

Обобщенная модель атмосферного аэрозоля для оптимальной обработки сигналов дистанционного колориметра технологического контроля

Ф.Г. Агаев, директор, д-р техн. наук, профессор¹

Г.В. Алиева, аспирант¹

Э.А. Ибрагимов, аспирант¹

Р.Н. Абдулов, заместитель главного инженера²

¹ Институт космических исследований, г. Баку, Азербайджан

² Научно-исследовательский институт Министерства оборонной промышленности, г. Баку, Азербайджан

e-mail: asadzade@rambler.ru

Ключевые слова:

аэрозоль,
колориметр,
технологический контроль,
оптимизация,
обработка сигналов.

Приведен короткий обзор режимных функций колориметрических систем и их реализаций, характеризующихся необходимостью вычисления корреляции между сигналами цветовых каналов. Предложена обобщенная модель оптической толщины атмосферного аэрозоля, которая может быть использована для формирования функционала цели при оптимизации режима работы корреляционного вычислителя цветовых сигналов. В результате оптимизации рассматриваемой модели колориметра синтезирован оптимальный режим проведения корреляционных вычислений с учетом внешних атмосферных факторов.

1. Введение

Проблематика безопасности в техносфере включает такие технологические процедуры в отношении различных технических средств и объектов, как контроль и диагностика их состояния. Важнейший раздел общей методологии контроля и диагностики в техносфере — колориметрический метод оценки состояния различных объектов, функционально обеспечивающих безопасность в техносфере. Например, метод колориметрического контроля, реализованный в системе машинного зрения контрольно-диагностического назначения, может обеспечивать автоматическую оценку степени покрытия ржавчиной различных опорных металлических конструкций, контроль технологического режима процесса флотационного обогащения медной руды в горно-обогатительных комбинатах. Он позволяет контролировать наличие выбросов в атмосферу особо вредных газов NO_2 по их характерному цвету; температуру плавки металла по его цвету,

фракций нефти в нефтеперерабатывающем производстве и другие процессы, требования безопасности которых диктуют необходимость проведения непрерывного колориметрического контроля.

Колориметрическая техника также широко применяется в геофизической разведке различных объектов. Автоматизация колориметрического контроля делает необходимой замену человека-оператора не только на системы машинного зрения, но и на различные управляющие — вычислительные — процессоры, использующие дополнительные критерии достоверности колориметрического контроля. К числу из таких критериев относится контроль корреляции между сигналами каналов следующих базовых цветов в колориметрической системе: красный — R (red); зеленый — G (green) и синий B (blue) [1–6].

Применительно к дистанционным колориметрам, устанавливаемым на борту летательных средств, хорошо известна цветоискажающая роль атмосферного аэрозоля, особенно мелкодисперс-

ного. При межспектральных корреляционных вычислениях следует учитывать и минимизировать влияние оптической толщины аэрозоля на двух разных длинах волн. Отметим, что задача высокочастотных межцветовых корреляционных вычислений в колориметрических системах неразрывно связана с необходимостью точного учета цветоискажающего воздействия атмосферного аэрозоля, отличающегося особой нестабильностью. Одна из важных причин такой нестабильности — эффект увлажнения аэрозоля, что может вызвать значительное изменение оптических характеристик аэрозоля. Следовательно, необходимо создать комплексную модель аэрозоля, специально приспособленную для корреляционных межспектральных вычислений, позволяющую оптимизировать отдельные показатели модели в соответствии со степенью увлажнения аэрозоля — в смысле минимизации суммарного влияния аэрозоля на результат корреляционных вычислений цветовых сигналов.

