

# АНАЛИЗ СИГНАЛА ПО АНАЛОГИИ С ТЕКСТОМ

ХАРИНОВ М.В.

УДК 621.321

*Харинов М.В. Анализ сигнала по аналогии с анализом текста.*

**Аннотация.** В статье обсуждается структурный подход к представлению информации, в котором понятия сигнала и информации формально разделяются между собой, представление информации трактуется как устойчивая компонента сигнала, и отсчеты представления информации, образуемые носителями ее единиц, задают иерархию разбиений сигнала на вложенные сигналы. Устанавливается преемственность обсуждаемого подхода в отношении к известным подходам. Обсуждение опирается на аналогию с текстом, анализируемым независимо от языка документа. С учетом особенностей представления информации предлагается алгоритмический способ моделирования распознавания сигналов некоторой вычислительной системой или человеком.

**Ключевые слова:** информация, инвариантное представление, изоморфизм, идемпотентное преобразование.

*Kharinov M.V. Signal Analysis by Analogy with Text Analysis.*

**Abstract.** In the paper a *structural* approach to information representation distinguishing from ordinary digital signal representation is discussed. In accordance with structural approach the information representation is computed as the robust signal component composed of elementary carriers of information units. At that it defines the hierarchy of signal partitions into nested signals. The background approaches are pointed out. To explain the essence of structural approach the comparison of signal analysis with text analysis independently of language specificity is used. A method of algorithmic simulation of abilities of some artificial or natural recognition system with account for signal peculiarities is proposed.

**Keywords:** information, invariant representation, isomorphism, idempotent transformation.

**1. Введение.** Обычно для представления результатов научных исследований требуется составить описание результата так, чтобы оно было понятно неспециалисту. Между тем, наиболее употребительное в информатике понятие информации остается недостаточно определенным. Парадоксальность информации состоит в том, что это понятие, знакомое каждому, при количественном описании утрачивает очевидность. Стандартная интерпретация количества информации как меры снятия неопределенности без учета смысла информации, которая не следует из определения самой информации и, к тому же, выражается нецелым числом ее минимальных единиц (бит) для неспециалиста выглядит недостаточно убедительной, а для инженера–программиста оказывается неочевидной в приложении к ряду современных задач кодирования и анализа информации.

В оправдание недостаточной определенности понятия информации в информатике часто приводят заявление американского информатика Т. Сарациевича: «Все недовольны тем, что информационная

наука не хочет потрудиться над определением информации... На самом же деле ни одна из современных наук не имеет определений своих основных феноменов. В биологических науках нет определения жизни, в медицинских — здоровья, в физике — энергии, в электротехнике — электричества, в ньютоновских законах — противодействия. Это просто основные явления, и эта их первичность и служит их определением» [27].

Однако в отличие от понятий жизни в биологии и здоровья в медицине первичные понятия энергии и силы в физике формализованы. Во взаимосвязи с понятиями массы, электрического заряда и другими характеристиками рассматриваемых материальных объектов они позволяют в ее различных разделах (классической и квантовой механике, электродинамике и др.) выразить законы природы единообразными уравнениями движения (Ньютона, Шредингера, Максвелла и др.) независимо от преобразований системы отсчета (Галилея или Лоренца). Поэтому, если говорить об информатике как о классической естественно-научной дисциплине, родственной по технической сущности, скорее, физике, чем биологии или медицине, то развитие формализации понятия информации имеет смысл рассматривать в качестве атрибута ее становления.

Подобно тому, как в свое время в физике решалась проблема нахождения элементарных частиц с известным зарядом, для современной информатики, по всей видимости, остается актуальной проблема формализации понятия неделимых информационных элементов, которые содержат единицы информации и составляют материальный носитель информации — сигнал.

Вариант решения проблемы разрабатывается в структурном подходе к информации, обсуждение которого в настоящей статье, во избежание повторения деталей технического описания из ранее опубликованных материалов, строится в стиле изложения сравнительной части описания изобретений и ограничено рамками аналогии анализа сигналов и текстов.

**2. Сигнал, элементы сигнала и информационные элементы.** В середине 60-х годов, когда формировалось название науки «информатика», Ф.Е. Темников определял ее как науку об информационных элементах, информационных процессах и информационных системах [14]. Под *информационными элементами* имелись в виду «неделимые части — кванты — информации в дискретных моделях реальных информационных комплексов, а также элементы алфавита в числовых системах» [15].

В качестве примера информационных элементов в реальных комплексах достаточно указать запоминающие элементы ячеек памяти компьютера — биты, являющиеся неделимыми носителями информации. Для более точного рассмотрения информации, которое не сводится к ее представлению в виде произвольных кодов, хранимых и передаваемых на физическом носителе, можно по аналогии с битами физической памяти уточнить понятие информационных элементов как неделимых и независимых друг от друга носителей единиц информации. При этом полагается, что *информационные элементы* не только содержат минимальные единицы (кванты) информации, но и посредством независимой модификации «по заранее установленным правилам» [28] позволяют записать, а также передать ее определенный объем. Тогда количество информации, согласно [15], вычисляется путем «простого подсчета информационных элементов (квантов)» и выражается целым числом.

