Оценка цифровых оптико-электронных систем дистанционного наблюдения и зондирования Земли с использованием методов теории информации

Assessment of digital optical-electronic systems of remote observation and sounding with use of the theory of information methods

Молчанов / Molchanov A.
Андрей Сергеевич
(9171900070@rambler.ru)
кандидат технических наук,
профессор Академии военных наук.
Государственный летно-испытательный центр
им. В. П. Чкалова,
заместитель начальника отдела.
Астраханская область, г. Ахтубинск.

Ключевые слова: цифровая оптико-электронная система – digital optical-electronic system; информационный критерий – information criterion; критерий информационной емкости – criterion of information capacity; информация – information.

В статье рассматривается возможность применения способа оценки цифровых оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли на основе критерия информационной емкости. Описаны способы определения количества информации, которое получает оператор при считывании координат объекта с экрана монитора пропускной способности системы, которая определяется числом объектов, направляемых в систему отображения для обработки.

The possibility of application of remote sounding systems digital optical-electronic assessment way based on criterion of information capacity is considered in article. Ways of determination of information amount, which is received by the operator when reading coordinates of an object from the screen of the monitor of system flow capacity, which is defined by number of the objects sent to the system of display for processing are described.

К цифровым оптико-электронным системам (ЦОЭС) будем относить аэрофотографические системы, телевизионные системы, системы дистанционного наблюдения и зондирования Земли, использующие в своем составе приемники оптического излучения на основе фоточувствительных приборов с переносом заряда и приборов с зарядовой связью.

ЦОЭС предназначены для передачи и запоминания изображений (двумерной информации), поэтому при создании критериев оценки таких систем необходимо использовать методы теории информации, особенность которых заключается в рассмотрении не единичного сообщения, а множества (совокупности) сообщений данного типа, например, множества изображений, полученных ЦОЭС. Под таким множеством понимается множество изображений различных аэроландшафтов или множество изображений различных объектов. При этом предполагается, что данное сообщение, подлежащее передаче или запоминанию, есть результат случайного выбора из данного множества сообщений. Последние вместе с вероятностями их выбора образуют источник сообщений. Передача или запоминание информации осуществляется совокупностью технических средств, называемых системой связи или каналом передачи информации [1].

Простейшая структурная схема канала передачи двумерной информации ОЭС изображена на рис. 1. Канал передачи информации характеризуется максимальным потенциально возможным количеством информации, которое может быть по нему передано в единицу времени. Это называется пропускной способностью или информационной емкостью канала.

Информационная емкость (если количество информации определяется в двоичных единицах информации) измеряется в битах на секунду – бит/с Информационная емкость системы запоминания двумерной информации определяется максимальным количеством информации, которую может запомнить система на единице своей площади. Информационная емкость подобной системы может измеряться в битах на метр квадратный – бит/м^2.

Задачи последовательного восприятия информации изображений, полученных ОЭС и задачи непосредственного запоминания признаков дешифрируемых объектов зависят как от числа признаков N, так и от числа градаций каждого признака n. Признаками объектов могут являться контуры, площади, изобра-

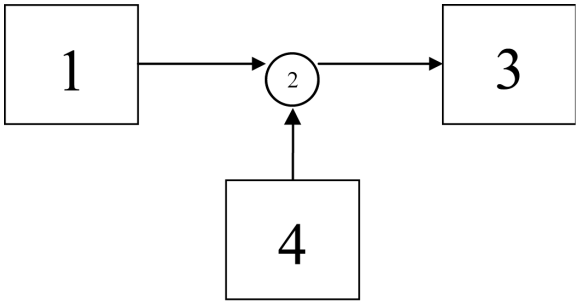

Рис. 1. Простейшая структурная схема канала передачи информации
1 – источник информации; 2 – передающая система;
3 – система приема информации; 4 – источник помех

жения отдельных деталей и т.п. Если число признаков и число градаций фиксировано, а появление их равновероятно, то сложность задач восприятия можно определить формулой [2, 3]:

$$R = \sum_{i=1}^{k} N_i \log_2 n_i \,, \tag{1}$$

где N_i – число признаков с числом градаций n_i каждого признака; k – число признаков с различным числом градаций.

