

# Концепция программируемой технологии цифровой теории связи: от герц к бит/с

В. В. Александров, С. В. Кулешов, О. В. Цветков

Рассмотрена программируемая технология по А. Н. Колмогорову с точки зрения организации виртуальной полосы пропускания при переходе от ее спектральной оценки в герцах к объемно-скоростной в бит/с. Теоретические основы функционирования программируемой технологии цифровой связи поясняются на различных примерах, в том числе при сопоставлении с принципом функционирования xDSL.

Programmed technology of a «digital» communication theory on A.N. Kolmogorov (PTK) is considered from the point of organization of virtual bandwidth for data transmission when switching from its spectral estimation in hertz to volume-rate in bit/s. Theoretical basis for functioning of the PTK is explained by number of examples such as comparison with xDSL principle.

**Александров Виктор Васильевич** – докт. техн. наук, профессор, зав. лаб. автоматизации научных исследований Санкт-Петербургского института информатики РАН.

*Область научных интересов:* рекурсивная обработка информации текст и аудио-видео потоки, развивающиеся системы, семантический и инфологический анализ.

**Кулешов Сергей Викторович** – канд. техн. наук, науч. сотрудник лаб. автоматизации научных исследований Санкт-Петербургского института информатики РАН.

*Область научных интересов:* исследования в области обработки изображений и видеосигнала, виртуализация каналов передачи данных и информационных носителей, исследования и построение семиологических информационных систем.

**Цветков Олег Викторович** – канд. техн. наук.

*Область научных интересов:* анализ и обработка телевизионных сигналов.

## Введение

Постоянно склоняемые сленги «хай-тек», Wi-Fi, xDSL и др., синонимы цифровых: связи, музыки и видео – это эмпирический факт новых возможностей компьютерных инфокоммуникаций. В их основе лежит иная «цифровая» парадигма обработки и передачи данных, которая не вытекает из традиционных математических моделей общей теории связи.

Удивительным же фактом является то, что еще в 1960-х годах А. Н. Колмогоров обращал внимание на принципиальное различие между математическим моделированием в мире функционального анализа – Д. Гильберта и понятием алгоритма, как «программы», реализуемой в терминах машины А. Тьюринга. Более того, подчеркнем, что под «цифрами» А. Н. Колмогоров понимал не дискретные значения сигнала, представленного двоичными числами, а любую последовательность «1» и «0». Поэтому современная лексика все чаще опирается на англоязычные понятия сэмпл (sample – единица значения оцифрованного сигнала) и пиксел (pixel – технологический элемент представления изображений).

До появления компьютерных цифровых технологий передача и обработка данных (сигналов, изображений и т. д.) сводилась к поиску функциональных преобразований, допускающих, с одной стороны, взаимно однозначное соответствие между исходными (входными) и преобразованными (выходными) данными. Этот поиск преобразований является прерогативой математиков. В свою очередь, математические свойства интеграла Фурье оказались технологически реализуемы и адекватны ряду физических свойств электромагнитного поля. Отсюда происхождение теоремы Найквиста и полосы пропускания Котельникова–Шеннона, как инженерная эксплуатация некоторых свойств интеграла Фурье. С другой стороны, выбор Фурье-анализа и спектральной характеристики для оценки полосы пропускания был связан с технологической реализацией резонансного контура на RLC-элементах.

Современные же цифровые технологии опираются на иные свойства физических процессов. В [1] сформулирован следующий физический принцип ... *каждая конечно реализуемая физическая система может быть полностью моделирована (perfect simulation) универсальной модельной вычислительной машиной, оперирующей конечными средствами.* Обратим внимание, что perfect simulation – это отнюдь не русскоязычное понятие *полностью моделирована*, это «физическое» воспроизводство – симуляция «программы», как вычислимой функции.

Отсюда и основная конструктивная идея – краеугольный камень программируемой технологии (ПТК) цифровой связи, которая содержится в терминологическом понятии «хай-тек» – технологической возможности симуляции физических процессов при построении интегральных микросхем, позволяющих воспроизводить и управлять на атомно-молекулярном уровне устойчивыми состояниями «1» и «0».

