электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.397.7

Оценка влияния разрешения оптических изображающих систем на эксплуатационные характеристики биометрической системы идентификации личности по 2D изображению лица

***Одиноких Г.А.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Биомедицинские технические системы»

***Неверова Е.С.**, научный сотрудник*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Научно-исследовательский и испытательный центр биометрической техники

Научный руководитель: Мамаев В.Ю., зам. директора НИИЦ БТ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
neverova_e@bmstu.ru

Задача обеспечения общественной безопасности сегодня остается по-прежнему актуальной. Одним из приоритетных направлений развития науки и техники в этой области является создание систем, способных осуществлять обнаружение, регистрацию и предупреждение нештатных (тревожных) ситуаций. Подавляющее большинство существующих систем безопасности базируется на применении систем видеонаблюдения, требующих непосредственного участия оператора при обработке большого количества видеоданных. Существуют результаты исследований, которые показывают, что уже по истечении 12 минут непрерывного наблюдения оператор начинает пропускать до 45 % тревожных событий, а после 22 минут будет пропущено до 95 % тревожных событий [1]. Поэтому целью совершенствования существующих систем безопасности является максимально возможное исключение оператора из процесса непрерывного контроля видеоданных.

Эффективность работы систем видеоаналитики (далее - ВА), в частности алгоритмов автоматизированной обработки видеоданных, напрямую зависит от качества изображения, получаемого с помощью подсистемы формирования изображения (рис. 1).

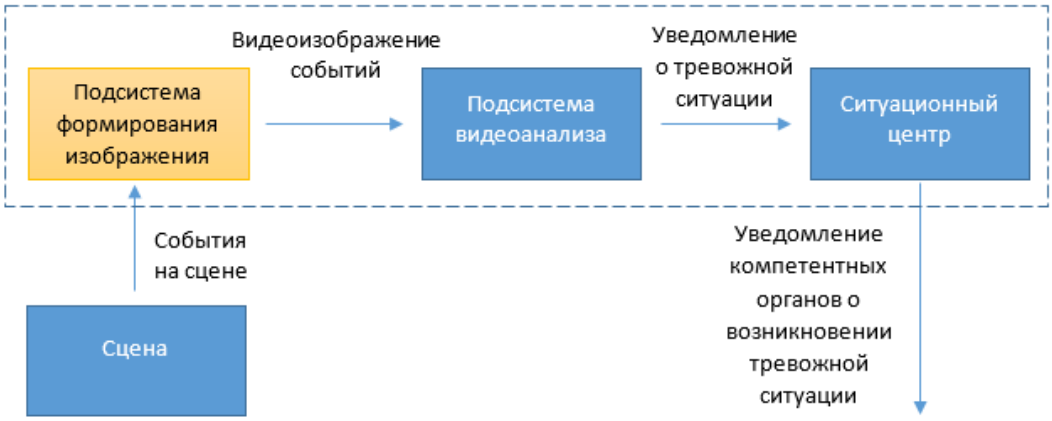


Рис. 1. Структурно-функциональная схема системы ВА

Применение алгоритмов ВА обуславливает предъявление определенных требований к качеству изображения сцены в зависимости от типа(-ов) решаемых задач [2], на основании которых, в свою очередь, формулируются требования к качеству оптических систем, формирующих изображение. Адекватная оценка требований к качеству изображения в системах ВА является, несомненно, актуальной задачей. Качество изображения определяется подсистемой формирования изображения, в частности характеристиками качества её компонентов:

- объектива;
- фотоприемного устройства (ПЗС-, КМОП- и др. матриц).

Рассмотрим характеристики компонентов подсистемы формирования изображения, влияющих на качество изображения. Для этого обратимся к схеме, изображенной на рис. 2.