В компьютере сигналы задаются массивами целочисленных отсчетов, например, двумерной матрицей отсчетов яркости пикселей (элементарных клеточных полей) цифрового изображения, одномерной последовательностью отсчетов амплитуды (смплов) оцифрованного звукового сигнала, последовательностью слов текста или иными массивами элементов сигнала, доступными для автоматизированной обработки с целью решения некоторой технической задачи (преобразования, анализа, распознавания, сжатия и прочего). Поэтому под *сигналом* в общем случае условимся понимать массив *элементов сигнала* в виде целых чисел, рассматриваемых в зависимости от установленных параметров (координат, времени и прочего), которые также принимают целые значения. Поскольку *элементы сигнала* (пиксели, смплы, слова) не обязательно содержат минимальное количество информации, логично представлять, что они обладают некоторой структурой и содержат *меньшие информационные элементы*.

Прежде чем перейти к уточнению понятия информационных элементов, полезно обсудить соотношение понятий «информация» и «сигнал», которые, с одной стороны, различаются между собой, а с другой — не существуют одно без другого, что необходимо отразить в вычислениях.

**3. Интерпретация определений информации.** В современной информатике сложился ряд определений информации, которые систематизированы в [7, 8, 12]. Если рассматривать информацию как объект вычислений, который не отождествляется со своим количеством, рассматривается в детерминированном подходе вне связи с понятием ве-

роятности и без ограничений конкретного смысла сигнала, то, сравнивая определения [7, 8, 12], можно выделить следующие:

1. Информация есть сущность, сохраняемая при вычислимом изоморфизме;
2. Информация о какой-либо предметной области (ее объектах, явлениях и прочем) есть результат гомоморфного (т.е. сохраняющего основные соотношения) отображения объектов этой предметной области в некоторые отторжимые от этих элементов сущности — сигналы, характеристики описания;
3. Информация — это набор знаков и сигналов [12].

Первые два определения характеризуют особенности алгебраических моделей, предполагаемых в [8] для адекватной формализации понятия информации. При этом условие изоморфизма описывает сохранение, а гомоморфное отображение — фильтрацию информации при преобразованиях сигнала, если во втором определении в качестве «объекта» рассматривать «сигнал».

Третье определение по существу совпадает с интуитивным понятием информации в виде последовательности символов, знаков, кодов или элементарных сигналов, которые записываются и затем считываются с некоторого носителя информации. Дополняя указанным определением список из 15 других, автор [12] подчеркивает неполноту формальных подходов к определению понятия информации.

Для более полного отражения в интерпретации понятия информации условия, что информация неотделима от своего материального носителя — сигнала, имеет смысл рассматривать сигнал как двойственную запоминающую среду, которая, с одной стороны, содержит некие коды, предназначенные для хранения или передачи, а с другой — образует носитель этих кодов. Тогда содержащуюся в сигнале информацию можно описывать посредством «представления информации» в виде последовательности кодов (символов, «отпечатков», «следов» и прочего) на некотором «носителе», используемом для их хранения и передачи. При этом под *представлением информации* имеется в виду определенный образ сигнала, вычисляемый по конкретному алгоритму преобразования сигнала в сигнал с сохранением установленных отношений между элементами сигнала согласно условиям изоморфизма, а под «носителем» — реальное или воображаемое устройство, которое поддерживает хранение и обработку представления информации сигнала.

Если представление информации отождествлять с сигналом, то под носителем представления информации можно понимать двоичную

память компьютера, в которой фактически записан сигнал, или память иного вычислительного устройства, например, троичную память ЭВМ Н. П. Брусенцова [2, 3], эмулируемую на обычном компьютере.

Разделение понятий сигнала и представления информации позволяет ставить и решать задачу оптимизации кодирования информации, которое в представлении информации оказывается более устойчивым к искажениям, чем в исходном сигнале.

**4. Сигнал как запоминающее устройство.** Если сигнал считать материальным объектом, то ничто не препятствует рассматривать его как самостоятельное устройство для хранения и передачи информации, в котором информационные элементы играют роль запоминающих элементов реального запоминающего устройства, и сам сигнал обладает аппаратно-независимой памятью, в которой хранится представление информации, заданное массивом отсчетов. При этом информационные элементы описываются как материальные носители единиц информации («квантов» [14, 15]), которые в ячейках аппаратно-независимой памяти составляют числовые значения элементов представления информации или, в эквивалентном описании, складываются в числовые значения представления информации по правилам некоторой позиционной системы счисления.

Идея сигнала как устройства с автономной аппаратно-независимой цифровой памятью, которая используется подобно памяти компьютера, иллюстрируется табл. 1.

Таблица 1. **Интерпретация сигнала как запоминающего устройства**

Элемент устройства	Значение
Массив ячеек аппаратно-независимой памяти	Представление информации в виде массива целых чисел
Ячейка	Число определенной разрядности, сформированное в позиционной системе счисления, последовательность цифр
Информационный элемент (запоминающий элемент)	Цифра

В тривиальном случае отождествления представления информации с сигналом для эмулирования аппаратно-независимой памяти достаточно разложить элементы сигнала (числа из заданного массива) по степеням основания той или иной позиционной системы счисления и коэффициенты разложения (цифры) трактовать как значения информационных элементов, представляемых в виде запоминающих элемен-

тов аппаратно-независимой памяти с кодированной информацией. Однако при этом объем аппаратно-независимой памяти и содержащаяся в ней информация оказываются зависимыми от простейших преобразований, например, сдвига или линейного изменения сигнала по амплитуде.

