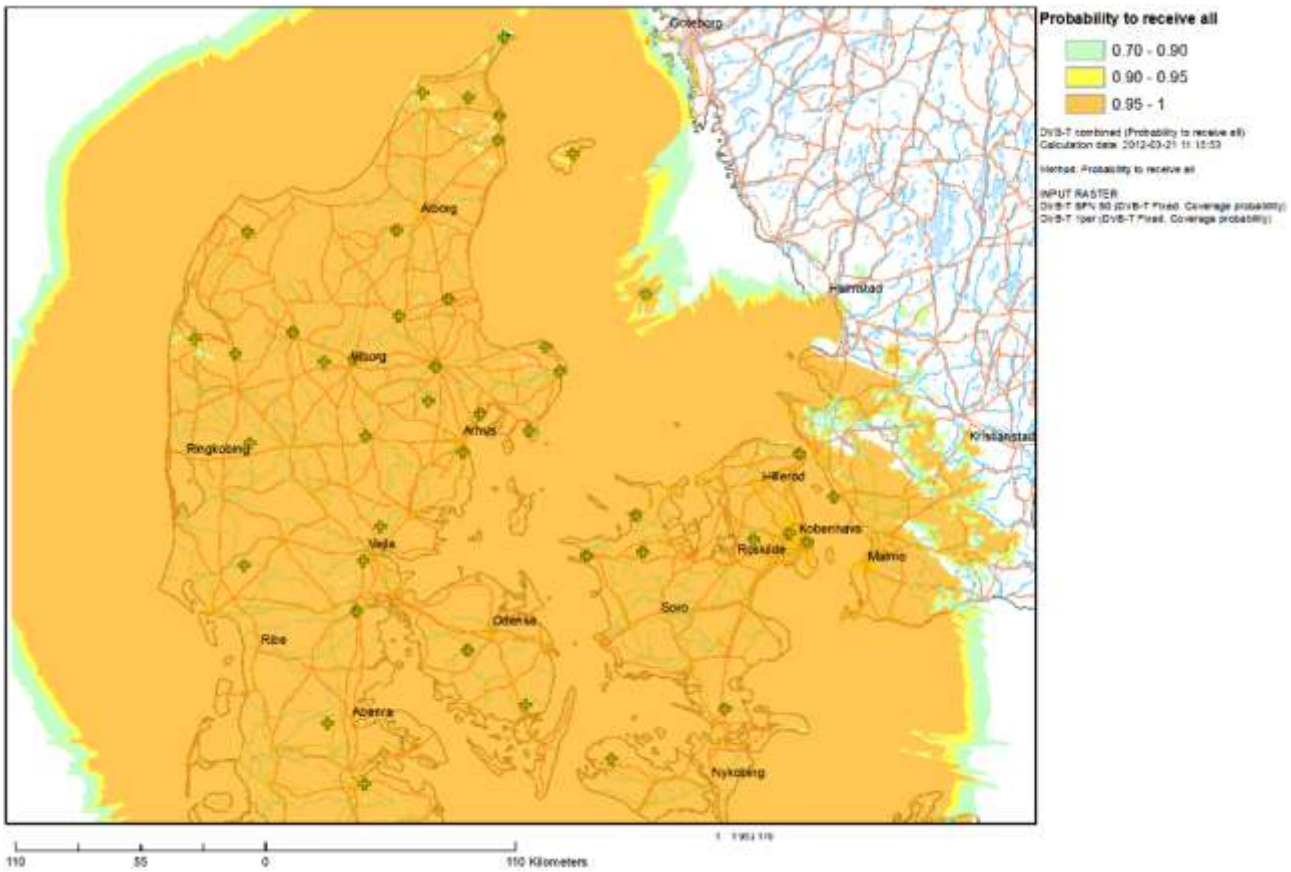


Рис. A2.7: Национальная DVB-T2 SFN 64-QAM R = 3/5 TG 19/128 (532 μs)

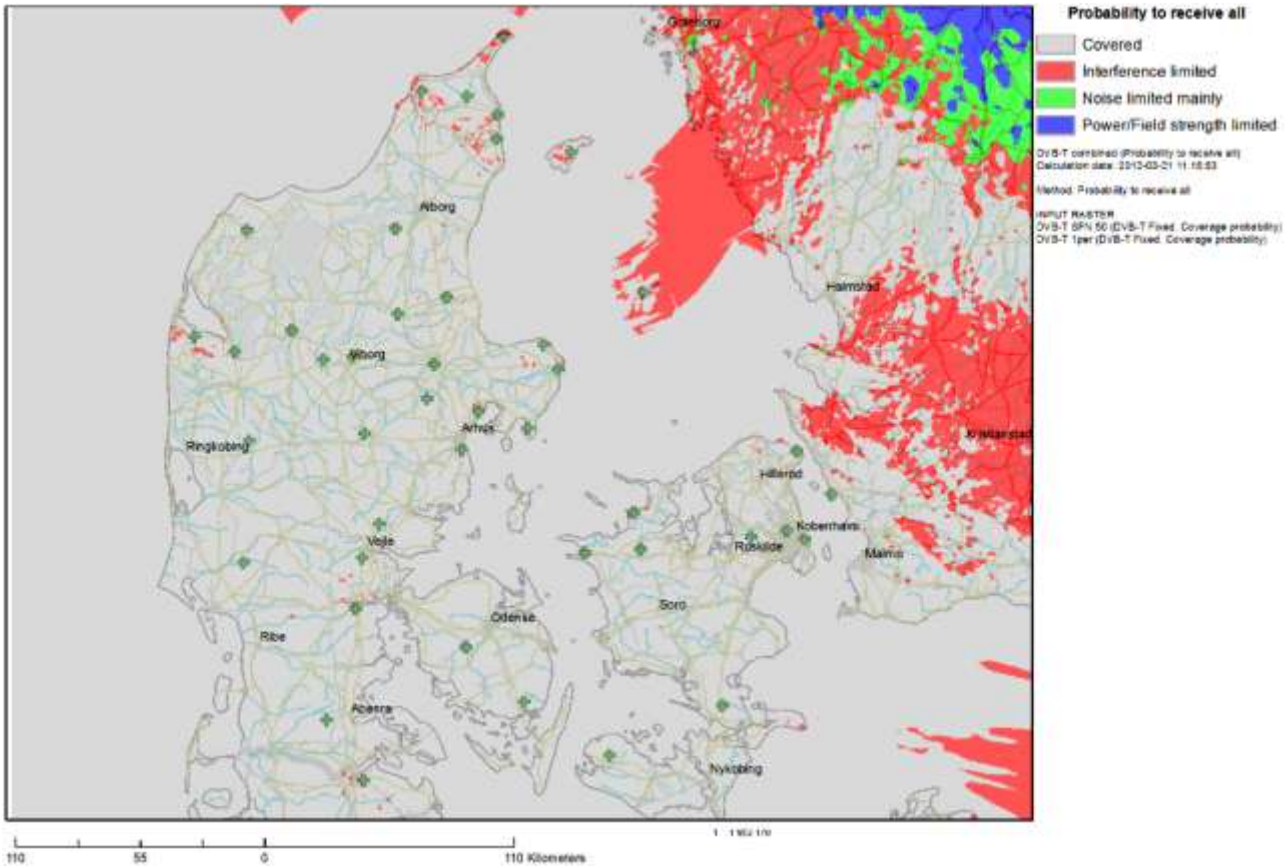


Рис. A2.8: Национальная DVB-T2 SFN 64-QAM R = 3/5 TG 19/128 (532 µs) Самоинтерференция

A2.6 Как меняются требования спектра с увеличением SFN?

Последний вопрос – сократят ли большие SFN количество частот, необходимых для комплектации уровня охвата. По этой теме есть несколько исследований.

Потенциальные улучшения от использования SFN в смысле эффективности спектра изучались в EBU TR 023 в терминах количества частот, необходимого для комплектации одного уровня охвата. Это определяется несколькими основными факторами:

1. Исходящая интерференция из сети SFN в другие смежные зоны (SFN); Это определяет дистанцию повторного использования частот. Можно снизить исходящую интерференцию из SFN, используя больше пунктов меньшей мощности. Это приведет к меньшей дистанции повторного использования, что может повысить эффективность использования спектра. Расширение инфраструктуры, конечно, приведет к большому росту сетевых расходов. В таких случаях, вероятно, эффективнее использовать региональные SFN, где можно подогнать зону покрытия под желаемую географическую зону охвата. Тогда легче будет найти частоту, которую можно использовать на локальной или региональной основе.
2. Режим приема; Сеть, предназначенная для стационарного приема на крыше, потребует меньшей дистанции повторного использования, т.к. направленность антенны сократит (различит) интерференцию. Для мобильного и портативного приема обычно рассматриваются всенаправленные антенны, которые также принимают больше помех.
3. Устойчивость системного варианта DVB-T или T2; Как мы видели в данных примерах, более устойчивый режим снизит влияние интерференции, но, конечно, и пропускную способность в каждом мультиплексе.

Таблица 5 из EBU TR 023

SFN – Стационарный прием на антенну, 95% мест, 100% пикселей						
Диаметр зоны обслуживания	**Кол-во каналов**			**Эквивалентное кол-во каналов**		
	64-QAM	16-QAM	QPSK	64-QAM	16-QAM	QPSK
50 км	9	7	4	9	11	12
150 км	3	3	3	3	5	9

Эта таблица дает теоретическое число необходимых каналов для комплектации уровня охвата в случае приема на крыше. Под эквивалентным количеством каналов также учитывается пропускная способность используемого режима DVB-T.

Как видно, теоретически нужно 3 RF канала для комплектации одного уровня охвата. Однако эти симуляции основаны на шестиугольных зонах. Ясно, что страны обычно не имеют шестиугольной формы! Если, к примеру, взять национальную SFN в Дании, станет ясно, что невозможно использовать одну и ту же частоту в большой части Норвегии, Швеции и Германии, с дополнительными ограничениями в части Нидерландов и Польши. Это ведет к необходимости как минимум 4 – 5 частот для создания одного уровня охвата.

Если соседние страны имеют другие требования к режиму приема, это увеличит количество частот, необходимое для каждого уровня.

Если сравнивать эффективность использования спектра, то это не сильно отличается от цифр, полученных с MFN, например, в Великобритании. Этот пример основан на приеме на крыше.

Приложение A3: Практический анализ зон обслуживания DVB-T2 в Швеции

SMR-EDP260

Lovisa Höglund

TERACOM

Большие зоны SFN для DVB-T2

A3.1 Введение

В документе сравнивается ограниченный интерференцией охват населения в Швеции с национальной SFN (одна частота) и ряд региональных SFN (всего четыре частоты). В обоих случаях DVB-T2 применяется с одинаковым режимом передачи.

В случае региональных SFN максимальное расстояние между любыми большими станциями внутри каждой зоны SFN – в пределах защитного интервала. Однако в некоторых случаях есть меньшие станции, не выполняющие это требование.

Исследование ограничено Швецией без учета соседних стран. Настоящий документ не следует считать предложением, но лишь примером.

A3.2 Параметры

Параметры передачи DVB-T2 выбраны для максимизации защитного интервала, позволяя при этом разумно высокий битрейт (36 Mbit/s). Использован режим 32k, 256-QAM, R=3/4 с дробью защитного интервала 19/128, позволяющей защитный интервал 532 µs. Это соответствует максимальному теоретическому расстоянию между передатчиками 160 км без самоинтерференции.

Предполагаемая инфраструктура состоит из 54 главных станций в Швеции с нынешними уровнями ERP и высотой антенн. Большинство станций имеют высоту антенн около 300 м и ERP 50 kW, хотя некоторые меньше и с меньшей мощностью. На **Рис. A3.1** два типа станций обозначены разными символами.

A3.3 Планирование сети

Охват национальной SFN вычислялся с учетом только самоинтерференции. Предполагалось, что дистанция повторного использования большая и что интерференция из соседней зоны в канале незначительная.

4-частотная сеть была спроектирована с большими станциями внутри защитного интервала. Охват вычислялся с учетом самоинтерференции внутри каждой зоны, при необходимости, и интерференции в одном канале от станций в ближайших зонах.