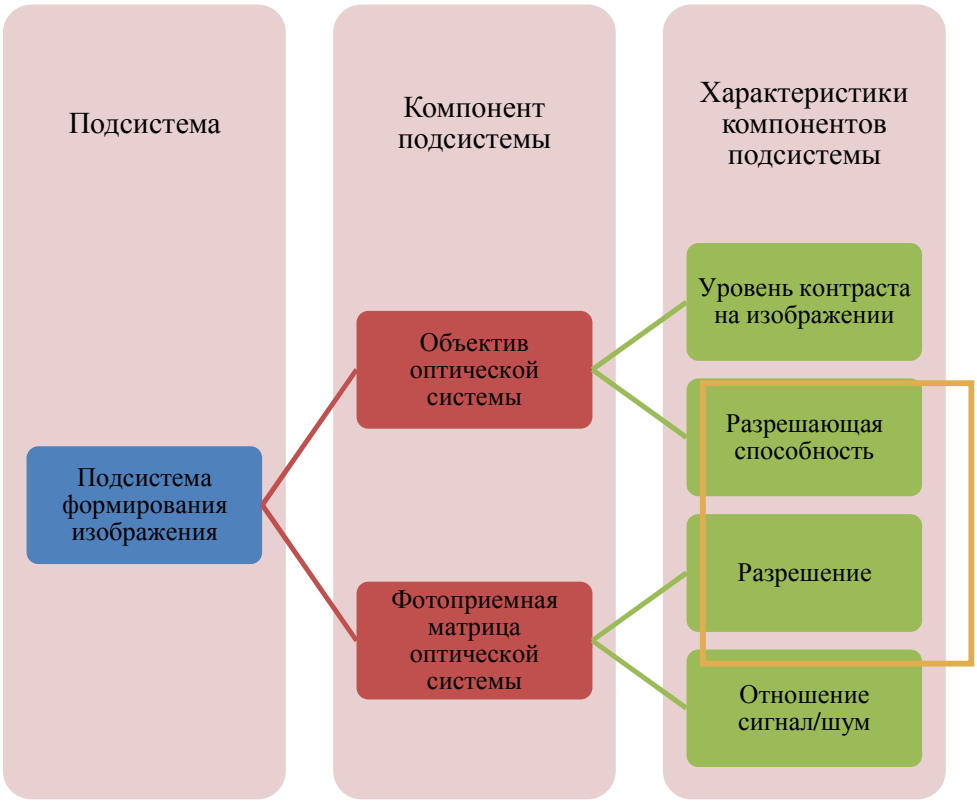


Рис. 2. Характеристики компонентов подсистемы формирования изображения, влияющих на качество изображения

В зависимости от задачи ВА и условий применения видеосистем выбираются основные характеристики объектива: фокусное расстояние и угловое поле, относительное отверстие, при необходимости выполняется расчет глубины резкости [2]. Все эти параметры влияют на качество объектива. Основными критериями качества оптической изображающей системы, передающей объекты сложной структуры, - объектива – являются значение его разрешающей способности и уровень контраста на изображении [3].

Основной и достаточной характеристикой качества объектива является функция передачи модуляции [3] (ФПМ, или MTF – modulation transfer function). ФПМ отражает зависимость контраста изображения периодического тест-объекта (миры) от его пространственной частоты, т.е. значение разрешающей способности указывается для определенного уровня контраста, который следует определять для каждой из задач в отдельности. Итак, ФПМ сочетает в себе два важных параметра качества изображения: разрешающую способность объектива и уровень контраста на изображении – и является функцией, которая наиболее полно описывает качество объектива.

Среди характеристик матричных ПЗС-, КМОП-фотоприемников, используемых в видеосистемах, можно выделить ряд параметров, влияющих на качество изображения: разрешение, отношение сигнал-шум, динамический диапазон и пороговая чувствительность [4]. Ещё одной характеристикой матрицы является её размер (кроп-фактор). Этот параметр определяется из геометрических соображений и не влияет на качество изображения.

Рассмотрим по отдельности каждую из представленных характеристик, оказывающих влияние на качество изображения. О том, как связаны между собой разрешающая способность объектива и разрешение матрицы, а также каким образом разрешение матрицы влияет на качество изображения, подробно описано в работе [5].

Отношение сигнал/шум показывает степень зашумленности видеосигнала, особенно в условиях низкой освещенности. На экране зашумленное изображение дает зернистость или «снег», а на цветном изображении могут возникать цветовые вспышки. При уменьшении освещенности объекта отношение сигнал/шум ухудшается.

