

УДК 621.397.13

Кандидат техн. наук С. Д. Ковин

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В АВИАЦИИ

Рассмотрены особенности формирования и использования цветных изображений для наблюдения и анализа объектов земной поверхности с летательных аппаратов, а также ход и распределение спектральных характеристик некоторых объектов в видимой области спектра

Ключевые слова: цветные изображения, анализ, разрешение, спектральные характеристики объектов

Введение

Как известно, регулярные передачи чёрно-белых телевизионных (ТВ) программ начались в СССР в 1938 г. [1]. По мере развития чёрно-белого телевидения росло понимание необходимости введения цвета в изображение на экране ТВ приёмника. Цвет не только приближает изображение на ТВ экране к восприятию глазом реальной сцены, но и увеличивает количество содержащейся в изображении информации, в том числе семантической; вызывает у наблюдателя дополнительные эмоции и ощущения, способствуя более полному восприятию изображения в контексте решаемой задачи. С 1 октября 1967 г. в СССР было начато регулярное цветное ТВ вещание, и на сегодня цвет является неотъемлемой частью вещательного телевидения.

Вместе с тем, в области прикладного, в частности авиационного, телевидения до сих пор существует мнение о преимуществах чёрно-белого ТВ изображения перед цветным. При обосновании такой точки зрения, как правило, используются следующие основные аргументы:

1. Введение цвета существенно (в 2 и более раз) снижает разрешающую способность ТВ аппаратуры, что приводит к снижению эффективности работы оператора при решении задач обнаружения объектов.

2. На больших дальностях, особенно при наземных наблюдениях в пригоризонтной зоне, цвет в изображениях становится плохо различим в силу общего снижения контраста и голубого фона рассеяния света в атмосфере, требующего введения светофильтров, отсекающих коротковолновую часть спектра [2].

3. Введение цвета, наряду с увеличением различительной информации в ТВ изображении, порождает дополнительный «цветовой» шум наблюдения, проявляющийся как резкое изменение цвета изображения сцены в целом и отдельных фрагментов в ходе одной реализации цикла наблюдения, что существенно усложняет решение прикладных задач (выделения объекта в составе сцены и слежения за ним).

Особенности формирования и анализа объектов в цветных изображениях

Рассмотрим перечисленные аргументы и доводы применительно к системам авиационного телевидения, осуществляющим решение задач визуального наблюдения и анализа объектов земной поверхности.

1. При реализации цветных телевизионных систем с той же пропускной способностью канала связи, что и для чёрно-белой телевизионной системы, неизбежно снижение разрешающей способности либо по времени, либо по полю. Например, при использовании Байеровской матрицы снижается разрешающая способность по полю. Если требования к разрешающей способности чёрно-белой телевизионной системы хорошо исследованы, то оценка разрешающей способности цветной телевизионной системы, требуемой авиационному оператору для эффективного решения возложенных на него задач, является актуальной. В соответствии с положениями эргономики расстояние от оператора до экрана монитора (многофункционального индикатора – МФИ) должна составлять 800 мм. При этом рекомендуемый угол поля зрения составляет 8×13 градусов, что соответствует восприятию глазом оператора. Тогда, учитывая, что угловое разрешение глаза в условиях полёта самолёта (вертолёта) составляет 1,5 (2,0) угловых минуты, различимое число элементов на экране монитора будет равно ~ 512 . Таким образом, в том случае, когда число элементов разрешения матрицы (и, соответственно, МФИ) превышает 1024×1024 элемента, влияние снижения разрешающей способности при использовании цветного изображения на эффективность работы оператора отсутствует.

В табл. 1 приведены характеристики некоторых зарубежных и лучших отечественных фотоприёмных матриц (ФПМ) последних лет. Их анализ показывает, что на сегодняшний день уровень развития технологий создания ФПМ для видимой области спектра практически позволяет использовать формируемые цветные ТВ изображения без снижения эффективности работы оператора из-за уменьшения их разрешающей способности.

Таблица 1.