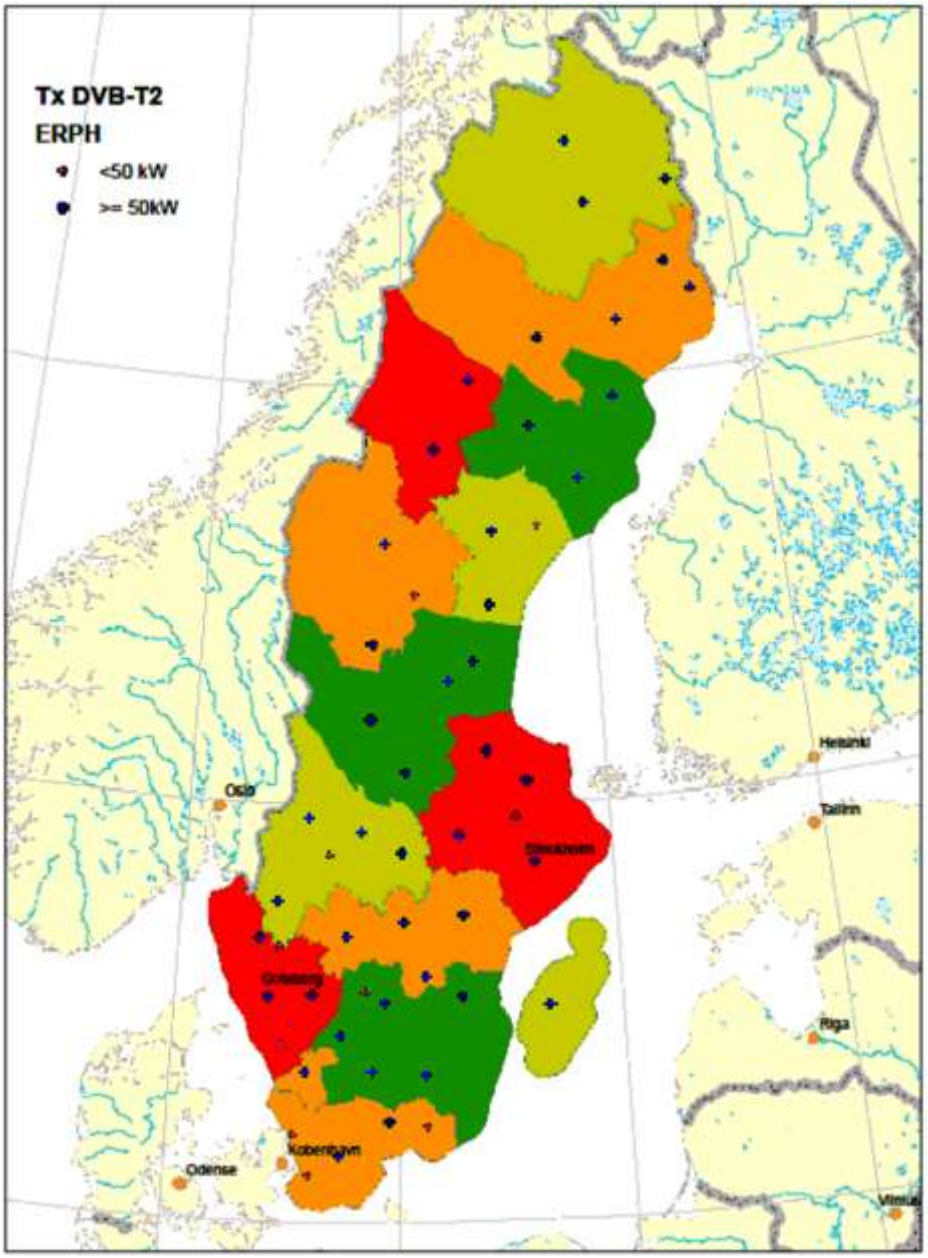


Рис. A3.1: 4-частотная сеть в Швеции

A3.4 Расчет охвата населения

Ограниченный интерференцией (т.е. без шумов) охват населения б вычислен для стационарного приема в 95% мест и с пиксельным разрешением 200 x 200 m^2 на пиксель. Желаемая сила поля вычислялась для 50% времени, а интерференция (самоинтерференция и помехи в одном канале) – для 1% времени во всех случаях.

	Национальная SFN	4-частотные зоны SFN
Охват населения	89.1%	95.4%

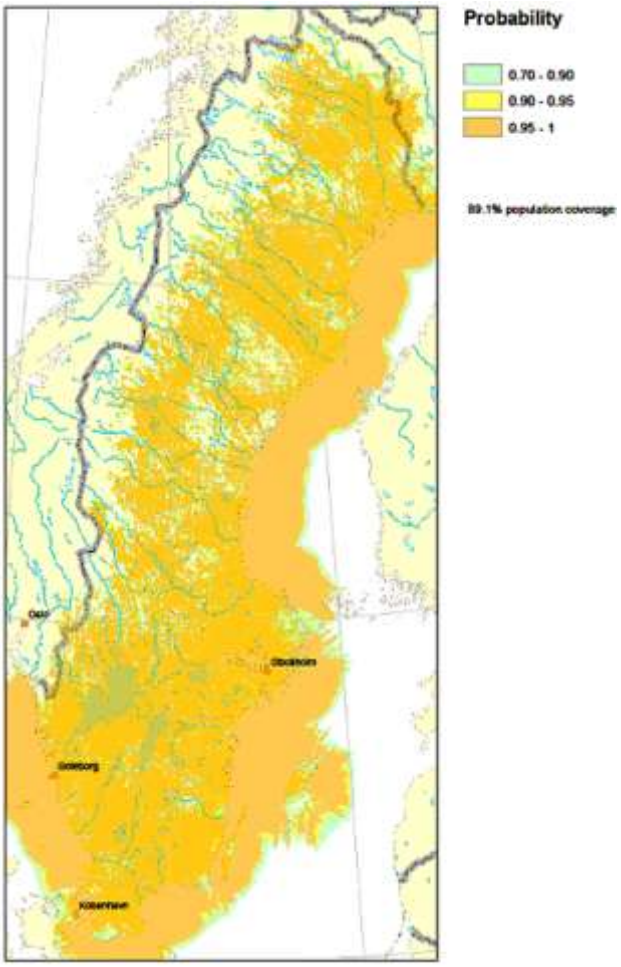


Рис. A3.2: Частотный план национальной SFN, 256-QAM R=3/4 TG=19/128 (532 µs)

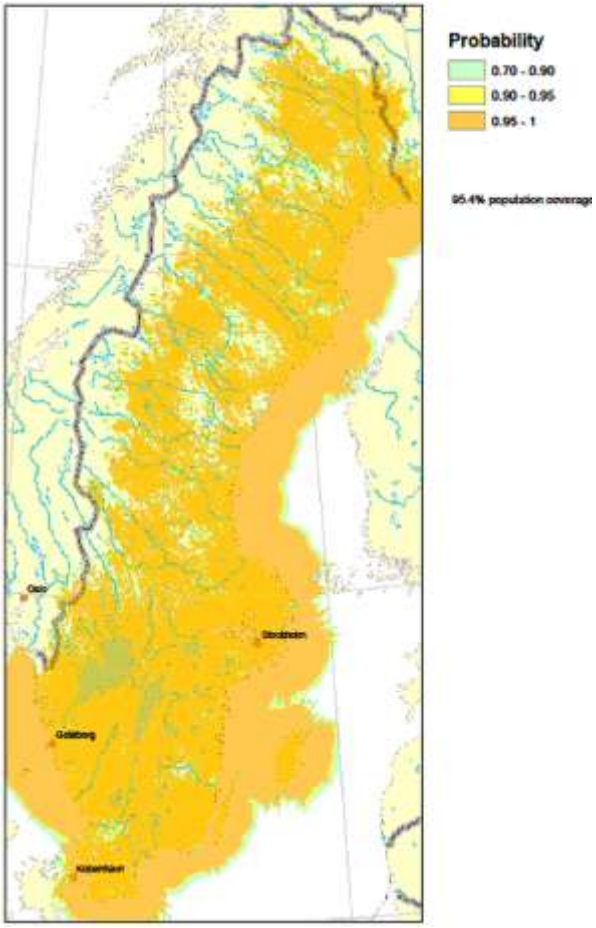


Рис. A3.3: 4- частотный план, 256-QAM R=3/4 TG=19/128 (532 µs)

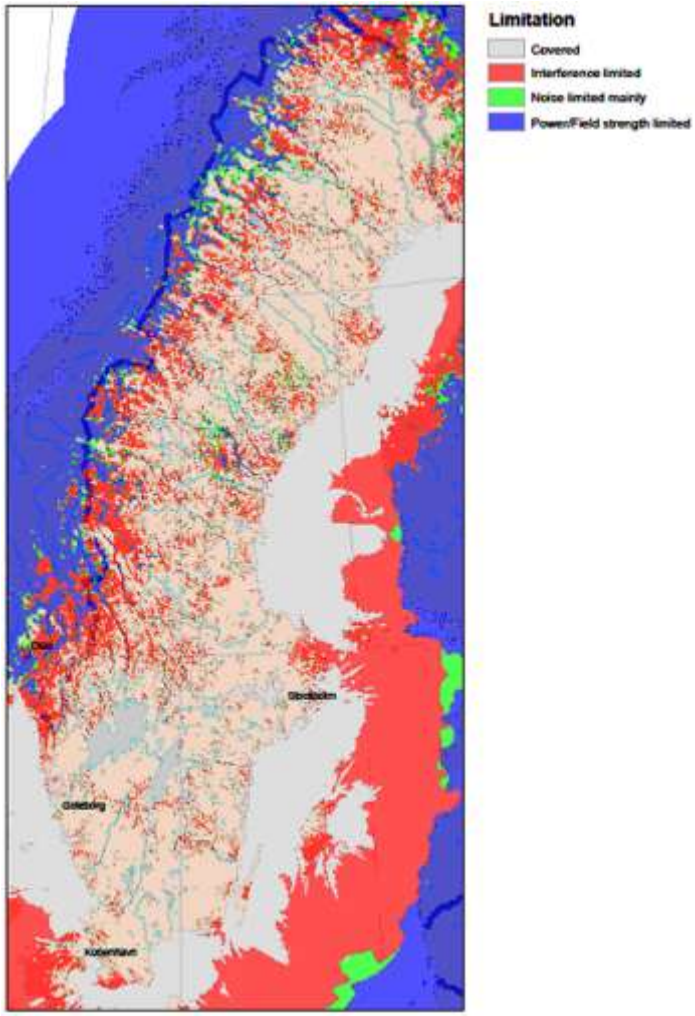


Рис. A3.4: Самоинтерференция национальной SFN

A3.5 Обсуждение

По результатам ясно, что ограниченный интерференцией охват значительно хуже с национальной SFN, чем с региональными SFN, размер которых примерно совпадает с размером защитного интервала, осуществимого с DVB-T2.

Это объясняется тем, что ближайшие передатчики с самоинтерференцией в национальной SFN находятся на гораздо более близком расстоянии, чем ближайшие передатчики с интерференцией в одном канале в региональной SFN.

Широко распространено мнение, что спектральная эффективность повышается с размером SFN и что большие SFN, покрывающие всю страну, например, Швецию, более эффективны, чем меньшие SFN.

Однако следует заметить, что международный частотный план больших (например, национальных) SFN также потребует повторного использования частот, которое может быть того же порядка, что и в региональных SFN, т.е. минимум 4 частоты (возможно, в некоторых зонах потребуется и больше).

Большая SFN с сигналами вне защитного интервала тоже сложна в планировании и может требовать введения дополнительных станций для компенсации потери охвата из-за самоинтерференции. На самом деле национальные SFN в некоторых странах сильно страдают от самоинтерференции, которую бывает трудно устранить, и имеют серьезные ограничения в региональных программах, если они вообще возможны без чрезмерной перегрузки из-за параллельного вещания. Самые сильные источники интерференции в примере национальной сети SFN находятся на расстоянии около 200 км, т.е. сразу за пределами защитного интервала, и идут со всех направлений.

Региональная SFN с зонами размером с выбранный защитный интервал может эффективно планироваться в DVB-T2 с учетом частот без или с ограниченной самоинтерференцией. По сравнению с национальной SFN, зоны региональной SFN дают больше возможностей для региональных программ, хотя и с большими ограничениями по сравнению с MFN (или гибридом MFN/SFN с небольшими зонами SFN, как, например, нынешняя сеть DTT в Швеции). Крупнейшие источники интерференции в 4-

частотном примере находятся в одном канале на расстоянии около 330 км, что можно сравнить с цифрой 200 км для национальной SFN.

Для честного сравнения двух подходов (национальных и региональных SFN) сети, в принципе, должны быть расширены для включения большей зоны, чтобы в обоих случаях учитывалась интерференция из зон повторного использования. В случае региональной SFN такая зона должна включать как минимум соседние страны. Ожидается, что принцип региональных SFN будет испытывать в этом случае больше интерференции, но нужны дальнейшие исследования для оценки последствий. В любом случае принцип региональных SFN с 4-частотным повторным использованием выглядит многообещающим в том, что потенциально может требовать меньше «глобальных» частот (коэффициент повторного использования частот) ,while в то же время предлагая лучший ограниченный интерференцией охват и большие возможности для региональных программ.

Также следует подчеркнуть, что устойчивость используемого режима влияет и на покрытие без помех. Одним из способов увеличить ограниченный интерференцией охват национальной SFN может быть использование, например, меньшей кодовой скорости. Это сделает прием более устойчивым к интерференции и поэтому несколько улучшит охват, но, конечно, также соответственно снизит пропускную способность. Если подход с региональными SFN потребует чуть больше частот для международного плана, это можно компенсировать большей пропускной способностью на мультиплекс для одинакового ограниченного интерференцией охвата в обоих случаях. Преимущество больших возможностей для региональных программ будет действовать и для региональных SFN.

A3.6 Выводы

Охват Швеции региональными SFN в 4-частотной сети обеспечивает значительно больший ограниченный интерференцией охват, чем национальная SFN, хотя ожидаемое количество частот для покрытия большей зоны, вероятно, будет того же порядка. Однако для оценки нужно больше исследований.

Для такого же ограниченного интерференцией охвата подход с региональными SFN, который снижает / устраняет самоинтерференцию внутри каждого региона, может использовать режим с большей пропускной способностью, что может привести к увеличению пропускной способности с этим подходом внутри данного спектра.