Для компенсации изменений сигнала, например, вызванных смещением среднего значения отсчетов при формировании передаваемой информации, затуханием аналогового сигнала при передаче или нелинейных искажений, связанных с дискретизацией и квантованием сигнала, предпочтительнее использовать представление информации, которое не зависит от характерных линейных и нелинейных преобразований сигнала при информационном обмене. В этом случае, в качестве атрибутивных свойств представления информации рассматриваются:

- инвариантность относительно преобразований, моделирующих подавляемые искажения сигнала;
- изоморфизм представления информации по отношению к сигналу, в рамках которого согласно определениям п. 2 допускается несовпадение сигнала с представлением информации.

При этом, если представление информации в полном объеме аппаратно-независимой памяти является *изоморфным* представлением сигнала, в котором сохраняются исходные соотношения отсчетов сигнала по величине, то представления информации в ограниченном числе старших разрядов аппаратно-независимой памяти задают *гомоморфные* образы сигнала, сохраняющие основные соотношения отсчетов исходного сигнала, которые при преобразовании сигнала в гомоморфное представление информации не замещаются противоположными.

Получение представления информации с требуемыми свойствами инвариантности и изоморфизма является нетривиальной задачей, для решения которой оказываются необходимы:

1. Физическая модель, которая для каждого элемента сигнала устанавливает правила вычисления последовательности информационных элементов как запоминающих элементов аппаратно-независимой памяти и определяет также «заранее установленные правила» преобразования значений информационных элементов (п. 2). Физическая модель сигнала описывает структуру, приписываемую элементам сигнала;
2. Математическая модель, в рамках которой строится отображение множества элементов сигнала в множество элементов представления информации с сохранением свойств изоморфизма (определенных отношений между элементами). Математическая модель сиг-

нала описывает функциональные свойства целостных элементов сигнала, а также алгебраические свойства композиции отображения сигналов в представления информации с другими отображениями множества сигналов в себя, поддерживающими использование аппаратно-независимой памяти.

Идентичность результатов преобразования любого сигнала в представление информации в физической и математической моделях обеспечивает единство развиваемого подхода к формализации понятия информации, в котором структура элементов сигнала согласуется со свойствами элементов сигнала как неделимых носителей информации.

### **5. Конструктивная сложность запоминающего устройства.**

Структурная теория информации [28] позволяет оценить число конструктивных элементов в любом запоминающем устройстве, если оно реализуется на основе стандартной позиционной системы счисления. При этом число  $z$  конструктивных элементов в расчете на один элемент сигнала выражается формулой:

$$z = \ln S \frac{a}{\ln a},$$

где  $a$  — основание рассматриваемой позиционной системы счисления,  $S$  — максимальное число, запоминаемое проектируемым устройством.

Из формулы следует, что минимум конструктивных элементов формально достигается при основании позиционной системы счисления, равном числу  $e = 2.718\dots$ . Поэтому запоминающие устройства на основе двоичной и троичной систем счисления считаются оптимальными, что учитывалось при создании современных двоичных компьютеров, а также троичной ЭВМ Н. П. Брусенцова, созданной в 1960-х гг. [2, 3].

Выписанное соотношение выводится в предположении применения классической позиционной системы счисления, которая позволяет приблизиться, но не достичь оптимального запоминания информации. Поэтому при интерпретации сигнала как запоминающего устройства логично учитывать возможность использования систем счисления, отличных от классических, что может оказаться полезным для расширения применения в вычислительной технике нетрадиционных способов числового представления информации [9].

Помимо развития способов числового представления интерпретация сигнала как запоминающего устройства для хранения и передачи информации способствует конструктивному обсуждению понятия сигнала, не опираясь на предположения о его конкретном смысле.

**6. Сопоставление элементов сигнала и текста.** При обсуждении понятия информации разделяют ее *синтаксическую* форму представления по заранее установленным правилам, и *семантический* или прагматический смысл — содержащиеся в сигнале сведения об источнике информации или интерпретация значения информации для приемника [28]. При этом структурные и статистические признаки, например, ограничение по длине для слов или частоту встречаемости для букв в тексте, относят к *синтаксическим* характеристикам информации. В общем случае обсуждения сигналов в качестве антонима термина «семантический» вместо термина «синтаксический», употребляемого в отношении текста, нам удобнее использовать термин «структурный», следуя методологии работы [28], в которой рассматривается «структурная» и «семантическая» теория информации.

Понятия структурного и семантического представлений сигнала следует отличать от понятий, характерных для синтаксиса и семантики в языкознании, которые имеют буквальный смысл только для информации, выраженной в тексте на конкретном языке. Специфика языка учитывается в специальных лингвистических исследованиях [10], а также в программных системах семантического поиска на основе готовых словарей [11] или словарей, формируемых в результате обработки доступных текстов [1]. В отличие от текстов, при обмене информацией посредством изображений и других сигналов, с одной стороны, нивелируются особенности языковых различий, но с другой — не очевидны даже простейшие элементы применяемого «языка» зрительных образов. Практическое использование в распознавании сигналов «словарей» в виде эталонов или *описаний* объектов *по прототипу* (некоторых образов эталонов) оказывается проблематичным и приводит к неэффективным решениям. Поэтому для конструктивного обсуждения структурного представления сигналов в общем случае необходимо уточнять терминологию и особенности понятий, переносимых с текста на другие сигналы.

