

ISO 12233 и программные средства измерения частотно-контрастных характеристик изображений

Рудникович А.С., Шипунова К.В.
ra@diviline.ru | shipunovakseniya@mail.ru

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

В работе рассмотрен метод измерения частотно-контрастных характеристик (ЧКХ) на основе наклонной границы объекта, выполнен краткий обзор соответствующего программного обеспечения, представлены результаты измерения ЧКХ с использованием специальных программ (Imatest, MTF Mapper, Slanted Edge MTF, Quick MTF, DiViLab-MTF). Для измерений использованы изображения в соответствии с ISO 12233, а также изображения со специально введенными отклонениями (шум, угол наклона).

Ключевые слова: параметры изображений, частотно-контрастная характеристика, ЧКХ, ФРП, программные средства измерений, стандартизация измерений, ISO 12233, точность измерений.

ISO 12233 and software tools for measuring of images modulation transfer function

Rudnikovich A, Shipunova K.
ra@diviline.ru | shipunovakseniya@mail.ru

Tomsk state university of control systems and radio electronics, Tomsk, Russia

The paper describes the main ESF based method of modulation transfer function (MTF) measuring, available a brief overview of the relevant software and the results of MTF measuring by such tools (Imatest, MTF Mapper, Slanted Edge MTF, Quick MTF, DiViLab-MTF). Images in accordance with ISO 12233, as well as images with specially introduced deviations (noise, angle) have been used for the experiment.

Keywords: image quality, modulation transfer function, MTF, ESF, ISO 12233, measurement software, measurement accuracy.

1. Введение

Разрешающая способность, функция рассеяния перепада (ФРП) и частотно-контрастная характеристика (ЧКХ) это набор связанных и наиболее важных характеристик для оценки качества изображений современной фото- видеоаппаратуры.

Существует несколько методов измерений ЧКХ. Наибольшее распространение получил метод, который основан на использовании наклонной границы объекта, именно этот метод описан в стандарте ISO 12233 [1-3]. Стандартизация алгоритма измерений, условий освещения и тестовых таблиц должна была обеспечить приемлемую точность измерений различных программных инструментов для измерения ЧКХ современной фото- видеоаппаратуры, однако, на сколько разработчики таких инструментов следуют стандарту – вопрос открытый.

При работе с видеоданными существующие программы применимы, но при этом требуются дополнительные манипуляции с видеофайлами для извлечения изображений. Практика измерений ЧКХ большого количества видеоприборов показала, что выбор кадра для измерений может существенно влиять на результат даже в лабораторных условиях с соблюдением всех требований ISO 12233. Ряд устройств видеозаписи в процессе записи продолжают выполнять подстройку параметров, кодеки используют различные типы кадров влияют на размытие элементов изображений, действия оператора (включение и выключение записи) приводят к смазам, мешающим получить истинную ЧКХ.

Одним из применений измерения ЧКХ является видеотехническая экспертиза. Анализ профиля перепада яркости сигнала на границах объектов может служить инструментом при выявлении фактов внутрикадрового монтажа или других манипуляций с изображениями. При этом, интерес представляет не только частота при заданном уровне контраста (например, 30% или 50%) а также форма

ЧКХ и профиля перепада уровня сигнала в различных направлениях.

Несовершенство оптики современных фото- видеоприборов порождает неоднородность характеристик в плоскости изображений. Как правило, разрешение выше в центральной части изображений и уменьшается при удалении от центра в разной степени для различных устройств. Нередко наблюдается выраженное смещение оптического центра. Поэтому для решения идентификационных задач видеотехнической экспертизы необходим инструмент способный осуществлять измерение пространственного распределения характеристик по всей плоскости изображений.

Зачастую оценка ЧКХ требует многократных повторов, при этом критически важной является возможность точно определить область измерений. Данные таблиц этой работы могли бы быть более точны, если бы все программы позволяли задать одинаковую область измерений (ROI). При сравнении ЧКХ различных фото- видеоприборов отсутствие возможности задать одинаковую область измерений приводит к увеличению погрешности измерений и дополнительным ошибкам оператора, которые практически неизбежны, когда речь идет о сотнях измерений.

Набор описанных факторов, требований к ПО и отсутствие специализированных инструментов измерения ЧКХ по видеоданным мотивировали разработку нового программного модуля в составе программного обеспечения DiViLab [4]. Одним из авторов данной работы разработан программный модуль, который далее обозначен как DiViLab-MTF. Данный модуль, также, как и другие программы, ориентирован на измерение ЧКХ по перепаду уровня сигнала, при этом разрабатывался он с учетом перспектив измерения ЧКХ по реальным изображениям.