Это одновременно и сигнальная форма информационных носителей (речь, музыка, текст, аудио-видео поток), представляемая в виде «скважности импульса», формирующая двоичную последовательность, и ее количественная характеристика в бит/с.

Параметры «скважность импульса» и бит/с – «цифровые» аналоги полосы пропускания, определяющие требуемую скорость передачи данных – понятие, вытесняющее актуальность частотно-волновой оценки полосы пропускания канала связи в герцах.

Характеристика канала связи в бит/с объединяет в себе традиционные понятия полосы пропускания и объема информационного содержания, подвергаемого различного рода преобразованиям, но не на основе аксиоматически ограниченных математических моделей, а на основе программной симуляции – кодовой модели (кодеки).

Современные возможности телекоммуникаций уже демонстрируют возможность передачи больших объемов данных по каналам с гораздо меньшей пропускной способностью, чем постулируется общей теорией связи для передачи по аналоговым каналам. При использовании «узкого» по традиционным аналоговым меркам телефонного канала для модемной связи становится возможной работа как с видео-, так и с аудиоинформацией.

Отличительной особенностью цифровых технологий является возможность работы в отложенном режиме, когда принимаемые данные вначале записываются на временный накопитель, а после получения всего объема данных используются. Это позволяет использовать канал с переменной полосой пропускания. Также в большинстве цифровых форматов, использующих сжатие данных, воспроизведение происходит с переменной скоростью (bit rate), которая в каждый момент времени зависит от типа воспроизводимых данных.

Этот режим разделяет форматы данных на две категории: форматы, в которых обработка возможна только после полной загрузки всего объема данных (для видео, например, это MPEG-4) и форматы, которые могут воспроизводить данные одновременно с их загрузкой (MPEG-2, Stream Video и др.). К потоковым можно отнести и формат Macromedia Flash, особенности которого будут рассмотрены ниже.

Возможные же инновации в развитии инфотелекоммуникаций прежде всего связаны с освоением новых цифровых технологий, инфологических и семантических моделей обработки и компрессии последовательности бит/с информационного содержания. Недопонимание данных технологий приводит к путанице и проблеме с лицензированием. Что и как надо лицензировать: канал или информационное содержание? Какой из параметров лучше контролировать: частоту, объем или время?

... «У нас нет четких определений кабельному, интерактивному и интернет-вещанию. И благодаря этой мешанине можно экспериментировать с лицензиями как угодно» (Минсвязи идет против течения. – Новая газета, 2006, № 53). Отсюда научно-технологическая конкуренция и соответствующее ей рекламное сопровождение.

### Программируемая технология по А. Н. Колмогорову

Появление цифровых универсальных вычислительных машин заставило математиков искать более строгое определение понятию алгоритма с позиций функционирования цифровых электронных вы-

числительных машин. Стало очевидным, что укоренившееся понятие алгоритма – арифметики Аль-Хорезми не имеет ничего общего с понятием алгоритма – «вычислимой функции», реализуемой машиной Тьюринга.

К сожалению, даже в библиографическом списке приоритетных математических работ А. Н. Колмогорова не приводятся работы, составляющие основу предложенной им алгоритмической теории как единое целое, в которой и было бы сформулировано понятие программируемой технологии. Отмечаемый же в библиографии научный результат – создание теории сложности конструктивных объектов является лишь побочным следствием.

В дальнейшем мы будем придерживаться понятий алгоритма и программируемой технологии в соответствии с алгоритмической теорией, предложенной А. Н. Колмогоровым, как наиболее приближенной и адаптированной к организации вычислительных процессов и реализуемых на основе цифровых технологий построения процессоров, позволяя себе лишь ту интерпретацию, которая необходима для коррекции в соответствии с современными понятиями, терминами и языком информационных технологий в части проблем цифровой связи, обработки и передачи данных.