Отношение сигнала к шуму *PSNR* (в дБ) на уровне сигнала в телевизионном датчике на ПЗС при отсутствии фоновой засветки можно оценить по формуле [3]:

$$PSNR = 20log_{10}\left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}}\right) = 20log_{10}\left(\frac{A_{signal}}{\sqrt{\sum N}}\right) = 20log_{10}\left(\frac{n_{cc}}{\sqrt{N_{\text{фт}}^2 + N_{\text{ПЗС}}^2}}\right),$$

где n_{cc} – число сигнальных фотоэлектронов, соответствующих полезному сигналу (превышению сигнала над фоном), $N_{\text{ПЗС}}$ – среднеквадратическое отклонение (СКО) шума ПЗС-матрицы (собственные шумы ПЗС-матрицы и видеотракта), $N_{\text{фт}}$ – СКО фотонного шума потока излучения от изображения объекта.

Динамический диапазон ПЗС-матрицы определяется как отношение максимального сигнала накопления к общему среднеквадратическому значению шума эквивалентной экспозиции N_E (1). Динамический диапазон отражает динамику ПЗС-матрицы при обработке темных и ярких объектов в пределах одной сцены и показывает световой диапазон, обрабатываемый ПЗС-матрицей [4].

$$DRI = \frac{n_{cc}}{\sqrt{N_E^2}} \quad (1)$$

Отношение сигнал/шум относится к полному сигналу, включая электронные схемы видеокамеры, и выражается в дБ. По этой причине значение отношения сигнала к шуму позволяет более полно оценить качество изображения.

Таким образом, для матричного фотоприемника параметрами, оказывающими прямое влияние на качество изображения, выступают разрешение и значение отношения сигнал/шум. Следовательно, для всей системы формирования изображения можно выделить три достаточных критерия качества для подсистемы формирования изображения:

1. общее разрешение подсистемы формирования изображения;
2. уровень контраста на изображении;
3. отношение сигнал/шум.

В данной работе проводится исследование влияния общего разрешения видеосистемы на эксплуатационные характеристики биометрической системы идентификации личности по 2D изображению лица с целью определения значения разрешения, оптимального для данной биометрической системы в условиях целевого применения. В рамках исследования проводились сценарные испытания биометрической системы идентификации личности по 2D изображению лица в условиях, максимально приближенным к условиям целевого применения.

В качестве испытываемой системы была выбрана биометрическая система идентификации личности по 2D изображению лица одного из известных производителей. Система была размещена в холле общежитий № 10-11 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Система включает в себя персональный компьютер со специальным программным обеспечением и две видеокамеры, характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

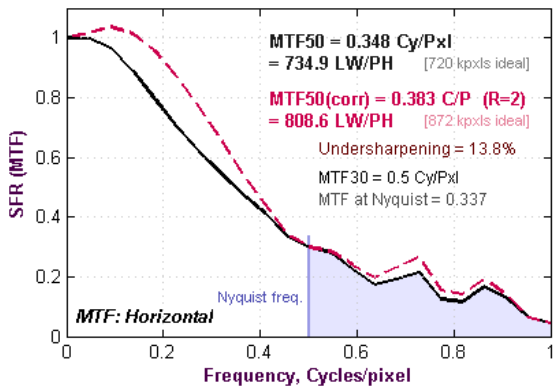
Параметры камеры биометрической системы

Тип камеры	Тип конструкции	Формат передачи данных	Тип ФП	Кроп-фактор ФП	Разрешение ФП, пиксель	Объектив
IP-камера	Неподвижная	RAW, MJPEG	CCD (ПЗС)	2/3"	1408x1056	FUJINON HF35SR4A-1 (2/3", 35 mm, f/1.4 – f/22)

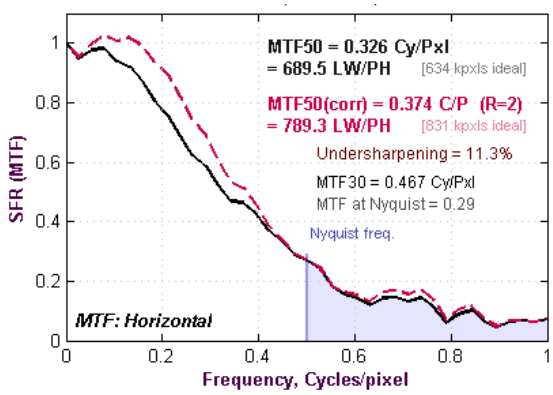
Данная биометрическая система выдает информацию о степени схожести подлинного лица или самозванца с шаблоном пользователя, зарегистрированным в базе данных.