Подход с региональными SFN также дает гораздо лучшие – хоть и не идеальные – возможности для региональных программ.

Приложение А4: Практический анализ DVB-T2 MFN в сравнении с SFN в Великобритании

Simon Elliot SMR-EDP261

Апрель 2013

BBC

Эффективность MFN в сравнении с SFN

А4.1 Введение

Постоянный вопрос – эффективнее ли SFN, чем MFN. Обычный способ ответа – сравнение спектральной эффективности the (Mbit/s/Hz) одной сети с другой. Однако для этого необходимо определить, сколько частотных каналов потребуется для двух сетевых конфигураций, а это обычно спорный вопрос. Тем не менее, этот документ пытается ответить на вопрос, рассматривая ряд сценариев – типичные варианты «высокое», «среднее» и «низкое».

Этот документ также касается спектральной эффективности в смысле программ на мультиплекс для определения, дадут ли практические рекомендации, например, статистическое мультиплексирование, показатели эффективности, отличающиеся от стандартного измерения Mbit/s/Hz.

А4.2 Справочная информация

Компоновочные блоки (Building Blocks) могут использоваться для определения количества частотных каналов, необходимых для обеспечения определенного охвата и пропускной способности в различных сетевых конфигурациях. Важно, что методология Building Blocks применяла одинаково идеальные условия в каждом рассматриваемом случае, что дает возможность прямого сравнения одного сценария с другим. В целом, компоновочные блоки привели к следующим выводам по вещательным сетям DVB-T2:

- 6 частотных каналов обеспечивают 98.5% охват со скоростью 40.2 Mbit/s в MFN
- 5 частотных каналов обеспечивают 98.5% охват со скоростью 38 Mbit/s в региональной SFN
- Национальная SFN с охватом 98.5% может передавать до 33 Mbit/s

Предполагалось, что результаты компоновочных блоков для MFN и региональных SFN можно расширить для все Европы. Хотя неизвестно, окажется ли это предположение правильным, в данном документе оно предполагается верным, т.к. на первый взгляд выглядит разумным. Аналогично, хотя национальные SFN были включены в Building Blocks, рассматриваемая зона планирования недостаточно большая для получения полезных результатов. Например, компоновочные блоки показывают, что четыре частотных канала не более выгодны, чем три. Если провести исследование в более широкой зоне, то ожидается, что необходимо больше частотных каналов, как будет сказано ниже.

Простейшее предположение для SFN – применение теории 4-цветной карты и возможность охвата всей зоны планирования четырьмя частотными каналами. На практике, вероятно, потребуется как минимум один дополнительный частотный канал в определенных «горячих» зонах и, следовательно, во всей зоне планирования. Однако в целях данного исследования предполагается, что 4 канала достаточно как начальная точка, хотя следует заметить, что SFN может выгодно оцениваться в данном документе.

Как говорилось в резюме, в этом докуемте приняты два метода оценки эффективности сетей. Это:

1) Первичная полезная нагрузка на частотный канал (Mbit/s / частотный канал)
2) Количество ТВ программ на канал (программ / частотный канал)

Метод 1) – обычный, прямой способ оценки эффективности. Он не делает предположений о том, какие услуги могут передаваться в мультиплексе – а просто смотрит полезную нагрузку, имеющуюся в эквивалентных сетях SFN и MFN и нормализует ее относительно количества частотных каналов, необходимых для передачи полезной нагрузки в каждой сетевой конфигурации.

Метод 2) рассматривает эффективность более практическим путем, в смысле числа ТВ программ, которые могут передаваться в мультиплексе до нормализации результата относительно требуемых частотных каналов. Этот подход учитывает выигрыш статистического мультиплексирования, т.к. он часто упоминается как важный фактор в определении эффективности мультиплекса. Однако, поскольку качество изображения субъективно, нельзя определить точный битрейт для всех требований программ, и следует использовать нормативные значения. Для устранения необходимости субъективной оценки приняты три варианта качества: высокое, среднее и низкое, в целях измерения,

насколько чувствительна эффективность к определенным вариантам качества изображения. В качестве источника нормативных значений для HD и SD компрессии MPEG-4 используется EBU TR 015.

A4.3 Обсуждение

A4.3.1 Метод 1

Результаты 1-го метода изложены в **Таблице A4.1**, где национальная SFN показана примерно на 25% эффективнее, чем MFN. Однако эффективность может быть за счет региональности ,которая является важным фактором вещательных сетей. Поэтому сомнительно, стоит ли умеренное повышение эффективности дорогостоящей жертвы региональности.

Для сохранения региональности можно принять региональную SFN. Она на 10% эффективнее MFN и на 15% менее эффективна, чем полная национальная SFN. Как таковая, она может быть золотой серединой между MFN и полной SFN.

Таблица A4.1: Эффективность сетей DVB-T2

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	6	5	4
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Спектральная эффективность (Mbit/s/ канал)	6.7	7.4	8.35
Эффективность относительно MFN	-	10%	25%

A4.3.2 Метод 2

Результаты оценки 2-го метода подведены в этом разделе отдельно для SD и HD услуг, т.к. качество изображения сильно влияет на количество программ, которые могут передаваться в мультиплексе. Все показатели требований битрейта на программу для разного качества изображения и выигрыша статистического мультиплексирования в этом документе взяты из EBU TR 015.

A4.3.2.1 SD

В **Таблице A4.2** показано общее число SD программ, которое можно передавать в каждой сетевой конфигурации, предполагая применение битрейтов из Таблицы A2 в EBU TR 015, а также выигрыш статистического мультиплексирования на Рис. A2 в том же документе. Результаты для SD услуг точно совпадают с 1-м методом в **Таблице A4.1**, выше. Однако опять следует заметить, что эффективность национальной SFN может быть за счет региональности и может того не стоить.

Следует заметить, что в данном примере все сетевые конфигурации позволяют передачу значительного количества услуг. Это значит, что для одной сети относительно другой выигрыша статистического мультиплексирования нет – для каждой сети очевидна насыщенная экономия 26%.

Таблица A4.2: Относительная эффективность для SD

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	6	5	4
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Базовый битрейт на SD программу	2.65	2.65	2.65
Выигрыш статистического мультиплексирования (%)	26	26	26
Эффективный битрейт на программу в стат. мультиплексе	1.96	1.96	1.96
Потенциальное кол-во программ на стат. мультиплекс	20	18	17
Неиспользуемая пропускная способность (Mbit/s)	1.0	1.7	0.1
Общее кол-во программ на частотный канал	3.3	3.6	4.3
Эффективность относительно MFN	-	8%	28%

EBU TR 015 дает требование лишь одного битрейта на программу для SD услуг – нет информации об SD услугах более высокого или низкого качества. Поэтому для измерения чувствительности эффективности использования спектра к качеству изображения вышеупомянутая оценка была повторена с предположением, что на программу потребуется на 0.5 Mbit/s больше и на 0.5 Mbit/s меньше. Результаты показаны в **Таблице A4.3**, из которой ясно, что качество изображения мало влияет на эффективность сетевой конфигурации.

Таблица A4.3: Чувствительность эффективности использования спектра к битрейту программ - стандартная четкость

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Эффективность отн. MFN (3.15 Mbit/s/программа)	-	6%	24%
Эффективность отн.MFN (2.15 Mbit/s/ программа)	-	10%	20%

A4.3.2.2 HD

Как и с SD, число программ, которые могут передаваться в мультиплексе, определяется субъективной оценкой. Однако в мультиплекс влезает меньше HD программ, чем SD, вследствие более высоких требований к битрейту HD услуг. Как таковая, эффективность использования спектра разных сетей для передачи HD становится более детализированной и может быть более чувствительна к определенному варианту качества изображения. Опять-таки, для преодоления этих трудностей рассматриваются три качества изображения, в форме требуемого битрейта на программу. Этот подход покажет чувствительность эффективности к качеству изображения.

В **Таблице A4.4** подведены результаты **Таблиц A4.5** – **A4.7,** где дана подробная оценка различного качества изображения. Вообще, в этом анализе национальные SFN остаются более эффективными, чем MFN. Однако в случае высокого качества это преимущество менее очевидно.

Таблица A4.4: Относительная эффективность для разного качества HD программ

Качество программ	Региональная SFN	Национальная SFN
Кол-во HD программ на частотный канал – высокий битрейт на программу	20%	13%
Кол-во HD программ на частотный канал – средний битрейт на программу	20%	20%
Кол-во HD программ на частотный канал – низкий битрейт на программу	0%	25%

Таблица A4.5: Относительная эффективность для HD – Высокий битрейт на программу

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	6	5	4
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Базовый битрейт на SD программу	10.85	10.85	10.85
Выигрыш статистического мультиплексирования (%)	15	15	12
Эффективный битрейт на программу в стат. мультиплексе	9.22	9.22	9.55
Потенциальное кол-во программ на стат. мультиплекс	4	4	3
Неиспользуемая пропускная способность (Mbit/s)	3.3	0.1	4.8
Общее кол-во программ на частотный канал	0.7	0.8	0.8
Эффективность относительно MFN	-	20%	13%

Таблица A4.6: Относительная эффективность для HD – Средний битрейт на программу

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	6	5	4
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Базовый битрейт на SD программу	8.35	8.35	8.35
Выигрыш статистического мультиплексирования (%)	17.5	17.5	15
Эффективный битрейт на программу в стат. мультиплексе	6.89	6.89	7.10
Потенциальное кол-во программ на стат. мультиплекс	5	5	4
Неиспользуемая пропускная способность (Mbit/s)	5.8	2.6	5.0
Общее кол-во программ на частотный канал	0.8	1.0	1.0
Эффективность относительно MFN	-	20%	20%

Таблица A4.7: Относительная эффективность для HD – Низкий битрейт на программу

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	6	5	4
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Базовый битрейт на SD программу	7.85	7.85	7.85
Выигрыш статистического мультиплексирования (%)	19	17.5	17.5
Эффективный битрейт на программу в стат. мультиплексе	6.36	6.48	6.48
Потенциальное кол-во программ на стат. мультиплекс	6	5	5
Неиспользуемая пропускная способность (Mbit/s)	2.0	4.6	1.0
Общее кол-во программ на частотный канал	1.0	1.0	1.3
Эффективность относительно MFN	-	0%	25%

В некоторых сценариях в **Таблицах A4.5**, **6** и **7** очевидно много неиспользуемого битрейта – например, MFN в **Таблице A4.6** имеет неиспользуемый битрейт 5.8 Mbit/s. Это возникает потому, что требуемый битрейт на программу не является делителем целого числа общей пропускной способности. В любой практической ситуации маловероятно, что битрейт будет лежать мертвым грузом, и базовый битрейт на программу немного регулируется для вмещения дополнительной программы. Такие настройки сделаны в **Таблицах A4.9** и **A4.10** для вариантов HD с низкой и средней пропускной спо-

собностью. В этих примерах можно было снизить требуемый битрейт на программу менее чем на 0.3 Mbit/s для получения дополнительной программы в некоторых сетевых конфигурациях. Такой более прагматичный вариант резюмирован в **Таблице A4.8,** где национальная SFN на 25% эффективнее MFN. Было невозможно сделать подобную настройку в примере с высоким битрейтом на программу, т.к. большие требования к битрейту программ требуют слишком большой регулировки, чтобы считаться незначительными.

Таблица A4.8: Относительная эффективность для разного качества HD программ – Прагматичный подход

Качество программ	Региональная SFN	Национальная SFN
Кол-во HD программ на частотный канал – высокий битрейт на программу	20%	13%
Кол-во HD программ на частотный канал – средний битрейт на программу	0%	25%
Кол-во HD программ на частотный канал – низкий битрейт на программу	20%	25%

Таблица A4.9: Относительная эффективность для HD – Средний битрейт на программу

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	6	5	4
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Базовый битрейт на SD программу	8.25	8.1	8.05
Выигрыш статистического мультиплексирования (%)	19	17.5	17.5
Эффективный битрейт на программу в стат. мультиплексе	6.68	6.68	6.64
Потенциальное кол-во программ на стат. мультиплекс	6	5	5
Неиспользуемая пропускная способность (Mbit/s)	0.1	3.6	0.2
Общее кол-во программ на частотный канал	1.0	1.0	1.3
Эффективность относительно MFN	-	0%	25%

Таблица A4.10: Относительная эффективность для HD – Низкий битрейт на программу

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	6	5	4
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Базовый битрейт на SD программу	7.85	7.6	7.85
Выигрыш статистического мультиплексирования (%)	19	19	17.5
Эффективный битрейт на программу в стат. мультиплексе	6.36	6.16	6.48
Потенциальное кол-во программ на стат. мультиплекс	6	6	5
Неиспользуемая пропускная способность (Mbit/s)	2.0	0.1	1.0
Общее кол-во программ на частотный канал	1.0	1.2	1.3
Эффективность относительно MFN	-	20%	25%

A4.3.2.3 Чувствительность к частотным каналам, требуемым на мультиплекс

Как уже говорилось, неясно, достаточно ли 4 каналов для национальных SFN во всей Европе. Учитывая это, информативно посмотреть, насколько чувствительна спектральная эффективность к количеству требуемых каналов. В **Таблице A4.11** показана эффективность 1-го метода, пересчитанная в случае требования дополнительного канала для каждой сетевой конфигурации, а в **Таблице A4.12** – то же самое, только в случае требования в MFN и региональной SFN дополнительного канала.