Именно связь понятий «процесса» и «вычислимой функции», проистекающая из конструктивной организации вычислительного процесса, сформулированного А. Тьюрингом в 1936 г. и получившего название «машина Тьюринга», легла в основу его алгоритмической теории: *Способ, позволяющий по виду записи находить ее номер, а также по номеру восстанавливать саму запись, является обычно весьма простым (так что существование алгоритма, “перерабатывающего” запись в номер, и алгоритма, “перерабатывающего” номер в запись, не вызывает сомнений).*

Следующее важное для программируемой технологии не тривиальное рассуждение А.Н. Колмогорова: *«...стандартным способом задания информации считаем двоичные последовательности, начинающиеся с единицы.*

*1, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, 1001, ...,*

*являющиеся двоичными записями натуральных чисел. Будем обозначать через  $l(n)$  длину последовательности  $n$  [2].*

Пусть мы имеем дело с какой-либо областью объектов  $D$ , в которой уже имеется некоторая стандартная нумерация объектов  $n(x)$ . Однако указание номера  $n(x)$  далеко не всегда будет наиболее экономным способом выделения объекта  $x$ . Например, двоичная запись числа  $9^{999}$  необозримо длинна, но его можно определить достаточно просто.

Надо подвергнуть сравнительному изучению различные способы задания объектов из  $D$ . Достаточно ограничиться способами задания, которые каждому двоично записанному числу  $p$  ставят в соответствие некоторый номер – уникальный идентификатор информационного содержания

$$n = S(p). \quad (1)$$

Таким образом, способ задания объекта из  $D$  становится не чем иным, как функцией  $S$  от натурального аргумента с натуральными значениями. Далее мы обратимся к случаю, когда эта функция вычислима. Такие методы задания можно назвать эффективными. Для каждого объекта из  $D$  естественно рассмотреть приводящие к нему числа  $p$  наименьшей длины  $l(p)$ . Эта наименьшая длина и будет сложностью объекта  $x$  при способе задания  $S$ :

$$K_s(x) = \min l(p), \quad S(p) = n(x). \quad (2)$$

На языке вычислительной математики можно назвать  $p$  программой, а  $S$  – методом программирования. Тогда можно будет сказать, что  $p$  есть минимальная длина программы, по которой можно получить объект  $x$  при методе программирования  $S$ .

Подчеркнем, что А. Н. Колмогоров подменил понятие «алгоритма» на понятие «программа», и следует лишь сожалеть, что данный фундаментальный результат не был замечен. По сути, это и есть - концепция цифровой технологии – инвариантной двоичной (битовой) последовательности представ-

ления ДАННЫХ, несущих любой вид информационного содержания и ПРОЦЕССОРНУЮ технологию – программную инструкцию его воспроизводства.

Колмогоров А. Н., как математик, сформулировал эту проблему в следующей форме [2]: Среди вычислимых функций  $S(p)$  существуют оптимальные, т. е. такие, что для любой другой вычислимой функции  $S'(p)$

$$K_S(x) \leq K_{S'}(x) + l(S, S'). \quad (3)$$

По сути,  $K_S(x)$  – критерий оценки оптимальности компьютерных программ, определяющий их эффективность либо с точки зрения требуемого для передачи данных объема битового потока, либо скорости процедуры развертывания терминальной программы, формата или нарративного кода в данные [3].

Колмогоров А. Н. впервые обратил внимание на специфику компьютерной математики, сформулировав строгое, с точки зрения программирования, понятие «алгоритмической теории информатики».

Особо подчеркнем, что приведенные выше понятия *естественные методы программирования*, *сложность*  $K_S(x)$  и *эффективность* не связаны с языками программирования.

Функциональная же подготовка программистов до сих пор нацелена лишь на перевод с языка алгоритма задачи в ограниченный базис машинных команд, реализующих заданную аксиоматику (арифметику) процессорной обработки на принципах математического моделирования.

Исторически первым инструментом информационной коммуникации людей служили проявления искусства: естественный язык, живопись, музыка. Позднее математики ввели число и алгебраические структуры. Аристотель в своих работах ввел логику. Но с появлением логики появилась и проблема – не противоречивость высказывания, а с ней и не однозначность процесса идентификации объекта.

Позднее среди математиков возникает идея информационного обмена. Появляется «вторая математика» – обмен объектами, которая восходит к теории множеств Кантора как взаимнооднозначного соответствия и принципу идентификации неразличимости Лейбница.

