

4. Быстродействующая телевизионная измерительная система для оценки искажений волнового фронта методом Гартмана / В. В. Войцехович, С. Н. Анкудинов, А. А. Манцветов, В. Э. Саволайнен, С. В. Коноглев, А. В. Переспелов, А. К. Цыцулин, В. В. Никитин, Д. Г. Долгов // Опт. журн. 2000. Т. 67, № 2. С. 113–119.

5. Березин В. В., Цыцулин А. К. Обнаружение и оценивание координат изображений точечных объектов в задачах астронавигации и адаптивной оптики // Вестн. ТОГУ. 2008. Т. 1, № 8. С. 11–20.

6. Твердотельные телекамеры: накопление качества информации / А. К. Цыцулин, Д. Ю. Адамов, А. А. Манцветов, И. А. Зубакин. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2014. 271 с.

7. Осадчий И. С. Метод субпиксельного измерения координат изображений звезд для приборов астроориентации космического базирования // Журн. радиоэлектроники. 2015. № 5. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may15/1/text.pdf> (дата обращения 12.05.2016).

8. Fosu C., Hein G. W., Eissfeller B. Determination of Centroid of CCD Star Images // XXth ISPRS Congr. 12–23 July 2004, Istanbul, Turkey, 2004. URL: <http://www.isprs.org>

/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/341.pdf (дата обращения 12.05.2016).

9. Gaussian beam optics. URL: [https://marketplace.idexop.com/store/SupportDocuments/All\\_About\\_Gaussian\\_Beam\\_OpticsWEB.pdf](https://marketplace.idexop.com/store/SupportDocuments/All_About_Gaussian_Beam_OpticsWEB.pdf) (дата обращения 12.05.2016).

10. Bahaa E. A. S., Malvin C. T. Fundamentals of Photonics. New York: John Wiley & Sons, 1991. 1007 p.

11. Твердотельная революция в телевидении / под ред. А. А. Умбиталиева и А. К. Цыцулина. М.: Радио и связь, 2006. 300 с.

12. Филиппова О. В., Бессонов Р. В., Аванесов Г. А. Оптимизация конструкции светозащитной бленды прибора звездной ориентации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 2. С. 165–174.

13. Телевизионная камера для малогабаритного звездного датчика / В. А. Иванов, Г. В. Левко, А. А. Манцветов, А. В. Степовой, П. С. Баранов, А. В. Морозов, Е. Ю. Пучка, Е. В. Письменный, Д. И. Сашин // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2014. Вып. 1. С. 43–51.

P. S. Baranov, A. A. Mancvetov

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

### Optimization of the relationship of Lens Dissipation Disk and Pixel Size to Improve the Precision of the Coordinates of a Small Object Image

*The optimum relation of to the pixel size providing a maximum of accuracy of an estimates of coordinates of the image centers of small-sized objects for a wide range of entry conditions: of a signal, background and reading noise levels is defined. The analysis of influence of initial shift of small-sized object on the accuracy of definition of position of his center is carried out. It is shown that if the relation of lens dissipation disk to the pixel size less than 0.8 that the error of definition of the small-sized object center considerably depends on initial shift.*

Circle of Confusion, Gravity Center Method, Small-Sized Object, Coordinates Estimate Accuracy

Статья поступила в редакцию 17 апреля 2016 г.

УДК 681.007.51

Н. В. Лысенко, А. М. Мончак

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Информационные модели телевизионной системы

*Рассмотрены первичные и вторичные информационные модели объекта, информация о котором передается к потребителю и воспринимается им. Приведено формальное описание информационных моделей. Для простых взаимно ортогональных отображений определена вероятность правильного обнаружения изображения объекта, представленного во вторичной информационной модели.*

### Информационная модель, вероятность опознавания изображений, изоморфизм

В настоящее время особый интерес проявляется к телевизионным системам (ТВС), параметры которых адаптируются к характеристикам объекта, под-

лежащего передаче. В связи с этим представляется необходимым описание информационных процессов, реализующихся в ТВС.