Из **Таблицы A4.11** ясно, что относительная эффективность SFN уменьшится, если окажется, что каждая сетевая конфигурация требует дополнительного канала. В этом случае большая эффективность SFN, чем MFN, снизится примерно до 18%. И наоборот, **Таблица A4.12** показывает, что относительная эффективность национальных SFN увеличится, если MFN и региональные SFN потребуют дополнительного канала, а для SFN останется адекватным 4 канала.

Таблица A4.11: Повышение эффективности 1-го метода, если каждая сетевая конфигурация потребует дополнительный частотный канал – Метод 1

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	7	6	5
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Спектральная эффективность (Mbit/s/ канал)	5.7	6.2	6.7
Эффективность относительно MFN	-	9%	18%

Таблица A4.12: Повышение эффективности 1-го метода, если сетевая конфигурация MFN и региональной SFN потребует дополнительный частотный канал – Метод 1

	MFN	Региональная SFN	Национальная SFN
Требуемое кол-во частотных каналов на мультиплекс	7	6	4
Возможность региональности	Да	Да	Нет
Пропускная способность мультиплекса (Mbit/s)	40.2	37	33.4
Спектральная эффективность (Mbit/s/ канал)	5.7	6.2	8.35
Эффективность относительно MFN	-	9%	46%

A4.4 Резюме

Для оценки относительной эффективности SFN использовалось два метода. 1-й метод основан на спектральной эффективности, измеренной в Mbit/s/Hz, а 2-й метод рассматривает эффективность в смысле программ, которые можно передавать в каждом частотном канале. Компоновочные блоки используются как основа для определения, сколько частотных каналов нужно для национальной сети, состоящей из MFN, региональных SFN и национальных SFN.

1-й метод показывает, что SFN на 25% эффективнее национальной MFN и на 10% эффективнее региональной SFN.

2-й метод также дал примерно похожие результаты, хотя, как и ожидалось. с небольшими отклонениями из-за эффекта квантования в дискретных номерах программ. Если, однако, выбран высококачественный HD формат программ, возможно всего 3 – 4 программы на мультиплекс, и эффект квантования становится более существенным, что снижает эффективность SFN, в которой остается много неиспользованной пропускной способности.

2-й метод основан на субъективном измерении качества изображения, который, без изучения, можно воспринимать как имеющий потенциал для изменения выводов по эффективности, полученных в анализе 1-го метода. Однако данное исследование рассматривало разное качество изображения, и хотя качество в некоторой степени влияет на результат, его недостаточно для изменения выводов, за исключением, возможно, вышеупомянутого случая высококачественными изображениями HD.

Главный фактор, влияющий на спектральную эффективность – это количество частотных каналов, необходимое для разных сетевых конфигураций. Как уже говорилось, для определения этих требований в первом примере использовались компоновочные блоки. Однако в менее идеальных условиях, чем учитывалось в Building Blocks, могут требоваться дополнительные каналы. Для измерения чувствительности к требованиям частотных каналов в 1-м методе было изучено два дополнительных сценария. Один сценарий рассматривал относительную эффективность, если каждая сетевая конфигурация требует дополнительный канал. Это показало, что относительная эффективность SFN примерно на 20% выше MFN. Второй сценарий показал, что если MFN требуют дополнительный канал, а SFN – нет, то относительная эффективность SFN превысит MFN на 50%.

Во всех случаях следует заметить, что ценой за повышение эффективности SFN будет потеря региональности. Региональная SFN может быть хорошим компромиссом между MFN и полными национальными SFN, т.к. их эффективность находится между MFN и SFN, но позволяет поддерживать региональность.

Приложение A5: Практический анализ национальной DVB-T SFN и оптимизация SFN в Италии

Lucia Luisa La Franceschina, Emanuele Cipollone и другие SMR-BNP088

Апрель 2014

Опыт итальянской SFN

A5.1 Мультиплекс RAI 2; пример очень большой SFN

Мультиплекс RAI 2 развернут с очень большой 1-SFN. Параметры сети: 8k, 64-QAM, защитный интервал 1/4, кодовая скорость 2/3.

Rai Way, владелец передающих и вещательных сетей RAI, реализовал ее с 400 передатчиками по всей Италии, все транслирующие в одном канале (в данный момент 48 передатчиков в Сардинии вещают в другом канале, но планируется их реконфигурация для использования той же частоты, что и остальные в Италии).

Цель – охват более 90% населения и выше и гарантия хорошего качества услуг почти везде.

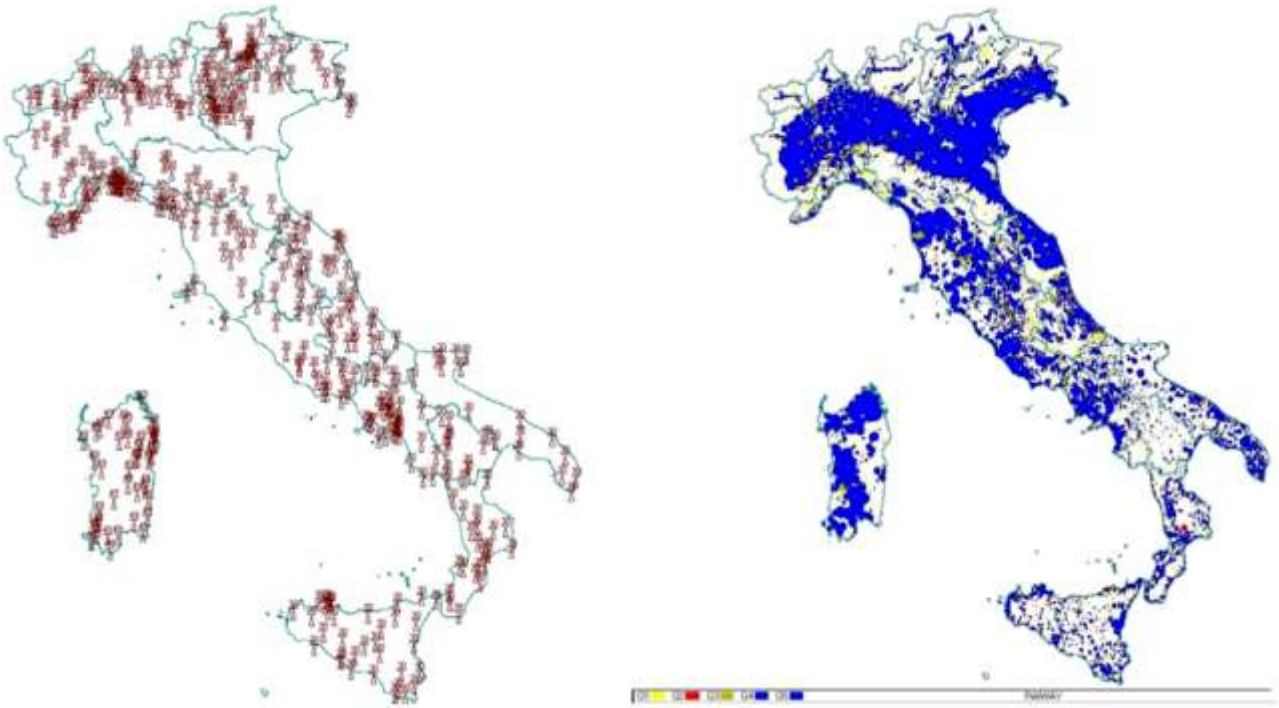


Рис. A5.1: Мультиплекс RAI 2: передатчики и карта качества услуг

Таблица A5.1: Мощность передатчиков

Передатчики по классам мощности				
	P >1 kW	100 W ≤P ≤1 kW	10 W ≤P ≤99 W	P <10 W
MUX2	22	110	176	92
Передатчики по классам ERP				
	ERP >100 kW	10 kW ≤ERP ≤100 kW	1 kW ≤ ERP <10 kW	ERP < 1 kW
MUX2	4	25	88	283

Учитывая, что ERP 1 kW (60 dBm) – типичное значение LTE BS, можно утверждать, что 70% передающих пунктов в DVB-T 1-SFN могут считаться типом LP.

Мультиплекс состоит из 3 ТВ программ и 4 радиопрограмм.

A5.2 Эксплуатация сети

Большая часть работы по настройке была сделана во время теоретического планирования сети.

Точная подстройка сети требовала большое количество времени, измерений и исследований.

Изучение причин очень коротких и систематических включений и выключений, действующих на некоторые передатчики, частот в один и тот же момент, привело к изучению производительности приемников GPS.

(См. Отчет ITU-R BT.2253 “GPS timing receivers for DVB-T SFN application: 10 MHz phase recovery”).

Второй класс проблем, серьезно влияющих на крупномасштабные SFN с FRF = 1 – большой объем эхо на стороне пользователя. Несмотря на определение выигрыша сети, которое применяется только для силы поля, чем больше объем принимаемого эхо, те выше требуемое C/N.

Статистика Релея предполагается для канала распространения для портативного или мобильного приема, поэтому в планировании применяется соответствующее значение C/N. Для стационарного приема в основном предполагается канал Райса. Кроме того, в стационарном приеме канал может стать менее эффективным, особенно если нельзя подавить искусственное эхо, исходящее из других передатчиков в той же SFN, с помощью направленной антенны в точке приема. Плавный переход между применением значений Райса и Релея к C/N описывается «эффективной целью защиты», EPT.

В этой концепции есть параметр «критичность канала», K_A, определяемый как отношение мощности основного сигнала к сумме мощностей искусственного эхо. От этого параметра зависит интерполяция между значениями Райса и Реле C/N. Если доминирует основной сигнал, то предполагается статистика Райса, а если соотношение сбалансировано, то статистика Релея.

Расчет EPT производится по следующей формуле

$$EPT = C/N|_F + \left(C/N|_P - C/N|_F\right)\left(\frac{0.5}{C/N|_P - C/N|_F}\right)^{\frac{K_A}{10}}$$

где:

EPT = эффективная цель защиты в dB

C/N|F = C/N для канала Райса в dB

C/N|P = C/N для канала Релея в dB

K_A = параметр критичности канала, отношение мощности основного сигнала к сумме мощностей активного эхо, в dB

Если K_A <0 dB, то K_A устанавливается на 0 dB.

Возможные пределы реализации здесь не учтены.

На **Рис. A5.2** показаны значения EPT, в зависимости от параметра критичности канала для примера с $C/N|_F$ = 20.4 dB и $C/N|_F$ = 26.2 dB

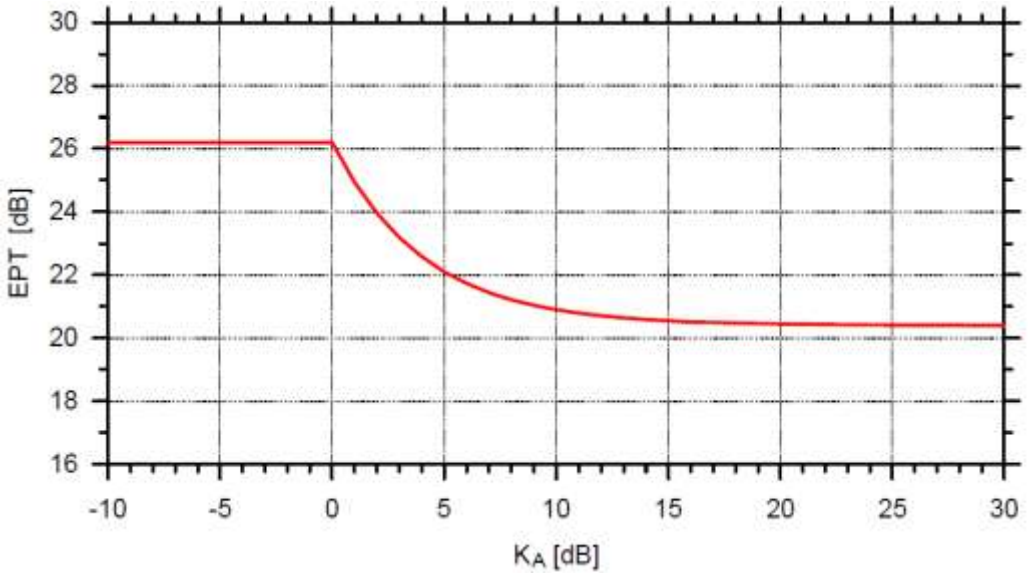


Рис. A5.2: EPT как функция параметра критичности канала, K_A

A5.3 Работа с эхо при помощи Cell ID

Как уже говорилось, можно обнаружить два вида эхо, естественное и искусственное.

Первая категория эхо создается отражениями или рассеиванием из-за близлежащих преград, а вторая – другими передатчиками сети, работающими на той же частоте. Эффекты распространения могут сильно усложнить прием в зонах, окруженных теплым морем.

Эхо могут быть в защитном интервале или вне его; одни приходят перед основным сигналом, другие после него (см. **Рис. A5.3**).