Однако конструктивно для работы компьютерной математики только А.Н.Колмогоров связал эти процессы (обмен объектами) в понятие алгоритмического содержания.

В работе [3] в понятии алгоритма входные данные и результат подменяются номером элемента упорядоченного множества входных данных и результатов соответственно. Этим понятие алгоритма сводится к операции получения идентификатора результата по идентификатору входных данных, т. е. вычислению. В явном виде это проявилось при изобретении протокола TCP/IP (1978 г.), обеспечивающего уникальную идентификацию отправителя и получателя данных при функционировании сети Интернет.

В дальнейшем, с развитием цифровых инфотелекоммуникационных технологий, приходится иметь дело только с информационными объектами. При этом приходится различать точное физическое представление объекта как непосредственное представление сигнала цифровыми отсчетами.

Компоненты цифровых систем связи, используя логику Аристотеля в качестве формализма, унаследовали проблему идентификации, которая для человеческого мозга не так актуальна. Кроме того, в цифровых процессорах понятие замкнутости, приносимое с алгебраическими структурами, не вносит ничего, кроме противоречий. Так, например, деление целого (integer) числа на целое дает число с плавающей точкой (float), т. е. процессорные операции не являются замкнутыми. Некоторые математические аксиомы оказываются не выполнимыми в цифровых процессорах, а следовательно, и в компьютерах, и контролерах, построенных на их основе.

Цифровая реализация большинства подобных методов проходит через серию бесполезных операций по преобразованию задачи в термины математического описания и программной реализации этого описания. В свою очередь, компьютер всего лишь эмулирует работу с математическими числами, а не выполняет ее аппаратно. Это означает, что физические процессы, происходящие на аппаратном уровне компьютера, и даже их логическое описание не соответствует математической работе с

числами. Процессор оперирует с битами и наборами битов. Эти наборы битов являются идентификаторами (символами, указателями) или собственно числами. Это означает, что, например, указатель не обязательно должен интерпретироваться как число, ему достаточно иметь свойство уникальности, обеспечиваемое идентификатором.

Общеизвестно, что некоторые математические аксиомы оказываются не выполняющимися в компьютере, например, результаты вычисления  $z\left(\frac{x}{y}\right)$  и  $\left(\frac{z}{y}\right)x$  для компьютера, в общем случае, не эквивалентны. В рамках компьютера нет больше различий между счетными и несчетными множествами, т. е. вещественное представление чисел дискретно, некорректны теоремы о пределах, интегральное и дифференциальное исчисление. Все это – следствие искусственного переноса математического базиса на процессоры, работающие на логическом базисе. Ниже на примерах известных методов компрессии данных покажем, что их программная компьютерная реализация более эффективна, если не опирается на традиционные математические модели функционального анализа.

### Математическая модель и программный симулятор

Проведем сопоставление реализации алгоритмов компрессии, сформулированных на языке математического моделирования и на языке ПТК – программного симулятора процессора (последовательности действий). Эффективность программируемой технологии по А. Н. Колмогорову – в непосредственной процессорной симуляции алгоритма задачи в трансформацию (трансляцию) входного битового потока в требуемый результат [2].

Пример 1. Рассмотрим программную реализацию JPEG и MP3 алгоритмов.

Концепция спектрального сжатия, на основании которой конструируются JPEG и MP3, имеет следующий вид:

$$D_{mn} = C_m C_n \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} S_{ij} \cos\left(\frac{\pi(2i+1)m}{2M}\right) \cos\left(\frac{\pi(2j+1)n}{2N}\right), C_t = \begin{cases} 1/\sqrt{M}, t=0 \\ \sqrt{2/M}, 1 \leq t \leq M-1 \end{cases} \quad (4)$$

где  $M, N$  – размеры матрицы.

Представим в наглядной форме матрицу преобразований, традиционно реализуемых на основе алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) для алгоритмов компрессии изображений. Для матрицы преобразования JPEG согласно выражению (4) элементы четырехмерного гиперкуба  $(m, n, i, j)$  задаются выражением

$$P(m, n, i, j) = \cos\left(\frac{\pi(2i+1)m}{2M}\right) \cos\left(\frac{\pi(2j+1)n}{2N}\right), m, n, i, j = 0..7. \quad (5)$$

Непосредственное математическое моделирование этих функций в среде Matlab или через аппаратное БПФ приводит к неоправданным затратам вычислительных ресурсов.

