

# РАСЧЕТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.397.13

## ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2008 г. Н. П. Корнышев, канд. техн. наук; А. В. Тимофеев

НИИ промышленного телевидения “Растр”, Великий Новгород

E-mail: korn@mail.natm.ru

Рассматривается метод компьютерного моделирования системы телевизионной визуализации люминесцирующих объектов с целью оптимального выбора ее компонентов, обеспечивающих заданный контраст получаемых изображений с фоном, и определения пороговых ограничений для мощности источника возбуждения люминесценции и чувствительности приемника люминесценции.

Коды OCIS: 150.0150.

Поступила в редакцию 23.04.2007.

Визуализация люминесценции объектов является одной из задач, решаемых с помощью телевизионных систем. При проектировании таких систем необходимо осуществлять оптимальный выбор источника возбуждения люминесценции (ИВЛ) и приемника люминесценции (ПЛ), согласуя их параметры с люминесцентными свойствами объекта, с целью получения изображения с максимально возможным контрастом объекта по отношению к фону [1, 2]. В настоящее время методы моделирования и оптимизации телевизионных систем подобного рода разработаны недостаточно.

Целью данной статьи является создание математической модели телевизионной системы для визуализации люминесцирующих объектов и метода компьютерного моделирования, позволяющего решать на ее основе инженерные задачи проектирования.

Для принятия решения в алгоритме необходим критерий качества системы. В данном случае критерием является контрастность формируемого изображения люминесцирующего объекта по отношению к фону. Действительно, глаз реагирует на относительный контраст в изображении, а гистограмма распределения яркостей изображения имеет два четко выраженных максимума, соответствующих люминесцирующему объекту и фону.

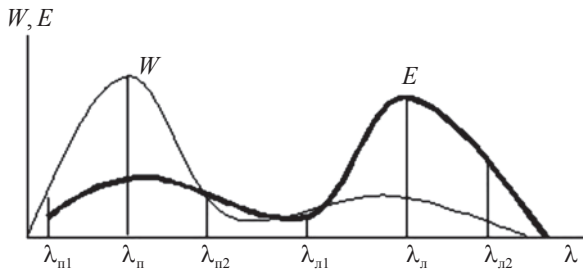
Задачей моделирования является как оценка достигаемого контраста изображений в предварительно выбранных вариантах системы для нахождения лучшего из них. В связи с этим рассмотрим математическую модель, лежащую в основе метода моделирования.

В реальной телевизионной системе из-за возможной собственной люминесценции фона и неидеальности спектральных характеристик ее компонентов имеются следующие фоновые составляющие:  $i_{\text{фс}} = i_{\text{ф}} + i_1 + i_2$ , где  $i_{\text{ф}}$  – сигнал от люминесцирующего фона,  $i_1$  – сигнал от паразитной засветки ПЛ в области спектра люминесценции,  $i_2$  – сигнал от паразитной засветки ПЛ в области спектра поглощения.

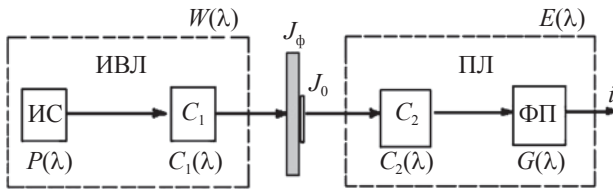
Для фототока ПЛ  $i = i_0 + i_{\text{фс}}$ , где  $i_0$  – полезный сигнал от объекта, можно использовать выражение, аналогичное выражению для относительного оптического контраста [3]  $K = \frac{i_0 - i_{\text{фс}}}{i_0}$ .

Характер сигналов от паразитных засветок иллюстрируется на рис. 1, где изображена результирующая характеристика ИВЛ  $W(\lambda)$ , определяемая источником света (ИС) и светофильтром  $C_1(\lambda)$  и согласованная со спектром поглощения, а также результирующая характеристика ПЛ  $E(\lambda)$ , определяемая фотоприемником (ФП) и светофильтром  $C_2(\lambda)$  и согласованная со спектром люминесценции исследуемого объекта. Структура математической модели телевизионной системы, визуализирующей люминесценцию объектов, иллюстрируется рис. 2. Компоненты фототока определяются в общем слу-

чае выражением  $i = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda)J(\lambda)d\lambda$  [3], где  $J(\lambda) = AW(\lambda)$  – общая интенсивность свечения исследуемого поля зрения,  $A$  – коэффициент, характеризующий люминесцентные свойства вещества,  $[\lambda_1, \lambda_2]$  – участок спектрального диапазона.



**Рис. 1.** Спектральные характеристики реальных ИВЛ ( $W(\lambda)$ ) и ПЛ ( $E(\lambda)$ ).  $\lambda_{n1}, \lambda_{n2}$  – границы диапазона длин волн, соответствующие спектру поглощения;  $\lambda_{n1}, \lambda_{n2}$  – границы диапазона длин волн, соответствующие спектру люминесценции.