Для компьютерного анализа сигнала в виде текста удобно построить его *структурное представление*, дополнив слова пробелами так, чтобы они совпали по длине. В подобном представлении слова образуют двумерную матрицу символов текста, упорядоченных в виде списка слов, завершаемых пробелами или другими разделительными символами. Объем сигнала в структурном представлении, вообще говоря, возрастает за счет добавления символов (пробелов), которые непосредственно не влияют на семантическое содержание.



Текст в виде списка слов проще анализировать, например, по повторяемости слов для проверки закона Ципфа. Оптимизировать вычисления за счет автоматического определения адреса слова удобнее, если вместо представления списка слов в виде матрицы задавать слова в виде ограниченных числовых значений, записанных в позиционной системе счисления с достаточно большим основанием, в которой цифры сопоставляются символам алфавита. Однако в силу того, что в классической позиционной системе счисления [6] для обозначения числа допускается любая последовательность цифр, классическая система счисления порождает «слова», нарушенные пробелами между букв, и в отношении структурного представления оказывается избыточной.

Поэтому для эффективного структурного представления сигнала полезно разработать специальную позиционную систему счисления или *псевдосистему*, в которой произвольного чередования цифр для обозначения числа не предусматривается, но, по крайней мере, одна из цифр при посимвольной записи последовательности чисел играет роль служебного символа и позволяет разделить числа между собой. При минимальном числе цифр искомая система счисления оказывается тричной и подобна «азбуке Морзе», в которой помимо «точек» и «тире» используются промежутки между ними.

Если в качестве аналога структурного представления текста рассматривать представление информации, то сопоставление элементов сигнала и текста выражается табл. 2.

Таблица 2. **Аналогия элементов сигнала и текста**

Текст	Сигнал
Документ	Представление информации в виде массива целых чисел
Слово	Число определенной разрядности, записанное в специальной позиционной системе счисления
Буква или разделительный символ	Цифра

На основании проведенной аналогии допускается, что преобразование сигнала в представление информации сопровождается увеличением объема сигнала.

**7. Сегментация текста и сигнала.** В обработке изображений термин «синтаксический» (иногда — «лингвистический») употребляется

для обозначения определенного класса методов распознавания, основанных на описании объектов посредством «примитивов», которые объединяются по заданным правилам [4]. В общем случае под аналогичными правилами в обработке сигналов имеет смысл понимать правила объединения самостоятельных сигналов в единый сигнал или правила разделения сигнала на самостоятельные сигналы. В этом смысле сигнал характеризуется его *структурным разбиением* на вложенные сигналы без нарушения их семантического (смыслового) содержания.

В электронных документах, созданных, например, посредством общеупотребительного редактора Word, нетрудно найти аналог структурного разбиения сигнала на вложенные сигналы, которое дополняет семантическую организацию текста, выражаемую в словах, предложениях и т. п. Характерным элементом обсуждаемого разбиения является машинная строка, которая на конкретном бумажном носителе оформляется как абзац и непосредственно не зависит от языка документа. *Структурное разбиение* текста задается классификацией абзацев по так называемому «стилю», который задается для абзацев или последовательностей символов внутри абзацев с целью единообразного оформления текста по всему документу. Так например, при оформлении строк документа абзацы разделяются по способу форматирования («по ширине», «по центру», «по правому краю» и т. д.), при перечислении оформляются в стиле «список», «таблица», выделяются стилем «заголовок» и т.п. Символы при стилевом оформлении слов выделяются жирными линиями, подчеркиванием, или выписываются *курсивом*, который в данной работе указывает на то, что пояснение выделенного термина следует искать в том же предложении. При этом каждый стиль, по существу, отождествляется с некоторым алгоритмом форматирования текста, представленного в простейшем базовом стиле, который в русифицированной версии редактора Word обозначается термином «обычный».

*Структурное разбиение* текста документа на абзацы, составленные из слов, нетрудно представить наглядно, приписывая элементам текста (словам) различные «цвета» в виде числовых кодов, в которых битовые разряды сопоставляются алгоритмам форматирования текста, а установленные биты помечают алгоритмы, примененные к данному слову при стилевом оформлении. Логика получения структурного разбиения в виде стилевой разметки, «раскраски» документа оказывается прозрачной, в предположении *идемпотентности* алгоритмов форматирования текста, которая состоит в том, что результат многократного

преобразования совпадает с результатом однократного и характерна для алгоритмов форматирования слов в строках документа и других алгоритмах форматирования текста, упомянутых выше.

Если оформление напечатанного в редакторе Word текста задавать перечислением для каждого слова примененных к этому слову алгоритмов форматирования, то форматирование описывается разметкой, «раскрашиванием» или, в терминах обработки изображений, — сегментацией напечатанного текста в ограниченном числе *стилей* («цветов»). Применение к абзацам или отдельным словам нескольких стилей порождает новые комбинированные или смешанные стили оформления документа и выражается увеличением количества цветов.

Благодаря использованию ограниченного количества стилей поддерживаются правила оформления, характерные для данного документа. Чем меньше стилей используется, тем более строгой является форма представления документа. Например, для форматирования данной работы достаточно использовать 20–25 стилей.