Эффективная же программная реализация приведенных функций возможна как при целочисленном (integer), так и при действительном представлении числа (real), позволяя осуществлять операции с использованием заранее предвычисленной матрицы целочисленных значений. По сути это матрица трансляций (в отличие от матрицы ДКП – дискретного косинусного преобразования) исходного сигнала в его вторичную компрессированную форму.

Основными свойствами матрицы трансляций ПТК в отличие от матриц ДКП являются целочисленные, значительно ограниченные по разрядности значения не элементов, а областей-сегментов матрицы трансляций. Принципиально матрица трансляций имеет эмпирическую возможность итерационно-самоподобного представления [4], обладающего минимальной сложностью  $(\min l(p))$ , что на практике приводит к максимальным компрессирующим и криптографическим свойствам.

Приведем двумерную матрицу трансляций, полученную сечением гиперкуба для некоторого изображения. Растровый вид полученной матрицы в различных сечениях показан на рис. 1 и 2. Значе-

ния элементов матрицы представлены в виде точек различной яркости, где белому цвету соответствует значение максимальной яркости, а черному – минимальной.

Такое гомоморфное преобразование не обязательно должно быть основано на физическом принципе. Например, алгоритм компрессии JPEG, эксплуатирующий физические свойства передаваемого сообщения, преследует цель при переходе от функции времени к спектру уменьшать требуемую полосу частот.

В приведенном выше примере реализуется ПТК, которая не опирается на физический принцип. Поясним это. В качестве матриц трансляции используем матрицы произвольного растрового изображения, которые могут также быть заполнены псевдослучайными значениями. Происходит компрессия и шифрование с использованием данного типа матрицы трансляций. Эксперимент показал работоспособность компрессии и при таких произвольных матрицах трансляции. Конечно, степень сжатия оказалась во много раз меньшей, чем у JPEG с матрицей преобразования, вычисленной согласно ДКП, и размер полученного файла оказался лишь немногим меньше, чем размер исходного, но при этом проявились все эффекты алгоритма компрессии с потерями – зависимость размера файла от сложности изображения (количества мелких деталей), меньший объем данных цветовой составляющей по сравнению с яркостной компонентой и некоторые другие.

Минимизация  $K_s(x)$  критерия оценки «сложности» и предопределяет конкретный выбор программы симулятора.

Отсюда следует, что в действительности любая «цифровизация» информационного содержания – процессорная обработка битового потока, в том числе и в задачах компрессии, шифровании, вставок, коллажей и др. реализует принцип ПТК и основана на понятии вычислимой функции, как программного симулятора.

### Избыточность, закономерность и семантика ПТК

**Пример 2.** Проиллюстрируем все еще не востребованные возможности учета инфологических и семиологических [5] составляющих коммуникационных аспектов следующим примером.

Рассмотрим изображение [6] на рис. 3. Данное изображение было создано с помощью программы Macromedia Flash. Его представление в виде битовой матрицы размером 550 на 400 пикселей требует 660 кбайт памяти. С точки зрения теоремы Котельникова данное представление не является избыточным, так как в изображении имеются резкие границы между элементами, дающие вклад в высокочастотные составляющие спектра изображения. Поэтому при снижении пространственного разрешения ухудшается четкость изображения. Положим, что данное изображение необходимо передать по каналу за 1 с. Тогда для его передачи без потерь необходим канал с пропускной способностью не менее 660 кБ/с.