ПЗС матрицы						
№	Наименование	Число элементов	Частота, МГц	Размер пикселя, мкм	Чувствительность	Год выпуска
1	ICX224 Sony	1636×1236	18(7,5 к/с)	3,9×3,9	350мВ	1998
2	ICX252 Sony	2088×1550	18	3,45×3,45	320мВ	1999
3	ICX274 Sony	1636×1236	36	4,4×4,4	420мВ	2002
4	FTF2416C Dalsa	2460×1640	27	9×9	1000мВ	2003
5	ICX412 Sony	2088×1550	22,5	3,45×3,45	455 мВ	2003
6	ICX445 Sony	1296×966	36	3,75×3,75	380 мВ	2010
7	KAI-029050 Kodak	6600×4480	40	5,5×5,5	680 мВ	2011
8	KAI-04050 Kodak	2360×1776	40	5,5×5,5	680 мВ	2014
9	«Круиз» НПП «Элар»	1024×128	5	9,0×9,0		2005
10	«Круиз-6» НПП «Элар»	1536×192	24	6,0×6,0		2012
11	«ОЭК-9» «ПП «Элар»	6144×128	120	9,0×9,0		2012
12	«ОЭК-БФПУ» НПП «Элар»	3600×2500	40	12,0×12,0		2012
13	«ФКМОП 1000» НПП «Пульсар»	1024×1024	250 к/с	15×15		2014
КМОП матрицы						
№	Наименование	Число элементов	Размер пикселя, мкм	Оптический формат	Чувствительность	Год начала производства
1.	EV76C560	1280×1024	5,3×5,3	1/1,8	6600 милибит /люкс·с	2009
2.	LUPA-4000	2048×2048	12×12	1	11,61 В/люкс·с	2009
3.	CMV4000- 2E5M1PP	2048×2048	5,5×5,5	1	4,64 В/люкс·с	2010
4.	EV76C570	1600×1200	4,5×4,5	1/1,8	7400 милибит /люкс·с	2013
5.	EV76C771	1920×1080	5,3×5,3	2/3	50 милибит /(нКд/см ²)	2015
6.	IMX250LLR	2464×2056	3,45×3,45	2/3	1,1 В/люкс·с	2015

В табл. 2 приведены основные характеристики современных МФИ, применяемых на летательных аппаратах (самолётах) для наблюдения оператором за наземными объектами в ходе решения различных задач.

Таблица 2

Характеристика Тип МФИ	Тип индикатора	Размер информационного поля	Число элементов изображения
МФИ А864-0402	Полноцветный, активно- матричный, ж/к	(6×8) дюймов, портретная ориентация	(600×800) или (768×1024)
МФИ А864-0402.4	Полноцветный, активно- матричный, ж/к	(6×8) дюймов	не менее (600×800)

Анализ приведённых в табл. 2 значений основных характеристик современных МФИ подтверждает возможность использования цвета в рассматриваемом случае без снижения эффективности работы оператора.

2. Требования по дальности обнаружения и слежения за объектами в системах наблюдения и пилотирования составляют сегодня порядка 10 км. Применения ТВ аппаратуры с дальностью обнаружения крупноразмерных объектов на дальностях больше 10 км практически не встречается. На задаваемых дальностях вследствие влияния атмосферы сигнал от объекта будет ослабевать (за счёт молекулярного и аэрозольного рассеяния и ослабления в результате поглощения излучения молекулами воздуха и аэрозолям).

Аналитически эти зависимости сформированы в рамках теории рассеяния, разработанной Г. Ми, и поглощения света частицами аэрозоля в соответствии с законом Бугера–Ламберта–Бера. Считается, что это ослабление в большей степени распространяется на его коротковолновую часть (участок спектра, соответствующий синему цвету). Действительно, если предположить, что ТВ аппаратура воспринимает на дальности 1 км 70% потока излучения на длине волны 0,8 мкм («красного» цвета), то в соответствии с законом Бугера «синего» она будет получать около 50% от исходной величины потока. Вместе с тем, это не означает, что на дальности в 10 км ТВ аппаратура не будет воспринимать цветовые компоненты, в том числе при уменьшении освещённости.

Для оценки наличия цветовых компонент в ТВ изображении и влияния освещённости на их присутствие в летний период 2014 г. были проведены экспериментальные исследования. Длина трасс составляла 10,1 км, в качестве сцены использовались промышленно-городские постройки. Анализ результатов измерений, проведённых с использованием ТВ-камеры на матрице ICX445 (см. табл.1) показывают, что при чувствительности 380 мВ и освещённости не менее 200 люкс, на дальности ~10 км при $S_{мдв} \sim 10$ км различимы все три основных цвета объектов сцены, в том числе и синий, а сами цвета – до значения освещённости 1 люкс.

3. Как известно, формирование цветного ТВ изображения по сравнению с идентичным чёрно-белым может позволить увеличить количество информации об объектах в 1,8...2,4 раза [3]. Для оценки эффективности формирования и анализа объектов в цветном ТВ изображении было разработано программно-алгоритмическое обеспечение, и на базе исходных данных натуральных испытаний реализован режим слежения за выбранным объектом, как в цветной, так и в чёрно-белой последовательности ТВ изображений. Слежение осуществлялось на протяжении последовательности из 1100 кадров в стробе размером 25×25 элементов. Анализ результатов показал, что на сложных сюжетах и при слежении за подвижными объектами использование цветовой составляющей сигнала позволяло устойчиво следить за объектом на всей протяженности последовательности. При использовании только яркостных перепадов слежение начиналось по мере обнаружения объекта с меньшей дальности и характеризовалось вероятностью срыва $\sim 0,3$.

