

УДК 681.3.007

## ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СЕМАНТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

**С. Н. Шаров,**

доктор техн. наук, начальник научно-аналитического отдела  
ОАО «Концерн „Гранит-Электрон“»

На примере аппаратуры дистанционного наблюдения за поверхностью Земли и окружающей атмосферы показаны возможность и целесообразность семантического сжатия информации путем фильтрации ее по приоритетам важности и достоверности.

The possibility and expediency of the semantic data compression by means of data filtering in accordance with levels of information significance and reliability is demonstrated by the example of the remote viewing equipment for the Earth surface and ambient air monitoring.

### Введение

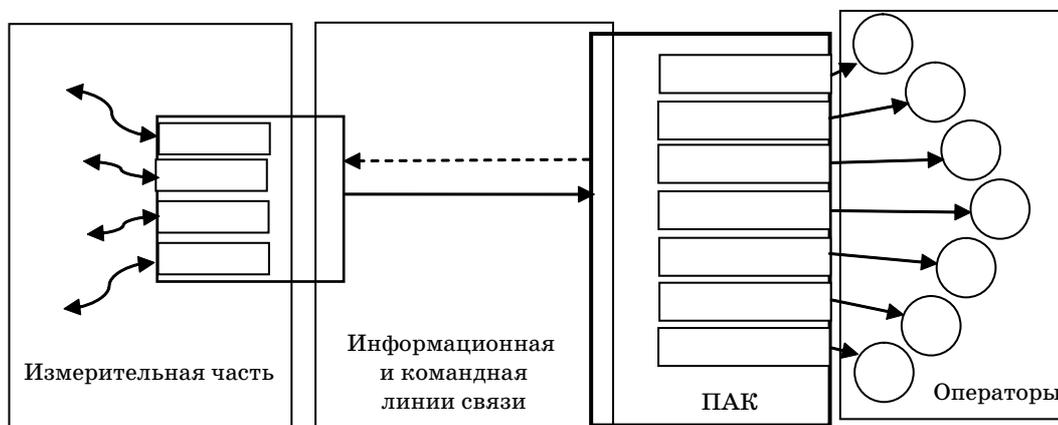
Комплекс аппаратуры дистанционного наблюдения состоит из трех основных частей (рис. 1): измерительной (сенсорной) части, аппаратуры линии связи и программно-аппаратного комплекса ПАК автоматической или (чаще) автоматизированной обработки информации, с которым работают люди-операторы, решающие разнообразные задачи [1–4].

По мере увеличения объема получаемой информации и скорости ее обновления (увеличение зоны наблюдения, увеличение разрешающей способности и динамического диапазона измеряемых сигналов, использование одновременно датчиков различной физической природы и т. д.) пропускная способность линии связи не позволяет передать

всю информацию, получаемую датчиками. Один из возможных технических путей сокращения передаваемой информации от измерительной части на пост наблюдения на основе семантического сжатия рассматривается в настоящей статье.

### Обзор методов сжатия передаваемой информации аппаратуры дистанционного наблюдения

Если дистанция удаления измерительной части и ПАК невелика, то можно использовать необходимое число параллельных линий связи. Для измерительной части, находящейся на расстоянии сотни и тысячи километров от ПАК (например, на космическом аппарате), используют радиолинии в СВЧ-диапазоне (десятки гигагерц). Дальнейшее



■ Рис. 1. Структурная схема комплекса аппаратуры дистанционного наблюдения

увеличение пропускной способности канала связи может достигаться использованием радиоизлучения в диапазоне сотен гигагерц или в оптическом диапазоне. Однако влияние атмосферы здесь столь велико, что организовать устойчивую работу канала связи чрезвычайно затруднительно. По этой причине основное внимание уделяется вопросам сжатия информации датчиков измерительной части.

Первичная информация, получаемая датчиками различной физической природы, представляется как относительное значение некоторой физической величины  $U$ , изменяющееся в координатах, например,  $X, Y, Z$  наблюдаемой площади или объема. Величиной  $U$  может быть интенсивность эхосигнала для активных оптических и радиолокационных датчиков, интенсивность теплового излучения или отражения солнечного света и т. д.