В то же время, поскольку изображение не содержит мелких деталей, в нем имеются достаточно сильные однородные закономерности и пространственные связи, так что данное изображение обладает значительной программируемой избыточностью – наличием однородных, самоподобных, в том числе и степенных-семантических закономерностей в двоичной последовательности любого вида информационных сообщений. Известные архиваторы и

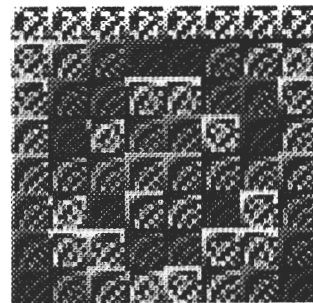


Рис. 1. Плоскость сечения гиперкуба по координатам  $m$  и  $n$

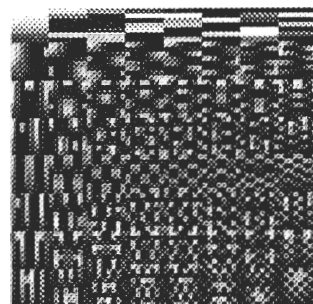


Рис. 2. Плоскость сечения гиперкуба по координатам  $m$  и  $j$

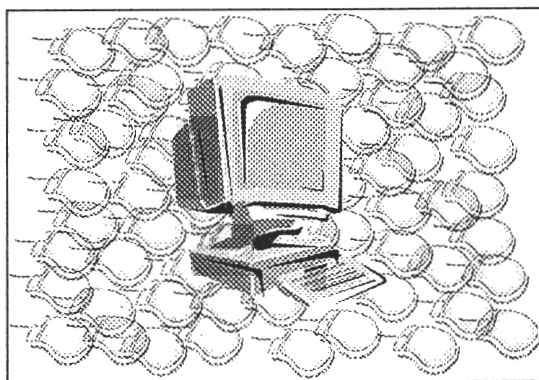


Рис. 3. Тестовый пример изображения

алгоритмы типа Хаффмана учитывают лишь ансамблевую вероятностную избыточность. Эту избыточность и удаляет программа-архиватор WinRAR, размер сжатого этой программой файла составляет всего 52 кбайт. Казалось бы, эта степень сжатия является предельной, и для передачи данного изображения требуется канал с пропускной способностью не менее 52 кБ/с. Однако программа, формируемая системой Macromedia Flash для воспроизведения данного изображения, имеет размер всего 6 кбайт. Таким образом, на самом деле для передачи изображения необходим канал с пропускной способностью 6 кБ/с (это не является предельным значением для данного примера). Обратим внимание, что для устранения программируемой избыточности создаются терминальные программы [3].

Чем же обусловлено такое снижение требований к пропускной способности канала? Здесь мы снова вынуждены прибегать к цитированию А. Н. Колмогорова [2].

*... Важно лишь понимать, что, обращаясь к теории вероятностей, мы прибегаем к значительно более грубой релятивизации. Реальное истолкование вероятностных результатов всегда статистическое, и оценки ошибок, получающихся при применении вероятностных результатов к конечным объектам, значительно грубее, чем в развиваемом изложении теории информации ...*

Предшествующее изложение должно оправдать два общих тезиса...

1. Основные понятия теории информации должны, и могут быть обоснованы без помощи обращения к теории вероятностей и так, что понятия энтропия и количество информации оказываются применимы к индивидуальным объектам;

2. Введенные таким образом понятия теории информации могут лечь в основу новой концепции случайного, соответствующей естественной мысли о том, что случайность есть отсутствие или еще не найденная закономерность.

*... Неизбежная относительность различия между случайным и неслучайным в применении к конечным объектам применима и к большим массивам информации, при рассмотрении которых начальная информация, заключенная в способе построения, исчезающе мала ...*

При таком подходе избыточность может быть оценена посредством критерия сложности ... для каждого объекта из  $D$  естественно рассмотреть приводящие к нему  $p$  наименьшей длины  $l(p)$ . Эта наименьшая длина программы построения объекта  $x$  при способе задания  $S$  и определяет алгоритмическую избыточность. Наличие этого вида избыточности определяется существованием в данном изображении семантического содержания, исчезающего при подмене информационного содержания функциональными моделями сигнала.

При ПТК математическое описание процессов распознавания отношений (визуальных и слуховых) между сегментами (фрагментами) можно свести к задаче поиска программы, порождающей множество рассматриваемых сегментов, что проще, чем исходное битовое представление. Если такая программа заранее не заложена, то процесс восприятия (актуализации) и не может возникнуть. На этом принципе и функционируют иллюзии, нейролингвистическое программирование и др.

