

УДК 681.323, 621.397.6

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА JPEG2000-ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИЛАТЕРАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Хрящев В.В., доцент кафедры динамики электронных систем Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, к.т.н., e-mail: vhr@yandex.ru

Бекренев В.А., аспирант кафедры динамики электронных систем Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, e-mail: vbekrenev@yandex.ru

Соловьев В.Е., аспирант кафедры динамики электронных систем Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, e-mail: dcslab@uniyar.ac.ru

Никитин А.Е., аспирант кафедры динамики электронных систем Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, JPEG2000, звон, размытие, оценка качества изображений, билатеральный фильтр, постобработка сжатых изображений.

Введение

На сегодняшний день перспективными технологиями сжатия изображений остаются алгоритмы с использованием вейвлет-преобразования. Среди них следует выделить стандарт JPEG2000 [1, 2], превосходящий классический алгоритм JPEG с точки зрения субъективных и объективных критериев оценки качества восстановленного изображения.

JPEG2000-изображения обладают двумя типами искажений: размытие и искажение типа «звон» [3]. Данное обстоятельство делает актуальным вопрос об объективной оценке качества сжатого изображения. Традиционный подход к оценке качества основан на определении степени близости искаженного изображения к оригинальному. При этом оценка носит обобщенный характер и часто плохо коррелирует с визуально воспринимаемым качеством [4]. Современные методы оценки качества позволяют оценивать характер и уровень вносимых искажений. Как следствие, результаты, полученные на их основе, лучше коррелируют с субъективно воспринимаемым качеством и позволяют разрабатывать алгоритмы подавления искажений и улучшения качества восстановленных изображений [5, 6].

Следует заметить, что искажения размытия и звона имеют сильную нелинейную зависимость друг от друга [7]. Поэтому важными представляются задачи подавления звона при сохранении уровня размытия и увеличение четкости изображения при сохранении уровня звона. Ниже предлагается возможное решение первой задачи.

Проблема удаления звона для JPEG2000-изображений рассматривается в [8-10]. В работе [8] значение каждого пикселя изображения представляется в виде функции, зависящей от значений соседних пикселей, находящихся в пределах заданного окна. Для сохранения однородности фона и резкости границ объектов на изображении применяется набор адаптивных алгоритмов удаления шума. Адаптивный нелинейный диффузный метод для уменьшения уровня звона предлагается в работе [9]. Диффузный коэффициент определяется как линейная комбинация

Разработан модифицированный билатеральный фильтр, позволяющий понизить уровень звона в сжатом изображении и, одновременно с этим, сохранить уровень размытия. Результаты проведенного моделирования показывают преимущество предложенного алгоритма по сравнению с классическим билатеральным фильтром на 1,5-3 дБ. Анализ работы фильтров производится также на основе метрик размытия и звона, позволяющих выполнять объективную оценку искажений в сжатых изображениях.

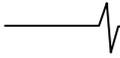
ция трёх функций принадлежности, которые соответствуют различным градиентным шкалам. Параметры подбираются посредством стохастической оптимизации, что позволяет адаптировать диффузный коэффициент к входному изображению. Алгоритм удаления звона, предложенный в [10], использует древовидную схему разбиения для постобработки восстановленных изображений пространственно-селективным образом. Стратегия голосования используется для определения набора морфологических фильтров, подавляющих звон.

Общим недостатком указанных выше алгоритмов является их высокая вычислительная сложность, что не позволяет использовать их в приложениях реального времени. В данной статье для решения поставленной задачи предлагается использовать билатеральный фильтр [11-13]. Этот алгоритм достаточно прост в реализации, обладает сравнительно низкой вычислительной сложностью и, учитывая природу звона, можно ожидать его эффективное подавление данным типом фильтра.

Работа построена следующим образом. Сначала описываются метрики объективной оценки качества изображений, используемые для определения уровня искажений, внесенных алгоритмом сжатия JPEG2000. Далее рассматривается классический билатеральный фильтр и предлагается его модификация, предназначенная для удаления артефактов звона. Приводится сравнительный анализ предложенного модифицированного билатерального фильтра с другими видами фильтрации на основе ряда критериев оценки качества. В заключении приводятся общие выводы относительно полученных результатов.