Зная сложность задачи, которая возлагается на оператора, можно установить время t, необходимое для выполнения задачи сложностью R: $t = \dfrac{R}{v_i}$, где v_i – скорость выполнения задачи восприятия i-го типа. Параметры N_i, n измеряются в битах, а v – в битах на секунду.

Помимо восприятия и анализа признаков образа объекта дешифровщику необходимо анализировать координаты объекта x, y на изображении, чтобы определить местоположение на местности.

Координаты положения объекта поступают на систему отображения с ошибкой. Допустим, что ошибка имеет нормальное распределение с параметрами m_Δ и σ_Δ, причем ошибка Δ не зависит от x. Рассмотрим результат измерения одной пространственной декартовой координаты x. Случайная величина $z_x = x + \Delta$ – результат измерения. Определим, сколько информации о величине x содержит наблюдение z_x. Полная взаимная информация в x и z_x равна

$$I(x, z_x) = \mathrm{M}\left\{\log_2 \frac{f(x, z_x)}{f(x) f(z_x)}\right\}, \tag{2}$$

где $f(x, z_x)$ – совместная плотность распределения с.в. x и z_x. Определим ее как $f(x, z_x) = f(x) f(x/z_x)$. Тогда

$$I(x, z_x) = \mathrm{M}\left\{\log_2 \frac{f(z_x/x)}{f(z_x)}\right\}, \tag{3}$$

Случайные величины x и Δ независимы, поэтому:

$$f(z_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_\Delta^2}} e^{-\frac{\left[z_x - (m_x + m_\Delta)\right]^2}{2(\sigma_x^2 + \sigma_\Delta^2)}}, \tag{4}$$

$$f(z_x/x) = \frac{1}{\sigma_\Delta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z_x - m_\Delta)^2}{2\sigma_\Delta}}. \tag{5}$$

Таким образом, взаимная информация:

$$I(x, z_x) = \mathrm{M}\left\{\log_2 \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_\Delta^2}}{\sigma_\Delta} + \left[\frac{\left[z_x - (m_x + m_\Delta)\right]^2}{2(\sigma_x^2 + \sigma_\Delta^2)} - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{(\Delta - m_\Delta)^2}{2\sigma_\Delta^2}\right]\log_2 e\right\} = \log_2 \frac{\sigma_z}{\sigma_\Delta} + \left[\frac{\mathrm{M}\left[\left(\overset{0}{z}\right)_x^2\right]}{2\sigma_z^2} + \frac{\mathrm{M}\left[\left(\overset{0}{\Delta}\right)^2\right]}{2\sigma_\Delta^2}\right]\log_2 e, \tag{6}$$

где $\sigma_z = \sigma_x + \sigma_\Delta$ – среднеквадратическое отклонение наблюдения z_x; $M\left[\left(\overset{0}{z}\right)_x^2\right]$, $M\left[\left(\overset{0}{\Delta}\right)^2\right]$ – дисперсии; $\overset{0}{z}_z = z_x - (m_x + m_\Delta)$, $\overset{0}{\Delta} = \Delta - m_\Delta$ – централизованные случайные величины.

Учитывая, что $M\left[\left(\overset{0}{z}\right)_x^2\right] = \sigma_z^2$, $\mathrm{M}\left[\left(\overset{0}{\Delta}\right)^2\right] = \sigma_\Delta^2$, получаем

$$I(x, z_x) = \log_2\left(1 + \frac{\sigma_x}{\sigma_\Delta}\right) = \log_2 \frac{\sigma_z}{\sigma_\Delta}. \tag{7}$$

Это означает, что количество информации (о координатах объектов, поступающих на систему отображения с ошибкой, распределенной по нормальному закону), которая содержится в результате измерения (опре-

деления) оператором координат объекта с ошибкой восприятия, распределенной по нормальному закону, не зависит от математического ожидания. Количество информации зависит лишь от среднеквадратического отклонения.