Необходимо упомянуть, что в соответствии с экспериментально установленными характеристиками среднестатистического наблюдателя в 1931 г. Международная комиссия по освещённости (МКО) определила кривые сложения основных цветов красного R , зелёного G и синего B [4].

В этой системе некоторое соотношение основных цветов соответствует каждой из длин волн видимого участка спектра. При этом существуют как положительные, так и отрицательные количества основных цветов. Чтобы получить только положительные значения, МКО ввела условные основные цвета (которые обозначают буквами X , Y и Z), формируемые с помощью линейного математического преобразования из цветов соответствующих системе RGB . Причем, X соответствует мнимому (реально не существующему) красному, Y – мнимому зелёному и Z – мнимому синему цвету. Спектральные составляющие, относящиеся к данной стандартной колориметрической системе, называют стандартными трёхкомпонентными основными возбуждениями, а рассчитанные по ним цветовые координаты – стандартными цветовыми координатами. Стандартные кривые сложения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ описывают зависимость энергии излучения от длины волны и определяют спектральную чувствительность глаза среднестатистического наблюдателя МКО.

Из определения стандартных трёхкомпонентных возбуждений по МКО следуют некоторые особенности. Так, например, белый цвет (при идеальном освещении, т. е. энергетически равномерном, не зависящем от длины волны) имеет координаты $X=Y=Z=100$, а яркость можно вычислить по мнимой координате Y . В современной технологии репродукционных процессов колориметрическая система XYZ представляет важное эталонное цветовое пространство. Существуют и иные, координатные системы цветности, получаемые с использованием линейных и нелинейных преобразований из колориметрической системы XYZ .

При этом на видеопоследовательностях, полученных ТВ аппаратурой в системе координат RGB или XYZ , иногда отмечается изменение цвета

изображения объектов сцены в ходе одной реализации цикла наблюдения. Как правило, причиной является изменение светового потока в рассматриваемой сцене. Компенсация таких изменений возможна за счёт рационального выбора цветовой системы координат [4]. В рассматриваемом случае использовалась система, в которой, в отличие от систем RGB или XYZ можно обеспечить нормирование яркостных и цветоразностных изменений. В этом случае с использованием программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) удаётся компенсировать изменения в изображении сцены при изменении баланса света и цвета.

Для оценки влияния «цветового» шума и возможности его формализации применительно к объекту были проведены экспериментальные исследования по оценке коэффициентов отражения равномерно окрашенных поверхностей в видимой области спектра. В качестве покрытий использовались как краски, рекомендованные для наземной техники, так и краски, дополняющие их по цвету.

На рис. 1 и 2 показаны некоторые тест-объекты, использованные в ходе исследований (здесь в статье, они приведены в чёрно-белом варианте). Таковыми были автомобиль и объекты в виде цветных «кубиков». Последние отражали основные первичные RGB и дополнительные цвета, в соответствии с треугольником цветности в декартовой системе координат. В качестве прибора для оценки коэффициентов отражения был применен спектрофотометр СФ-2000.



Рис. 1. Изображение спецавтомобиля «КАМАЗ»

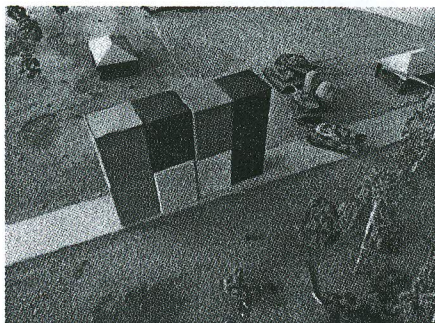


Рис. 2. Изображение «кубиков» различных цветов

Графики зависимостей коэффициента спектрального отражения от длины волны для отдельного фрагмента «песочного» цвета спецавтомобиля «КАМАЗ» (7 реализаций) приведены на рис. 3, а для каждого отдельного «кубика» на рис. 4.

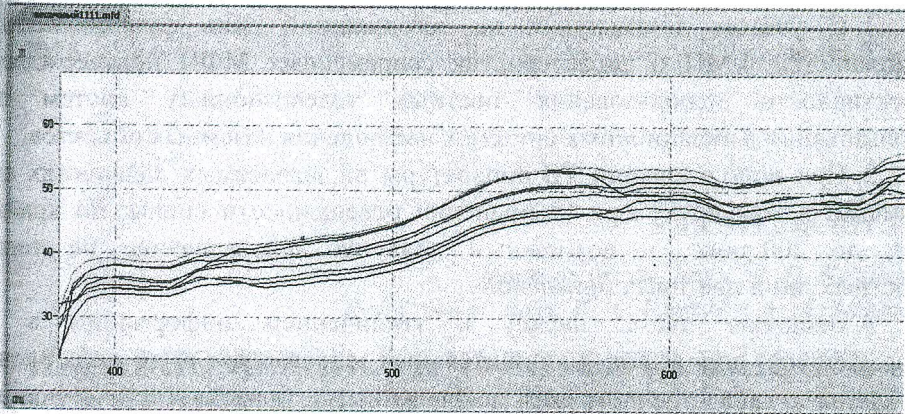


Рис. 3. Ход спектральных характеристик для отдельного фрагмента «песочного» цвета спецавтомобиля