2. Постановка задачи

С учетом вышесказанного рассмотрим наиболее типичные задачи дистанционного колориметрического зондирования, для решения которых необходимы корреляционные межспектральные вычисления. В США качество ночного неба рассматривается как охраняемый ресурс во многих национальных парках и региональных природных зонах [1]. Свечение неба в таких местах, исходящее от различных промышленных объектов и жилых домов, часто появляется в виде изолированного светового купола вдоль горизонта. Для исследования связи между уличным освещением и такими световыми куполами необходимо определить степень корреляции между антропогенным свечением неба и результатами моделирования свечения неба. В [1] показаны различия цветового зрения двух типов: 1) скотопическое цветное зрение, при котором глаза более чувствительны к синему цвету и менее — к красному; 2) фотопическое или мезопическое, где спектральная чувствительность глаз обратна вышесказанной. В [1] отмечается важность проведения соответствующих колориметрических измерений свечения неба для сравнения и определения корреляции между пиковыми значениями фотопического (555 нм) и скотопического (507 нм) излучений, генерируемых натриевыми лампами высокого и низкого давления, а также светоизлучающими диодами желтого цвета.

Согласно [2], мультиспектральная линейка фильтров, используемая при многоспектральной обработке, в каждой пространственной точке выдает лишь один спектральный сигнал и изображение сцены

получается в виде мозаики. Для обратного демозаирования изображения необходимо иметь информацию о коррелированности спектральных каналов или отдельных цветов.

Как указывается в [3], задача восстановления цветных изображений с высоким разрешением может быть решена с использованием множества изображений низкого разрешения, сформированных с помощью фильтра Байера, а также информации о степени коррелированности спектральных каналов. В этой работе приведены примеры восстановления цветных изображений высокого разрешения, достигнутого путем разумного компромисса между подавлением шумов и краевыми контурами в изображении при условии сохранения степени межканальной коррелированности.

Важность наличия информации о степени корреляции между цветовыми сигналами также отмечается в [5], где предлагается новый метод уменьшения зашумленности цветных изображений. Для устранения шумов в этом методе наряду с 8 градиентными оценками сигналов пикселей, находящихся вокруг центрального пикселя, используются значения корреляции между базовыми сигналами колориметра. Анализ корреляционных связей между базовыми цветовыми компонентами общей цветности широко используется при исследовании различных геофизических и сельскохозяйственных объектов, например при изучении цветности океана, растительных полей и т.д. Все вышесказанное подтверждает актуальность синтеза новых методов получения незашумленных корреляционных оценок между сигналами цветовых каналов в условиях сильной изменчивости аэрозольной обстановки при проведении технологического, геофизического и сельскохозяйственного колориметрического контроля.

Цель исследования в настоящей статье состоит в разработке такой модели атмосферного аэрозоля, которая позволила бы минимизировать вычисления, применяемых в колориметрических системах дистанционного машинного контроля, используемых в техносфере, горнорудной и геофизической колориметрической разведке, а также при проведении дистанционных экологических исследований и сельскохозяйственного колориметрического контроля созревания продукции.

3. Решение задачи

Прежде чем изложить предлагаемый метод синтеза незашумленного вычислителя корреляции сигналов цветовых каналов в условиях воздействия увлажняющегося аэрозоля, рассмотрим предлагаемую модель оптической толщины аэрозоля, базирующейся на модели Бирда [7]. Согласно этой модели,

рассматривается только два различных спектральных диапазона — ниже и выше $\lambda_0 = 0,5$ мкм. Оптическая толщина аэрозоля $\tau_{\alpha\lambda}$ определяется как

$$\tau_{\alpha\lambda} = \beta_i \left(\frac{\lambda}{\lambda_1} \right)^{-\alpha_i}, \quad (1)$$

где $\lambda_1 = 1$ мкм; α_i определяется следующим образом:

$$\alpha_i = \alpha_1 \text{ если } \lambda < \lambda_0;$$

$$\alpha_i = \alpha_2 \text{ если } \lambda > \lambda_0;$$

β_i определяется следующим образом:

$$\beta_i = \beta_1 = 2^{\alpha_2 - \alpha_1} \beta \text{ если } \lambda < \lambda_0;$$

$$\beta_i = \beta_2 = \beta, \text{ если } \lambda > \lambda_0.$$

Мы предлагаем следующую комбинированную модель оптической толщины аэрозоля

$$\tau_{\Sigma_1} = \frac{2^{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} + \beta \cdot \lambda_2^{-\alpha_2}}{2}. \quad (2)$$

Известные оптимальные значения коэффициентов α_1 и α_2 для разных типов аэрозоля при разной величине относительной влажности приведены в табл. 1 [6].