Необходимость точного развертывания и проверки поведения большой SFN заставила Rai Way использовать параметр передачи Cell ID (Cell Identifier) для идентификации передающего пункта. Применение Cell ID для идентификации принимаемого передатчика определено в § 3.1.3.2 Рекомендации ITU-R SM 1875, где требуется, чтобы каждый передатчик, принадлежащий определенной ячейке, имел одинаковый идентификатор. Как описано ниже, Rai Way, после лабораторных и полевых испытаний, решил расширить это требование, считая каждый передатчик ячейкой.

Руководство Италии всегда поддерживало применение Cell ID в SFN для идентификации передатчиков и предложило всем итальянским вещателям использовать разные Cell ID для каждого передающего пункта (документ MiSE “*Richiesta inserimento Cell-Id*” - 14 марта 2013 [ ]).

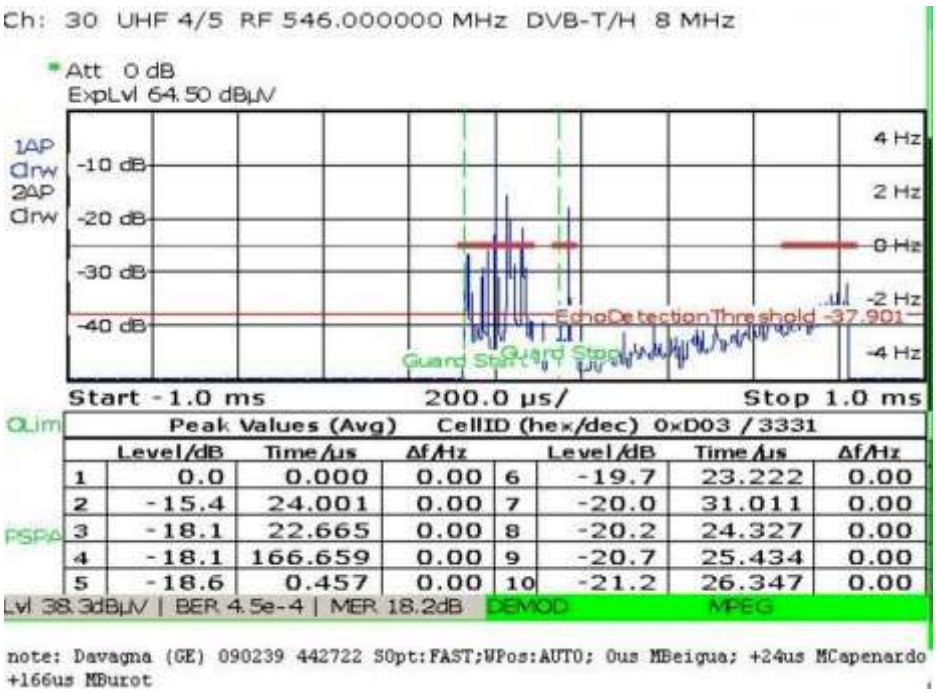


Рис. A5.3: Пример рассеивания эхо в приемном конце

Принятие разных Cell ID для каждого передатчика согласно § 5.2.4 ETSI TR 101 190 v 1.3.2 (2011-05) упрощает измерения и полевой мониторинг без существенного влияния на приемники пользователей. Этот вариант широко не известен, но стандартизирован в DVB-T2 с будущими кадрами расширения, FEF, которые можно использовать и в качестве сигнатур передатчиков. Они позволяют измерения для идентификации, какое эхо и с какого передатчика SFN идет в импульсной характеристике канала.

В DVB-T SFN при помощи разных Cell ID можно идентифицировать все передатчики, принимаемые в точке измерения / мониторинга, и записывать их импульсную характеристику канала (CIR) для сравнительного анализа (**Рис. A5.4**).

Благодаря этому Rai Way удалось решить проблемы плохого приема вследствие распространения и отражения.

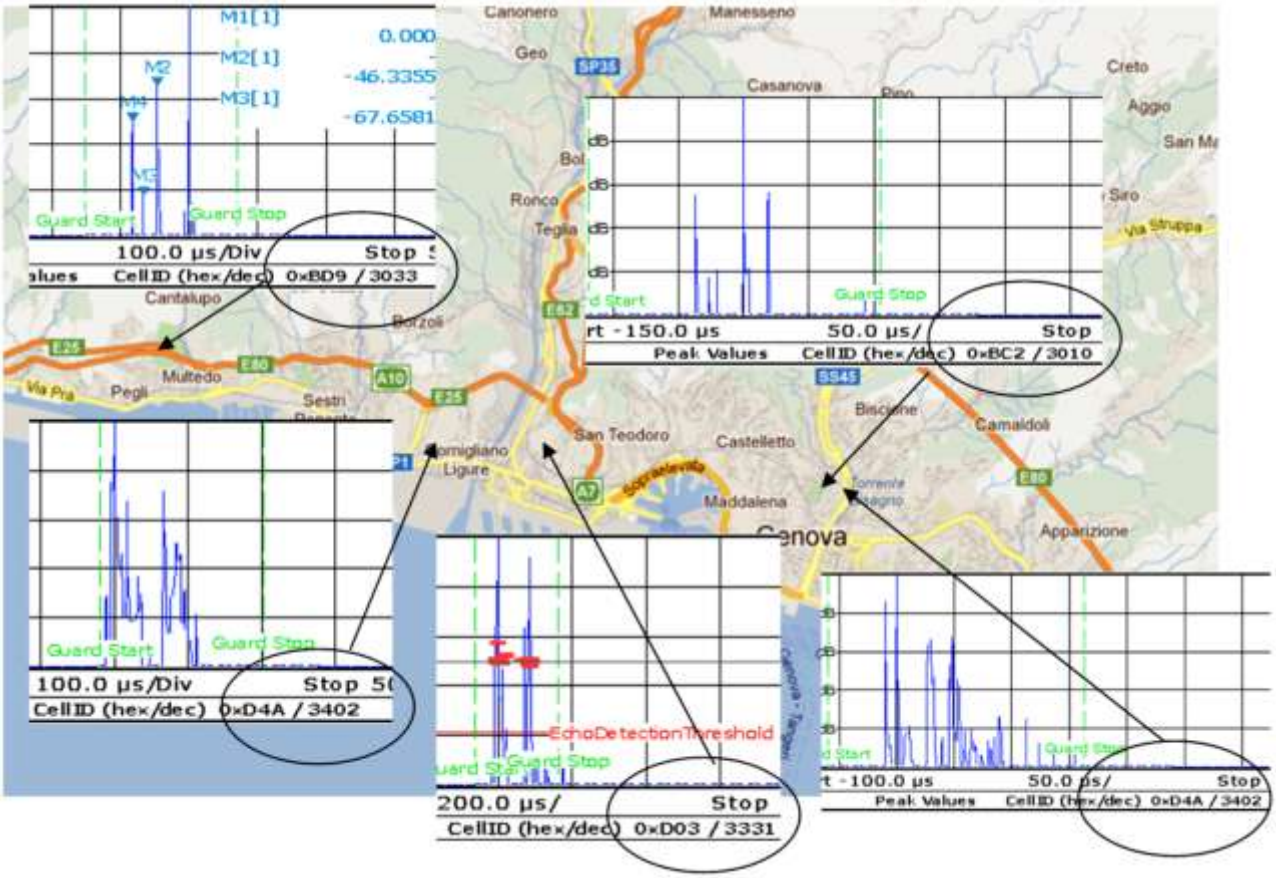


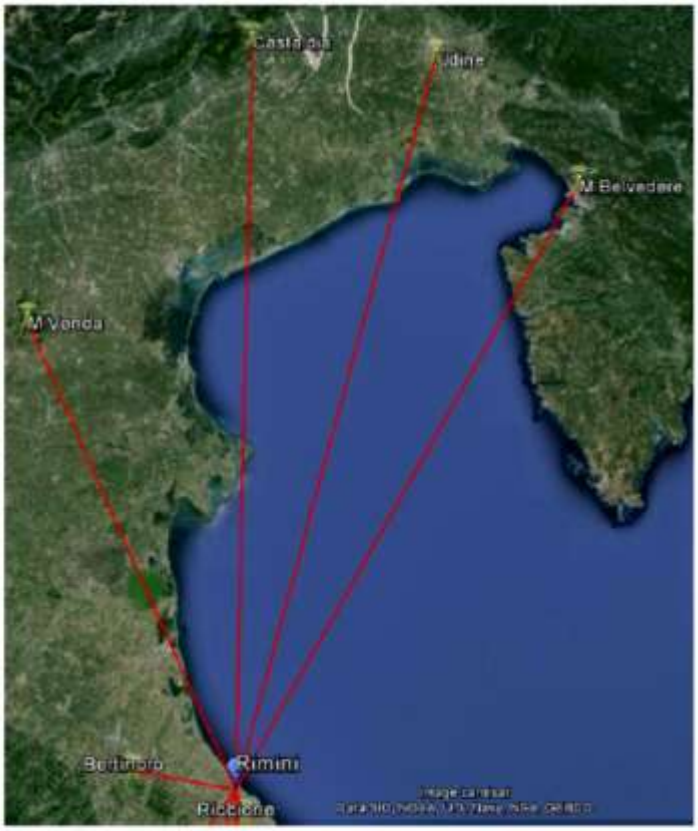
Рис. A5.4: Идентификация передатчика с наивысшим приемом через Cell ID

A5.3.1 Влияние различных Cell ID на приемники конечных пользователей

Для оценки влияния разных Cell ID на конечных пользователей было проведено много опросов о поведении приемников. Важно подчеркнуть, что тесты проводились в крайне критичных условиях; и тем не менее, лишь несколько приемников не смогли адекватно работать. Выяснилось, что при разных Cell ID не возникает особых проблем, если индикатор длины одинаков, но проблемы обнаруживаются при разных индикаторах длины. Последнее бывает, только если передатчики DVB-T некорректно сконфигурированы. В правильно установленной сети такого никогда не случается, т.к. индикаторы длины должны быть установлены идентично.

A5.4 SFN и феномен распространения по теплому морю

После отключения всей зоны Адриатического моря Rai Way получил много жалоб, т.к. услуга не была гарантирована в течение нескольких часов ежедневно. Анализ проблемы был сложным, т.к. в регионе работало много передатчиков. Непрерывный мониторинг и запись RF сигнала, значений MER, BER и Cell ID обнаружили, что передатчик, вызывающий самые сильные помехи на побережье, находился в Удине, на расстоянии 224 км.



Transmitter	Distance (km)	Cell ID	Transmitter	Distance (km)	Cell ID
M. Belvedere	203	7192	Pietracuta di S. Leo	16.4	8802
Udine	224	7231	Morciano	18.2	8805
Castaldia	221	7307	Montescudo	19.6	8803
M. Venda	150	6196	Riccione	7.8	8801
Bertinoro	30	8007	M. Nerone	59.8	12303

Рис. A5.5: Передатчики SFN, влияющие на зону Римини

Анализ производился со специально оборудованным автомобилем, расположенным на побережье около Римини. Проводился непрерывный мониторинг со «специальным» программным обеспечением Rai Way. Эта программа каждую минуту записывает значения RF, MER, BER и параметры анализа канала.

Первое исследование проводилось в целях обнаружения, какие передатчики вызывают проблемы приема, с учетом того, что эти передатчики не синхронизированы, т.к. находятся очень далеко.

Проведенные измерения показали, что передатчик в Удине мог приниматься в этой части побережья много часов в сутки. Затем было проведено более детальное исследование с антеннами, нацеленными в направлении Удине на высоте 8 м выше уровня земли.

Записанные значения показали, что уровни RF колебались в течение всего дня и достигали 79 dBµV/m, как показано на **Рис. A5.6**.

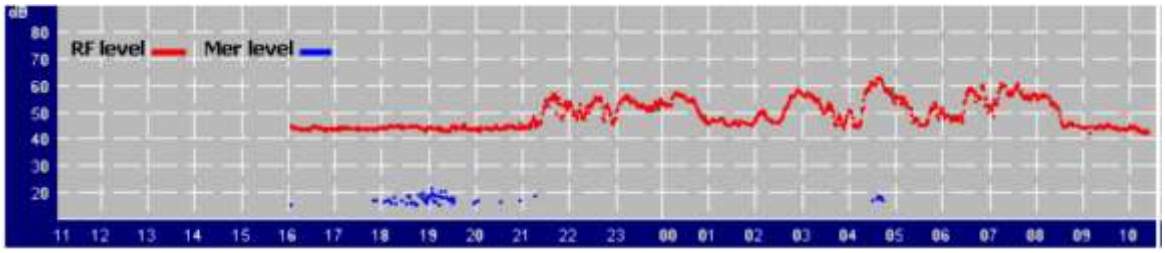


Рис. A5.6: Запись в Римини, 18 и 19 июля

Следует заметить, что в период записи погодные условия были не особенно благоприятны для феномена распространнеия.

Когда оказалось, что сигналы из Удине легко принимаются с высоким уровнем, был проведен второй анализ для оценки влияния этого распространения на конечных пользователей.