Максимальный мгновенный объем информации  $M_k$ , получаемый одним датчиком, определяется мгновенным полем зрения  $X_{п.з}, Y_{п.з}, Z_{п.з}$  датчика, максимальным значением наблюдаемого сигнала  $U_n$  и разрешающей способностью  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  и  $\Delta U$ , т. е.

$$M_k = (X_{п.з} Y_{п.з} Z_{п.з} U_n) / (\Delta X \Delta Y \Delta Z \Delta U).$$

Объем информации  $M_T$ , получаемый в одну секунду  $K$  датчиками с частотой обновления  $F_k$ , определяется как

$$M_T = \sum_{k=1}^K M_k \cdot F_k.$$

Величина  $M_T$  для современных и перспективных комплексов аппаратуры наблюдения может достигать  $10^{10} - 10^{12}$  байт.

Информацию по одному признаку измеряемой физической величины можно представить как монохромное плоское или объемное изображение в зоне наблюдения. Если датчики измеряют не один, а три признака сигнала (например, интенсивность, длительность и поляризацию эхосигнала), информацию можно представить в виде цветного RGB плоского или объемного изображения. Для сжатия подобной графической информации разработаны и разрабатываются алгоритмические приемы, позволяющие (с допустимой потерей качества изображения) на порядок, а в некоторых случаях и более, снизить объем передаваемой информации. Хорошим примером служит популярный графический формат JPG.

Другими техническими приемами сжатия передаваемой информации являются алгоритмы, получившие название «программно-математическое обеспечение (ПМО) телеконференции». Здесь необходимо в один канал передачи и приема телевизионного изображения разместить 2–3 и более приемопередающих каналов, работающих в реальном масштабе времени. В этом случае для переда-

чи выбираются фрагменты кадров, в которых происходят изменения. Такие алгоритмические приемы позволяют поднять еще на порядок практическую пропускную способность канала связи или увеличить фактическую скорость передачи информации.

Если все известные алгоритмические приемы сжатия информации не удовлетворяют разработчиков комплексов аппаратуры наблюдения и канал связи не может пропускать информацию датчиков в реальном масштабе времени (допустимые задержки не должны превышать единиц секунд), остается возможность оперативного запоминания получаемой информации в измерительной части и после окончания сеанса наблюдения транслирования ее с допустимой скоростью в ПАК. Наблюдение всей заданной поверхности Земли или необходимого объема приземного пространства может длиться десятки минут и даже несколько часов [5]. Такой путь исключает возможность непрерывного наблюдения и вносит существенное запаздывание в получение результатов наблюдения, поэтому может иметь ограниченное применение.

Задача дистанционного наблюдения с атмосферным каналом связи осложняется тем, что передаваемая информация подвержена искажению под влиянием помех естественного и искусственного происхождения. Эта трудность преодолевается путем сужения полосы пропускания канала связи, кодирования и повторения сообщений. Для каждого комплекса наблюдения выбирается пропускная способность канала, обеспечивающая помехозащитную передачу необходимой информации.

Таким образом, наблюдается тенденция увеличения объема и скорости обновления получаемой информации, с одной стороны, и ограничение пропускной способности линии связи, с другой стороны.

Естественным выходом из этого противоречия является передача не первичной информации датчиков, а обработанной до уровня, необходимого потребителю. Например, потребителя не интересуют флуктуации перепадов плотности или прозрачности атмосферы, но очень интересуют угроза тайфуна. Потребителя не интересуют уровни и другие признаки эхосигналов, но интересуют наличие судна-нарушителя в запретной зоне.

Формально такой путь означает полную автоматизацию обработки результатов наблюдений на месте размещения датчиков-измерителей. При наличии соответствующего ПМО современные вычислительные средства позволили бы в ряде случаев решить эту задачу. Однако отработка ПМО таких многофункциональных наблюдательных комплексов — сложная и длительная работа, требующая, особенно на первых этапах, постоянного вмешательства оператора.

