

EBU Technical Review : No. 282 (March 2000)

**J. Fletcher and M. Prior-Jones***BBC Research & Development***Внимание!**

- Оригинал этой статьи находится на сайте по адресу: [http://www.ebu.ch/trev\\_home.html](http://www.ebu.ch/trev_home.html)
- Данный перевод **НЕ** является официальной версией статьи и может содержать отдельные неточности.

## Качество изображения MPEG видео

Д. Флетчер и М. Прайор-Джойнс

*Департамент исследований и развития BBC*

В статье описывается исследование влияния квантования коэффициентов DCT на качество изображения MPEG-кодированного видео. Она включает субъективные тесты, в которых зрителей попросили классифицировать изображения, закодированные на постоянном уровне квантования. Результаты представляют соотношение между субъективным качеством изображения и параметром *quantizer\_scale*.

### Предисловие

Кодирование MPEG-2 широко принято в качестве системы цифровой видео компрессии и является основой новых «цифровых» телевизионных служб. Однако эта технология относительно новая, и вопросы об ее эффективном применении пока остаются без ответов. Одна из основных жалоб на сжатое видео MPEG-2 – это трудность определения скорости передачи для программ. Высокие скорости дают лучшее качество, но уменьшают количество программ в мультиплексе. Качество изображения в системе на базе MPEG-2 зависит как от

скорости, так и от содержания показываемой программы. Программы с быстрым действием и частой сменой планов смотрятся хуже, чем «говорящие головы» с той же скоростью, из-за природы системы компрессии. Измерение качества изображения независимо от программы представлялось полезным, так как могло использоваться в качестве руководства при определении скоростей передачи или в качестве определяющего фактора в алгоритмах статистического мультиплексирования.

Хотя система MPEG-2 использует для сжатия видео большое количество методов, потери бывают только в двух:

- ⇒ субдискретизация цветности 4:2:2 в 4:2:0;
- ⇒ квантование коэффициентов DCT.

Результаты последнего метода могут быть от очень хороших (с едва воспринимаемыми артефактами) до очень грубых (с весьма раздражающими артефактами), и они непосредственно влияют на результирующую скорость передачи (чем они грубее, тем ниже скорость). Поскольку MPEG-2 обычно используется в среде с ограниченной скоростью, в кодер встроена цепь обратной связи. Кодер с переменной скоростью заполняет буфер, который освобождается передающим каналом с постоянной скоростью. Если буфер начинает заполняться, квантование происходит грубее. При освобождении буфера квантование становится лучше. Таким образом, происходит передача с постоянной скоростью. Такая же цепь обратной связи работает и в системе статистического мультиплексирования, но скорость передающего канала (для данной программы) время от времени меняется согласно потребностям других программ в мультиплексе.

Идеей этой серии экспериментов было определение отношений между *quantizer\_scale* – шкалой квантизатора (переменной, контролирующей грубость квантования коэффициентов DCT) и фактическим качеством изображения. Мы надеялись найти пороговую точку, за которой большинство людей не могли бы различить кодированные и некодированные изображения, так как это могло бы помочь в предоставлении «оппортунистических информационных услуг». Этот метод включает установление на квантизаторе более низкого лимита, чтобы программа никогда не кодировалась с лучшим уровнем, чем может увидеть зритель. Это снижает скорости передачи и высвобождает пропускную емкость, которая может быть использована для некритичных по времени информационных услуг (например, телетекста).

## Использованное оборудование

Доступный нам кодер был разработан проектом COUGAR<sup>1</sup> и мог легко приспособить квантизатор и менять скорость передачи. Этот кодер – вещь необычная (скорее исследовательский прототип, чем коммерческий продукт); он использует метод оценки движения по корреляции фазы BBC / Snell & Wilcox, а не согласование блоков, как другие кодеры<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> COUGAR был проектом в программе EU RACE.

<sup>2</sup> Кодеры с корреляцией фазы кодируют сигнал при помощи векторов фактического движения видео, в то время как кодеры с согласованием блоков ищут наилучшее соответствие в ограниченном диапазоне поиска. Эти методы альтернативны, и каждый имеет свои плюсы и минусы.