Целью работы являлось сопоставление результатов измерений разными программами, оценка эффективности текущей версии DiViLab-MTF, актуализация вопроса эффективности стандартизации измерений ЧКХ, а также

оценка пригодности существующих программ с точки зрения видеотехнической экспертизы.

2. Измерения ЧКХ с использованием наклонной границы объекта

ЧКХ связана с разрешающей способностью, и также характеризует способность передавать мелкие близко расположенные фрагменты изображений. ЧКХ показывает зависимость коэффициента передачи контраста от пространственной частоты. Обычно количественная оценка ЧКХ это значение пространственной частоты на половине максимального значения контраста (ЧКХ50).

График ЧКХ описывает параметры оптико-электронной системы более полно, чем величина разрешающей способности при определенном уровне контраста. Наибольшее распространение получил метод измерения ЧКХ на основе оценки параметров наклонной границы объекта (перепада уровня сигнала), описанный в стандарте ISO 12233.

Функция рассеяния перепада (ФРП) или edge spread function (ESF), является основой оценки частотных свойств системы по изображениям. Функция показывает, как изменяется уровень сигнала в месте перехода от темного к светлому и наоборот. Зона перехода называется зоной нерезкости и по её продолжительности, а также по крутизне перехода судят о частотных свойствах изображения и соответственно о свойствах системы, которой оно получено.

Первое издание стандарта ISO 12233, выпущенное в 2000 году, предоставило научно-обоснованный и легко реализуемый способ измерения ЧКХ систем, включающих дискретный датчик изображения, например, цифровых фотокамер.

В стандартах ISO:12233 описан алгоритм измерения ЧКХ по изображениям с контрастным наклонным объектом на светлом фоне. Алгоритм основан на автоматическом измерении пространственно-частотного отклика в области интереса (ROI), которая представляет собой наклоненную вертикально кромку с переходом между уровнями сигнала.

В использованной области интереса, происходит перебор строк изображения и вычисляется производная для получения функции размытия линии (ФРЛ). ФРП как обобщение ФРЛ, получается путем усреднения данных для нескольких строк изображения (рис. 1). Это позволяет увеличить частоту дискретизации ФРП и соответственно разрешение итоговой ЧКХ. Для уменьшения влияния шумов стандарт предусматривает применение к ФРП функции окна Хэмминга. Применение дискретного преобразования Фурье к ФРП, позволяет получить частотно-контрастную характеристику или функцию передачи модуляции (МТФ).

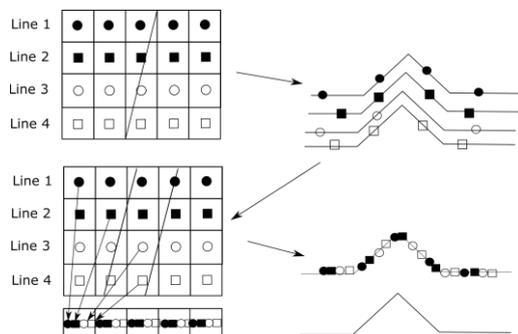


Рис. 1. Алгоритм вычисления ЧКХ, ISO:12233 2000 [1].

В последующих версиях стандарта 2014 и 2017 года в отношении этого алгоритма наиболее существенное

изменение коснулось контраста тестовой таблицы, т.к. высокий контраст таблицы первой редакции стандарта приводил к значимым нелинейным искажениям.

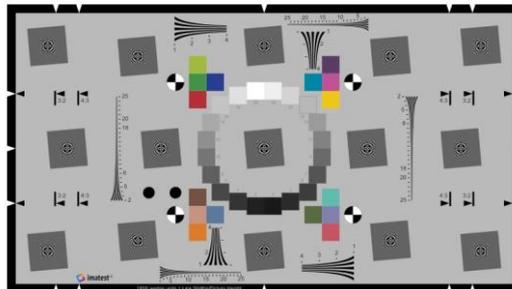


Рис. 2. Тестовая таблица ISO:12233 2014 [6].

Одним из недостатков описанного метода является сложность точного совмещения центров строк изображений при расчете ФРП. При этом методы на основе ФРТ, ФРЛ и ФРП представляется единственно возможными для измерений ЧКХ по изображениям реальных сцен.