Вычисление структурного разбиения (сегментации) текста представляет интерес в задачах анализа и поиска документов. Например, — при поиске образцов официальных документов вне зависимости от конкретного содержания, в системах обнаружения плагиата (<http://www.antiplagiat.ru/>) с использованием перевода с одного языка на другой, а также в других задачах, полезных для расширения возможностей современных систем семантического анализа и поиска текстов. В области автоматизации распознавания изображений документов [16] вычисление сегментации изображения по стилю оформления представляет непосредственный практический интерес для получения структурированных электронных документов, доступных для реформатирования сразу по всему тексту.

С теоретической точки зрения интересно обобщить постановку задачи распознавания, состоящую в нахождении некоторого числа базовых алгоритмов форматирования текста, композиции которых определяют множество используемых в документе стилей.

Автоматизация распознавания структурного разбиения (сегментации) документа на бумажном носителе принципиальных сложностей не представляет, поскольку алгоритмы стилового оформления заранее известны, признаки, определяющие параметры алгоритмов, унифицированы и мало меняются от документа к документу. Однако задача становится нетривиальной, если требуется создать программу, которая применима к любым изображениям и другим сигналам.

В общем случае изображений различного содержания нельзя заранее указать значения яркости, преимущественно используемые в качестве разделителей. Заранее неизвестными оказываются алгоритмы сегментации, обеспечивающие разбиение множества пикселей изображения на множества пикселей некоторых самостоятельных изображений — единичных или составных «объектов», которые по смыслу задачи распознавания заменимы один другим. Поэтому задача классификации пикселей изображения как пикселей объектов требует адекватного уточнения способа автоматического вычисления для пикселей изображения формальных обозначений классов объектов, причем, с учетом выраженной неоднозначности изображений в сравнении с текстом.

Нахождению принципа сегментации изображений и других сигналов из общих соображений способствует то, что в изображении число различных отсчетов яркости, если их считать аналогами слов (см. табл. 2), ограничено подобно количеству слов в документе. Повторяемость отсчетов яркости в пределах изображения по сравнению с повторяемостью слов, более выражена, и значения яркости, в отличие от слов, упорядочены. Характерной особенностью изображений и аудиосигналов является избыточность содержащейся в них информации, воспринимаемой в дублированном виде в системах с бинокулярным зрением и аналогичным механизмом слуха. Предположение, что в живых системах для распознавания используется многовариантное представление сигнала, позволяет развить интерпретацию представления информации согласно табл. 3.

Таблица 3. **Аналогия сегментации текста и сигнала**

Текст	Сигнал
Неформатированный документ	Представление сигнала
Форматированный документ	Вариант представления информации, результат идемпотентного преобразования представления сигнала
Сегмент документа с определенным стилем оформления	Пересечение множеств элементов сигнала, принимающих заданные значения в гомоморфных представлениях информации. «Объект»

В табл. 3 преобразование сигнала в представление информации сопоставляется форматированию текста независимо от семантического содержания, существенно зависящего от порядка чередования элемен-

тов сигнала (слов в тексте, пикселей в изображении или сэмплов в аудиосигнале). По аналогии с форматированием текста преобразование сигнала в представление информации полагается идемпотентным.

Модификация текста или иного сигнала в процессе его формирования для передачи требуемой информации, очевидно, не сводится к перестановкам элементов сигнала. В случае текста она выполняется в рамках синтаксических правил для словосочетаний и предложений, а в физической модели сигнала как запоминающего устройства ограничивается правилами представления элементов сигнала в определенной позиционной системе счисления (см. табл. 1 – 2). При этом в отличие от синтаксических правил, установленных для текста, в физической модели при модификации элемента сигнала посредством изменения значений информационных элементов не учитывается зависимость элементов сигнала друг от друга, что не исключает учета интегральных характеристик совокупности элементов сигнала.

Для многовариантного представления изображения в технической системе могут использоваться его цветные или спектральные компоненты, представление в серых тонах, или представления, полученные посредством многочисленных известных алгоритмов сегментации. Для аудиосигнала аналогичными представлениями могут служить его компоненты в различных стереофонических каналах, результаты фильтрации и другие преобразования сигнала в сигнал.

Вместо формальных обозначений стиля, которые могут приписываться абзацам текста по конкретным признакам оформления документа, в общем случае для описания сегментации сигнала посредством вычисляемых обозначений его элементов используются *отсчеты* (значения элементов) гомоморфного представления информации. При этом указанные обозначения вычисляются по алгоритму преобразования сигнала в изоморфное представление с последующим сдвигом отсчетов изоморфного представления в ячейках аппаратно-независимой памяти в сторону уменьшения разрядов. Интерпретация гомоморфного представления как представления информации обязывает обеспечить его сохранение при преобразовании в представление информации, что является нетривиальным ограничением на алгоритм преобразования сигнала в изоморфное представление.

Интерпретация сигнала как запоминающего устройства (см. табл. 1), а также интерпретация представления информации по аналогии со структурным описанием текста (см. табл. 2 – 3) подсказывает постановку задачи алгоритмического моделирования естественного, преимущественно, — зрительного восприятия и позволяет упростить

подход к решению проблемы автоматизации распознавания сигналов посредством обучаемых программ.