**Рис. 2.** Структура математической модели. ИС – источник света с мощностью  $P(\lambda)$ , ФП – фотоприемник со спектральной чувствительностью  $G(\lambda)$ ,  $C_1$  и  $C_2$  – светофильтры с коэффициентами пропускания  $C_1(\lambda)$  и  $C_2(\lambda)$ ,  $J_0$  и  $J_\phi$  – интенсивности свечения объекта и фона,  $i$  – выходной сигнал (фототок).

Переходя к средним значениям мощности ИВЛ и чувствительности ПЛ в областях спектров поглощения и люминесценции, можно получить выражение для определения контрастности изображения, в котором отражены все основные компоненты системы,

$$K = 1 - \frac{P_{\text{срл}} C_{1\text{л}}}{P_{\text{срп}} C_{1\text{п}}} - \frac{G_{\text{срп}} C_{2\text{п}}}{G_{\text{срл}} C_{2\text{л}}} - \frac{A_\phi S_\phi}{A_0 S_0}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{срл}}, P_{\text{срп}}$  – средняя мощность источника света в ИВЛ соответственно в области спектра люминесценции и в области спектра поглощения;  $G_{\text{срл}}, G_{\text{срп}}$  – средняя чувствительность фотоприемника в ПЛ соответственно в области спектра люминесценции и в области спектра поглощения;  $A_0, A_\phi$  – коэффициенты, характеризующие люминесцентные свойства объекта и фона;  $S_0, S_\phi$  – площадь объекта и фона, а  $C_{1\text{л}} = \int_{\lambda_{\text{л1}}}^{\lambda_{\text{л2}}} C_1(\lambda) d\lambda$ ,  $C_{1\text{п}} = \int_{\lambda_{\text{п1}}}^{\lambda_{\text{п2}}} C_1(\lambda) d\lambda$ ,  $C_{2\text{л}} = \int_{\lambda_{\text{л1}}}^{\lambda_{\text{л2}}} C_2(\lambda) d\lambda$ ,  $C_{2\text{п}} = \int_{\lambda_{\text{п1}}}^{\lambda_{\text{п2}}} C_2(\lambda) d\lambda$  [1, 2].

Выражение (1) может рассматриваться как целевая функция, которую следует максимизировать

в условиях действующих ограничений. Таким образом, задачу оптимизации можно свести к классической задаче линейного программирования о поиске оптимального решения в системе с ограниченными ресурсами.

Однако для инженерной практики более удобно компьютерное моделирование предварительно выбранных вариантов систем с целью оценки их качества – контрастности получаемых изображений.

Принимая во внимание выражение для интегральной чувствительности системы  $G = i/\Phi$  [3] как

фототок насыщения  $i$ , рассчитанный на один люмен светового потока  $\Phi$ , и выделяя в световом потоке составляющие  $\Phi = \Phi_0 + \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_\phi$ , причем  $\Phi_0 \sim A_0 P_{\text{срл}}$ ,  $\Phi_1 \sim A_1 P_{\text{срл}}$ ,  $\Phi_2 \sim A_2 P_{\text{срл}}$ ,  $\Phi_\phi \sim A_\phi P_{\text{срл}}$ , где  $P_{\text{срл}}$  – средняя мощность ИВЛ,  $A_0$  и  $A_\phi$  – коэффициенты, характеризующие люминесцентные свойства объекта и фона;  $A_1$  и  $A_2$  – коэффициенты, характеризующие энергетические свойства паразитных световых потоков и определяемые коэффициентами пропускания  $C_1(\lambda)$  и  $C_2(\lambda)$ , можно записать выражение, удобное для определения пороговых ограничений

$$P_{\text{срл}} G = \frac{i}{A_0 + A_\phi + A_1 + A_2}. \text{ Действительно, из}$$

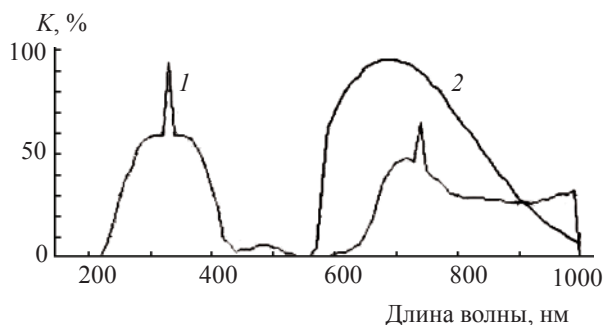
выражения следует, что для объекта с заданными люминесцентными свойствами  $A_0$  в системе существует множество пар ИВЛ–ПЛ для получения одинакового фототока (а значит и контраста по отношению к фону).