Важно отметить, что выносимые решения являются многокритериальными и носят вероятностный характер.

Предлагается решить задачу сокращения передаваемой информации от измерительной части на пост наблюдения на основе семантической продукционной модели, как одного из вариантов системы с искусственным интеллектом.

### Семантическая продукционная модель комплекса аппаратуры дистанционного наблюдения

Продукционная модель комплекса дистанционного наблюдения содержит следующие основные части [6]: **I**; **Q**; **P**; **A=>B**; **N**, где:

**I** — имя информационных данных, с помощью которого данная продукция выделяется из всего множества продукций. В рассматриваемой задаче — это имя аномального явления (пожар, наводнение, концентрация вредного вещества и т. д.) и (или) измеряемого параметра с его числовой оценкой;

**Q** — характеризует сферу применения продукции (разложение получаемой информации по назначению: охрана, экология, научные исследования и т. д.);

**A=>B** — ядро — основной элемент продукции, правило принятия решения о наличии продукции и ее числовой оценки. **A** показывает детерминированные или стохастические условия, при которых возможно совершить действие **B**. Для рассматриваемой задачи **B** — условие целесообразной передачи некоторой определенной части информации оператору;

**P** — условие применимости ядра продукции. Когда **P** принимает истинное значение, ядро активизируется.

Элементы **N** описывают постусловия продукции. Они активизируются только в том случае, если ядро продукции реализовалось. Постусловия описывают действия и процедуры, которые необходимо выполнить после реализации **B**.

В памяти комплекса хранится набор наименований продукций. Они образуют систему продукций. В этой системе заданы определенные процедуры управления продукциями (приоритеты, временные и количественные ограничения), с помощью которых происходит выбор для выполнения той или иной продукции из числа активизированных.

### Система семантического сжатия передаваемой информации многоканального измерителя

Рассмотрим приведенную модель на примере структурной схемы обработки информации многоканального наблюдателя-измерителя (рис. 2), где обозначены:

- блоки  $I_k$  — преобразователи текущего значения физической величины в электрический сигнал  $U_{ki}(t)$  каждого  $k$ -го канала. Это приемные устройства оптического или электромагнитного излучения с каждого  $i$ -го элемента разрешения наблюда-

емой зоны в координатах оптической или антенной системы  $k$ -го канала, например, в полярных координатах  $\psi_{ki}, \nu_{ki}, R_{ki}$  — углы и дистанция;

- блоки  $Z_k$  — накопители-сумматоры сигналов  $U_{kXYZi}$  в заданных координатах зоны наблюдения  $X, Y, Z$  (или  $\lambda, \varphi, H$ ). Важно отметить, что накопление информации целесообразно проводить для каждого элемента разрешения в заданных координатах зоны наблюдения, если происходит изменение взаимного положения аппаратуры наблюдения и наблюдаемой зоны, что естественно, например, для низкоорбитальных или геосинхронных космических аппаратов;

- блоки  $Z_k$  — обнаружители признаков полезных сигналов  $U_{nXYZi}$  для каждого элемента разрешения в заданных координатах. В простейшем случае — это пороговая обработка выделения полезного сигнала на фоне шума. В более сложных случаях — это выделение вектора наблюдаемых признаков сигнала (амплитуда, длительность, их изменение во времени, дисперсия, частотный спектр и т. д.). Входные сигналы, обозначенные пунктирными стрелками, означают запаздывание и возможно меньшую частоту поступления относительно сигналов входных сигналов предыдущего блока;

- блоки  $4_k$  — блоки оценки признаков полезных сигналов и принятие решения о наличии одного или нескольких явлений, объектов в координатах  $XYZ$ . В этих блоках вырабатывается информация, которая является продукцией верхнего уровня для измерительной части каждого  $k$ -го канала. Содержащиеся здесь решающие правила являются первой частью ядра **A=>B**;