Метрики оценки уровня размытия и звона

В работах [14, 15] предложен подход, позволяющий оценивать размытие и звон в JPEG2000-изображениях. Доработанный и программно реализованный, он был положен в основу расчетов метрик размытия и звона. Расчёт метрики размытия (MP) производится следующим образом [7]:



1. Рассмотрим строку изображения $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, где x_i – значение яркости пикселя, N – число пикселей в строке. Используя фильтр Собеля, выделим границы изображения, содержащиеся в строке. Получим массив значений, содержащий S положений границ в каждой из M строк изображения: $\{p_1, p_2, \dots, p_S\}$, $S < N$.

2. Для каждой точки p_s найдём положение ближайшего слева локального экстремума яркости l_s и ближайшего справа локального экстремума яркости r_s . Найдём разницу между определенными положениями: $w_s = r_s - l_s$. Полученное значение w_s назовём локальной метрикой размытия границы.

3. Метрику размытия определим как усреднённое значение локальных метрик размытия, вычисленных по всем строкам изображения:

$$MP = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{s=1}^S w_{s,j}}{\sum_{j=1}^M S_j}$$

Следует отметить, что описанный выше алгоритм может иметь эталонную и неэталонную реализации. Эталонная реализация использует для определения границ исходное, а неэталонная – декодированное изображение.

Для оценки уровня звона воспользуемся результатами, полученными на этапе вычисления метрики размытия.

1. Предположим, что ширина каждой границы в каждой строке изображения известна и сохранена в переменной $w_{s,j}$. Вычислим локальную метрику звона вокруг границы изображения $(w_{ring})_s$, определяемую положением p_s , следующим образом:

$$(w_{ring})_s = \left| \max(x_i - \tilde{x}_i) - \min(x_i - \tilde{x}_i) \right| \times |w_f - l_s| + \left| \max(x_j - \tilde{x}_j) - \min(x_j - \tilde{x}_j) \right| \times |w_f - r_s|,$$

$$i \in [p_s - w_f, l_s], j \in [r_s, p_s + w_f],$$

где x_i – значение яркости пикселя оригинального изображения, \tilde{x}_i – значение яркости пикселя искажённого изображения, w_f – фиксированная ширина звона, равная 16 пикселям, которая была получена на основе анализа воздействия искажающих факторов на идеальный сигнал. Если отрезки $[p_s - w_f, l_s]$ и $[r_s, p_s + w_f]$ не существуют, то полагаем $(w_{ring})_s$ равной 0.

2. Усредним локальные метрики звона: – по тем p_s , для которых величина $(w_{ring})_s$ отлична от 0. [Мы получим метрику звона (МЗ), которая отражает амплитуду звона с учётом размера области его фактического проявления и не зависит от других артефактов сжатия]; по всем p_s . [Мы получим общую метрику звона (МЗ_{общ}), которая отражает амплитуду звона с учётом размеров области его теоретического проявления и зависит от других искажений, вызванных сжатием изображения]:

$$МЗ = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{s=1}^S (w_{ring})_{s,j}}{\sum_{p_s} 1}, \quad МЗ_{общ} = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{s=1}^S (w_{ring})_{s,j}}{\sum_{j=1}^M S_j}$$

На основе проведенных экспериментов были найдены пороговые значения, что позволило произвести нормировку указанных метрик размытия и звона в интервал $[0, 1]$.

Заметим, что алгоритм вычисления метрики звона использует оригинальное изображение, т.е. допускает только эталонную реализацию. Он содержит все необходимые вычисления для определения уровня размытия, поэтому обе метрики могут быть вычислены одновременно.