Кодер был установлен на минимальный квант и максимальную скорость выдачи (максимально возможную – 15 Мбит/с). Это значило, что кодер фиксировал квантизацию на минимальной установке, пока выходная скорость не достигала 15 Мбайт/с, где укрупнял квантование во избежание переполнения буфера. Этот эффект мы наблюдали с определенными программами, которые при кодировании *quantizer\_scale* = 6 требовали более 15 Мбит/с (максимально возможной скорости, которую может выдать кодер) и потому имели короткие пакеты кодирования при более грубом квантовании. В заключительных тестах большинство этих последовательностей не использовалось; в тестах влиянию подверглась только одна последовательность с показом матча по регби.

Было включено свойство «адаптивного квантования» кодера (регулирующее квантование отдельных макроблоков). Оно укрупняет квантование областей с быстрым движением и обостряет его в гладких областях и в областях с высоким уровнем красного цвета. Это помогает выровнять качество изображения между программами.

## Предварительные эксперименты

С кодером было проведено несколько экспериментов для определения параметров и типов используемых программ. Сначала кодер был установлен в лаборатории с приемом непосредственно с эфира BBC 1, и с различными программами были испытаны разные установки. Программы, давшие интересные результаты, были записаны на ленту из архива. Эти программы (из «дневного времени») изначально были в формате PAL на ленте D3. Мы хотели иметь также несколько компонентно-записанных программ и выбрали их из еженедельного расписания BBC Radio Times (в котором они обозначались как цифровые широкоэкранные).

**Таблица 1**  
**Использованные программные элементы**

Название	Формат	Описание
Box Hill	Изначально 1250-строчный широкоэкранный HD, но переведен в 625-строчный 4x3	Полет вертолета над лесистым холмом.
Eastenders	PAL 4x3	Популярная мыльная опера. Показана женщина в доме, которая разговаривает с мужем и складывает платье с блестками.
GW Garden	Изначально 16x9 компонент, но переведен в 4x3	Выдержка из <i>Мира садовода</i> : Стивен Лэйси идет по саду.
GW Potting Up	Изначально 16x9 компонент, но переведен в 4x3	Алан Титчмарш делает посадки вокруг оранжереи.
Heart By-pass	Изначально широкоэкранный фильм, но записан как 4x3 PAL	Документальный фильм Джонатана Мидеса о Бирмингеме. Показано, как он вытаскивает игрушечные машинки из стиральной машины в прачечной.
Ironside	Изначально киноплёнка, но записан как 4x3 компонент	Передача об американских полицейских 1970-х гг. Показан мальчик, идущий по людной улице.
Playdays	PAL 4x3	Детская программа. Показан ведущий в ярком костюме.

Rugby	Изначально 16x9 компонент, но переведен в 4x3	Матч по регби. Этот клип не смог достичь постоянного <i>quantizer_scale=6</i> , т.к. требовалась слишком высокая скорость.
Top Gear	Изначально 16x9 компонент, но переведен в 4x3	Автомобильный журнал. Показан Квентин Уилсон, стоящий перед дорогой на площади.
Top Of The Pops	PAL 4x3	Шоу поп-музыки. Показана толпа на концерте Bus Stop & Carl Douglas.
Wipeout	PAL 4x3	Телевикторина. Показан говорящий и жестикулирующий Боб Манкхауз.

Затем мы запросили эти программы на ленте из телевизионного центра BBC. Остальные программы были взяты с тестовой ленты, скомпилированной для тестирования кодеров MPEG-2. Мы хотели показать характерный для вещания широкий спектр программ, выявляющий места, чувствительные к артефактам квантования. Клипы были собраны, форматные соотношения при необходимости переведены, а потом они были записаны на ленту Digital Betacam.

Затем, эти программные элементы были записаны через кодер (на ленту Digital Betacam) и смонтированы в три коротких теста, каждый из которых был показан небольшому количеству зрителей для получения представления о диапазоне качества, который следовало включить в основные тесты.

## Использованные программные элементы

Указаны в *Таблице 1*.

## Метод тестирования

Используемый метод тестирования известен как тест DSCQS и полностью описан в Рекомендации ITU-R BT.500 [1].

Каждый отдельный тест состоит из двух презентаций, А и В, которые всегда берутся из одного и того же исходного клипа, но одна из них кодируется, а другая служит некодированным «опорным» изображением. Зрителей просят классифицировать оба изображения и не говорят, какое из них является опорным. Позиция опорного изображения меняется в псевдослучайной последовательности. Тестовая лента была составлена из EDL, сгенерированного в специальной компьютерной программе. Зрители дважды просматривают каждую презентацию (А,В,А,В), согласно формату тестов, показанному в *Таблице 2*.