При этом в идеальной системе, для которой  $A_\phi = A_1 = A_2 = 0$ , т. е. пороговые ограничения отсутствуют, и для визуализации более слабой люминесценции при том же фототоке (т. е. при том же контрасте) можно неограниченно увеличивать как мощность источника, так и чувствительность фотоприемника.

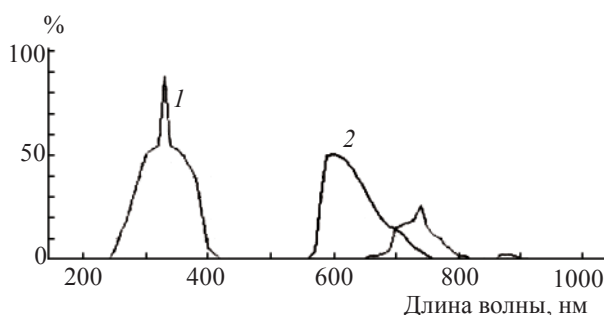
В реальной системе, как видно из выражения, существует пороговое ограничение  $\Pi = \frac{A_\phi + A_1 + A_2}{A_0} < 1$ , при превышении которого увеличивать как мощность источника, так и чувствительность фотоприемника бесполезно, потому что в этом случае в фототоке фоновая составляющая будет превышать полезную составляющую, несущую информацию об объекте [2].

Таким образом, в подпороговой области существует множество оптимальных пар ИВЛ–ПЛ, для которых  $P_{\text{срл}} G = \text{const}$ , обеспечивающих визуализацию объекта с люминесценцией  $A_0$  при заданном контрасте. При этом возможно увеличение чувствительности ИВЛ и мощности ПЛ для повышения контраста визуализируемого объекта с  $A < A_0$ .

При использовании метода компьютерного моделирования в ЭВМ вводят известные значения



**Рис. 3.** Результаты моделирования первого варианта системы. Спектральные характеристики ИВЛ (1) и ПЛ (2).  $K = 0,0243$ .



**Рис. 4.** Результат моделирования второго варианта системы. Спектральные характеристики ИВЛ (1) и ПЛ (2).  $K = 0,693$ .

спектральных характеристик компонентов системы, параметров сюжета и в зависимости от решаемой задачи вычисляют значения получаемого относительного контраста с целью выбора наилучшего варианта системы, определяют пороговые ограничения или находят требуемую для достижения заданного контраста спектральную характеристику исследуемого компонента.

Рассмотрим демонстрационный пример работы программы моделирования при оценке вариантов системы с использованием стандартных практически применяемых компонентов для визуализации люминесценции в видимой области спектра под воздействием УФ излучения.

На рис. 3 и 4 приведены результаты моделирования [4] двух вариантов системы. Как видно из рисунков, количественная оценка контрастности получаемых изображений показывает, что во втором варианте системы достигается значительно более высокая контрастность изображения люминесциру-

ющего объекта ( $K = 0,693$ ) за счет уменьшения влияния фоновых составляющих, что соответствует предварительной качественной оценке путем совмещения результирующих спектральных характеристик.

Метод позволяет не только оценить получаемый в системе контраст изображения, но и решать обратные задачи, например, оценить требования к отдельным компонентам системы для достижения заданного контраста.

Разработанная программа моделирования использована в НИИ промышленного телевидения “Растр”, (Великий Новгород), в частности, для оценки вариантов построения системы визуализации антистоксовой люминесценции.

## Выводы

1. Критерием качества системы телевизионной визуализации люминесцирующих объектов является контрастность получаемых изображений.

2. Для системы телевизионной визуализации люминесцирующих объектов существует множество оптимальных пар ИВЛ–ПЛ для получения изображений с заданной контрастностью при соблюдении порогового ограничения, определяемого соотношением фонового и полезного сигналов.

3. Компьютерное моделирование обеспечивает возможность оптимального выбора компонентов системы путем ввода вариантов их спектральных характеристик, параметров сюжета с количественной оценкой контрастности изображения и проверкой выполнения порогового ограничения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корнышев Н.П. Телевизионная визуализация и обработка изображений люминесцирующих объектов в криминалистике, молекулярной биологии и медицине. НовГУ им. Я. Мудрого, Великий Новгород, 2004. 226 с.
2. Корнышев Н.П. Оптимизация телевизионной спектральной системы для визуализации люминесцирующих объектов // Специальная техника. 2006. № 4. С. 62–64.
3. Халфин А.М. Телевизионная техника. Л.: Энергия, 1971. 232 с.
4. Корнышев Н.П., Тимофеев А.В. Программа для моделирования компонентов телевизионной спектральной системы и ее оптимизации // Св. об официальной регистрации № 2006613269 от 15.09.06.