Данное утверждение иллюстрируется на рис. 4, где приведено некоторое изображение в виде матрицы. На рисунке мы можем отчетливо видеть крест в центре прямоугольника. Возникает вопрос, почему мы его видим, хотя граница изображения креста на рисунке в явном виде отсутствует? Для ответа на данный вопрос рассмотрим способ создания этого рисунка.

Сначала были сформированы две прямоугольные области, разбитые на  $N$  ячеек. В каждую ячейку области помещается изображение в виде фигурки собачки. Причем формирование второй области осуществлялось из первой путем зеркального отображения содержимого ячеек вокруг горизонтальной оси. Затем вторая область с фигурками собак была помещена под первой, а в центре первой области (верхний слой изображения) был вырезан крест, через который видна вторая область (нижний слой изображения) (рис. 4).

Фигурки верхнего слоя образуют четкую периодическую структуру, описываемую несложным алгоритмом, который воспроизводит первую фигурку, а остальные порождает рекурсивно. Фигурки нижнего слоя также образуют периодическую структуру, описываемую аналогичным алгоритмом. Однако во втором алгоритме первая фигурка перевернута, следовательно, начальные данные у алгоритмов несколько отличаются.

Не видимая, но ощущаемая нами граница креста есть граница смены алгоритмов порождения элементов данного изображения. Никаких других отличий (по яркости, спектру) между изображениями первого и второго слоев нет. Следует отметить, что, глядя на рис. 4, мы не просто понимаем, что имеется область, где меняется направление фигурок, но и видим крест на однородном фоне. Следовательно, алгоритмизация изображения осуществляется уже на ранних стадиях его обработки в зрительном анализаторе, и результаты этой алгоритмизации заданы в процессе предварительного обучения в форме выделенных объектов и иллюзий.

Следовательно, для реализации функций семантического анализа информационных сообщений путем моделирования процессов человеческого восприятия необходимо привлекать тот же аппарат алгоритмической избыточности.

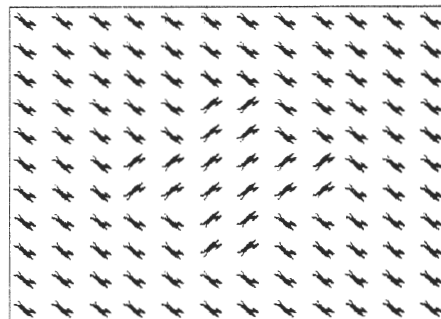


Рис. 4. Пример изображения, объясняющий возникновение иллюзии

### Понятийный глоссарий ПТК и цифровой связи

Сложившийся подход по разработке протоколов, форматов и специальных систем обработки, компрессии, хранения и передачи данных все еще основан на общей теории связи, который направлен на минимизацию энергетических составляющих, но не учитывающий семантические компоненты информационного содержания.

Заметим, что подавляющее число появившихся, казалось бы альтернативных теорий и подходов [7] являются попытками скорректировать принципиальные ограничения функционального анализа мира Гильберта при их компьютерном моделировании в мире Тьюринга. Этот подход все еще сохраняется при разработке различных форматов, протоколов и программ при работе с аудио-видео потоком данных.

Различие между теорией информации (по Шеннону) и цифровой теорией связи заключается в том, что основные понятия теории информации должны и могут быть обоснованы без обращения к теории вероятностей и так, что идентификация, а также понятие «количество информации» оказываются применимы к индивидуальным объектам, а не к ансамблям.

Отметим, что по А.Н. Колмогорову количество информации – это длина программы – симулятор, воспроизводящий посредством двоичной последовательности ДАННЫХ исходное информационное содержание.

Программируемая технология (ПТК) открыла путь разработки различного рода компресаторов, кодеков, скоростной свертки и развертки битовой последовательности информационного содержания. Заменяя жесткие ограничения по полосе пропускания, спектральным и энергетическим характеристикам, на ПТК цифровую связь, постоянно наращивающую объемно-скоростные характеристики ((кило-мега-гига-тера) бит/с) обработки и передачи данных.