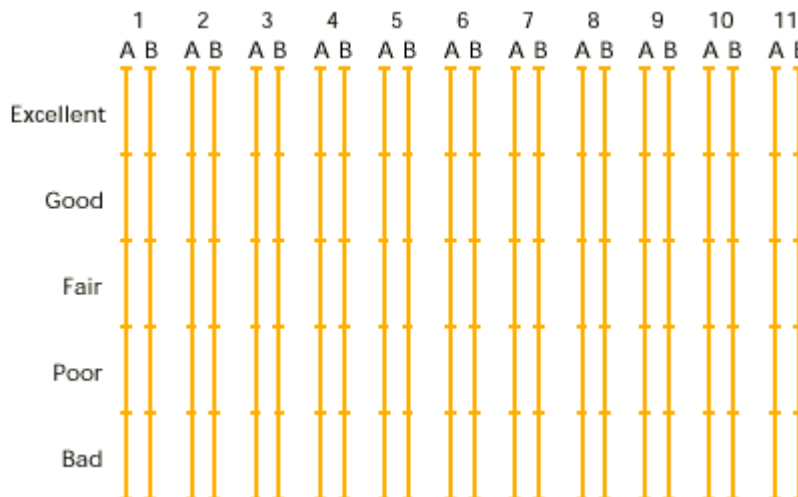
**Таблица 2: Формат тестов**

Пп.	Продолжительность (сек)
Номер теста (белый на сером фоне)	2
Презентация А	8-10
Пауза (серый экран)	3
Презентация В	8-10
Пауза (серый экран)	3

<b>Снова презентация А</b>	8-10
<b>Пауза (серый экран)</b>	3
<b>Снова презентация В</b>	8-10
<b>Пауза для голосования (серый экран)</b>	3

Тестовый блок включал 22 теста и длился около 20 минут. Всего было три блока, а порядок их просмотра менялся от сеанса к сеансу. Для записи своих результатов зрители пользовались шкалой типа изображенной на *Рис. 1*.

Зрители синими чернилами наносили на шкале горизонтальную линию, представляя свое мнение о качестве определенной презентации.

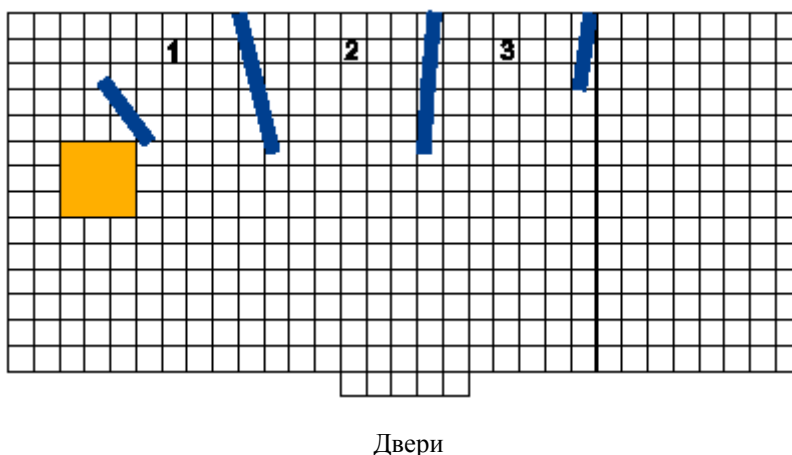


**Рис. 1: Часть оценочного листа, использованного зрителями.**

Данные из оценочных листов заносились потом для анализа в крупноформатную таблицу. Число, вводимое в компьютер, было разницей в миллиметрах между презентациями А и В и было отрицательным, если зритель отметил ухудшение изображения.

## Помещение для просмотра

Для презентации теста сразу трем зрителям (для экономии времени) помещение было разделено на три кабины с мобильными экранами. Они были расставлены дугой вдоль стены (см. *Рис. 2*). Каждая кабина была снабжена монитором на подмостках и стулом на расстоянии 4Н от экрана. Наверху монитора был дисплей, показывающий либо “А”, либо “В”, напоминая зрителям, какую презентацию они смотрят.