Объект, подлежащий передаче с помощью ТВС, может быть представлен некоторой первичной информационной моделью.

Под объектом понимается любая сущность или явление, с которыми имеет дело ТВС. Модель  $\langle S \rangle$  некоторого объекта  $S: \langle S \rangle$  приобретает смысл, если указан способ описания, содержащий множество понятий  $\{\xi\}$ . При этом, если множество  $\{\xi\}$  составлено из формальных понятий  $\alpha$ , то модель  $\langle S \rangle^\alpha$  – формальна. В этом случае множество  $\{\xi\}$  должно быть формальным тезаурусом.

Под сигналом понимается состояние некоторого объекта  $Y$ , сформировавшегося как следствие изменения состояния другого объекта  $X$ , который естественно назвать источником сигнала. При наличии третьего объекта  $Z$ , новое состояние которого наступает вследствие изменения состояния  $Y$ , относительно  $Z$  объект  $Y$  будет источником, а относительно  $X$  – приемником сигнала:

$$\langle X \rangle^{\xi_X} \rightarrow \langle Y \rangle^{\xi_Y} \rightarrow \langle Z \rangle^{\xi_Z}, \quad (1)$$

где  $\xi_X, \xi_Y, \xi_Z$  – тезаурусы  $X, Y$  и  $Z$  соответственно; символ  $\rightarrow$  означает причинно-следственный переход.

Таким образом, источник информации формирует первичную информационную модель объекта.

Если известна или эвристически принята некоторая функциональная зависимость между сигналом и его источником, описываемая оператором  $Q$ , то в том случае, если тезаурусы  $\xi_X, \xi_Y, \xi_Z$  являются составными частями общего тезауруса:

$$\{\xi_X, \xi_Y, \xi_Z\} \in \xi(X, Y, Z), \quad (2)$$

(1) записывается в виде

$$\langle X \rangle^{\xi_X} \xrightarrow{Q_1} \langle Y \rangle^{\xi_Y} \xrightarrow{Q_2} \langle Z \rangle^{\xi_Z}. \quad (3)$$

В общем случае, когда (2) не выполняется, (1) принимает вид

$$\langle X \rangle^{\xi_X} \xrightarrow{Q_1^{\xi_X \xi_Y}} \langle Y \rangle^{\xi_Y} \xrightarrow{Q_2^{\xi_Y \xi_Z}} \langle Z \rangle^{\xi_Z}.$$

Распространенное понимание сигнала как физического носителя информации, адекватное физико-техническим основам теории связи, требует более широкого толкования. Так, говоря об информации и сигнале, Н. Винер пишет [1]: "Информация должна переноситься каким-то физическим процессом, например, посредством какого-нибудь излучения" и "... информация пред-

ставляет собой воспроизведение множества состояний ее носителя, пространственно-временной упорядоченности множества состояний ее источника, воздействующего на носитель". В этом смысле физическая природа сигнала отстает на второй план по отношению к его информационной сущности, которая и определяется способом описания первичной информационной модели. Тогда информация оказывается относительной, зависящей от способа описания ее носителя, который выбирается исходя из тех или иных целей.

Таким образом, информация непосредственно связана с представлениями об объеме реально возможных состояний ее носителя, которые могут быть в свою очередь конкретными лишь при задании некоторого способа их описания. В связи с этим информация может трактоваться и как субъективная реальность, если приемником информации является человек-оператор.

Такое понимание информации соотнобразится с информационным подходом к анализу и синтезу ТВС. Если под информационными потоками в ТВС понимать циркуляцию сигналов по каналам системы, то они являются процессами, потенциально способными содержать информацию. Однако сама информация как реальность реализуется лишь внутри приемника (оператора), который обладает способностью узнавать принятый сигнал, отражать его в виде образа и осознавать.