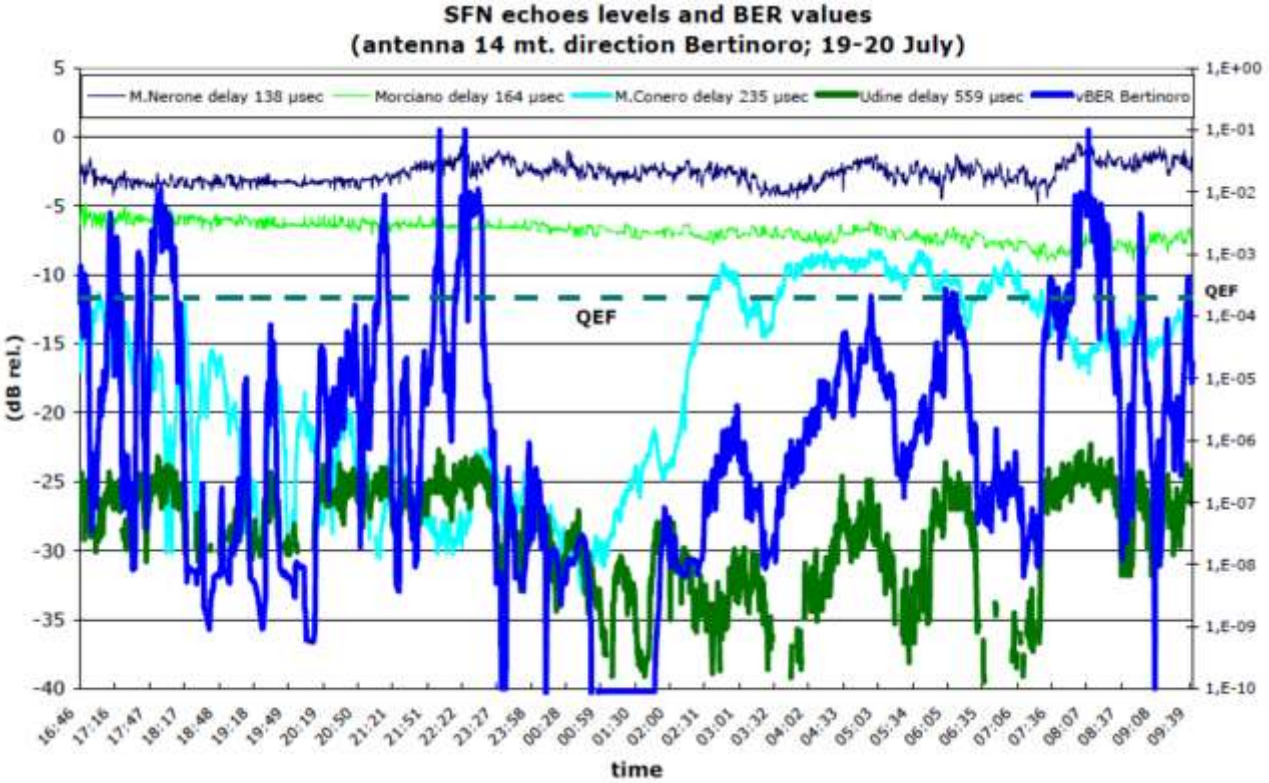


Рис. A5.7: Измерение эхо SFN в Римини

Измерения проводились с установкой антенны на высоте 14 м выше уровня земли, направленной на Бертиноро, где находится главный передатчик данной зоны, симулируя типичную систему приема на крыше в жилых зданиях.

Анализ корреляции проводился со сравнением значений vBER и уровней эхо всех принимаемых сигналов. Исследование показало, что когда уровень эхо передатчика в Удине повышается, vBER понижается и превышает порог QEF. Передатчик в Удине не синхронизирован и имеет задержку 559 µs относительно Бертиноро.

В отношении данной проблемы плохого приема Rai Way не нашел иного решения, как переместить передатчик в Удине.

A5.5 SFN и феномен распространения по суше

Подобный феномен распространения был обнаружен и а других частях Италии и не создавался теплым морем.

Были проведены измерения в Кастель-Сан-Пьетро, недалеко от Болоньи, где многие жаловались на плохой прием в течение нескольких часов ежедневно.

Это целевая зона передатчика в Монте-Венда, расположенного в 100 км. Почти в том же направлении есть передатчик в Коль-Висентине на расстоянии 200 км.

Сигналы из Коль-Висентина покрывают 200 км и подвергаются феномену распространения, который может существенно менять их интенсивность даже в течение одного дня. Тракт из Монте-Венда идет почти в том же направлении, но лишь половину расстояния (100 км): этот сигнал также может подвергаться феномену распространения, но по-другому, и между ними нет корреляции. По этой причине отношение между уровнем желаемого сигнала (Монте-Венда) и источником помех (Коль-Висентин) может значительно меняться в течение суток.

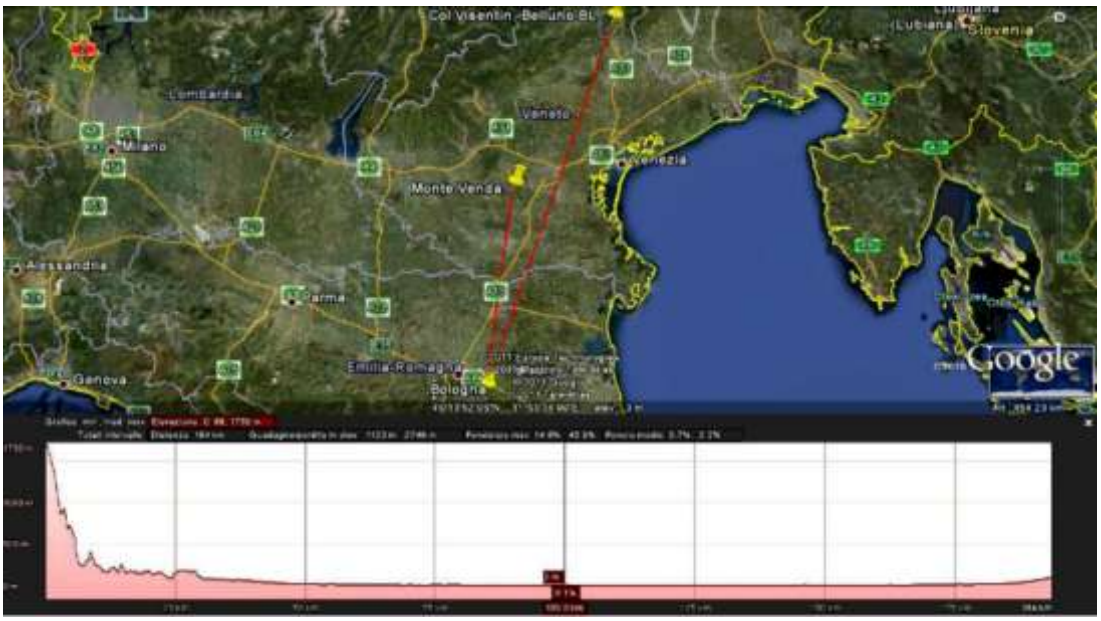


Рис. A5.8: Монте-Венда и Коль-Висентин относительно профиля Castel San Pietro & Castel San Pietro-Col Visentin

Анализ показывает, что во время распространения сигналы из передатчика в Коль-Висентине ухудшают качество приема. Следующие цифры, связанные с анализом канала Монте-Венда, демонстрируют переменность, наблюдаемую в короткий период около 1 часа.

Эхо из Коль-Висентина имеет задержку около 285 μs и показано на **Рис. A5.9** также с паразитным изображением с задержкой -13 μs. Лабораторные тесты доказали, что паразитные изображения эхо возникают. когда эхо выпадает из защитного интервала и его уровень на 21 dB или менее ниже основного.

Эта ситуация вызывает серьезное ухудшение качества приема, что подтверждается плохими значениями MER (17.4 dB) и BER (1.4E-3).

Рис. A5.9: Анализ сигналов Кастель-Сан-Пьетро (BO) – Монте-Венда, 09:08

На **Рис. A5.10** показан тот же анализ, повторенный через 40 минут. В промежутке уровень эхо Коль-Висентина снизился, и были записаны лучшие значения MER и BER.

Был выполнен дополнительный тест для оценки, вызвана ли деградация сигнала также другими передатчиками SFN.

Передатчик в Коль-Висентине был отключен на короткий период, и наблюдалось дополнительное улучшение сигнала из Монте-Венда. Это подтвердило, что локальная SFN оптимизирована и только сигнал Коль-Висентина ухудшает качество услуг (**Рис. A5.11**).

Для решения этой проблемы была снижена излучаемая мощность передатчика в Коль-Висентине в данном направлении и изменен наклон антенны.

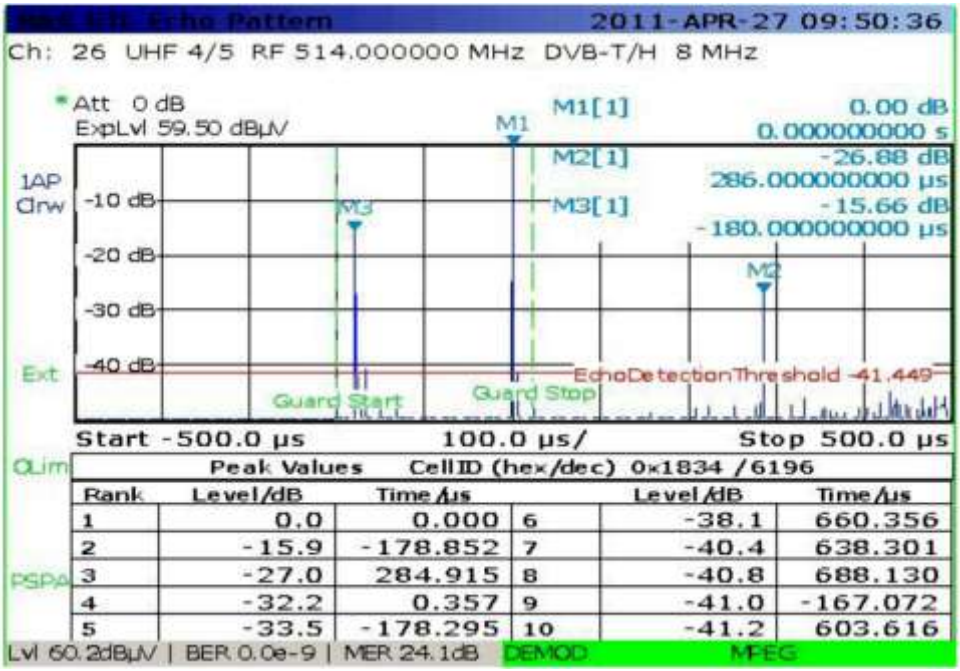


Рис. A5.10: Анализ сигналов Кастель-Сан-Пьетро (BO) – Монте-Венда, 09:50

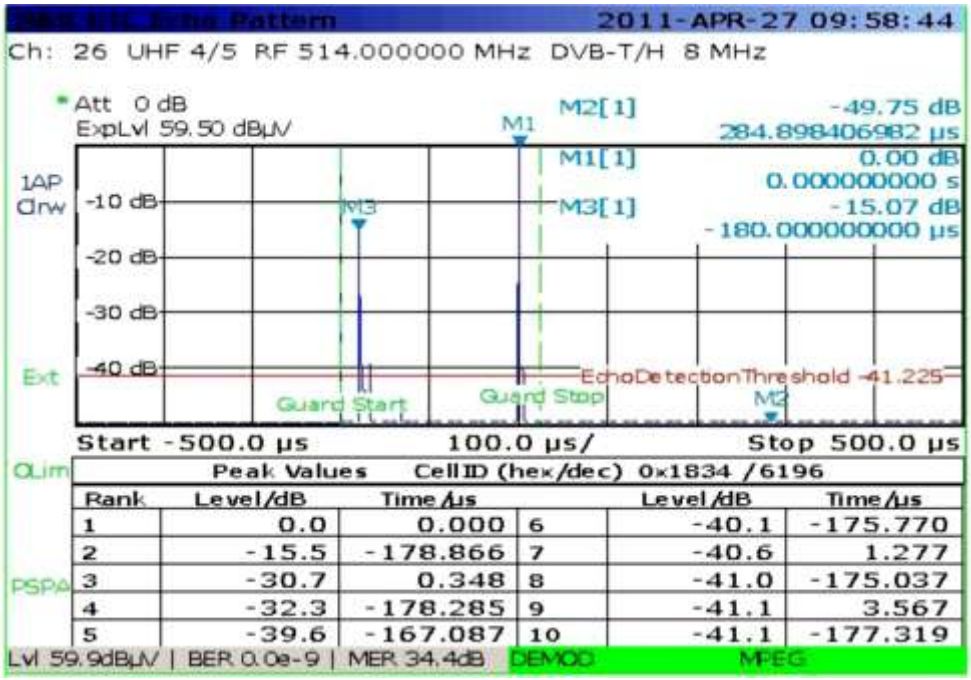


Рис. A5.11: Анализ сигналов Кастель-Сан-Пьетро (BO) – Монте-Венда с отключением Коль-Висентина

A5.6 SFN и феномен отражения / рассеивания

Еще одно интересное исследование было проведено для оптимизации SFN на озере Комо.

Это узкое озеро, окруженное горами, и феномен отражения бывает очень часто.

Услуга вещания обеспечивается передатчиками, расположенными в горах и направленными в противоположную сторону озера.

В частности, измерения проводились в северной части озера, около Стацооны.