3. Обзор и экспериментальное сравнение ПО для измерения ЧКХ

При выборе программного обеспечения измерения ЧКХ логичными представляются следующие специальные требования: возможность выбора заданной области интереса на изображении (повторяемость эксперимента); устойчивость измерений к шумам на изображении; возможность работы с видеоданными.

В результате обзора программных инструментов измерения ЧКХ для проведения эксперимента и сравнения функциональных особенностей были выбраны пять наиболее известных программных продуктов:

1. Imatest 5.0.16. Компания производитель предоставляет клиентам программное обеспечение, тестовые таблицы и оборудование для определения качества изображения и их соответствия стандартам [5].
2. MTF Mapper 0.6.18 - это набор инструментов для измерения разрешения на основе значений MTF50. Основной инструмент может автоматически обнаруживать темные прямоугольные объекты на светлом фоне и извлекать значения MTF50 по каждому краю этих объектов [6].
3. Slanted Edge MTF 2.0 (плагин для ImageJ) - выполняет расчеты ЧКХ до удвоенной частоты Найквиста над наклонными объектами в изображении с вертикальным краем с темной стороной слева [7].
4. Quick MTF 2.11 - это программа для быстрой оценки MTF по отдельным изображениям [8].
5. DiViLab-MTF 2.0.0.1684 - инструмент для измерения ЧКХ заданной области изображения, позволяет работать с видеоданными [4].

Все перечисленные программы выполняют измерение ЧКХ по изображению наклонного края объекта.

Выполнение экспериментальных измерений позволило сделать в таблице 1 некоторые обобщения функциональных возможностей программ. Номера в названиях столбцов приведенных далее таблиц соответствуют порядку перечисления программ:

1. Imatest.
2. MTF Mapper.
3. Slanted Edge MTF.
4. Quick MTF (настройки по умолчанию).
5. Quick MTF (настройки по ISO 12233).
6. DiViLab - MTF.

Таблица 1.

Функциональные характеристики ПО	1	2	3	4, 5	6
Использование ФРП для измерения ЧКХ	+	+	+	+	+
Вывод графиков ЧКХ и функции перепада яркости	+	+	+	+	+
Возможность выбора области изображения для измерений	+	-	-	+	+
Возможность точно задать ROI (повторяемость измерений)	+	-	-	-	+
Пригодность для измерения отдельно в вертикальном или горизонтальном направлении	+	-	+	+	+
Возможность работы с видеопоследовательностью	-	-	-	-	+
Поддержка различных форматов изображений	+	+	+	+	-
Устойчивость к шумам	+	+	-	-	+

Обзор доступной информации об этих программах показал, что производители этих программ стараются внести улучшения в алгоритм измерений по отношению к ISO 12233.

В качестве исходных изображений при проведении эксперимента использовались изображения с разрешением 1920x1080 (рис. 3), полученные из файлов с векторной графикой. В соответствии с ISO 12233 угол наклона объектов базового изображения составил 5°, контраст 4:1.

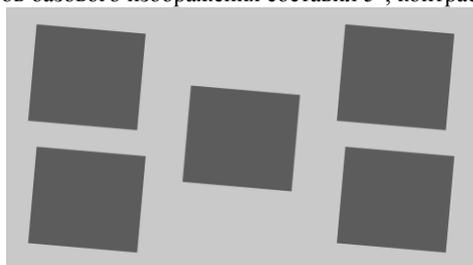


Рис. 3. Исходное изображение

Результаты измерения ЧКХ50 для размытых фильтром Гаусса изображений с разными радиусами размытия, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Радиус размытия	1	2	3	4	5	6
0,5	0,374	0,384	0,258	0,381	0,287	0,285
1	0,183	0,188	0,161	0,187	0,17	0,157
1,5	0,125	0,127	0,112	0,131	0,12	0,098

Измеренные значения ЧКХ50 существенно различаются, при этом, отклонение результатов измерений достигает 33% при значениях ЧКХ50 близких к 0,3 частоты дискретизации (радиус размытия 0,5, таблица 2). Можно предположить, что это связано с использованием различных алгоритмов интерполяции области перепада сигнала на этапе передискретизации. На рисунках 4 и 5 приведены результаты, полученные соответственно в программах Imatest и Quick MTF при одинаковых условиях измерений. Стоит отметить, что при получении данных таблицы 2 изменения в расположении области интереса (ROI) и ее размеров в пределах ±20%, при размере 200x300 элементов, не оказывают существенного влияния на результаты измерений.