Для математического решения сформулированной выше задачи синтеза оптимального вычислителя корреляции между цветовыми каналами дистанционной колориметрической системы рассмотрим упрощенную модель такого вычислителя (рис. 1).

Применительно к дистанционному колориметру считаем, что сигналы цветовых каналов подвержены влиянию атмосферного аэрозоля, что неизбежно приводит к искажению цветового воспроизведения. Сигналы $I_1(\lambda_1)$ и $I_2(\lambda_2)$ определены следующим образом

$$I_1(\lambda_1) = I_0(\lambda_1) \cdot e^{-\tau_a(\lambda_1)}, \quad (3)$$

$$I_2(\lambda_2) = I_0(\lambda_2) \cdot e^{-\tau_a(\lambda_2)}, \quad (4)$$

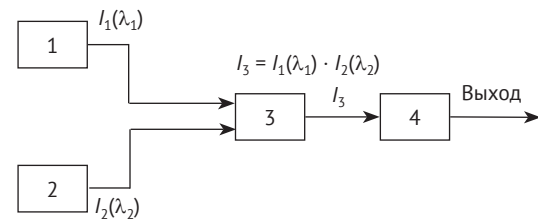


Рис. 1. Упрощенная модель корреляционного вычислителя.

1 – формирователь первого спектрального сигнала с длиной волны λ_1 ; 2 – формирователь второго спектрального сигнала с длиной волны λ_2 ; 3 – умножитель; 4 – интегратор

где $I_1(\lambda_1)$ и $I_2(\lambda_2)$ — незашумленные цветовые сигналы.

Сигнал на выходе умножителя I_3 определим как

$$I_3 = I_0(\lambda_1) \cdot I_0(\lambda_2) \cdot e^{-[\tau_a(\lambda_1) + \tau_a(\lambda_2)]}. \quad (5)$$

Согласно классическому определению, процедура синтеза должна включать два этапа:

- 1) создание адекватной модели;
- 2) оптимизация модели.

Для оптимизации модели корреляционного вычислителя в качестве критерия оптимизации выберем условие

$$\tau_{\Sigma_2} = \tau_a(\lambda_1) + \tau_a(\lambda_2) \rightarrow \min. \quad (6)$$

При условии $\lambda_1 < 0,5$ мкм; $\lambda_2 > 0,5$ мкм на основе вышеизложенной модели Бирда атмосферного аэрозоля критерий оптимизации (6) приобретает следующий вид

$$\tau_{\Sigma_2} = 2^{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} + \beta \cdot \lambda_2^{-\alpha_2}. \quad (7)$$

Сравнение выражений (2) и (7) показывает, что они отличаются постоянным множителем. Для оптимизации вышеизложенной модели дистанционного корреляционного вычислителя вполне пригодна приведенная выше комбинированная модель оптической толщины аэрозоля.

Формально, для решения задачи оптимизации составим задачу вариационной оптимизации с закреп-

Таблица 1

Значения коэффициентов α_1 и α_2 для различных типов аэрозоля при различных значениях относительной влажности

Относительная влажность, %	Сельский аэрозоль		Городской аэрозоль		Морской аэрозоль		Тропосферный аэрозоль	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
0	0,933	1,444	0,822	1,167	0,468	0,626	1,010	2,389
70	0,928	1,428	0,838	1,186	0,378	0,508	1,005	2,357
90	0,844	1,377	0,779	1,256	0,232	0,246	0,911	2,130
95	0,804	1,371	0,705	1,252	0,195	0,175	0,864	2,058

ленными концами. Введем в рассмотрение функцию вида

$$\alpha_2 = f(\alpha_1), \quad (8)$$

и составим функционал оптимизации

$$F = \int_0^{\alpha_{1max}} \tau_{\Sigma_2} [\alpha_1, f(\alpha_1)] d\alpha_1 = \\ = \int_0^{\alpha_{1max}} [2^{f(\alpha_1)-\alpha_1} \cdot \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} + \beta \cdot \lambda_2^{-\alpha_1}] d\alpha_1. \quad (8)$$