В транскрипции формального подхода это положение запишется следующим образом:

$$\begin{array}{c} \langle X \rangle^{\xi_X} \xrightarrow{Q_{12}^{\xi_X \xi_Y}} \langle Y \rangle^{\xi_Y} \xrightarrow{Q_{23}^{\xi_Y \xi_Z}} \\ \rightarrow \left[ \left\langle \langle Y \rangle^{\xi_Y} \right\rangle^{\xi_Z} \xrightarrow{Q_{34}} \left\langle \langle X \rangle^{\xi_X} \right\rangle^{\xi_Z} \right] \end{array}$$

В приемнике  $\langle Z \rangle^{\xi_Z}$  в результате взаимодействия с сигналом  $\langle Y \rangle^{\xi_Y}$  возникает чувственный образ  $\left\langle \langle Y \rangle^{\xi_Y} \right\rangle^{\xi_Z}$ , осознаваемый в образе  $\left\langle \langle X \rangle^{\xi_X} \right\rangle^{\xi_Z}$ . Оператор  $Q_{34}$  осуществляет обратное преобразование  $\langle Y \rangle^{\xi_Y}$  в  $\langle X \rangle^{\xi_X}$ , но в терминах приемника  $Z$ , т. е. в многообразии тезауруса  $\xi_Z$ . Потенциальная возможность содержания информации в объекте и затем в сигнале превращается в реальность в образе  $\left\langle \langle X \rangle^{\xi_X} \right\rangle^{\xi_Z}$ .

Согласно (3) преобразование, заключающееся в эквивалентной замене одной составляющей

другой, если такая замена физически возможна, не изменит общего объема информации.

Эквивалентность обмена одного вида информации на другой при сохранении ее общего объема возможна в том случае, если уменьшение одной из составляющих сопровождается соответствующим увеличением другой составляющей светового поля объекта. Однако физические возможности изменения составляющих не равноценны. Чаще всего в системе с максимальной информационной емкостью замена одной составляющей на другую приводит лишь к увеличению потерь информации [2]. Напротив, если достижению цели способствует только информация, соответствующая какой-либо одной составляющей, операция по обмену дает возможность заменить бесполезную информацию на полезную наиболее простым образом.

Таким образом, при переходе от светового поля объекта к первичной информационной модели могут осуществляться обменные операции.

При этом же переходе могут осуществляться преобразования, целью которых является уменьшение избыточности, пространственное отделение ненужной информации от полезной или передача информации в форме, наилучшим образом подходящей для канала связи. К такого рода преобразованиям обычно применяют термин "эффективное кодирование".

Вторичная информационная модель в виде множества  $\{Z\}$  возможных изображений  $\{X_{и}\}$  синтезируется после кодирования  $\{K_{и}\}$  и декодирования  $\{D_{и}\}$  с учетом шумов канала  $\{\sigma_{к}^2\}$ .

Вторичные информационные модели синтезируются в виде растровых изображений с помощью различных средств отображения информации.

Оператор в процессе восприятия вторичной информационной модели объекта и в соответствии с целевой функцией осуществляет необходимую обработку  $\{Z\}$  и пытается сформировать в своем мозгу множество обработанной информации  $\{X_{обр}\}$ .

На этот процесс влияют тезаурус оператора  $T$  и множество социально-психологических и психофизиологических факторов.

Формирование  $\{X_{обр}\}$  осуществляется в тех отделах головного мозга, которые в данном случае можно было бы назвать подсистемой формирования знаний оператора, причем одним из основных элементов этой подсистемы является его долговременная память.

Важнейшим элементом при формировании знаний оператора является его доминанта – психологическая установка на восприятие той или иной информации [3]. При этом следует также учесть известное свойство запаздывания оператора в реакции на предъявляемую информацию, что приводит к неизбежным потерям информационных составляющих, темпы поступления которых превосходят быстрдействие оператора. В связи с этим кодировать и передавать по каналу возможно лишь те входные события, которые формируются источником информации в дискретные моменты времени, отстоящие друг от друга на интервал, не меньший времени запаздывания оператора.