**Рис. 2 Планировка просмотрной, использованной для тестов: один квадрат – приблизительно 30 см<sup>2</sup>.**

Все мониторы (Ikegami 19" – цифровой вход) были установлены и настроены до начала тестовых сеансов при помощи встроенных генераторов тестовых последовательностей. Тестовая лента воспроизводилась на машине Sony Digital Betacam VT (в аппаратной записи) с удаленным управлением экспериментатора. Дисплеи A/B управлялись тонами, записанными на звуковые дорожки тестовых лент.

Люминесцентное освещение просмотровой было потушено до нижней отметки, а окна были затемнены лентой "gaffer"<sup>3</sup>. Освещение и другие условия просмотра были установлены согласно принципам Рекомендации ITU-R BT.500 [1].

## Процедура обучения

С целью помочь зрителям в суждении во время тестов был проведен учебный сеанс. Он состоял из двух частей. В первой части зрителей пригласили посмотреть на монитор вблизи при воспроизведении ряда видеоклипов. Сначала был показан некодированный клип, а потом – три раза кодированный. Клипы варьировались от очень грубого до очень точного квантования для представления диапазона качества, показанного во время тестов.

Второй раздел обучения был коротким тестом, предназначенным для ознакомления зрителей с форматом тестов. Результаты этого теста не учитывались.

## Зрители

За две недели тест провели 26 зрителей. Все они были из научно-исследовательского персонала BBC и имели широкий опыт. Как минимум 9 зрителей были «профессионалами» (т.е. регулярно работали в непосредственном контакте с ТВ изображениями), а остальные были исследователями в других областях, служебным персоналом и стажерами. Все они участвовали в тестах добровольно.

## Установки квантования

Базовый параметр *quantizer\_scale* был управляем. Адаптивным алгоритмом квантования кодера добавлялся динамический сдвиг (положительный или отрицательный) между макроблоками; это помогало делать субъективное качество менее зависимым от содержания изображения. Параметр *quantizer\_scale* определен в стандартах видео кодирования MPEG, ISO/IEC 11172-2 и ISO/IEC 13818-2 [2]. Обратите внимание, что результаты опираются на *quantizer\_scale*, а не на *quantizer\_scale\_code*.

Значения, вынесенные в результаты, взяты для базового *quantizer\_scale*. Для каждого программного элемента в тесте использовались установки 6, 8, 10,

---

<sup>3</sup> Тканевая лента, используемая, например, для отметки позиций камер на полу студии.

12, 14 и 16 (на основе результатов предварительных тестов). В Приложении А приводятся средние скорости передачи для тестовых элементов.

### Аббревиатуры

<b>DSCQS</b>	<i>Double-stimulus continuous quality scale</i> Постоянная шкала качества с двойным входным сигналом
<b>DCT</b>	<i>Discrete cosine transform</i> Преобразование с дискретным косинусом
<b>EDL</b>	<i>Edit decision list</i> Монтажный лист
<b>HD</b>	<i>High definition</i> Высокая четкость
<b>MPEG</b>	<i>Moving Picture Experts Group</i> Группа специалистов по движущимся изображениям
<b>PAL</b>	<i>Phase alternation line</i> Строка с фазовым чередованием

## Обсуждение результатов

Графики в *Приложении В* показывают средние оценки зрителей для каждой установки *quantizer\_scale*. Оценки прямо соотносятся со 100-мм шкалой графика, поэтому балл –20 означает, что зрители оценили кодированное изображение в среднем на 20 мм хуже опорного. В данной шкале 20 мм соответствуют примерно одному градусу ITU-R, поэтому балл –20 означает, что в результате процесса кодирования на данном уровне квантования «отличное» опорное изображение ухудшилось примерно до «хорошего».

За две недели тест провели 26 зрителей. Все они были из научно-исследовательского персонала BBC и имели широкий опыт. Как минимум 9 зрителей были «профессионалами» (т.е. регулярно работали в непосредственном контакте с ТВ изображениями), а остальные были исследователями в других областях, служебным персоналом и стажерами. Все они участвовали в тестах добровольно.

Поскольку из всего зрительского населения был взят только образец (т.е. 26 человек, участвовавших в тестах), доверительный 95% интервал используется для демонстрации точности дискретизации. Мы можем быть на 95% уверены, что фактический средний график (т.е. для всего населения Великобритании) будет находиться между ошибочными полосами на графике.