**8. Проблема автоматизации распознавания сигналов.** Задача автоматического распознавания для современных технических систем доступна в весьма ограниченной буквальной интерпретации — семантического описания заранее неизвестного сигнала. Так в рамках современной теории распознавания для произвольного изображения трудно найти рецепты эффективного вычисления «подрисуночной подписи», что проявляется в недостатке средств поиска изображений по контексту в интернете, а также практически в любых других приложениях с неопределенной предметной областью обрабатываемых сигналов. Для современных систем распознавания проблематичной оказывается задача обнаружения в составе произвольного сигнала экземпляров объекта единственного типа, что препятствует разработке программных средств для эффективного анализа сигналов с объектами различных типов. Из-за неопределенности для сигналов (изображений) понятия «объекта», в случае сигналов заранее неизвестного содержания, объекты, как правило, описываются относительно большими объемами обучающих данных. Например, описаниями *по прототипу* (в виде эталонов или признаковых описаний образцов объектов), множество которых оказывается проблематичным сформировать, ограничить, оптимизировать и использовать посредством применения методов распознавания образов к анализу сцен [5]. Практические решения простейших задач распознавания для сигналов заведомо известного типа (печатных текстов, речи и др.) обеспечиваются достаточно сложными программами с привлечением дополнительных семантических сведений об объектах (словарей правильных слов, лексем, фонем, морфем и др.). Расширение возможностей современных программных средств автоматизации распознавания прежде всего ограничивается человеческим фактором — высокой трудоемкостью эвристического программирования или наполнения вспомогательных баз данных в интерактивном режиме.

Для эффективного распознавания произвольных сигналов сложившимися методами необходима модель сигнала, достоверно описывающая любые объекты, которые может потребоваться распознать. Возможность построения такой модели неочевидна. Однако проблему можно обойти, если автоматизацию распознавания трактовать не как задачу обнаружения и идентификации объектов, содержащихся в сигнале независимо от программной системы, а как задачу аппроксимации посредством алгоритмов программной системы преобразований

произвольного сигнала, свойственных другой вычислительной системе, например, человеку. Тогда проблемы моделирования сигнала или объектов не возникает, отпадает необходимость накопления больших объемов полезной и случайной информации об объектах, и задача сводится к нахождению прозрачного способа формирования алгоритма, имитирующего классификацию элементов сигнала (для изображений — пикселей) моделируемой вычислительной системой.

#### **9. Способ алгоритмического моделирования распознавания.**

В нашем способе *алгоритмического моделирования* распознавания решается задача автоматизированного построения алгоритма, обеспечивающего разметку элементов сигнала вычисляемыми обозначениями (кодами, именами, номерами и др.) объектов, в простейшем случае — задача разделения элементов сигнала по принципу объект — не объект. Для получения алгоритма требуемой разметки используются алгоритмы преобразования сигнала в сигнал (точнее — представление сигнала на фиксированном множестве координат), которые рассматриваются вместо традиционных описаний объектов по прототипу. В отличие от описаний по прототипу, всевозможные композиции некоторых предусмотренных базовых алгоритмов преобразования исходного сигнала в его представления порождают новые алгоритмы, которые без существенных усилий по программированию включаются в число алгоритмов, предназначенных для распознавания.

Если каждый алгоритм преобразования сигнала для элементов сигнала, отождествляемых с элементами объекта, обеспечивает вычисление одинаковых отсчетов представления, получаемого по этому алгоритму, то алгоритмическая система считается применимой для распознавания данного объекта. При различных отсчетах представления, рассматриваемых в качестве обозначений элементов данного объекта, их совпадения всегда можно добиться снижением *разрешения* по величине отсчетов (квантованием шкалы значений элементов представления [4, 13]), принимая в расчет предельную возможность снижения числа градаций до единственного значения. Разрешение по величине отсчетов характеризуется числом градаций шкалы отсчетов и устанавливается для каждой композиции базовых преобразований в качестве настроечного параметра. Алгоритмы преобразования сигнала в вырожденные представления из одинаковых отсчетов исключаются из расчетов, поскольку не влияют на результаты вычислений. Ложное распознавание элементов сигнала как элементов объектов подавляется посредством использования в вычислениях дополнительных алгоритмов получения представлений сигнала.

В схематично описанном способе *алгоритмического моделирования* распознавания предполагается, что элементы объектов (в случае изображений — пиксели объектов) указываются пользователем, восприятие которого имитируется в результате формирования системы алгоритмов, поддерживающих автоматическое вычисление адекватных обозначений для элементов сигнала, отождествляемых пользователем с элементами объектов. Для практической реализации способа посредством создания программной системы автоматизированного распознавания сигнала предусмотренный набор программ, выполняющих преобразования сигнала по базовым алгоритмам генерации представлений сигнала, достаточно дополнить программой, которая обеспечивает приведение представлений к различным значениям *разрешения по величине отсчетов* за счет изменения числа градаций в шкале значений элементов представления.

В качестве базовых алгоритмов в программной системе автоматизированного распознавания могут испытываться готовые алгоритмы преобразования сигнала в сигнал [4, 13]. С учетом того, что состав алгоритмической базы меняется в процессе эксплуатации программной системы, подсистему базовых преобразований априори целесообразно рассматривать как открытую. Тогда ключевым алгоритмическим модулем программной системы, используемым для настройки каждого композиционного алгоритма преобразования сигнала, оказывается алгоритм преобразования сигнала в представление с установленным разрешением шкалы отсчетов. В качестве указанного ключевого алгоритма мы рассматриваем алгоритм преобразования сигнала в гомоморфное представление информации, которое формируется в старших разрядах аппаратно-независимой памяти и в зависимости от числа учитываемых разрядов задает различное число градаций в шкале отсчетов.