Количество информации, которое получает оператор, определяя координаты объекта, можно найти другим способом. Количество информации, содержащейся в изображении, определяется следующим образом:

$$I = \log_2 \frac{P_1}{P_2}, \tag{8}$$

где P_1 – вероятность появления данного события после приема сообщения, P_2 – вероятность появления данного события до приема сообщения.

Так как до начала прихода информации оператору неизвестно, где расположен объект, т.е. любое из N его возможных положений равновероятно, в данном случае $P_2 = \frac{1}{N}$. Вероятность P_1 можно определить как

$$P_1 = \lim_{n \to \infty} \frac{m}{n}, \tag{9}$$

где n – число проведенных экспериментов по определению положения объекта на экране, m – число безошибочных ответов. При достаточно большом n можно считать, что эта вероятность равна $\frac{m}{n}$, тогда

$$I = \log_2 \frac{mN}{n}. \tag{10}$$

Перечисленными выше способами можно определить количество информации, которое получает оператор при считывании координат объекта с экрана монитора. Отсюда, зная пропускную способность оператора, всегда можно определить число объектов, которое следует направлять в систему отображения для обработки.

В простейшем случае информационная емкость I определяется максимальным количеством возможных дискретных состояний систем [4];

$$I = \log_2 A, \tag{11}$$

$$A = b^a, \tag{12}$$

где A – максимальное число возможных состояний системы, обеспечивающей a независимых отчетов при b устойчивых состояниях в каждом отсчете.

Учитывая соотношение (12), получаем

$$I = b \log_2 a. \tag{13}$$

Информационная емкость отражает в логарифмическом масштабе максимальное число различных состояний, которое может зафиксировать данная ОЭС. Для оценки качества фотографического изображения b – предельно разрешаемое число элементов на единице площади изображения, a – количество передаваемых градаций яркости (полутонов) в изображении.

Для количественной оценки числа элементов, разрешаемых на площади кадра (b), используются специальные двухмерные миры абсолютного контраста (рис.

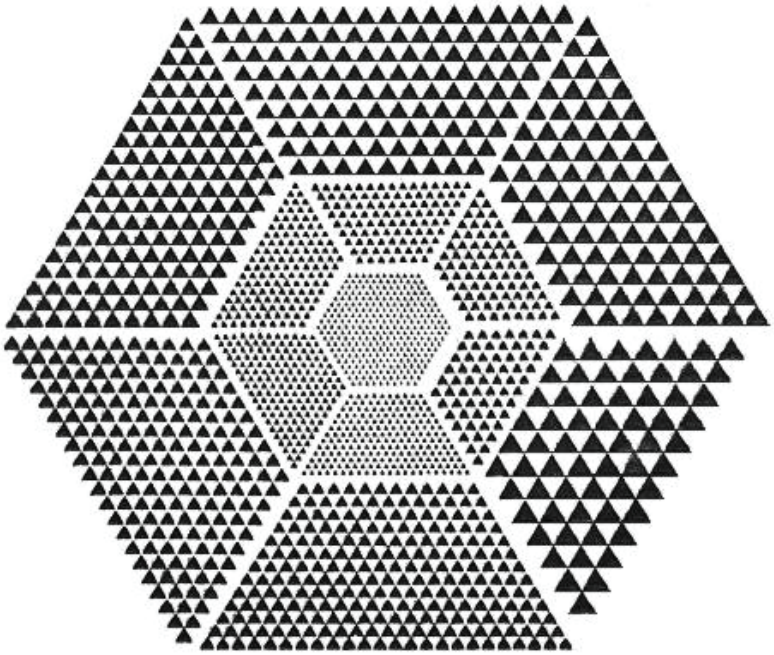

Рис. 2. Двухмерная треугольная мира И. Чёрного

2), такие как разработанная в 1969 году И. Н. Чёрным треугольная мира, элементы которой имеют форму равносторонних треугольников с периодом в две высоты треугольников.

