

07

Повышение эффективности светоинформационных устройств рациональным распределением в них оптических степеней свободы

© Б.С. Гуревич, С.Б. Гуревич

ЗАО „Научные приборы“, Санкт-Петербург

E-mail: bgurevich@mail.ru

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию 13 февраля 2012 г.

Оптическая система передает многие виды информации, к которым относятся: пространственная (по компонентам x , y и z), временная, спектральная, поляризованная, фазовая. На практике приходится сталкиваться с необходимостью оценки объема информации, нужного для оптимального использования того или иного оптического прибора. При этом важно, чтобы система обладала наибольшим количеством степеней свободы определенных видов информации. Этого можно добиться путем рационального обмена видов световой информации, не способствующих достижению поставленной перед устройством цели, на информацию, полезную для этого. Оптимальной является модель, учитывающая иерархию оптических видов информации и использующая весовые функции, базирующиеся на полезности каждого вида оптических степеней свободы для решения поставленных перед устройством задач.

Развитие технологии оптических и оптоэлектронных устройств вызвало рост требований к технике информационных измерений — к информационной оптической метрике. Недостаточно оценить общую информационную емкость системы — необходимо при проектировании оптических устройств найти такие элементы конструкции, которые приводили бы к получению на выходе максимального количества именно той информации, которая необходима для решения нужной задачи. Информационную емкость устройств передачи световой информации можно описать, оценивая число оптических степеней свободы, определяемое количеством интервалов с независимыми сигналами. Важно, чтобы устройство обладало наибольшим количеством степеней свободы того вида информации, который необходим для решения задачи [1].

Это может быть осуществлено путем рационального обмена видов световой информации, второстепенных для поставленных задач, на виды информации, полезных для их решения. Замена одного вида информации на другой реализована в различных устройствах (телевизионные устройства, спектральные, поляризационные и др. приборы), однако без учета степени важности отдельных видов информации. В ранних работах было только установлено, что в пределах полного числа степеней свободы системы можно увеличить число степеней свободы одного вида за счет их уменьшения для другого вида [2,3].

В отличие от сигнала в системе связи, в светоинформационной системе сам сигнал содержит различные виды световой информации. Составляющие ее величины могут иметь не только разные значения, но и разную природу.

Эти виды информации можно разбить на две группы. К одной относится информация, отнесенная к различным интервалам по координатам x , y и z , а также интервалам времени t . К другой группе могут быть отнесены виды информации, отнесенные к различным свойствам сигнала — световой волны. Световые волны при заданных x , y , z и t могут быть определены общей величиной энергии в каждом интервале. Но величина этой энергии может быть разделена по наборам, имеющим различные длину волны, направление поляризации, а также начальную фазу или разность фаз при прохождении волной участка среды. Эта группа видов информации может быть получена лишь при использовании устройств, разделяющих общую энергию сигнала на отдельные ее части, с каждой из которых могут производиться операции по определению количества информации в них. Эти устройства за счет уменьшения пространственной или временной информации позволяют передать спектральную, поляризационную информацию о начальной фазе или разности фаз двух волн.

В том случае, когда источником потока информации является световое поле объекта, в начальных звеньях светоинформационной системы могут присутствовать все виды световой информации. Однако отдельные виды ее, могут исчезнуть при регистрации сигнала, если в оптической системе отсутствуют необходимые звенья, позволяющие регистрирующей среде воспринимать этот вид информации [4].

При наличии нескольких K видов световой информации, каждый из которых имеет свое число степеней свободы S_k , общее число степеней

свободы S определится выражением

$$S = \sum_{k=1}^K S_k. \quad (1)$$

Имея в виду, что для каждой степени свободы динамический диапазон сигнала и отношение сигнал/шум может оказаться различным, выражение для количества информации определенного вида I_k может быть записано в виде

$$I_k = S_k \sum_{i=1}^{S_k} \log_2(m_i + 1),$$

где m — число полутоновых градаций в каждой из степеней свободы.

При этом общее количество информации в соответствии с (1) определится

$$I = \sum_{k=1}^K S_k \sum_{i=1}^{S_k} \log_2(m_i + 1). \quad (2)$$

Однако различные виды световой информации неравноценны в смысле их использования на практике. Чаще всего используется пространственная информация. При этом имеется некоторое различие в использовании горизонтальной (по оси x) и вертикальной (по оси y) пространственной информации и более значительное между информацией x или y и z (в третьем измерении). Наряду с пространственной информацией часто приходится иметь дело с временной информацией, т.е. получать данные о движении отдельных деталей наблюдаемой картины. Также часто, хотя и в меньшей степени, используется полутоновая информация. Приходится обращаться и к цветовой, и в чистом виде к спектральной информации. Реже приходится иметь дело с фазовой информацией и совсем редко с поляризационной. Можно считать, что наиболее часто используемая информация являются более ценной, и в соответствии с этим установить иерархию видов световой информации. Можно придать каждому весовой коэффициент по частоте употребления и соответственно установить скорость вызова такого вида информации. Учет весового множителя и определит оценку процесса формирования нужного выходного изображения из отдельных видов информации. Характерным примером рационального использования иерархии видов информации является телевидение. Обладая ограниченными техническими возможностями, в том числе имея ограничение

ширины полосы частот передачи сигнала, иногда интуитивно, а иногда в результате исследований, была установлена иерархия для пространственной информации (до 90% всей информации), полутоновой и цветовой (несколько %). Такое соотношение информации разного рода частично устраивало зрителя, хотя при дальнейшем развитии техники телевидения полоса частот расширяется, увеличивается число каналов пространственной информации, одновременно увеличивается объем цветовой и полутоновой информации. В семантическом отношении иногда вес цветовой и полутоновой информации оказывается большим, так как далеко не все объекты и их изображения передаются с мелкими деталями, в то время как цветная или полутоновая информация дает зрителю больше той информации, которая ему нужна.