- блок 5 объединяет информацию всех информационных каналов, решая задачу семантического отбора информации для передачи операторам на пост наблюдения;

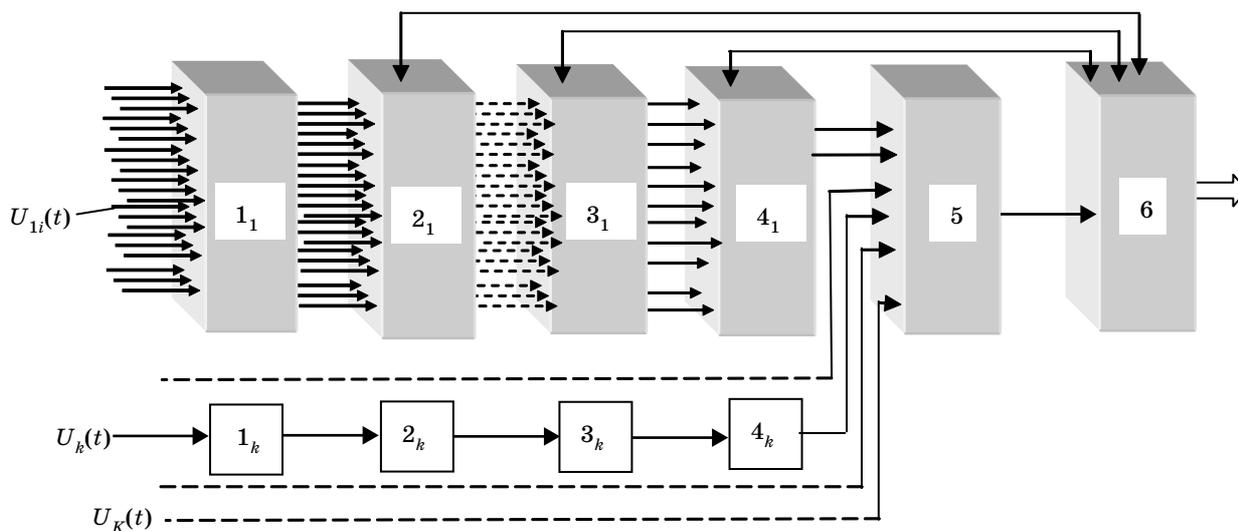
- блок 6 формирует пакет информации для передачи из главного уровня и более низких уровней, выбирая данные из блоков 4, 3 и 2, загружая ими пропускную способность канала связи.

Обработка информации в блоках 1–4 традиционна, возможности ее реализации многообразны и достаточно изучены для различных измерительных средств, обзорно-поисковых и охранных систем.

Новыми здесь являются части, обозначенные блоками 5 и 6, которые реализуют семантический отбор информации для передачи операторам. Они могут быть построены по принципу систем с искусственным интеллектом [7, 8].

Приведем один из возможных вариантов алгоритмов реализации блоков 5 и 6 (рис. 3).

При помощи оператора  $Q(Q_1, Q_2, Q_3)$  задается приоритетная последовательность всей возможной продукции  $I_m$  из общего ее числа  $M$ :  $Q_1 = [I_1 \dots I_m \dots I_M]$  устанавливает приоритет наименований продукции;  $Q_2 = [k_1 \dots k_k \dots k_K]$  определяет приоритет каналам получения информации;  $Q_3 = [T_1 \dots$



■ Рис. 2. Структурная схема системы обработки информации многоканального наблюдателя-измерителя

$T_m \dots T_M$ ] определяет интервалы времени  $T_m$  допустимой дискретности обновления данных. Последовательности  $Q_1$  и  $Q_3$  вводятся в постоянную память блока 5 и могут изменяться по команде оператора с поста управления. Начальная последовательность  $Q_2$  также вводится оператором как среднестатистическая, а изменяется по информации достоверности каждого  $k$ -го канала. Например, при наличии значительной облачности или тумана нет доверия оптическим каналам, а при большом уровне радиотехнических помех снижается приоритет радиолокационного канала. Свою значимость в приоритете каждый канал корректирует автоматически.