Модифицированный билатеральный фильтр

Кратко рассмотрим алгоритм билатеральной фильтрации [11, 12]. Пусть x – координата рассматриваемого пикселя, и пусть $\Omega = \Omega_x(n)$ представляет множество соседних с x пикселей в окрестности размером $(2n+1) \times (2n+1)$, координаты которых будем обозначать как y . Вес каждого пикселя с координатами $y \in \Omega_x$ относительно x зависит от двух компонент – пространственной $w_{sp}(x, y)$ и радиометрической $w_{rad}(x, y)$:

$$w(x, y) = w_{sp}(x, y)w_{rad}(x, y), \text{ где}$$

$$w_{sp}(x, y) = e^{-\frac{|x-y|^2}{2\sigma_{sp}^2}}, \quad w_{rad}(x, y) = e^{-\frac{|u_x - u_y|^2}{2\sigma_{rad}^2}},$$

u_x – значения пикселей с координатами x , u_y – значения пикселей с координатами y , σ_{sp} – пространственное среднеквадратичное отклонение, σ_{rad} – яркостное среднеквадратичное отклонение.

Эти веса подвергаются нормировке, поэтому пиксели восстановленного изображения \tilde{u}_x вычисляются как

$$\tilde{u}_x = \frac{\sum_{y \in \Omega} w(x, y)u_y}{\sum_{y \in \Omega} w(x, y)}$$

Проведём анализ влияния ряда сглаживающих фильтров на искажения, вносимые в процессе сжатия. Изображения, сжатые алгоритмом JPEG2000, обрабатываем линейным низкочастотным, медианным и билатеральным фильтрами [2]. С помощью метрик размытия и звона проведем контроль уровня искажений до и после процедуры фильтрации. Результаты исследования для тестового изображения «Лена» приведены на рис. 1.

Установлено, что наибольшее подавление звона достигается при обработке билатеральным фильтром. С другой стороны, именно этот тип фильтрации вносит наибольшее размытие границ, что ухудшает зрительное восприятие изображения [16, 17]. С учётом полученных результатов проведем модификацию билатерального фильтра. Будем обрабатывать не всё изображение (и даже не все окрестности границ), а только те фрагменты, в которых звон действительно проявляется. На основе метрики звона составим соответствующую карту звона для изображения, и далее будем обрабатывать только те пиксели, которые принадлежат этой карте. Данная схема обработки изображения представлена на рис. 2.

Работа модифицированного билатерального фильтра включает в себя следующие этапы:

1. Выделение всех границ в сжатом изображении и составление отрезков $[p_s - w_f, l_s] \cup [r_s, p_s + w_f]$ для каждого положения границы p_s .

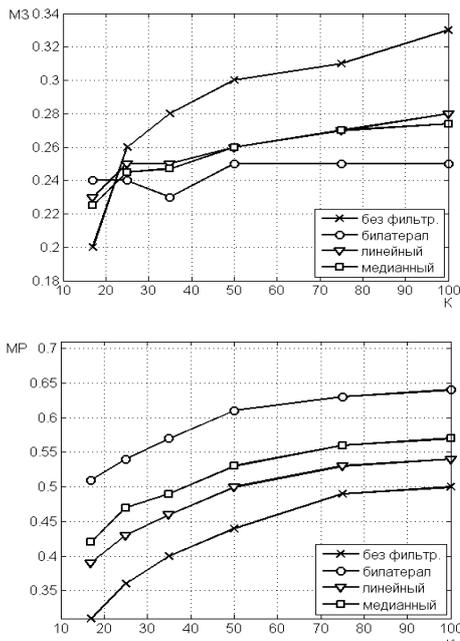


Рис. 1. Зависимости метрики звона (а) и метрики размытия (б) от коэффициента сжатия К до и после различных вариантов постобработки

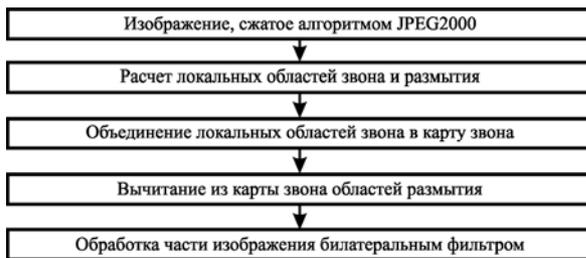


Рис. 2. Предлагаемый алгоритм постобработки JPEG2000-изображения

Нанесение отрезков на соответствующую карту – пустое изображение, размеры которого равны размерам исходного изображения. Поскольку метрика звона учитывает только вертикальные границы, следует применить эту же последовательность действий к горизонтальным границам.