Данные о степенях схожести были получены для пяти различных значений разрешения подсистемы формирования изображения. Разрешение изменялось разнесением фокальной плоскости объектива и плоскости ПЗС-матрицы. Для каждого из пяти значений в полном объеме проводились сценарные испытания биометрической системы. После проведения каждого из пяти испытаний проводились измерения разрешения. Измерения производились с использованием специальной тестовой таблицы ISO 12233-4000. Серия снимков тестовой таблицы ISO 12233-4000 производилась в условиях, полностью соответствующих условиям применения видеосистемы. Далее снимки обрабатывались специальным программным обеспечением Imatest [6], которое позволяет строить графики ФПМ для видеосистемы. На этих графиках значения пространственной частоты откладываются по оси x в циклах на пиксель (парах линий на пиксель). Так как размеры пикселя фотоприемника заранее не были известны, в качестве оценки разрешения видеосистемы была выбрана величина ТВЛ, или телевизионная линия.

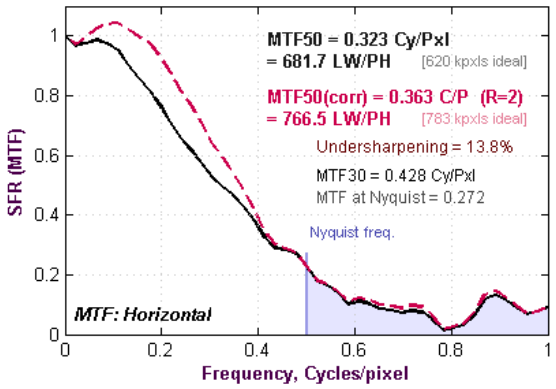
На рис. 3 приведены графики ФПМ, полученные при помощи Imatest для пяти различных значений разрешения: R_1, R_2, R_3, R_4 и R_5.



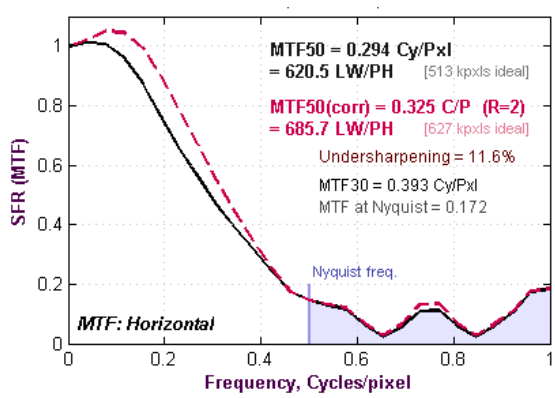
а)



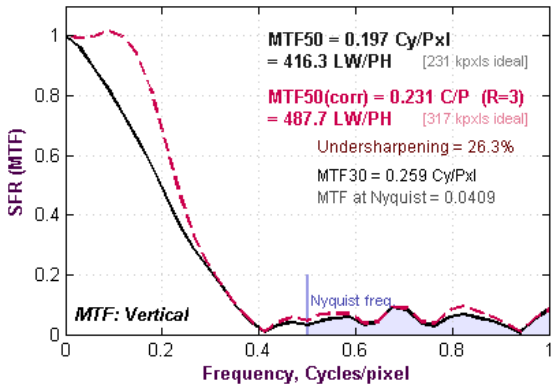
б)



в)



г)



д)

Рис. 3. ФПМ для значений разрешения видеосистемы а) R_1, б) R_2 в) R_3, г) R_4, д) R_5.

Используя функции ФПМ можно определить значения разрешения в ТВЛ по формуле:

$$\text{ТВЛ} = \frac{MTF30}{0.5} \times N_k, \tag{2}$$

где MTF30 – значение пространственной частоты для уровня контраста 0,3 (значение контраста 0,3 часто используется при оценке качества оптических изображающих систем), а N_k – значение разрешения по малой стороне кадра.

Пользуясь формулой (2), переводим значения пространственной частоты, выраженные в циклах на пиксель, в значения разрешения в ТВЛ. Получаем: $R_1 = 1056$ ТВЛ, $R_2 = 986$ ТВЛ, $R_3 = 904$ ТВЛ, $R_4 = 830$ ТВЛ, $R_5 = 547$ ТВЛ.