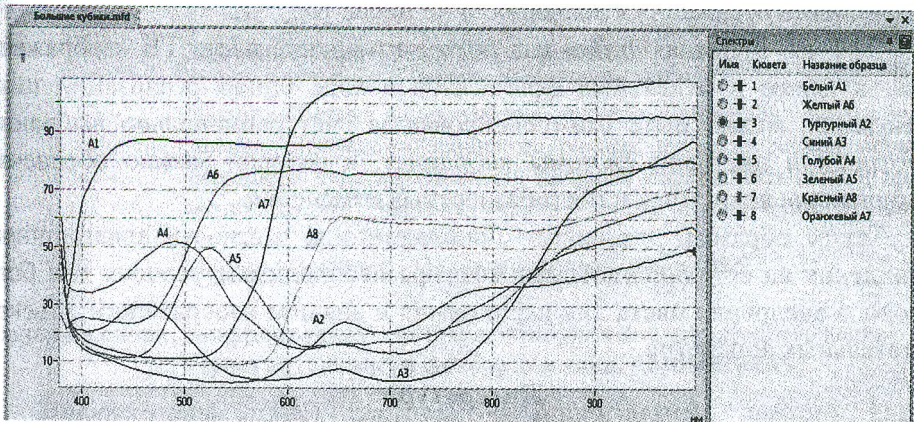


Рис. 4. Ход спектральных характеристик для «кубиков» основных и дополнительных цветов

Анализ рис. 3 и 4 показывает, что ход спектрально-энергетических характеристик рассматриваемых объектов в целом соответствует наблюдаемым цветам при их зрительном восприятии. Кроме того, данные зависимости показывают, что числовые характеристики коэффициента отражения как случайной величины в первом приближении аппроксимируются гауссовским распределением. Так, вероятность превышения значения отклонения коэффициента отражения от его среднего значения величины σ составляет $\sim 0,3$, а величины 2σ – $0,05$ соответственно. Отношение среднего значения коэффициента отражения к σ при этом не менее 10.

Выводы

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы и рекомендации по использованию систем цветного телевидения при решении прикладных задач в авиации:

1. С учётом достигнутых на сегодняшний день функциональных возможностей ФМП и характеристик современных МФИ подтверждается эффективность использования цветных телевизионных систем при использовании в авиационных системах наблюдения наземных объектов.

2. При использовании ТВ аппаратуры на задаваемых дальностях цвет различим, в том числе при уменьшении освещенности сцены, по крайней мере, до 200 люкс, и возможным является использование не только яркостных, но и цветовых признаков.

3. Введение цвета, наряду с увеличением информации в ТВ изображениях, порождает дополнительный «цветовой» шум наблюдения. При этом для равномерно окрашенных поверхностей (участков поверхностей) он может быть в первом приближении аппроксимирован гауссовским распределением и соотношением величин среднего значения коэффициента отражения к значению σ не менее 10.

Эффект, проявляющийся как резкое изменение цвета ТВ изображения сцены в целом и отдельных фрагментов в ходе одной реализации цикла наблюдения, может быть скомпенсирован за счёт рационально выбранной анизотропной цветовой системы координат, в которой можно обеспечить нормирование яркостных и цветоразностных изменений.

Таким образом, для систем прикладного, в частности авиационного, телевидения на сегодняшний день созданы необходимые условия для более широкого внедрения цвета для наблюдения и анализа изображений объектов с летательных аппаратов.

Литература

1. МНИТИ 65 лет. История и современность. М.: ООО «Издательский дом "А4"», 2015. 214 с.
2. Оптимизация телевизионной системы пригоризонтного наблюдения/ Левко Г. В., Манцветов А. А., Адамов Д. Ю. и др. // Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения, 2014, вып. 2. С. 34–43.
3. Сагдуллаев Ю. С., Ковин С. Д., Сагдуллаев Т. Ю., Смирнов А. И. Информационно-измерительные системы телевидения. М.: «Спутник +», 2013. 199 с.
4. Ложкин Л. Д. Дифференциальная колориметрия. Самара: ИУНЛ ПГУТИ, 2010. 320 с.

Статья поступила 15 августа 2015 г.