- Удаление из карты звона окрестностей границ для сохранения уровня размытия изображения. Сделать это можно, объединяя все области, по которым подсчитывается метрика размытия, и вычитая полученное множество точек из карты звона. Пример итоговых карт звона для трёх тестовых изображений приведён на рис. 3.
- Фильтрация изображения билатеральным фильтром. Маска фильтра применяется только к тем пикселям, которые принадлежат карте звона.

Результаты моделирования

Реализация и исследование модифицированного билатерального фильтра проводились в среде Matlab. Наилучший уровень подавления звона достигается при следующих параметрах модифицированного билатерального фильтра [17]: размер маски фильтра 5x5, $\sigma_{sp} = 3$ и

$$\sigma_{rad} = 0,5.$$

На рис. 4 приведены зависимости метрики звона и метрики размытия от коэффициента сжатия К при обработке билатеральным и модифицированным билатеральным фильтрами. Как следует из представленных зависимостей, желаемая цель подавить звон, не увеличив размытие изображения, достигнута.

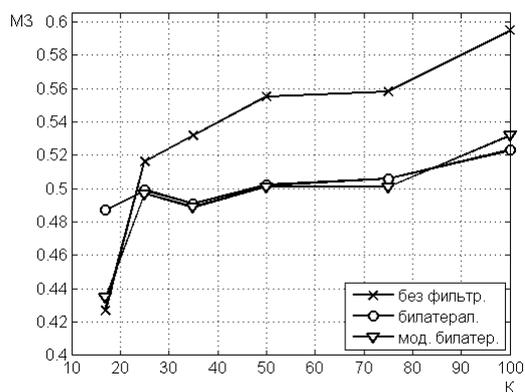
Сравнительный анализ работы билатерального и модифицированного билатерального фильтров по метрике пикового отношения сигнал/шум (ПОСШ) приведён на рис. 5.

Как следует из приведённых зависимостей, преимущество модифицированного билатерального фильтра достигает 1,5-3 дБ, причём наибольшая разница наблюдается при малых коэффициентах сжатия, что важно для практических приложений алгоритма JPEG2000.

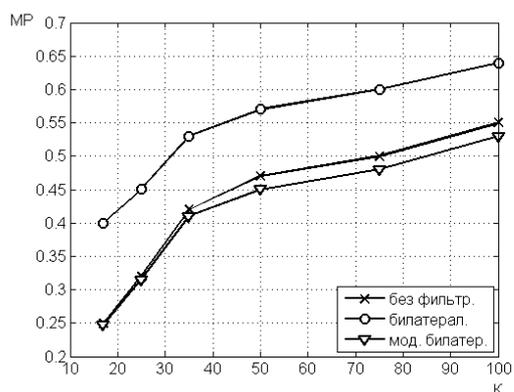
Следует также отметить, что вычислительная слож-



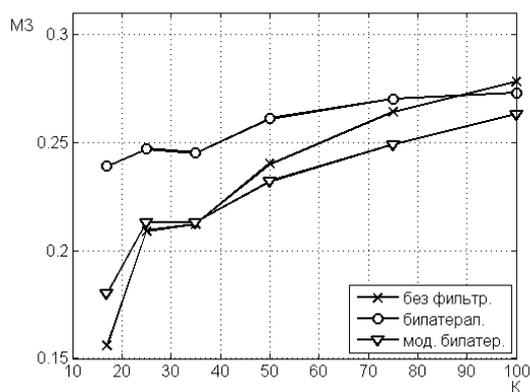
Рис. 3. Результаты вычисления карты звона для тестовых изображений «Лена», «Скарлет» и «Перцы»: оригинальные изображения (а-в), соответствующие им карты звона (г-е)



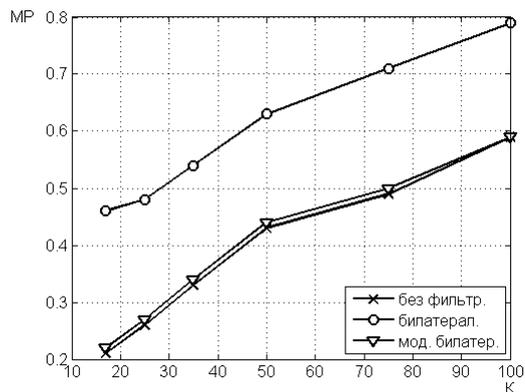
а)