Еще одна особенность обработки оператором вторичной информационной модели связана с присутствием ему конечными параметрами сенсорных характеристик визуального восприятия информации.

Следует также обратить внимание на то, что процесс восприятия и обработки изображений человеком не является одномоментным и возможно периодическое обращение оператора к вторичной информационной модели в течение некоторого времени. Канал так называемой обратной связи от оператора к источнику информации, который можно рассматривать как канал управления, строится аналогичным образом с тем же замечанием относительно шума источника при формировании ответных реакций оператора.

Приведенные рассуждения предполагают поиск модели ТВС в классе нестационарных дискретных моделей с дискретным временем, конечной оперативной памятью, с источником с управляемой скоростью, шумом источника информации, целевой функцией обработки информации, априори известной оператору, и каналом обратной связи, обеспечивающим управление формированием информационного потока источника.

Для информационной деятельности оператора характерны нестационарность процесса приема и переработки информации, скачкообразное сокращение числа рассматриваемых альтернатив на каждом этапе принятия решений, зависимость функционирования от смысла, ценности, значимости перерабатываемой информации и т. д.

В то же время восприятие и обработка информации о совокупности изображений  $Y$  в ТВС опирается на использование некоторой системы признаков  $X$ , причем последняя в смысле условной модальности признаков может быть одномерной, двумерной, ...,  $n$ -мерной.

Энтропия системы  $H(X, Y)$  при одномерном представлении определяется как [4]

$$H(X, Y) = H(X) + H_X(Y),$$

где  $H(X)$  – полная энтропия одномерной системы признаков;  $H_X(Y)$  – усредненная по совокупности признаков  $X$  условная энтропия опознаваемого объекта при реализации признака  $x_i \in X$ .

При двумерном представлении энтропия имеет вид

$$H(X, Y, Z) = H(X) + H_X(Y) + H_{X,Y}(Z).$$

В общем виде количество информации, извлекаемой в результате восприятия, независимо от определения содержания или оценки состояния объектов, равно разности энтропий до и после опыта:

$$I_{X \rightarrow Y} = H(Y) - H_X(Y).$$

В случае использования одномерной системы признаков количество информации определяется следующим образом:

$$I = - \sum_{j=1}^N P(y_j) \log P(y_j) + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P(x_i, y_j) \log P_{x_i}(y_j),$$

где  $N$  – множество опознаваемых изображений;  $P(y_j)$  – вероятность появления объекта  $y_j$ ;  $M$  – общее количество используемых признаков;  $P(x_i, y_j)$  – вероятность появления объекта  $y_j$  с признаком  $x_i$ ;  $P_{x_i}(y_j)$  – условная вероятность изображения  $y_j$  при наличии признака  $x_i$ .

Если множество исходных изображений  $N$  равно общему количеству используемых признаков  $M$  и условные вероятности  $P_{x_i}(y_i) = 0$  или  $P_{x_i}(y_i) = 1$ , количество информации равно энтропии источника:

$$H_p = I = - \sum_{j=1}^N P(y_j) \log P(y_j) = - \sum_{i=1}^M P(x_i) \log P(x_i).$$

При  $P_j = P = 1/N$ ,  $j \in [1, N]$ ,  $H_p = -P \log P$ .

Иными словами, полное взаимное соответствие вторичной и первичной информационных моделей является предельным случаем передачи информации в ТВС. В этом случае первичная и вторичная информационные модели могут быть названы изоморфными.

Определение вероятностей правильного опознавания изображений является сложной проблемой,

общее решение которой, доведенное до расчетных формул, в настоящее время отсутствует [5], [6].