Нам не показалось нужным исключать из результатов кого-либо из зрителей – лишь один зритель был определен несоответствующим общей тенденции остальных, и его исключение не повлияло бы существенно на остальные результаты.

Глядя теперь на результаты в целом – в частности, на график (*Рис. А1*) со всеми программными элементами, – отношение между *quantizer\_scale* и средним

баллом выглядит в основном линейным, хотя степень деградации сильно меняется между элементами. Ясных «порогов видимости» – резкого ухудшения качества изображения на определенном уровне квантования – мы не наблюдаем.

Видно, что контролировать качество изображения независимо от программ сложно, хотя этот метод (постоянный *quantizer\_scale*) более надежен, чем просто фиксация скорости передачи. Вариации между программами, вероятно, вводятся (i) вариациями в качестве изображения источника (некоторые программные элементы были закодированы в PAL, а некоторые имели киношум) и (ii) общими вариациями в содержании и движении изображения. Следует также заметить, что на качество изображения слегка влияла субдискретизация цветности от 4:2:2 до 4:2:0, хотя большая часть зрителей об эффектах цветности не высказывалась.

## В заключение

В большинстве случаев установка минимального кванта на 6 приводила к снижению качества менее чем на полградуса по шкале ITU-R по сравнению с исходным изображением. С установкой кванта на 8 качество ухудшалось (почти всегда) менее чем на один градус. Однако между программами были значительные вариации: ухудшение на один градус (балл –20) достигалось при *quantizer\_scale* = 8 для “*Top Gear*” и “*GW Garden*”, а “*Top of the Pops*” не достигал этого уровня, пока *quantizer\_scale* не дошел до 14. “*Ironside*” и “*Heart By-pass*” не дошли до –20 даже при самом грубом квантовании.

Ограничение *quantizer\_scale* (например, до минимум 8) – с целью обеспечения оппортунистических информационных услуг – снизит качество изображения некоторых программ (студийные съемки BBC News кодируются сейчас при *quantizer\_scale* = 4, а “*Teletubbies*” BBC – между 5 и 8), но поскольку многие другие программы передаются с гораздо более грубым квантованием (например, трейлеры в BBC Choice и BBC Knowledge), такой лимит сделает качество изображения более постоянным. В конце концов, надо еще решить, стоит ли имеющаяся емкость данных (относительно небольшого) ухудшения качества изображения. Следует заметить, что регулирование буфера для предотвращения недо- и переполнения декодера для кодирования с переменной скоростью нетривиально.

Дальнейшая работа может включать:

- ⇒ тесты с другими кодерами для проверки подобных результатов;
- ⇒ измерения квантования программ в текущем вещании для оценки количества и жанров программ, на которые повлияет введение оппортунистических информационных услуг;
- ⇒ исследования скорости передачи, необходимой для данного квантования ряда программных элементов.





**Джон Флетчер (John Fletcher)** изучал физику и электрические науки в Университете Кембриджа, получил степень Мастера.

Искусства. Он поступил в научно-исследовательский отдел BBC в 1986 году.

В начале карьеры, он работал в области звука и акустики.

Позднее, его научно-исследовательские интересы сфокусировались на видео кодировании MPEG; особенно в отношении получения эффективного использования доступной ширины полосы частот передачи. М-р Флетчер последние шесть месяцев является Техническим консультантом в BBC Production.

**Майкл Прайор-Джонс (Michael Prior-Jones)** поступил в научно-исследовательский отдел BBC в 1998 году как инженер—стажер. Он работал в системах исследования и планирования кодирования MPEG-2 и регистрации данных для спектра RF. В настоящее время он на четырехлетнем курсе электронной техники университета г.Йорка и надеется вернуться на BBC после университетского отпуска.



## Библиография

- [1] ITU-R Recommendation BT.500: **Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures (Методология субъективной оценки качества телевизионных изображений)**  
ITU, Geneva, 1998.  
<http://www.itu.int/itudoc/itu-r/rec/bt/500-9.html>
- [2] ISO/IEC 13818-2: **Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video (Информационная технология – Общее кодирование движущихся изображений и соответствующей звуковой информации: Видео)**  
ISO/IEC, Geneva, 1996.  
<http://www.iso.ch/cate/d22990.html#0>