б)

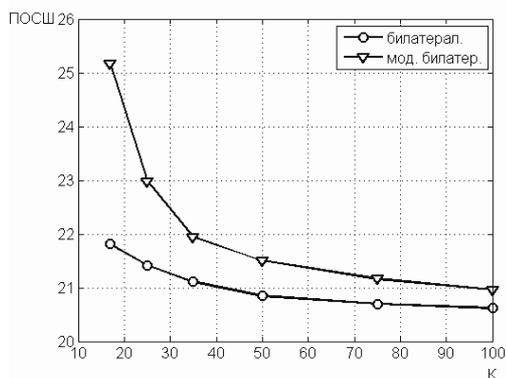


в)

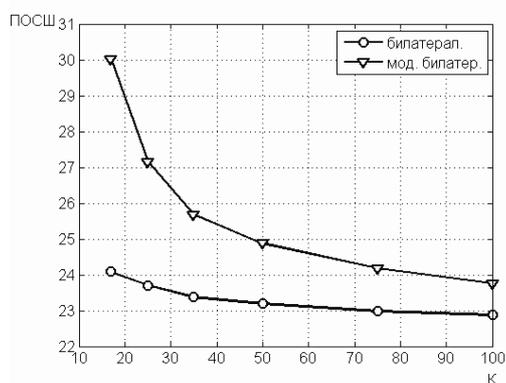


г)

Рис. 4. Зависимости метрики звона (M3) и метрики размытия (MP) от коэффициента сжатия K для тестовых изображений «Бабуин» (а, б) и «Барбара» (в, г) до и после билатеральной фильтрации



а)



б)

Рис. 5. Зависимость ПОСШ от коэффициента сжатия K для тестовых изображений «Бабуин» (а) и «Барбара» (б) при использовании классического и модифицированного билатерального фильтров.

ность модифицированного билатерального фильтра ниже, чем у классического билатерального фильтра, т.к. обработке подвергается только часть пикселей изображения.

Заключение

Рассмотрена возможность использования билатерального фильтра для снижения уровня звона в JPEG2000-изображениях. В ходе предварительных исследований установлено, что билатеральный фильтр позволяет эффективно устранить звон и, одновременно с этим, увеличивает уровень размытия JPEG2000-изображения. С целью сохранения

уровня размытия обрабатываемого изображения выполнена модификация классического билатерального фильтра.

Модификация билатерального фильтра заключается в составлении карты звона – пространственной области проявления звона для данного изображения. Применение разработанного фильтра приводит к снижению уровня звона в изображении, при этом размытие границ не усиливается. Результаты моделирования показывают преимущество модифицированного билатерального фильтра по сравнению с классическим билатеральным на 1,5-3 дБ применительно к задаче постобработки сжатых изображений.

Предложенный модифицированный билатеральный фильтр может быть использован в системах обработки и передачи визуальной информации и видеонакопления.