Каждый  $k$ -й канал на свой вход блока 5 выдает информацию в виде вектора  $S_k$ , который при наличии продукции содержит следующие компоненты:

- номер наименования  $I_{km}$  обнаруженной продукции;
- номера признаков, по которым найдена продукция  $I_{km}$ ;
- оценку достоверности обнаружения продукции  $I_{km}$  (оценка достоверности проводится, напри-

мер, по относительному превышению глобального экстремума над ближайшим по величине локальным экстремумом в оптимальных процедурах решающих правил [6]);

- координаты  $X_{km} Y_{km} Z_{km}$  обнаруженной продукции  $I_{km}$ ;
- характерные параметры продукции (например, площадь, объем, контраст и т. д.).

Продукция каждого  $k$ -го канала может содержать от 0 до  $M$  наименований, т. е.  $S_k = [S_{k1} \dots S_{kM} \dots S_{kM}]$  (рис. 4, а и б).

В соответствии с приоритетами  $Q_1$  и  $Q_2$  из  $\sum_{k=1}^K S_k$

в блоке 5 формируется минимальная информация

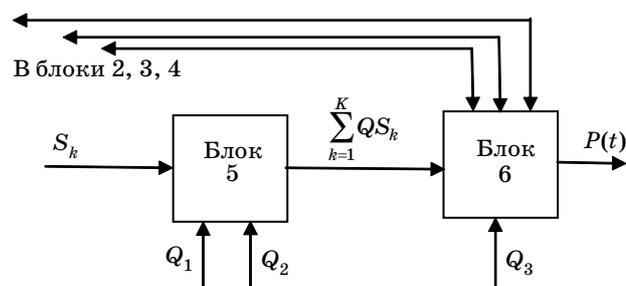
верхнего уровня о продукции измерителей  $\sum_{k=1}^K QS_k$

и направляется в блок 6.

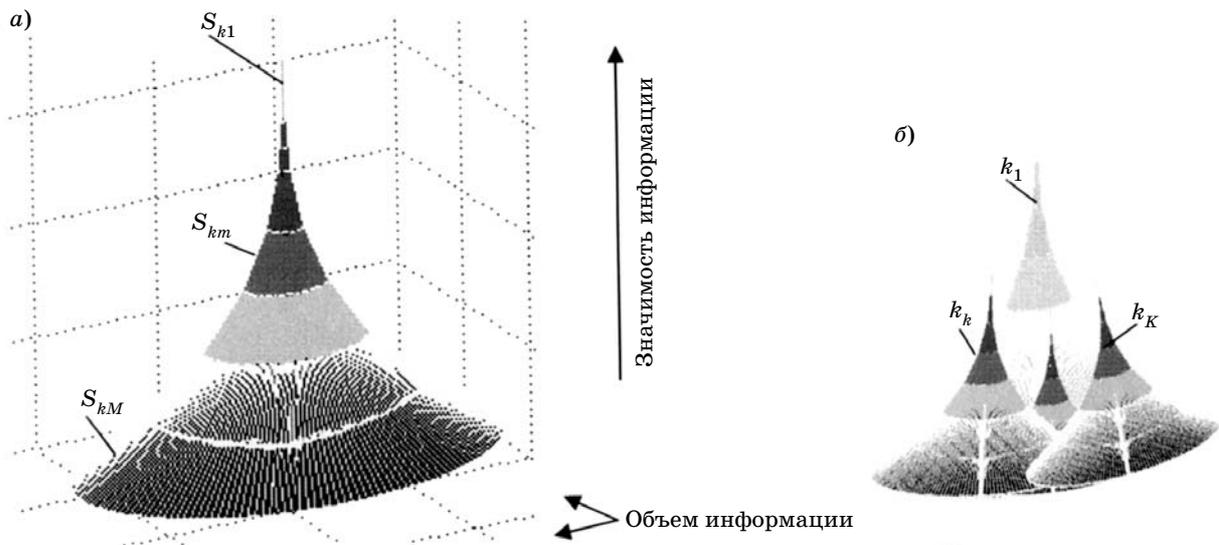
Таким образом, в блоке 5 реализуется вторая фаза ядра  $A \Rightarrow B$  и подготовка продукции  $P$  верхнего уровня.