В этом случае иерархия и вес различных видов информации и различных каналов или ячеек целиком определяются источником информации и условиями задачи.

Введение весовых коэффициентов различных групп информации полезно и для информационных оценок качества изображения. Как правило, различие в оценке ценности того или иного вида информации зависит от решаемых в процессе воспроизведения задач, а также от возможностей приемников изображения и наличия предварительной информации в памяти устройств, связанных с воспроизведением.

Для информационной оценки оптических устройств существенную роль играет также их производительность, которая частично решается с помощью кодирования, замены сигнала, несущего один вид информации, на сигнал, несущий другой вид, с разной степенью замены, соответствующей весовому коэффициенту. В этом случае устраняется избыточная световая информация и соответственно увеличивается скорость передачи полезной информации [4].

Понятие „избыточная информация“ использовано еще Шенноном для характеристики роли статистических связей, существующих в языке. Применительно к передаче световой информации избыточность определяется величиной

$$R = 1 - \frac{H_1}{H}, \quad (3)$$

где H_1 — средняя энтропия, содержащаяся в одном из полученных значений светового сигнала с учетом статистических связей, существующих в системе передачи изображения; H — максимальное значение энтропии, содержащейся в одном из значений, отвечающее равновероятности получения любого значения, когда какие-либо статистические

связи в различных видах световой информации отсутствуют. Для реальных систем воспроизведения (3) может быть записана в виде [4]:

$$R = 1 - \frac{H_{apr1} - H_{aps}}{H_{apr} - H_{aps}} = \frac{H_{apr} - H_{apr1}}{H_{apr} - H_{aps}}, \quad (4)$$

где $H_1 = H_{apr1} - H_{aps}$ — разность априорной и апостериорной энтропий до опыта и после опыта с учетом статистических связей, существующих в системе передачи изображения, а $H = H_{apr} - H_{aps}$ — без учета статистических связей и вытекающих из них не одинаковых вероятностей каждого из возможных состояний объекта.

Бесполезной может оказаться часть информационной емкости, заполненная информацией, не воспринимаемой получателем. К ней может быть отнесена и информация, не имеющая ценности, т.е. не используемая для целей, которым служит данная система. Эта информация характеризуется увеличением H_{aps} до величины H_{aps1}

Учитывая все сказанное, величину избыточности можно оценить формулой:

$$R = 1 - \frac{H_{apr1} - H_{aps1}}{H_{apr} - H_{aps}} = 1 - \frac{I_{b1}}{I_b}, \quad (5)$$

где $I_{b1} = H_{apr1} - H_{aps1}$ — количество регистрируемой или используемой информации; I_b — информационная емкость системы.

Избыточность характеризует степень незагруженности информационной емкости информацией, необходимой для получателя. Она может быть определена, если имеются данные, характеризующие статистические связи в изображении, и известны характеристики управляемого устройства.

Создание информационно-поисковых и архивных систем, значительную роль в которых играет информация, накопленная в память, привело к дальнейшему развитию представлений о связи качества изображения и производительности системы. Например, в таких системах хранящаяся в памяти или повторяемая страница текста или фотография объекта может быть представлена значительно менее емким ключевым словом или фрагментом, т.е. по значительно меньшей информации на входе за счет накопленного ранее большого объема информации. В этих случаях можно получить не только качественное изображение с большим и нужным объемом информации, но и получить большее число изображений в единицу времени.

Информационная метрика определяет как количество информации, пропускаемое через систему и звенья, так и информационную емкость системы [1]. При этом если информационная емкость и информационная пропускная способность зависят целиком от параметров системы и ее звеньев, то количество информации, пропускаемое через систему, зависит от источников информации (от передаваемого объекта) и способов ввода информации. Естественно, что если объем и скорость ввода информации на входе превышают информационную емкость и информационную пропускную способность системы, то часть информации системой будет утрачена. Важно, чтобы для устройств, предназначенных для решения определенных задач, эта утрата ограничивалась видами информации, не играющей существенной роли для решения поставленных задач.

Чтобы достичь минимизации потерь полезной информации, необходимо для каждой задачи определить весовые коэффициенты каждого вида информации и технические возможности замены видов информации с низким весовым коэффициентом на виды информации с высоким коэффициентом, с тем чтобы число степеней свободы оптимальных видов было наибольшим. Оценка информационных параметров, которые затем умножаются на весовой множитель, производится путем измерений основных характеристик системы (пространственных и временных частотно-градационных характеристик, разрешающей способности по длинам волн, фазе и поляризации) с установлением плотности и пропускной способности информации и апертуры по каждому виду информации, которая может различаться в данном приборе.

Работа выполнена при поддержке междисциплинарного гранта Санкт-Петербургского отделения Российской академии наук за 2009 год.

Список литературы

- [1] *Гуревич С.Б., Гуревич Б.С., Жумалиев К.М.* Проблемы информационной оптоэлектроники. СПб.: Наука. 2008. С. 212.
- [2] *Гуревич С.Б.* Эффективность и чувствительность телевизионных систем. М.: Энергия, 1964.
- [3] *Lukosz W.J.* // J. OSA. 1966. V. 56. N 11. P. 1463–1472.
- [4] *Гуревич С.Б., Гуревич Б.С.* // Оптический журнал. 2010. Т. 77. В. 2. С. 15–20.