Рассмотрим описанный в [5] частный случай, когда во вторичной информационной модели опознаванию подлежит  $N$  взаимно ортогональных изображений равной энергии с полностью известными параметрами и априорными вероятностями наличия каждого из них  $P_j = 1/N$ ,  $j \in [1, N]$ .

Ортогональными изображения являются, если

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} L_{ci}(x, y) L_{cj}(x, y) dx dy = 0, \quad j \neq i,$$

где  $L_{ci}(x, y)$  – распределение яркости в  $i$ -м изображении вторичной информационной модели.

Корреляционные интегралы для таких изображений определяются как:

$$Z(j) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} L_j(x, y) L_{cj}(x, y) dx dy;$$

$$Z(i) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} L_i(x, y) L_{ci}(x, y) dx dy,$$

где  $L_i(x, y)$  – распределение яркости в  $i$ -м изображении первичной информационной модели.

Решение в пользу  $j$ -го изображения принимается, если  $Z(j) > Z(i)$ . Вероятность данного неравенства [5]

$$P_j = \frac{1}{\sqrt{2\pi n_{III}^2}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ - \frac{[Z(j) - S_c(j)]^2}{2 n_{III}^2} \right\} \times \\ \times \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi n_{III}^2}} \int_{-\infty}^{Z(j)} \exp \left[ - \frac{Z^2(i)}{2 n_{III}^2} \right] dZ(i) \right]^{N-1} dZ(j),$$

где  $S_c(j)$  – спектральная интенсивность  $j$ -го изображения вторичной информационной модели;

$$n_{III} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} L_c(x, y) L_{III}(x, y) dx dy,$$

причем  $L_{III}(x, y)$  – флуктуации яркости на изображении; верхняя черта в обозначении  $n_{III}^2$  указывает на усреднение по ансамблю реализаций.

Введя обозначение

$$\omega_{III} = [Z(j) - S_c(j)] / \sqrt{n_{III}^2}$$

и учитывая, что

$$\frac{S_c(j)}{\sqrt{n_{\text{ш}}^2}} = \sqrt{\frac{E_{\Delta}}{2S_{\text{ш}}(0, 0)}} = \frac{\Psi_{\Delta}}{\sqrt{2}},$$

получим

$$P_j = 1/\sqrt{2\pi} \times \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{\omega_{\text{ш}}^2}{2}\right) \left\{ \frac{1}{2} \left[ 1 + \Phi\left(\frac{\Psi_{\Delta}}{\sqrt{2}} + \omega_{\text{ш}}\right) \right] \right\}^{N-1} d\omega_{\text{ш}},$$

где  $E_{\Delta}$  – энергия разности изображений в первичной и вторичной информационных моделях;  $\Psi_{\Delta}$  – отношение "сигнал/шум" на выходе оптимального двумерного фильтра при наличии в изображении аддитивного "белого" шума;  $S_{\text{ш}}(0, 0)$  – спектральная интенсивность "белого" шума;  $\Phi(\cdot)$  – интеграл вероятности.

Учтем известную аппроксимацию [5]:

$$\frac{1}{2} [1 + \Phi(\omega_{\text{ш}})]^N \cong \frac{1}{2} [1 + \Phi(G_1\omega_{\text{ш}} - G_2)],$$

где  $G_1$  и  $G_2$  – функции, зависящие от  $N$ , вид которых определим далее.

Запишем выражение для производной:

$$\frac{dP_j}{d\Psi_{\Delta}} = \frac{G_1}{2\pi\sqrt{2}} \times \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{\omega_{\text{ш}}^2 + \left(G_1 \frac{\Psi_{\Delta}}{\sqrt{2}} - G_2 + G_1\omega_{\text{ш}}\right)^2}{2}\right] d\omega_{\text{ш}}.$$