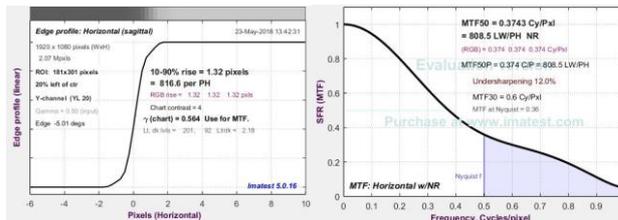


Рис. 4. Пример результата ПО Imatest (MTF50 = 0,374).

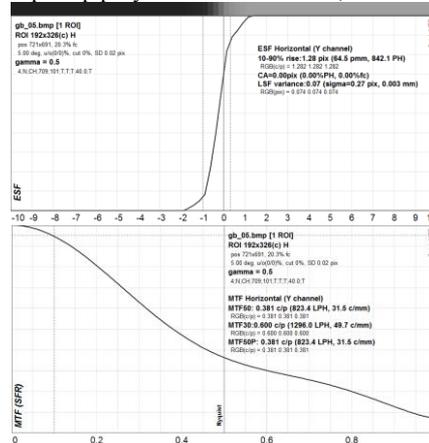


Рис. 5. Пример результата ПО Quick MTF (MTF50 = 0,381).

Отдельные применения для измерений ЧКХ требуют устойчивости к высокому уровню шумов. Исследователи постоянно возвращаются к вопросам устойчивости методов измерения ЧКХ к шумам [9]. Особенно это актуально при выполнении измерений по изображениям реальных сцен, медицинских и спутниковых изображений. Если исходить из предположения, что в изображении присутствуют границы объектов, соответствующие требованиям к контрасту и углу наклона, то определяющим фактором применимости ПО становится устойчивость к шумам. В таблице 3 проведены результаты измерений ЧКХ50 для изображения с радиусом размытия 0,5 с добавлением нормального шума. Параметры добавленного шума приведены в столбцах SKO и PSNR.

Таблица 3.

SKO	PSNR	1	2	3	4	5	6
5	34,098	0,381	0,379	0,274	0,381	0,277	0,277
10	28,121	0,371	0,391	0,25	0,295	0,295	0,289
15	24,604	0,34	0,342	0,274	0,27	0,27	0,285
20	21,703	0,347	0,432	NaN	NaN	NaN	0,301
25	19,911	0,339	0,35	NaN	NaN	NaN	0,295
30	18,476	0,415	0,416	NaN	NaN	NaN	0,312
35	17,086	0,357	0,473	NaN	NaN	NaN	0,271
40	15,942	0,347	0,448	NaN	NaN	NaN	0,244
45	14,984	0,204	NaN	NaN	NaN	NaN	0,148
50	14,033	0,143	0,41	NaN	NaN	NaN	0,078
MAD:		0,092	0,073	0,194	0,287	0,214	0,056

Как видно из таблицы 3, при существенных уровнях шумов на изображениях работоспособность сохраняют не все программы. В качестве меры устойчивости к шуму использовано среднее абсолютное отклонение (MAD) относительно значений, полученных при отсутствии шума (строка 1 таблицы 2). Плагин для ImageJ и Quick MTF не позволяют измерять ЧКХ при SKO от 20 и более. Существенная разница результатов измерений программ, сохранивших работоспособность при высоком уровне шумов, говорит, как минимум, об использовании

различных алгоритмов интегрирования данных строк изображения (ROI).

Отдельный интерес представляет возможность использования существующего программного обеспечения для оценки ЧКХ по изображениям реальных сцен. Очевидно, что при этом критичным будет чувствительность ПО к форме и наклону перепада яркости в плоскости изображения.

Известны работы, в которых дается оценка устойчивости алгоритмов измерений к углу наклона объекта, предложены различные методы компенсации, позволяющие сохранить погрешность измерений в пределах 1% [10], при этом не удалось найти результаты таких измерений для большей части доступного ПО. В таблице 4 приведены результаты измерений ЧКХ50 при разных углах наклона объектов. Среднее абсолютное отклонение рассчитано относительно значений, полученных при наклоне сторон объектов на 5° (строка 2 таблицы 4).

Таблица 4.