Таким образом, особенность постановки задачи алгоритмического моделирования состоит в том, что требуется получить набор алгоритмов преобразования сигнала в сигнал, моделирующих распознавание сигнала произвольного содержания вычислительной системой искусственного или природного происхождения, например, человеком. В качестве ключевого алгоритма в программной системе рассматривается алгоритм идемпотентного преобразования многовариантного представления сигнала в изоморфное представление информации, которое порождает последовательность гомоморфных представлений, не меняющихся при преобразовании в представление информации (см. п. 7) и при характерных преобразованиях сигнала (см. п. 4).



**10. Заключение.** В статье мы постарались описать структурный подход к представлению информации в сигнале, используя аналогию с ее представлением в запоминающем устройстве и в текстовом документе. Теоретическим и практическим обоснованием работы служат результаты экспериментальных исследований по уточнению и формализации основных понятий информатики по Ф. Е. Темникову — информационных элементов, информационных процессов и информационных систем [14, 15], полученные на основе специальной «псевдотроичной» системы счисления [17], необходимость введения которой обсуждается в пп. 5–6.

Понятие *информационных элементов* в качестве запоминающих элементов свойственной сигналу троичной аппаратно-независимой памяти на примере изображений формализуется в физической модели изображения как устройства с кодированной информацией, разработавшейся в течение нескольких последних лет для решения задач стеганографии [17–23]. В настоящее время модель запатентована [24, 25]. Характерно, что в период патентования модель удалось развить и обобщить, сняв условие использования для стеганографии сигналов специального вида. При этом в окончательном варианте изобретения [21–23] удалось оценить количество информации в целых числах как объем произвольных данных, который можно записать в аппаратно-независимую память сигнала для передачи. Оказалось, что хотя объем аппаратно-независимой памяти обычно превышает объем сигнала, скажем вдвое, ее емкость, доступная для записи данных, не превышает объема сигнала и целочисленная оценка количества информации совпадает с вещественной оценкой по К. Э. Шеннону с точностью до 0.5%. Совпадение разработанной целочисленной оценки количества информации с классической показывает достоверность модели сигнала как устройства с кодированной информацией.

Преобразование сигнала при записи информации в аппаратно-независимую память исследуется нами в качестве основного *информационного процесса*, для описания которого разрабатывается математическая модель представления информации на основе идемпотентных преобразований [23]. В качестве идемпотентных преобразований помимо записи информации в аппаратно-независимую память рассматриваются преобразование сигнала в представление информации и приведение сигнала к заданному разрешению шкалы отсчетов, количество градаций в которой задается тем или иным числом Мерсенна [6, 20].

Понятие *информационной системы* в настоящее время экспериментально исследуется на примере обучаемой программы распознава-

ния изображений, которая создается для анализа данных дистанционного зондирования [26, 29]. При этом требуется превзойти программы распознавания на основе адаптивной иерархической сегментации, которые в настоящее время производятся американской фирмой «ENVI» (Environment for Visualizing Images, [http://www.itvis.com/portals/0/pdfs/envi/Feature\\_Extraction\\_Module.pdf](http://www.itvis.com/portals/0/pdfs/envi/Feature_Extraction_Module.pdf)). Судя по нашему опыту разработки подобных программ [20], при хорошем качестве выделения и распознавания объектов их основным недостатком является высокая трудоемкость обучения, которую планируется снизить за счет внедрения способа алгоритмического моделирования распознавания (см. п. 9).

По нашему мнению, для эффективного применения современной вычислительной техники, по крайней мере, в задачах автоматизации анализа и распознавания сигналов, необходима, прежде всего, унификация программных решений, на создание которых направлен структурный подход к представлению информации, разрабатываемый на основе классических и современных подходов к информации.

### Литература

1. *Александров В. В., Андреева Н. А., Кулешов С. В.* Системное моделирование. Методы построения информационно-логистических систем // СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2006. 95 с.
2. *Брусенцов Н. П.* Вычислительная машина "Сетунь" Московского государственного университета // Новые разработки в области вычислительной математики и вычислительной техники. Киев, 1960. С. 226–234.
3. *Брусенцов Н. П.* Реставрация логики. М.: Новое тысячелетие, 2005. 165 с.
4. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
5. *Дуда Р., Харт П.* Распознавание образов и анализ сцен. М.: Мир, 1976. 511 с.
6. *Кнут Д. Е.* Искусство программирования для ЭВМ. Т. 2. Получисленные алгоритмы. М.: Мир, 1977. 724 с.
7. *Кузнецов Н. А., Полонников Р. И., Юсупов Р. М.* Состояние, перспективы и проблемы развития информатики // Проблемы информатизации. Теоретический и научно-практический журнал. 2000. Вып. 1. С. 5–12.
8. *Кузнецов Н. А.* Информационное взаимодействие в технических и живых системах // Информационные процессы. Электронный научный журнал. 2001. Т. 1, № 1. С. 1–9.
9. *Малашевич Д. Б.* Недвоичные системы в вычислительной технике // 50 лет модулярной арифметике / Сб. науч. тр. Юбилейной межд. науч. – техн. конф. М., 2006. С. 592–606.
10. *Мельчук И. А.* Опыт теории лингвистических моделей «Смысл $\leftrightarrow$ Текст». М.: Наука. 1974. 315 с.
11. *Перминов С. В.* Система семантического поиска // Информационно – измерительные и управляющие системы. М.: Радиотехника, 2008. Вып. 4, Т. 6. С. 45–50.
12. *Полонников Р. И.* Феномен информации и информационного взаимодействия (введение в семантическую теорию информации). СПб.: Анатолия, 2001. 189 с.
13. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений. Том 1–2. М.: Мир, 1982. 1200 с.