Для оценки качества биометрической системы в том числе используют зависимость ошибки первого рода от ошибки второго рода [7]. Такая зависимость имеет название кривой компромиссного определения ошибки (КОО). По оси абсцисс кривой КОО откладываются значения вероятностей ложного совпадения (ВЛС, или FMR – false match rate), а по оси ординат – значения вероятностей ложного несовпадения (ВЛНС, или FNMR – false non-match rate) для различных значений порога принятия решения. По результатам исследования были построены кривые КОО для всех пяти значений разрешения видеосистемы (рис. 4).

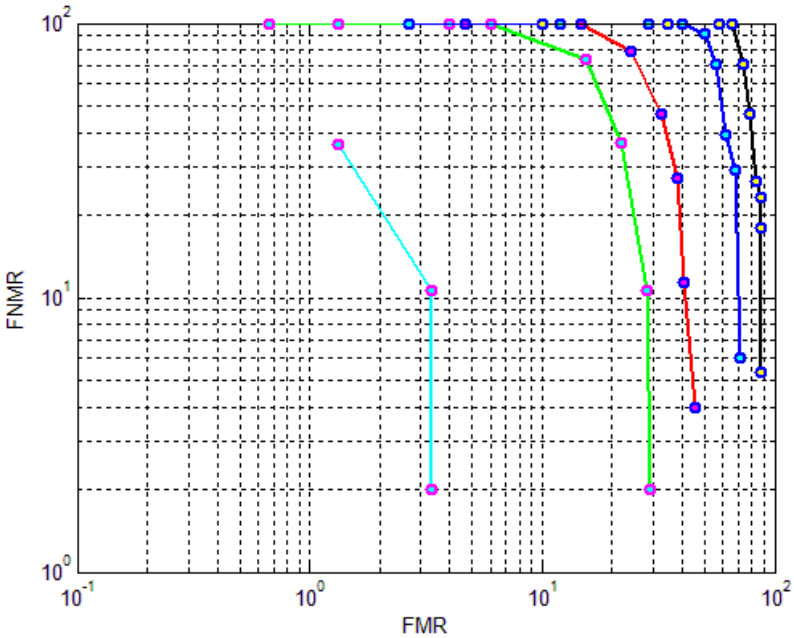


Рис. 4. Кривые КОО для различных значений разрешения видеосистемы

Примечание. Соответствие цвета кривых и значений разрешения видеосистемы приведено в таблице 2

К эксплуатационным характеристикам биометрической системы идентификации также относятся вероятность отказа регистрации (ВОР) и отказа сбора данных (ВОСД) [8]. Данные о ВОР и ВОСД, а также обозначения кривых, соответствующих различным значениям разрешения видеосистемы, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения разрешения видеосистемы, значения ВОР и ВОСД

Цвет кривой	Разрешение, ТВЛ	Разрешение, циклов/пиксель	ВОР, %	ВОСД, %
Циановый	1056	0,5	0	4
Зеленый	986	0,467	0	11
Красный	904	0,428	0	24
Синий	830	0,393	0	37
Черный	547	0,259	0	45

В результате проведенного эксперимента была получена зависимость влияния одного из ключевых параметров качества видеосистем – разрешения – на эксплуатационные характеристики биометрической системы идентификации личности по 2D изображению лица.

Результаты показали, что разрешение видеосистем, используемых при решении задач биометрической идентификации по изображению лица, оказывает сильное влияние на её эксплуатационные характеристики. Об этом свидетельствует изменение кривой КОО в зависимости от значения разрешения (см. рис. 4). Циановым цветом на графике указана кривая КОО для наивысшего значения разрешения (1056 ТВЛ), черным – для наихудшего (547 ТВЛ). По графикам ФПМ, полученным с помощью программы Imatest (см. рис. 3), можно судить о том, что камера и объектив видеосистемы подобраны верно. Об этом свидетельствует значение MTF30 = 0,5 циклов/пиксель, что соответствует значению одной пары линий на 2 линейки пикселей и пространственной частоте $f = 1/2p$ (p – период). Однако лучшим вариантом был бы подбор объектива и матрицы таким образом, чтобы пространственная частота оказалось равной $f = 1/3p$ [9]. Таким способом можно добиться уменьшения вероятности случайных ошибок системы идентификации. Для наглядного представления результатов в таблице 3 приведена выдержка данных, по которым строились кривые КОО.