Вычислим $\frac{dF}{df(\alpha_1)}$. Имеем

$$\frac{dF}{df(\alpha_1)} = (\ln 2) \cdot 2^{f(\alpha_1)-\alpha_1} \cdot \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} - (\ln \lambda_2) \cdot \beta \cdot \lambda_2^{-f(\alpha_1)}. \quad (9)$$

Из условия

$$\frac{dF}{df(\alpha_1)} = 0$$

получим

$$\alpha_2 = f(\alpha_1) = \frac{\ln \left[\frac{\ln \lambda_2}{(\ln 2) \cdot \lambda_1^{-\alpha_1}} \right]}{\ln 2 \lambda_2} + \frac{\alpha_1 \cdot \ln 2}{\ln 2 \lambda_2}. \quad (10)$$

Таким образом, при существовании зависимости между α_2 и α_1 в виде выражения (10) функционал F принимает экстремальное значение.

Анализ второй производной дает

$$\frac{d^2 F}{df(\alpha_1)^2} = (\ln 2)^2 \cdot 2^{f(\alpha_1)-\alpha_1} \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} + 2(\ln \lambda_2)^2 \cdot \lambda_2^{-f(\alpha_1)}. \quad (11)$$

Как видно из выражения (11), вторая производная всегда положительна. Это указывает на то, что искомый экстремум является минимумом.

Полученная зависимость (10) между α_2 и α_1 , λ_1 , λ_2 позволяет выбрать оптимальные значения основных параметров рассматриваемой модели, чтобы можно было достичь минимального влияния аэрозоля на цветовоспроизведение в условиях непрерывного увлажнения аэрозоля.

4. Экспериментальные исследования

Для экспериментального исследования теоретически полученных результатов на уровне экспертных оценок в качестве базовых были приняты следующие положения:

- 1) глаза экспертов с нормальным зрением, участвующих в эксперименте, рассматривались в качестве природного безошибочного колориметра;

Таблица 2
Значения показателей α_1 и α_2 при разных значениях относительной влажности

Влажность, %	Городской аэрозоль	
	α_1	α_2
72	0,838	1,24
87	0,779	1,33

- 2) точность межцветовой корреляционной оценки прямо пропорциональна точности воспроизведения самих цветов.

Для экспериментальной проверки теоретически полученных результатов была осуществлена колориметрическая оценка цветности городского лесопаркового участка с расстояния 1 км. Группа экспертов из двух человек, находящихся на балконе девятого этажа жилого здания, проводила экспертную оценку цветности в течение двух дней с интервалом 6 дней. В качестве исходного было принято предположение, что степень аэрозольных выбросов в течение этого интервала не должна измениться, так как все источники аэрозольных выбросов работали в нормальном технологическом цикле и аномальных заносов аэрозольных облаков не ожидалось. В начале шестидневного интервала была сухая солнечная погода, а в конце этого интервала, согласно метеопрогнозам, ожидалось тучевые облака и дожди. Накануне прихода облаков и непосредственно перед дождями влажность воздуха возросла с 72 до 87%. Это позволило осуществить вычисления α_1 и α_2 как в начале, так и в конце этого интервала. Исходно принятые значения α_1 и вычисленные значения α_2 для относительной влажности 72 и 87% показаны в табл. 2.

Сравнивая данные таблиц 1 и 2, можно видеть, что оптимальные значения α_2 превышают неоптимальные значения α_2 , независимо от значения относительной влажности.

Так как α_2 — показатель желтого и красного цветов ($\lambda > 0,5$ мкм), то можно предположить, что появление фактора, увеличивающего α_2 до оптимального значения α_{2opt} , могло бы привести к более четкому наблюдению красных и желтых цветов лесопаркового участка. В качестве такого фактора было зафиксировано прекращение ветра со стороны моря, что к вечеру привело к уменьшению крупных частиц морского аэрозоля и повышению α_2 . Факт повышения α_2 подтверждался более четким визуальным наблюдением экспертами общего желтого фона лесопаркового участка. Такая же ситуация была зафиксирована и после шестидневного интервала, когда ослабление ветра с моря привело к повышению α_2 близко к оптимальному значению, в результате общий желтый фон лесопаркового участка наблюдался более четко.