## Приложение А

### Приблизительные средние скорости передачи (Мбит/с) тестовых элементов

Клипы	quantizer_scale					
	6	8	10	12	14	16
Box Hill	12	6	5	3	2.5	2
Eastenders	7	4	3	2	1.5	1.5
GW Garden	12	6	5.5	5	3	2
GW Potting Up	13	10	8	7	5	5
Heart By-pass	9	7	5	4	3	3
Ironside	13	6	5	4	3.5	3
Playdays	13	9	7	6	5	4
Rugby	11	5	4	3	3	3
Top Gear	12	8	6	4	3	3
Top Of The Pops	15	10	8	6	5	4
Wipeout	9	5	4	3.5	3	2

## Приложение В Графики

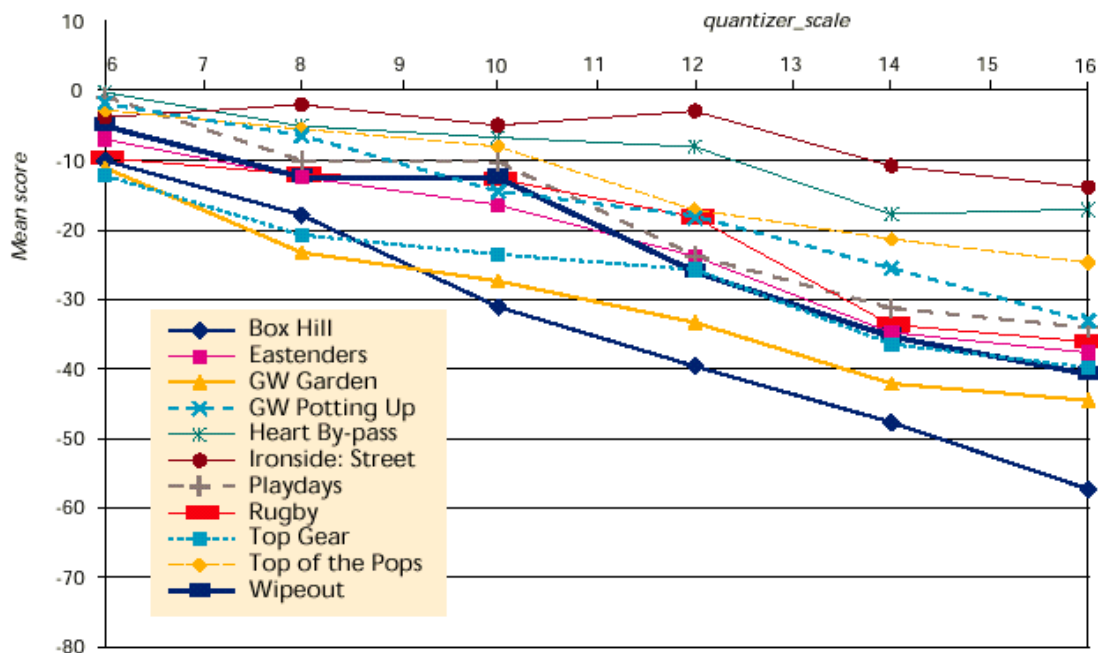


Рис. А1: График, показывающий все программные элементы.