В блоке 6 при помощи нормировки по данным  $Q_3$  происходит оценка требуемого времени для передачи информации верхнего уровня и сравнение ее с пропускной способностью канала связи. Если число обнаруженных наименований и их параметры, представляющие верхний уровень значимости, нормированные соответствующими значениями допустимых интервалов обновления  $Q_3$ , больше пропускной способности канала связи, происходит ограничение путем исключения наименований продукции нижних уровней приоритетов.

Обнаружение одновременно в наблюдаемой зоне всеми  $K$  измерителями всех  $M$  наименований продукции практически невозможно. Наиболее вероятная ситуация, когда в блок 6 поступает малое число наименований продукции с одного или двух



■ Рис. 3. Структурная схема алгоритмов реализации блоков объединения информации 5 и формирования выходного пакета 6



■ Рис. 4. Схематическое изображение объема и значимости продукции (1 ... т ... М): а — одного  $k$ -го канала; б — четырех каналов

измерителей. В этом случае резерв пропускной способности канала связи заполняется информацией более низкого уровня с каналов, где активизировалось ядро  $A \Rightarrow B$ , т. е. с блоков 4, 3, 2.

В случае отсутствия продукции во всех каналах происходит последовательный съем информации и передача его по линии связи человеку-оператору с блоков 2, 3, 4 каждого  $k$ -го канала. Это происходит до тех пор, пока не активизируется ядро  $A \Rightarrow B$  одного из каналов.

Таким образом, в блоке 6 реализуется последняя фаза ядра  $A \Rightarrow B$  и окончательное формирование продукции  $P(t)$ .

Элементы  $N$  в блоке 6 описывают логику дальнейшего отбора информации после реализации последней фазы ядра  $A \Rightarrow B$  (или его отсутствия за определенный период времени). Элементы  $N$  могут корректироваться по командам с поста управ-

ления по результатам приема и оценки оператором продукции  $P(t)$ .

### Заключение

Приведенный вариант семантического сжатия передаваемой информации можно трактовать как фильтрацию или отбор информации по приоритетам ценности информации и достоверности. Практически линия связи оперативно загружается наиболее полезной информацией. Семантическое сжатие позволяет на порядок и более снизить объем передаваемой информации, облегчив работу линии связи и людей-операторов дистанционного наблюдения [5].

Важно отметить, что семантическое сжатие не имеет ограничений по объему первичной информации и легко адаптируется к параметрам линии связи, внешним условиям и внешнему управлению.

### Литература

1. Frasier S. J., Camps A. J. Dual-beam interferometry for ocean surface current vector mapping // IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens. Feb. 2001. Vol. 39. N 2. P. 401–414.
2. Ouchi K., Tamaki S., Yaguchi H., Iehara M. Ship Detection Based on Coherence Images Derived From Cross Correlation of Multilook SAR Images // IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens: LETTERS. July 2004. Vol. 1. N 3.
3. Ouchi K., Wang H. Interlook Cross-Correlation Function of Speckle in SAR Images of Sea Surface Processed With Partially Overlapped Subapertures // IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens. April 2005. Vol. 43. N 4.
4. Шаров С. Н. Некоторые особенности ориентации движущегося объекта по береговой черте // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. 1994. № 4–5. С. 51–59.
5. Подоплёкин Ю. Ф., Соловьева В. В., Шаров С. Н. Обеспечение мониторинга земной поверхности космическим аппаратом на геосинхронной орбите // Изв. РАН. 2007. Вып. 1(51). С. 10–18.
6. Нариньяни А. С., Яхно Т. Г. Продукционные системы // Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах / ВЦ АН СССР, ВИНТИ. М., 1984. С. 136–177.
7. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 284 с.
8. Искусственный интеллект. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.