Литература

1. Taubman D.S., Marcellin M.W. JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice // Norwell, MA: Kluwer, 2001.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений // М.: Техносфера, 2005.
3. Wang Z., Bovik A.C. Modern image quality assessment // Synthesis lectures on image, video & multimedia processing. Morgan & Claypool, 2006.
4. Wang Z., Bovik A.C. Mean squared error: Love it or leave it? – A new look at signal fidelity measures // IEEE Signal Processing Magazine, 2009. V. 26, N. 1, 98-117 pp.
5. Зараменский Д.А., Приоров А.Л., Хрящев В.В. Неэталонная оценка качества изображений, сжатых на основе вейвлет-преобразования // «Успехи современной радиоэлектроники», 2009. №7. С. 28-34.
6. Nosratinia A. Postprocessing of JPEG-2000 Images to Remove Compression Artifacts // IEEE Signal Processing Letters, V. 10, 296-299 pp., 2003.
7. Зараменский Д.А., Бекренев В.А., Соловьев В.Е. Оценка уровня размытия и звона в изображениях стандарта JPEG2000 // Докл. 11-й междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение» (DSPA-2009), Москва, 2009. Т. 2. С. 476-479.
8. Shen M., Kuo C. Artifact reduction in low bit rate wavelet coding with robust nonlinear filtering // IEEE Second Workshop on Multimedia Signal Processing, 480-485 pp., 1998.
9. Yao S., Lin W., Lu Z., Ong E., Yang X. Adaptive nonlinear diffusion processes for ringing artifacts removal on JPEG 2000 images // IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME), V. 1, 691-694pp., 2004.
10. Chen Y., Chang Y., Yen W. Design of a De-Ringing Filter for Wavelet-Based Compressed Image // Proc. of the 23rd Int. Technical Conf. on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC), 1265-1268 pp., 2008.
11. Tomasi C., Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images // Sixth Int. Conf. on computer vision, 1998. 839-846 pp.
12. Elad M. On the origin of the bilateral filter and ways to improve it // IEEE Trans. on image processing, 2002. V. 11, № 10. 1141-1151 pp.
13. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications – Springer, 2010.
14. Marziliano P., Dufaux F., Winkler S., Ebrahimi T. Perceptual blur and ringing metrics: Application to JPEG2000 // Signal Process.: Image Commun., Feb. 2004. V. 19, №2. 63-172 pp.
15. Simoncelli E.P. Statistical models for images: Compression, restoration and synthesis // IEEE Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers, Nov. 1997. V. 1. 673-678 pp.
16. Khryashchev V., Priorov A., Shmaglit L. JPEG2000 Ringing Artifact Reduction by Smart Bilateral Filter // Proc. of the 2010 International Conference on Image Processing, Computer Vision & Pattern Recognition (ICCV 2010), Las Vegas Nevada, USA, 2010, 622-627 pp.
17. Nikitin A., Solovyev V., Khryashchev V., Priorov A. Adaptive Bilateral Filter for JPEG2000 Deringing // Proc. of the 2011 International Conference on Image Processing, Computer Vision & Pattern Recognition (ICCV 2011), Las Vegas Nevada, USA, 2011, 144-149 pp.

JPEG2000 IMAGES QUALITY ENHANCEMENT BASED ON MODIFIED BILATERAL FILTER

V.V. Khryashchev, V.A. Bekrenev, V.E. Solovyev, A.E. Nikitin

Modified bilateral filter was developed. Proposed filter allows to eliminate ringing artifacts in compressed image while keeping blurring on the same level. Experimental results prove that modified bilateral filter performs better than original bilateral filter on 1,5-3 dB. Filter performance analyses was based on blurring and ringing level metrics, which allow to assess objective quality of JPEG2000 compressed images.

НОВОСТИ

Европейской университетской программы фирмы Texas Instruments

Новый обучающий диск по процессорам TMS320C55xx – «C5505 Teaching ROM» – доступен для скачивания с web-сайта: <http://www.ti.com/ww/eu/university/roms.html>. В двадцати главах рассматривается введение в теорию цифровой обработки сигналов, включая КИХ- и БИХ-фильтры, адаптивные фильтры МНК, алгоритм Герцеля, сжатие речи и вейвлет-преобразование, с акцентом на практическую реализацию на базе процессоров TMS320C5505 и TMS320C5515. Каждая глава сопровождается полностью рабочими примерами Сигналов, исполняемых на платах TMS320C5505 и TMS320C5515 USB Stick. Дополнительно приводится ряд забавных примеров программного обеспечения: вы сможете говорить «голосом инопланетяни-

на» или играть на электрогитаре с эффектами эха и фазовых искажений.

С того же сайта может быть скачено **руководство «Yeditepe DSK Lab Manual»**, которое поможет вам быстро начать работу со стартовыми наборами разработчика на процессоре **TMS320C6713** в средах разработки Code Composer Studio версий 3,3 и 4,1. Руководство подготовлено Университетом «Yeditepe University», Стамбул, Турция, 2010 год. Полезно для перехода на использование новой версии среды CCS 4,1. Включает разделы, посвященные описанию сред CCS 3.3 и CCS 4,1, аудиоэффектам, спектральному анализу, фильтрации обработке изображений и использованию прерываний на процессорах указанного семейства.