Угол, град.	1	2	3	4	5	6
0	0,256	NaN	0,258	0,262	0,262	0,263
5	0,374	0,384	0,258	0,381	0,287	0,285
10	0,372	0,382	0,274	0,375	0,290	0,283
15	0,371	0,380	0,274	0,362	0,290	0,279
20	0,370	0,377	0,258	0,350	0,292	0,274
25	0,367	0,373	0,241	0,337	0,297	0,264
30	0,363	0,370	0,241	0,300	0,319	0,255
35	0,362	0,368	0,225	0,300	0,305	0,245
40	0,360	0,366	0,230	0,281	0,310	0,233
45	0,324	0,338	NaN	0,244	0,317	0,222
MAD:	0,025	0,056	0,043	0,069	0,017	0,027

Из таблицы 4 можно сделать следующие выводы:

1. ПО MTF Mapper неспособно работать с вертикальной границей (угол наклона объекта 0 град.).

2. ПО Imatest и Quick MTF (настройки по умолчанию) демонстрирует существенное отклонение результата, полученного на строго вертикальной границе, от результатов на наклонных перепадах. Можно предположить, что на вертикальной границе при передискретизации эти программы начинают использовать линейную интерполяцию.

3. Значения ЧКХ50, полученные в Quick MTF, существенно зависят от угла наклона объекта, при этом, разнонаправленно, в зависимости от настроек. Quick MTF (настройки по умолчанию) демонстрирует уменьшение ЧКХ50 на 36% с увеличением угла наклона. Quick MTF (настройки по ISO 12233) демонстрирует увеличение ЧКХ50 на 10% с увеличением угла наклона. Такие результаты представляются странными, особенно при сравнении с результатами DiViLab-MTF (уменьшение ЧКХ50 на 22% при отсутствии компенсации угла наклона границ объектов), которые в большей мере согласуются с другими исследованиями [10].

4. Заключение

В таблицах продемонстрированы заметные отклонения результатов работы программ для измерения ЧКХ. В целом по результатам обзора и эксперимента можно сделать вывод о том, что разработчики ПО для измерения ЧКХ стараются усовершенствовать свое ПО и вносят изменения в алгоритм, предусмотренный стандартом ISO 12233.

В условиях существования международного стандарта, полученные отклонения результатов измерений ЧКХ представляются значительными. Наибольшие расхождения наблюдаются при более резких перепадах уровня сигнала. Такие расхождения объясняются применением различных алгоритмов интерполяции при передискретизации сигнала и различными методами поиска центров ФРЛ при их интегрировании для получения ФРП.

Полученные результаты актуализируют вопрос о точности абсолютных значений результатов измерений современных мерительных инструментов и эффективности международной стандартизации измерений ЧКХ стандартом ISO 12233.

Не смотря на относительную простоту базовой части алгоритма измерений ЧКХ и множества публикаций, в которых данный алгоритм воспроизводится, отсутствует доступный программный инструмент, позволяющий эффективно работать с видеоданными.

5. Литература

- [1] ISO 12233:2000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12233:ed-1:v1:en> (дата обращения: 10.05.2018).
- [2] ISO 12233:2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/59419.html> (дата обращения: 28.03.2018).
- [3] ISO 12233:2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12233:ed-3:v1:en> (дата обращения: 28.03.2018).
- [4] Рудникович А.С., Крутовская Н.И.: «Подготовка специалистов в области видеоинформационных технологий с использованием программного обеспечения DiViLab» // Современное образование: развитие технологий и содержания высшего профессионального образования как условие повышения качества подготовки выпускников: материалы междунар. науч. метод. конф., 26-27 января 2017 г. Россия Томск. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники 2017. – С. 184-186.
- [5] Imatest. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.imatest.com/> (дата обращения: 28.03.2018).
- [6] MTF mapper. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sourceforge.net/projects/mtfmapper/> (дата обращения: 28.03.2018).
- [7] Slanted Edge MTF. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://imagej.nih.gov/ij/plugins/se-mtf/index.html> (дата обращения: 28.03.2018).
- [8] Quick MTF, an image quality testing application. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.quickmtf.com/> (дата обращения: 28.03.2018).
- [9] Antonio González-López, "Effect of noise on MTF calculations using different phantoms", Medical Physics Volume 45 (03 March 2018); <https://doi.org/10.1002/mp.12847>.
- [10] Jackson K. M. Roland, "A study of slanted-edge MTF stability and repeatability", Proc. SPIE 9396, Image Quality and System Performance XII, 93960L (8 February 2015); <https://doi.org/10.1117/12.2077755>.

Об авторах

Шипунова Ксения Владимировна, магистрант кафедры телевидения и управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, e-mail: shipunovakseniya@mail.ru.

Рудникович Андрей Сергеевич, аспирант кафедры телевидения и управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, e-mail: ra@diviline.ru.