14. *Темников Ф. Е.* Информатика // Известия вузов. Электромеханика. 1963. № 11. С. 1277.
15. *Темников Ф. Е., Афонин В. А., Дмитриев В. И.* Теоретические основы информационной техники. М.: Энергия, 1979. 512 с.
16. *Шамис А. Л.* Поведение, восприятие, мышление: проблемы создания искусственного интеллекта. Серия «Науки об искусственном». М.: Едиториал УРСС, 2005. 224 с.
17. *Харинов М. В.* Псевдотроичная система счисления и анализ изображений // Тр. СПИИРАН / Под ред. Р.М. Юсупова. 2002. Вып. 1, т. 2. С. 269–275.
18. *Харинов М. В.* Адаптивное представление изображения в виде виртуального носителя цифровых данных (ВНЦД) // Тр. СПИИРАН / Под ред. Р.М. Юсупова, 2004. Вып. 2, т. 1. С. 135 – 144.
19. *Харинов М. В.* Инвариантное троичное кодирование информации в цифровом изображении // Тр. СПИИРАН / Под ред. Р.М. Юсупова, 2006. Вып. 3, т. 2. С. 169 – 183.
20. *Харинов М. В.* Запоминание и адаптивная обработка информации цифровых изображений / Под ред. Р.М. Юсупова. СПб.: Изд-во С.Петербур. ун–та, 2006. 138 с.
21. *Харинов М. В., Гололобова О. В.* Эксперимент по адаптивному повышению робастности изображения // Тр. СПИИРАН (к 30-летию СПИИРАН) / Под ред. чл–кор. РАН Р. М. Юсупова. 2007. Вып. 4. С. 119 – 125.
22. *Харинов М. В.* Модель цифрового изображения с виртуальной памятью на основе псевдотроичной системы счисления // Тр. СПИИРАН (к 30-летию СПИИРАН) / Под ред. чл–кор. РАН Р. М. Юсупова. 2007. Вып. 4. С. 126 – 135.
23. *Харинов М. В.* Способ защиты документов на основе модели изображения с цифровой памятью // Тр. СПИИРАН / Под ред. чл–кор. РАН Р. М. Юсупова. 2008. Вып. 7. С. 136 – 142.
24. *Харинов М. В.* Адаптивное встраивание водяных знаков по нескольким каналам, патент РФ № 2329522, заявители: СПИИРАН–«Самсунг Электроникс Ко., Лтд.» // Официальный Бюллетень Патентного ведомства Российской Федерации № 20 от 20.07.2008. 41 с.
25. *Харинов М. В.* Двухкомпонентное встраивание сообщений в изображение, патент РФ № 2331085, заявители: СПИИРАН–«Самсунг Электроникс Ко., Лтд.» // Официальный Бюллетень Патентного ведомства Российской Федерации № 22 от 10.08.2008. 31 с.
26. *Харинов М. В.* Способ распознавания изображений посредством представления при различном разрешении по яркости // «Региональная информатика – 2008 (РИ-2008)» / Материалы XI Санкт–Петербургской междунар. конф. СПб: СПОИСУ, 22–24 октября 2008. С. 58–59.
27. *Юсупов Р. М., Юсупов Ю. В.* Состояние и перспективы развития информатики и информационных технологий // Тр. СПИИРАН (к 30-летию СПИИРАН) / Под ред. чл–кор. РАН Р. М. Юсупова. 2007. Вып. 5. С. 10 – 45.
28. *Юсупов Р. М.* Теоретические основы прикладной кибернетики. Вып. 1. Элементы теории информации. Л: ВИКА им. А. Ф. Можайского, 1973. 110 с.
29. *Galjano P. R., Popovich V. V.* Intelligent Image Analysis in GIS // Information Fusion and Geographic Information Systems / Proc. of the III Intern. Workshop. Springer, 2007. P. 45–67.

**Харинов Михаил Вячеславович** — канд. техн. наук, доцент; старший научн. сотр. лаборатории прикладной информатики Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: анализ цифровой информации, количественная оценка, система числового представления, идемпотентные преобразования, иерархические структуры данных, единое представление аудио- и видеосигналов для хранения, обработки и передачи, цветное преобразование изображений. Число научных публикаций — 95. Адрес: khar@iiias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; раб. тел. +7(812)328-1910, факс +7(812)328-4450.

**Kharinov Mikhail Vyacheslavovich** — PhD., associate professor; senior researcher, Laboratory of Applied Informatics, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: digital information analysis, information quantity estimation, numerical representation system, idempotent transformations, hierarchical data structures, unified algorithms for audio and videosignal processing, color transformations of images. The number of publications — 95. Address: khar@iiias.spb.su; SPIIRAS, 39, 14th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-1919, fax +7(812)328-4450.