Таблица 3

Значения ВЛС и ВЛНС для различных значений разрешения видеосистемы

Разрешение видеосистемы	1056 ТВЛ		986 ТВЛ		904 ТВЛ		830 ТВЛ		547 ТВЛ	
Значение порога, %	ВЛС, %	ВЛНС, %	ВЛС, %	ВЛНС, %	ВЛС, %	ВЛНС, %	ВЛС, %	ВЛНС, %	ВЛС, %	ВЛНС, %
98	< 1	3	< 1	28	< 1	41	< 1	71	< 1	87
95	< 1	1	< 1	22	< 1	38	< 1	68	< 1	87
90	< 1	< 1	< 1	15	< 1	33	< 1	62	< 1	83
85	< 1	< 1	< 1	6	< 1	24	< 1	56	< 1	79
20	36	< 1	37	< 1	47	0	71	< 1	91	< 1

На основании табличных данных или пользуясь графиком, а также задавая значение порога принятия решения, пользователь системы может определить с помощью видеокамеры высокого разрешения (тестовой видеокамеры), какое значение разрешения будет оптимальным для использования системы в данных условиях. Например, необходимо подобрать оптимальное разрешение и порог принятия решения, для того чтобы получить значения ошибок ВЛС < 1 % и ВЛНС < 1 %. Для значения порога в 90 % и разрешения в 1056 ТВЛ ВЛС и ВЛНС составили 0 %. При том же значении порога для разрешения 986 ТВЛ ВЛНС составила уже 15 %. Это говорит о том, что при пороге в 90 % и значении разрешения в 1056 ТВЛ через контрольно-пропускной пункт общежития не пройдет ни один потенциальный нарушитель, а при значении разрешения в 986 ТВЛ пройдет каждый 7-й потенциальный нарушитель. Следовательно, для данной системы значения разрешения в 1056 ТВЛ и порога в 90 % являются оптимальными.

Данный подход может использоваться при выборе характеристик компонентов системы ВА для обеспечения требуемого качества изображения, что позволит повысить эффективность работы такой системы и избежать излишних затрат при подборе компонентов. Предметом отдельного исследования является оценка влияния ещё двух не менее важных критериев качества подсистемы формирования изображения: уровня контраста на изображении и отношения сигнал/шум.

Список литературы

1. Hampapur A. The IBM Smart Surveillance System – Release 1, IBM T.J. Watson Research Center. Availabke at: http://researcher.watson.ibm.com/researcher/files/us-smiyaza/IBMS3-R1Overview.pdf, accessed 05.10.2013.
2. Kruegle H. CCTV Surveillance. Video Practices and Technology. 2nd Edition. Butterworth: Elsevier, 2006. 672 p.
3. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения. М.: Машиностроение, 1987. 264 с.
4. Пустынский И.Н., Зайцева Е.В. К расчету освещенности изображения и числа сигнальных электронов в телевизионном датчике на ПЗС-матрице // Доклады ТУСУРа. 2009. Т. 20. № 2. С. 6.
5. Одиноких Г.А. Разрешающая способность видеосистем для задач видеоаналитики // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 12. Режим доступа: http://sntbul.bmstu.ru/doc/649755.html (дата обращения 05.09.2013)
6. Официальный сайт компании Imatest LLC. Режим доступа: http://www.imatest.com/ (дата обращения 08.10.2013)
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-5-2006, Автоматическая идентификация. Идентификация биометрическая. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 5. Данные изображения лица. Введ. 2006-03-30. М.: Изд-во стандартов, 2006. 42 с.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19795-1-2007, Автоматическая идентификация. Идентификация биометрическая. Эксплуатационные испытания и протоколы испытаний в биометрии. Часть 1. Принципы и структура. Введ. 2008-12-25. М.: Изд-во стандартов, 2008. 57 с.
9. Nyquist H. Certain topics in telegraph transmission theory // Trans. Am. Inst. Electric. Eng. 1928. Vol. 47. P. 617–644.