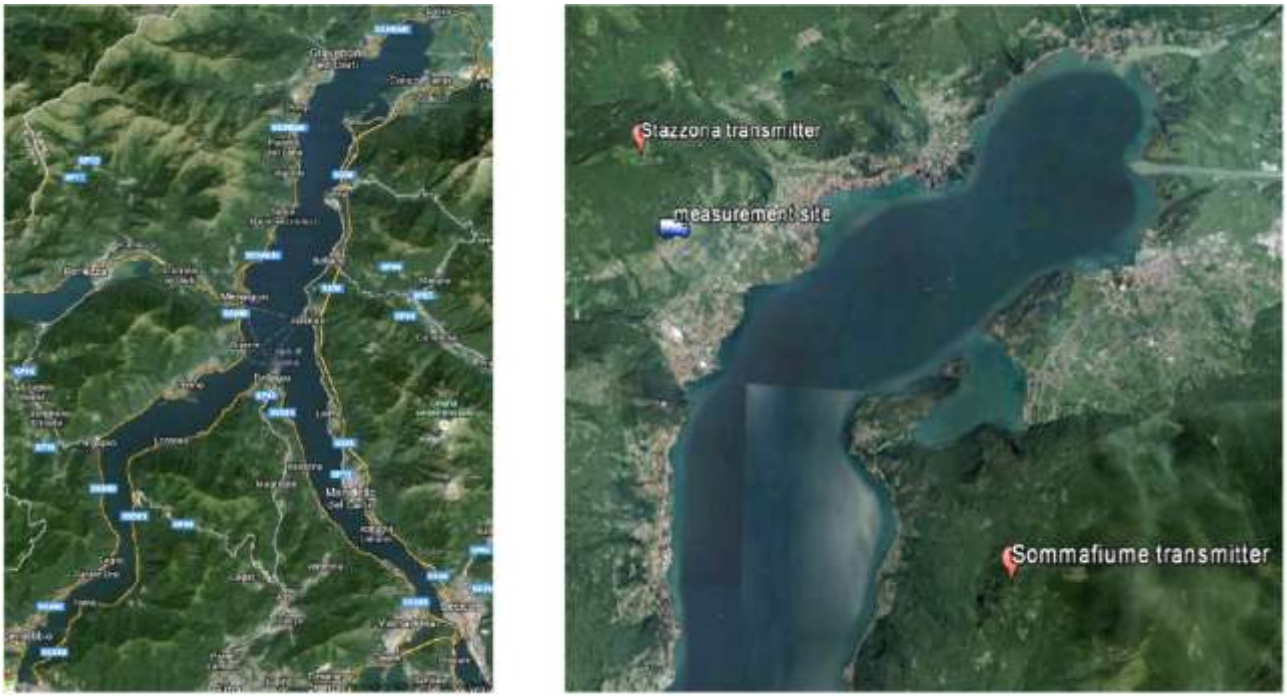


Рис. A5.12: Вид озера Комо – Детали северной части озера

Эта сторона озера – целевая зона передатчика Sommafiume, и все антенны зданий направлены в сторону Sommafiume. Несмотря на четкую линию видимости между передающей и приемной антеннами и короткое расстояние между ними (6 или 7 км), качество приема очень плохим в большой зоне, а в некоторых точках он был невозможен. Это в основном обусловлено множеством искусственных и естественных эхо. Многие из них связаны с передатчиком в Стаццоне; его сигнал отражался противоположной стороной горы, напрямую или через озеро (см. **Рис. A5.13**) Эхо в Стаццоне имеет задержку около 12 μs и уровень ≈ -26 dB).

Рис. A5.13: Анализ канала Стаццоны

Повышение качества услуг было достигнуто путем оптимизации мощности двух передатчиков и относительной задержки.

A5.7 SFN, эхо и анализ корреляции

Улучшение статистического анализа метода распространения, основанного на записи силы поля, достигается путем анализа корреляции между качеством принимаемого сигнала и принимаемыми уровнями эхо.

Rai Way начал проект вместе с сотрудниками университета по изучению возможных зон самоинтерференции SFN, для определения продолжительности самоинтерференции внутри этих зон и идентификации, какие тракты распространения несут ответственность за наблюдаемое ухудшение услуг.

После длительной записи в тестовых пунктах стало возможно вычислить процент времени, в который услуга пропадала или ухудшалась, и понять динамику распространения в каждом тракте, ответственном за самоинтерференцию. Собранные данные можно использовать для настройки сети и пополнения базы данных распространения.

Приложение A6: Дистанции повторного использования сетей DVB-T2

IRT V/FM Sato Telemi / Roland Brugger SMR-BNP033

20 сентября 2013

Исследование дистанции повторного использования сетей DVB-T2

A6.1 Введение

Для оптимального использования частотного спектра, который является ограниченным природным ресурсом, неизбежно повторное использование одной частотной полосы в разных географических зонах. Каждая из этих зон, покрытых одночастотной сетью (SFN), называется зоной обслуживания. Для возможности повтора частотных каналов важно минимальное расстояние между зонами обслуживания в одном канале, иначе будет нарушение в работе систем в одном канале.

Этот отчет представляет общее поведение опорной шестиугольной сети при наличии другой опорной сети в том же канале. Кроме того, изучается минимально необходимое расстояние между зонами обслуживания в одном канале. Также показано, как изменение различных системных параметров SFN влияет на дистанцию повторного использования.

A6.2 Методология

Теоретическая сеть, используемая в этом документе, соответствует шестиугольной сети RN1 документа RRC-06 **[A6-1]**. Эта сеть с 7 передатчиками показана на **Рис. A6.1**.

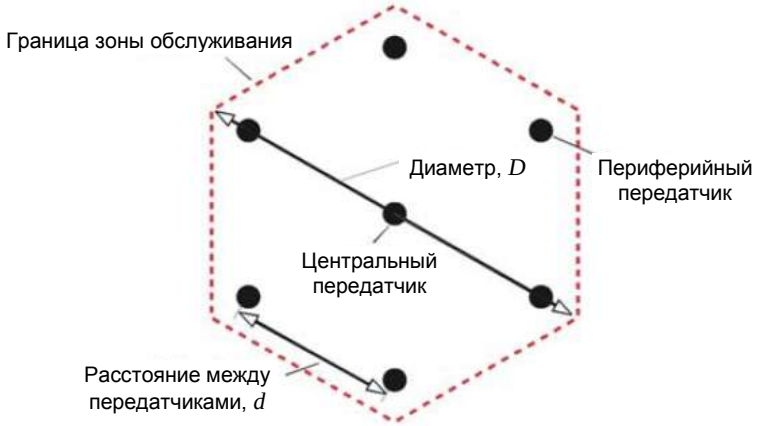


Рис. A6.1: Опорная сеть для исследований дистанции повторного использования

Область внутри красной пунктирной линии – это зона обслуживания. Внутри нее гарантирован охват с определенной вероятностью местонахождения. В нашем случае эта вероятность 95% для портативного и стационарного приема и 99% для мобильного. Как видно на **Рис. A6.1**, зона обслуживания не только включает область, соединяющую передатчики, но и немного ее расширяет. Фактически, к диаметру (D) с каждой стороны добавляется еще 15% расстояния между пунктами (d).

Как видно на **Рис. A6.2**, цель – найти минимально необходимое расстояние между двумя SFN, которые работают в одной частотной полосе и не создают друг другу помех. Другими словами, если разместить две эти сети ближе этого минимального расстояния, то полный охват серой зоны с вероятностью местонахождения 95% начнет нарушаться.

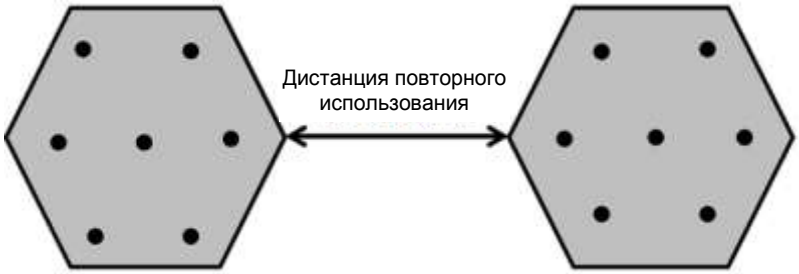


Рис. A6.2: Схематика дистанции повторного использования в одном канале в опорной сети

Системные параметры выбраны так, чтобы гарантировать 100% охват с данной вероятностью местонахождения без учета эффекта интерференции. Другими словами, недостаток передаваемой мощности или очень большая минимально требуемая сила поля не должны быть причиной отсутствия охвата.

Кроме эффективной излучаемой мощности, к первичной передаваемой мощности добавлено еще 3 dB. Этот предел мощности позволяет первичной сети быть более устойчивой к интерференции в одном канале.

Значение CNR – один из важных параметров оценки дистанции повторного использования, и его изменение влияет на минимальную силу поля. Единственные параметры в модусе, которые заметно меняют значение CNR – это кодовая скорость и схема модуляции. Поэтому все выбранные в данном исследовании режимы имеют одинаковый размер окна, защитный интервал, пилотный шаблон, и единственная разница между ними – кодовая скорость и модуляция.

После выбора соответствующих системных параметров обе сети смещаются все ближе и ближе до расстояния, когда в зоне обслуживания появятся первые непокрытые пиксели. Это и есть расстояние, которое определяется как дистанция повторного использования.

A6.3 Результаты

A6.3.1 Зависимость дистанции повторного использования от значения CNR, эффективной излучаемой мощности (ERP) и эффективной высоты антенны (Heff)

В этом разделе обсуждается зависимость дистанции повторного использования от эффективной излучаемой мощности, эффективной высоты антенны передатчика и значения CNR.

Схема модуляции, применяемая в различных исследованиях – 64-QAM, а кодовая скорость варьируется между 1/2 и 3/4. На самом деле режимы с кодовой скоростью 1/2 и 3/5 соответствуют максимально достижимой скорости передачи данных в мобильном приеме большой и очень большой SFN **[A6-2],** следовательно, выбранные режимы приводят к значению скорости передачи от 16.8 до 25.2 Mbit/s. Тогда значения CNR будут от 15.1 до 20.4 dB, как показано на **Рис. A6.3**.

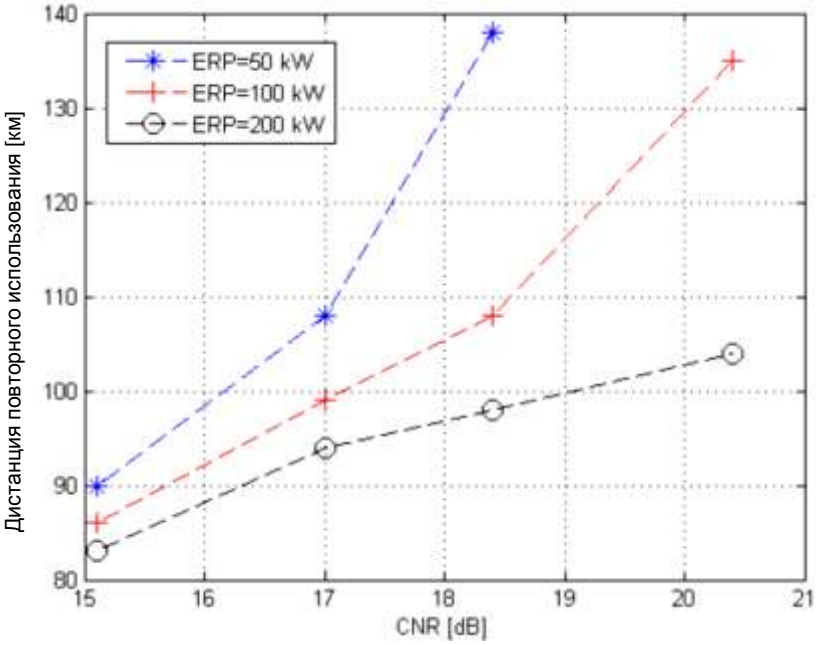


Рис. A6.3: Дистанция повторного использования опорных сетей с Heff=300 м, ISD=60 км, разными значениями CNR и разной эффективной излучаемой мощностью (ERP) в режиме портативного наружного приема

На **Рис. A6.3** и **A6.4** дистанция повторного использования увеличивается со значением CNR. С увеличен ем CNR выбранный режим становится более чувствительным и менее устойчивым к само- или внутриканальной интерференции. В этой сети и во всех режимах, применяемых в данном отчете, интерференция в одном канале в любом случае выше, чем эффект самоинтерференции. Для компенсации внутриканальной интерференции следует увеличить расстояние между двумя сетями. Это причина увеличения дистанции повторного использования в режимах с более высоким CNR.

На **Рис. А6.3** увеличение излучаемой мощности в обеих сетях в режиме работы ведет к увеличению полезной и мешающей силы поля одновременно. Однако с разной излучаемой мощностью сети имеют разную устойчивость к интерференции, и этот факт также доказан на **Рис. А6.4**.