Раскрыв скобки, перегруппировав члены и выполнив интегрирование, получим:

$$\frac{dP_j}{d\Psi_{\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{G_1}{\sqrt{2}\sqrt{1+G_1^2}} \exp\left[-\frac{\left(G_1 \frac{\Psi_{\Delta}}{\sqrt{2}} - G_2\right)^2}{2(1+G_1^2)}\right].$$

Введем новую переменную

$$u = \frac{G_1\Psi_{\Delta}/\sqrt{2} - G_2}{\sqrt{1+G_1^2}}.$$

При этом

$$\frac{dP_j}{du} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right).$$

В результате интегрирования по  $u$  с учетом введенных обозначений имеем:

$$P_j = 0.5 [1 + \Phi(u)]$$

или

$$P_j = 0.5 [1 + \Phi(Q_1\Psi_{\Delta} - Q_0)],$$

где

$$Q_1 = G_1 / (\sqrt{2}\sqrt{1+G_1^2}); \quad Q_0 = G_2 / \sqrt{1+G_1^2}.$$

Определим параметры  $G_1$  и  $G_2$ .

При  $\Psi_{\Delta} = 0$   $P_j = 1/N$ . Тогда

$$1/N = 0.5 [1 + \Phi(-Q_0)],$$

откуда

$$Q_0 = \Phi^{-1}(1 - 2/N), \quad (4)$$

где  $\Phi^{-1}(\cdot)$  – функция, обратная интегралу вероятности.

Определим

$$f_0(\omega_{\text{ш}0}, N-1) = \left\{ \frac{1}{2} [1 + \Phi(\omega_{\text{ш}0})] \right\}^{N-1}, \quad (5)$$

где  $\omega_{\text{ш}0}$  – значение  $\omega_{\text{ш}}$ , при котором значение аппроксимирующей функции  $f_0$  совпадает с точным значением.

Разрешив (5) относительно  $\omega_{\text{ш}0}$ , получим:

$$\omega_{\text{ш}0} = \Phi^{-1} \left\{ 2 \left[ \frac{(N-1)}{\sqrt{f_0}} - 1 \right] \right\}. \quad (6)$$

С другой стороны,

$$f_0 = 0.5 [1 + \Phi(G_1\omega_{\text{ш}0} - G_2)],$$

откуда

$$G_1 = \Phi^{-1} [(2f_0 - 1) + G_2] / \omega_{\text{ш}0}. \quad (7)$$

Совместное решение (4), (6) и (7) позволяет определить значения параметров  $G_1$  и  $G_2$ , а затем  $Q_1$  и  $Q_0$ .

Проведенный анализ информационных процессов в ТВС позволяет сформулировать ряд выводов:

1. Первичная информационная модель в ТВС формируется источником информации. Вторичная информационная модель синтезируется в виде растрового изображения на экране средства отображения информации.

2. Изоморфизм первичной и вторичной информационных моделей является предельным случаем передачи информации в ТВС.

3. Для простых взаимно ортогональных отображений можно с достаточной для практических целей точностью определить вероятность правильного обнаружения изображения объекта, представленного во вторичной информационной модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винер Н. Кибернетика. М.: Сов. радио, 1968. 311 с.
2. Гуревич С. Б. Теория и расчет не вещательных систем телевидения. Л.: Энергия, 1970. 236 с.
3. Ухтомский А. А. Избранные труды. Л.: Наука, 1978. 460 с.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 2002. 832 с.
5. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений. М.: Радио и связь, 1986. 247 с.
6. Лысенко Н. В. Информационные гетерогенные системы. СПб.: ООО "Техномедиа" / Элмор, 2007. 160 с.

N. V. Lysenko, A. M. Monchak  
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

### **Information Models of the Television System**

*Primary and secondary information model of the object, information about which is transmitted to the user and converted by them are reviewed. Formal description of information models is presented. For a simple mutually-orthogonal conversion the correct detection probability of image of the object represented by the secondary information model are defined.*

Information model, images recognition probability, isomorphism

Статья поступила в редакцию 31 марта 2016 г.