5. Заключение

Вышеизложенная экспертно-экспериментальная оценка выдвинутых теоретических положений с учетом принятых исходных предположений позволила нам сделать заключение об удовлетворительной степени подтверждения основных выводов проведенного исследования. Основные выводы и положения проведенного исследования могут быть сформулированы следующим образом.

1. Краткий обзор режимных функций колориметрических систем и их реализации показал, что существует некоторое множество производствен-

ных колориметрических задач, характеризующихся необходимостью вычисления корреляции между сигналами цветных каналов.

2. Составлена обобщенная модель оптической толщины атмосферного аэрозоля, использованная далее для формирования функционала цели при оптимизации режима работы корреляционного вычислителя цветных сигналов.
3. Оптимизация предложенной модели колориметра позволила синтезировать оптимальный режим проведения корреляционных вычислений с учетом внешних атмосферных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Duriscoe D.M., Luqinbuhl C.B., Elvidge C.D. The relation of outdoor lighting characteristics to sky glow from distant cities // *Lighting Res. Technol.* 2013; 0: 1–15.
2. Kermani Z.S. Exploiting spectral and spatial correlations for single sensor acquisition and demosaicing of multispectral images // *EDIC RESEARCH PROPOSAL*. <http://wiki.epfl.ch/edicpublik/documents/Candidacy%20exam/sadeghipoorproposal.pdf>.
3. Sasahara R., Husegawa H., Yamada I., Sakaniwa K. A color super-resolution with multiple nonsmooth constraints by hybrid steepest descent method // *ICIP(1)* 2005. P. 857–860.
4. Wang X., Thomas J.-B., Hardeberg J.Y., Gouton P. Discrete wavelet transform based multispectral filter array demosaicing / *Colour and Visual Computing Symposium (CVCS)*, 2013. P. 1–6.
5. Ponomaryov V.I., Montenegro-Monroy H. Fuzzy filtering method for color videos corrupted by additive noise // *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 2014. Article ID 758107. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/758107>.
6. Gueymard Ch.A. Parameterized transmittance model for direct beam and circumsolar spectral irradiance // *Solar Energy*. 2001. Vol. 71, No 5. P. 325–346.
7. Bird R.E. A simple, solar spectral model for direct-normal and diffuse horizontal irradiance // *Solar Energy*. 1984. Vol. 32. P. 461–471.

Generalized Model of Atmospheric Aerosol for Optimal Processing of Remote In-process Control Colorimeter Signals

F.G. Agayev, Director, Doctor of Engineering, Professor, Space Research Institute, Baku, Azerbaijan

G.V. Aliyeva, Post-graduate student, Space Research Institute, Baku, Azerbaijan

E.A. Ibrahimov, Post-graduate student, Space Research Institute, Baku, Azerbaijan

R.N. Abdulov, Deputy Chief Engineer, Scientific Research Institute of Ministry of the Defense Industry, Baku, Azerbaijan

The paper briefly surveys regime functions of colorimetric systems and their realization featured by necessity to calculate the correlation between color channels' signals. It suggests a generalized model of optical depth of atmospheric aerosol, which could be used to form the target functional for optimization of correlation calculator of color signals. The optimum regime of carrying out correlation calculations based upon the atmospheric factors is synthesized as a result of optimization of the considered model of colorimeter

Keywords: aerosol, colorimeter, in-process control, optimization, signal processing.

О реорганизации вузов и их филиалов

Минобрнауки России разослало письмо 60 вузам с рекомендацией прекратить прием абитуриентов в 2014 году в перечисленных ведомством филиалах. Более 50% филиалов, попавших под реорганизацию и возможную ликвидацию в 2016 году, — это региональные отделения технических университетов. В общей сложности ликви-

дация грозит более 160 филиалам госвузов по всей стране. Распределение вузов и филиалов по показателям мониторинга эффективности стартовало в прошлом году, по результатам 2013 года оптимизация была предписана 26 головным вузам и 15 филиалам, а реорганизация — 79 головным вузам и 202 филиалам.

Источник: <http://izvestia.ru/news/573065>