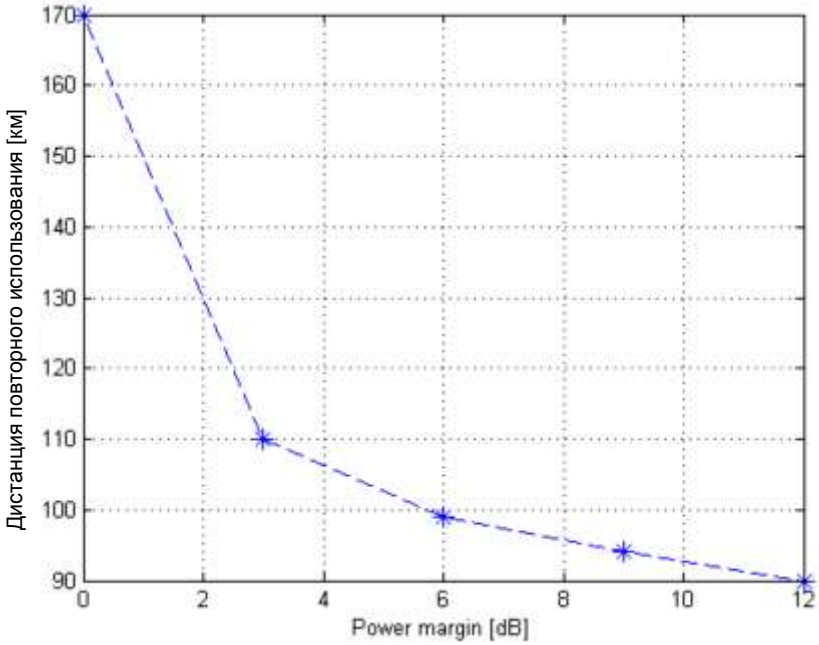


Рис. А6.4: Дистанция повторного использования двух сетей в одном канале с Heff=300 м, CNR=17 dB, ISD=60 км с первичной излучаемой мощностью 44 dBW и увеличением предела мощности на 3 dB на каждом этапе

Первичная излучаемая мощность на **Рис. А6.4** – 25 kW или 44 dBW. На каждом этапе к первичному значению добавляется предел мощности 3 dB. Таким образом вычисляется требуемая дистанция повторного использования для излучаемой мощности 25, 50, 100, 200 и 400 kW.

На **Рис. А6.5** показано отношение между дистанцией повторного использования и эффективной высотой антенны. Согласно кривым распространения и потерь в тракте в модели ITU-R Rec. P.1546 **[A6-3],** дифференциация двух сил поля меняется с расстоянием от передатчика. На самом деле дифференциация силы поля между кривыми разной высоты антенны намного больше на меньших, чем на больших расстояниях от передатчика. Поэтому полезная сила поля увеличивается с высотой антенны, а мешающая остается почти постоянной, а это ведет к меньшей возможной дистанции повторного использования для более высоких антенн.

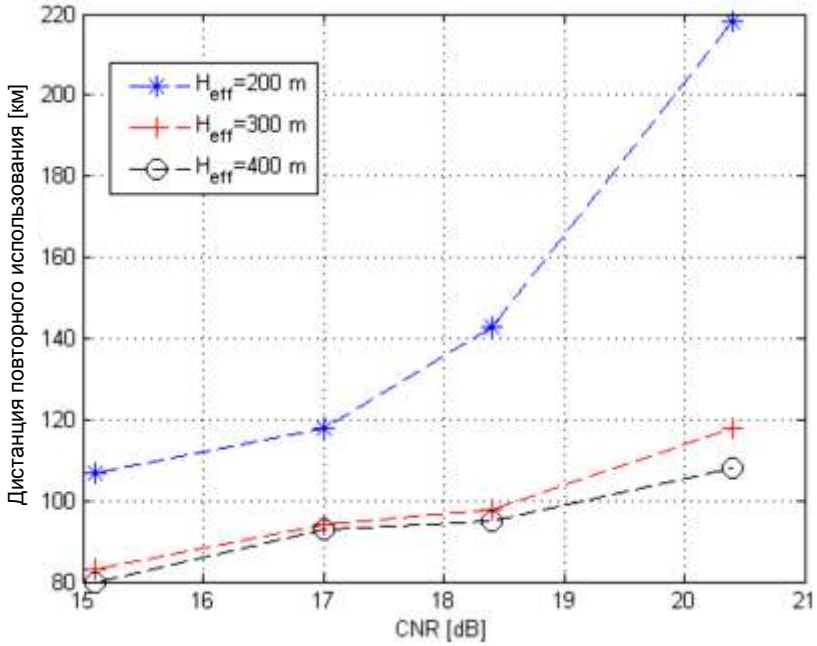


Рис. А6.5: Дистанция повторного использования опорной сети с ERP=200 kW, разными значениями CNR и разной эффективной высотой антенны (Heff)

Причина большой разницы между требуемой дистанцией повторного использования синей кривой и двумя другими кривыми состоит в неравенстве пошагового изменения кривых для разной высоты антенны на меньших расстояниях. Разница между двумя кривыми распространения увеличивается с увеличением высота антенны на меньших расстояниях. Разница между помеховыми полями остается почти постоянной. Это ведет к огромной разнице полезной силы поля между 200 м и 300 м, что создает большое различие в дистанциях повторного использования.

A6.3.2 Дистанция повторного использования в разных режимах приема

В этой части сравнивается дистанция повторного использования в разных сценариях приема. Выбранный режим для этого сравнения – тот, который ведет к максимальной скорости передачи в мобильном приеме в больших SFN **[A6-2]**. Однако стоит упомянуть, что в предыдущем документе наблюдался охват для закрытой сети, а здесь сеть открытая и имеет с каждой стороны 15% предел расстояния между пунктами.

В **Таблице A6.1** вероятность местонахождения 95% для всех трех случаев. В основном, для мобильного сценария в процессах планирования обычно рассматривается вероятность местонахождения 99%, но даже без учета любого вида помех этот охват не достигается в данном модусе. Вероятность местонахождения для мобильного режима выполняется, только если уменьшить CNR и в результате – скорость передачи.

Таблица A6.1

64-QAM- 3/5 , pp1, 1/4 , 16k , скорость передачи = 20.1 Mbit/s (95% вероятность местонахождения)		
Стационарный прием на крыше	Портативный наружный прием	Мобильный наружный прием
Дистанция повтор. использ. = 60 км	Дистанция повтор. использ. = 100 км	Дистанция повтор. использ. = 165 км

В **[A6-3]** показано, что требуется более точное измерение и информация о значении CNR в мобильном приеме DVB-T2, и значение CNR на 5 dB выше можно быть нереалистично и несоизмеримо влиять на результаты. На момент подготовки данного исследования, к сожалению, до сих пор нет информации о более конкретных результатах и измерениях. По этой причине здесь в мобильном варианте предполагается CNR на 5 dB выше, пока не будет получено новых результатов для этого значения. Увеличение необходимой дистанции повторного использования в мобильном режиме – результат разницы значения CNR в 5 dB по сравнению с портативным приемом.

A6.3.3 Зависимость дистанции повторного использования от расстояния между пунктами (ISD)

Дистанция повторного использования вычисляется для разного расстояния между пунктами, чтобы посмотреть, как она меняется, если расстояние между полезной и мешающей сетью одновременно уменьшается или увеличивается.

Проверяются результаты для стационарного и портативного приема. Важно заметить, что приемные антенны в двух сценариях разные. Стационарная приемная антенна – направленная с диаграммой в ITU-R BT.419-3-Band-4-5 **[A6-4]**. Антенна для портативного приема предполагается ненаправленной и без усиления. Поэтому прямое сравнение дистанций повторного использования этих режимов приема невозможно. Результат – скорее сравнение дистанции повторного использования с одинаковым типом приема только с разными ISD.

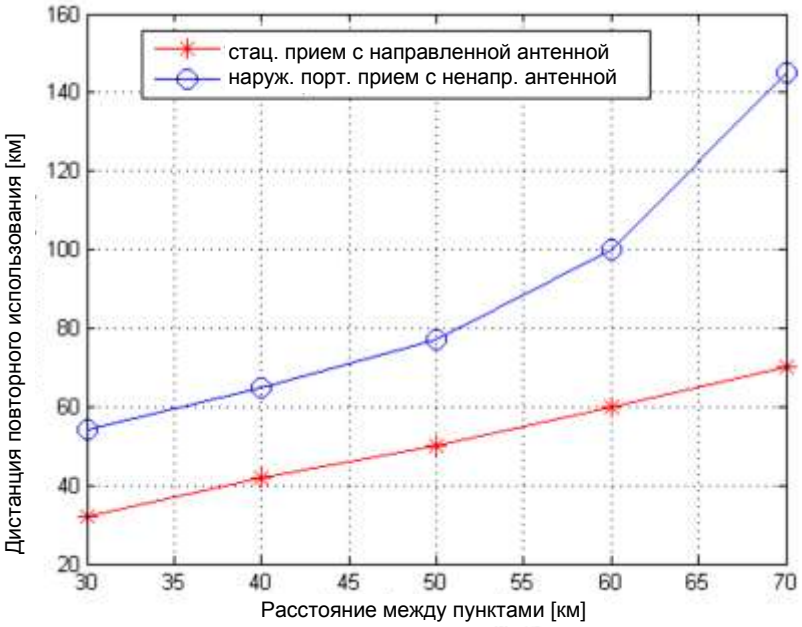


Рис. A6.6: Дистанция повторного использования в сравнении с расстоянием между пунктами для стационарного и наружного портативного приема с 16-QAM-3/5, GI=1/4-pp1, ERP=100 kW, GI=60 км и Heff=300 м

На самом деле значение защитного интервала не оказывает никакого влияния на дистанцию повторного использования. Однако самый большой защитный интервал используется для гарантии отсутствия самоинтерференции и того, что на ограничение минимально возможного расстояния между двумя сетями влияет только сеть в том же канале. Как видно на **Рис. A6.6**, в обоих сценариях приема дистанция повторного использования уменьшается с сокращением расстояния между пунктами.

A6.3.4 Дистанция повторного использования опорной сети с разным количеством передатчиков

Все предыдущие результаты наблюдаются с шестиугольником, состоящим из 7 передатчиков. Интересно посмотреть, влияет ли добавление новых передатчиков на результат дистанции повторного использования, или она остается неизменной.

В этом разделе ограничение охвата в любом случае вызвано внешними сетями, а не самоинтерференцией. Дистанция повторного использования вычисляется для трех количеств передатчиков; 7, 19 и 37.

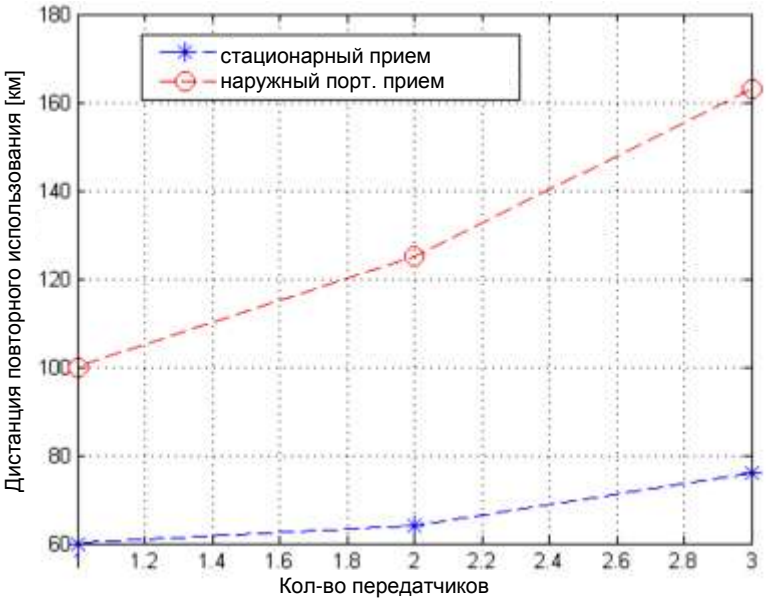


Рис. A6.7: Влияние количества передатчиков на дистанцию для стационарного и портативного приема (64-QAM-3/5, pp1, 1/4, 16k), Heff=300 м, ERP=100 kW

Согласно **Рис. A6.7,** добавление передатчиков заметно не влияет на дистанцию повторного использования в стационарном приеме, а в портативном дистанция увеличивается с числом передатчиков. Согласно этим результатам, требуемая дистанция повторного использования для теоретической сети общенациональной SFN, упомянутой в **[A6-2]**, с 127 передающими антеннами будет очень большой.

A6.4 В заключение

В этой статье изучается требуемая дистанция повторного использования для двух сетей в одном канале. Наблюдается зависимость дистанции повторного использования от различных системных параметров, таких как высота антенны, излучаемая мощность и количество передатчиков. По результатам можно сделать вывод, что в частотном и сетевом планировании будет компромисс между частотной эффективностью и эксплуатационными расходами. С увеличением излучаемой мощности две сети в одном канале могут работать с малой дистанцией повторного использования без интерференции, что является очень частотно-эффективным решением. Однако большая излучаемая мощность заметно увеличивает эксплуатационные расходы. То же относится и к высоте передающих антенн и расстоянию между передатчиками.

A6.5 Ссылки

[A6-1] GE06 Agreement: Final Acts of the Regional Radio communication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06)

[A6-2] S. Telemi, R. Brugger, ‘Optimal DVB-T2 system parameters for the coverage of large single frequency networks’, EBU, SMR-BNP, июль 2013

[A6-3] ITU-R Rec. P.1546: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz

[A6-4] ITU-R Rec. BT.419-3: Directivity and polarization discrimination of antennas in the reception of television broadcasting