Выбор треугольных элементов обусловлен тем, что лишь они в предельных случаях сохраняют пространственную решётку, в то время как иные миры (шахматная, шестиугольная и т.д.) в пределе приводятся к одномерным штриховым мирам. Кроме того, двухмерная мира, элементы которой имеют форму равностороннего треугольника, наиболее полно отражает реальные объекты фотографирования, характеризуемые в общем случае различными периодами изменений входного сигнала в меридиональном и сагиттальном направлениях.

При расчете информационной емкости по формуле (13) не учитываются семантические (смысловые) аспекты передаваемой информации, учитывается лишь тот факт, что передаваемое сообщение выбрано из некоторого множества возможных сообщений. Рассматриваемая ОЭС должна быть спроектирована так, чтобы ее можно было использовать для передачи любого сообщения из данного множества, а не только того, которое будет в действительности передано, поскольку результат выбора еще неизвестен в момент проектирования. Таким образом, теория информации не учитывает конкретного смыслового содержания передаваемой информации, а оперирует только количественными математическими представлениями, связанными с количеством возможных различных состояний системы. Чем больше различных состояний может обеспечивать система, тем больше её информационная емкость.

При расчетах по формулам (11–13) необходимо учитывать следующие допущения [4]:

1. Канал передачи информации включает в себя только линейные звенья.

2. Сигналы и шумы представлены эргодическими стационарными случайными процессами с нормальным распределением вероятностей.

3. Спектры сигналов и шумов равномерные.

4. Сигналы и шумы ограничены по средней мощности и не ограничены по пиковой мощности.

5. Шумы системы отвечают условно аддитивности, т.е статистически не зависят от сигналов.

6. Источник сообщений осуществляет оптимальное кодирование.

7. В качестве получателя информации используется идеальный приемник, который выполняет оптимальное декодирование сигналов и не обладает собственными шумами.

Таким образом, рассмотрены возможность применения способа оценки ЦОЭС на основе критерия информационной емкости. Описаны способы определения количество информации, которое получает оператор при считывании координат объекта с экрана монитора. Пропускная способность системы определяется числом объектов, которое направляется в систему отображения для обработки. Рассматриваемая ЦОЭС должна быть спроектирована так, чтобы ее можно было использовать для передачи любого сообщения из данного множества, а не только того, которое будет в действительности передано, поскольку результат выбора еще неизвестен в момент проектирования. Теория информации не учитывает конкретного смыслового содержания передаваемой информации, а оперирует только количественными математическими представлениями, связанными с количеством возможных различных состояний системы. Чем больше различных состояний может обеспечивать система, тем больше её информационная емкость.

Литература

1. Молчанов, А. С. Оценка оптико-электронных систем воздушной разведки на основе критерия информационной емкости / А.С. Молчанов, И.В. Шорсткий, Ю.Г. Веселов // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти проф. Н.Е. Жуковского»: Сборник докладов. – М.: Издательский дом Академия имени проф. Н. Е. Жуковского, 2015. – С. 510–513.

2. Калинин, А. Б. Исследование передающих трубок с полупроводниковыми накопителями в режиме импульсного экспонирования / А.Б. Калинин, В.С. Гузеев, Г.Н. Грязин // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. – 1979. – Вып. 2. – С. 79–84.

3. Труфанов, И. В. Определение количества информации, воспринимаемой оператором / И.В. Труфанов // Научные труды Иркутского ВАИИ. – 2002. – Вып. 4. – С. 56–60.

4. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: ИИЛ, 1963. – 422 с.