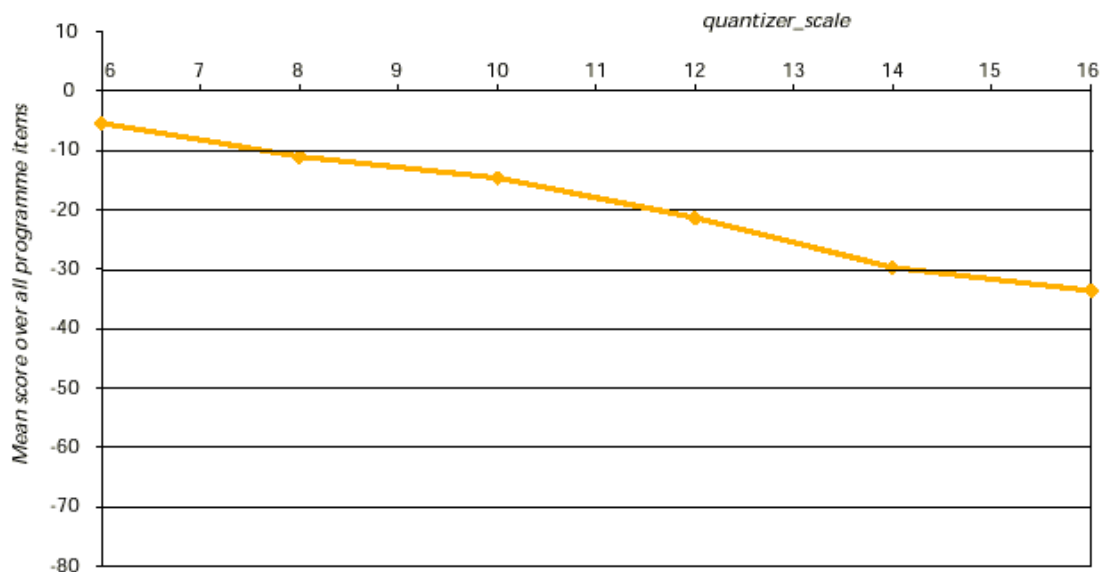


Рис. A2: Общий график (средний по всем программным элементам).

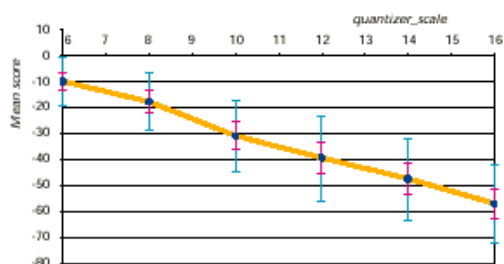


Figure A3  
Box Hill.

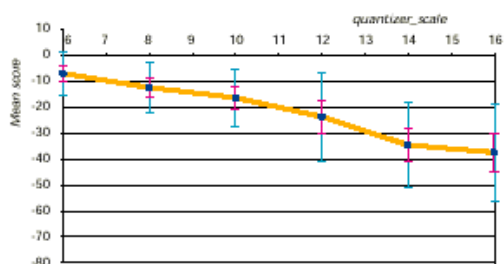


Figure A4  
Eastenders.

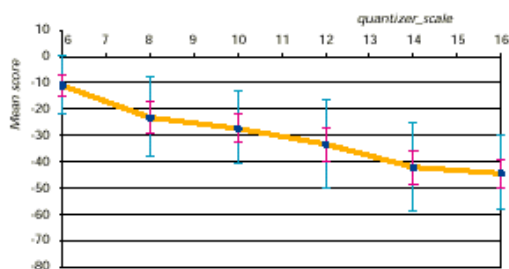


Figure A5  
GW Garden.

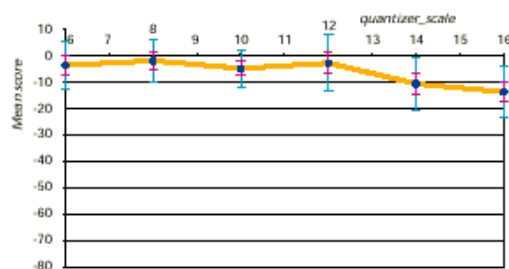


Figure A6  
Ironside.

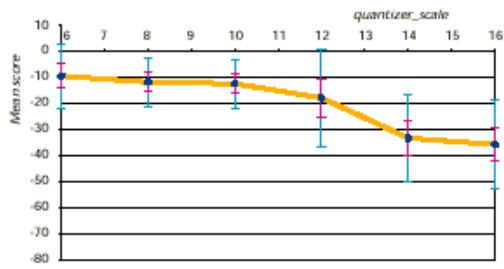


Figure A7  
Rugby.

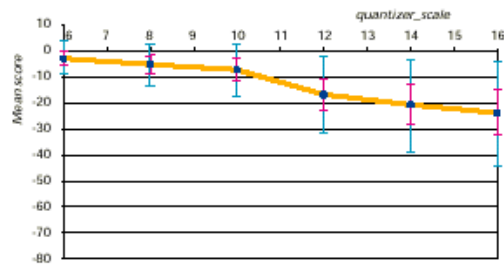


Figure A8  
Top of the Pops.

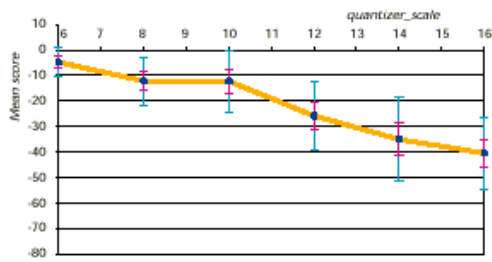


Figure A9  
Wipeout.