Именно специфика хай-тек: компьютерных, телекоммуникационных технологий работы с ПОТОКАМИ ДАННЫХ приводит к понятию «информационное представление».

**Информационное представление** – запись значений параметров идентифицируемых объектов (процессов) для сохранения или передачи информации об этих объектах. Если идентифицируемый объект – динамическая система, то информационное представление есть его состояние, подготовленное к записи или передаче другому объекту. Набор параметров объекта, значения которых возможно использовать, определяются сенсорными возможностями человека или технического устройства. Потенциальная длина информационного описания – бесконечность, т.е. возможно неограниченное увеличение количества параметров и увеличение точности их представления. Информационным представлением (идентификацией) могут являться данные (представленный непосредственно цифровыми отсчетами сигнал), формат (полученное с помощью алгоритма упорядочивание), терминальная программа. Это развивающийся процесс, который постоянно стремится уточнить универсальную характеристику



Лейбница для информационных процессов – принцип идентификации неразличимости. В англоязычной литературе эти понятия, как правило, рассматриваются в рамках инфологии и дейталогии [8].

**Программируемая технология** – способ представления (инфология) и обработки (дейталогия) информации в виде ее битового представления.

**Битовое представление** – цифровое представление данных в двоичном виде. Битовое представление требует неизменности данных при передаче, сохранении и последующем считывании, а методы хранения и передачи обеспечивают действие принципа идентификации неразличимости Лейбница (при аналоговом представлении данных этот принцип требует оценки возможной точности измерения). Способ организации битового представления определяется форматом.

**Формат** – способ записи информационного описания для получения битового представления, а также формальные соглашения для обеспечения записи и чтения данных таким способом. Формат может содержать некоторые преобразования данных (MP3, JPEG), а также может быть прозрачным, т. е. битовое представление этого формата будет совпадать (возможно, исключая служебные заголовки) с непосредственными отсчетами сигнала (WAV, RAW). В этом случае важно отличать информационное описание объекта, допускающее, например, закругление значений, повреждение данных при передаче от битового представления, изменение значений которого не допустимо.

**Терминальная программа** – программа в ее битовом представлении, формирующая в качестве выходного результата сигнал (данные).

**Передача данных** – использование физической среды для передачи данных в пространстве.

**Хранение данных** – использование материального носителя для сохранения данных (передачи данных во времени).

**Носитель данных** – материальный объект, в котором возможно выборочное изменение состояний отдельных элементов, считывание их состояния. Носитель данных должен обеспечивать неизменность своих элементов в течение времени хранения.

**Среда передачи данных** – физическое соединение, по которому осуществляется передача данных от одного устройства к другому. Физическая сущность среды влияет только на максимально возможное число передаваемых бит в секунду. Заметим, что это эквивалент понятия полосы пропускания, но не требующий спектральных представлений.

Соотношение между уровнями цифрового представления информационного объекта приведено на рис. 5.

Любое битовое информационное представление объекта дает возможность реализации следующих задач, использующих идентификацию неразличимости:

1. Уникальная идентификация – восстановление информационного содержания объекта в соответствии с исходной точностью представления данных: сигнала, текста, изображений, аудио- и видеопотоков;



Рис. 5. Уровни представления информационного содержания объекта

2. Множественная идентификация информационного объекта (отнесение объекта к некоторому классу). Данная задача используется в большинстве практических приложений при работе с информационными описаниями (как в технических приложениях, так и в повседневной жизни). Например, формат представления звука может быть ориентирован либо на речь, либо на музыку для различной аудитории. Это приводит к разной требуемой битовой скорости передачи данных.

Принцип ПТК цифровой передачи и обработки данных приведен на рис. 6, где показаны элементы, обеспечивающие реализацию технологии применительно к задаче передачи данных: источник (семантика) – конвертер (двоичный поток) – логический уровень (кодер) – физический уровень – физическая среда (канал) – логический уровень (декодер) – конвертер – восстановление семантики.

На рис. 7 на примере функционирования системы ADSL рассматривается принцип построения виртуальных сверхширокополосных систем связи. Эти системы основаны на подмене единой конкретной

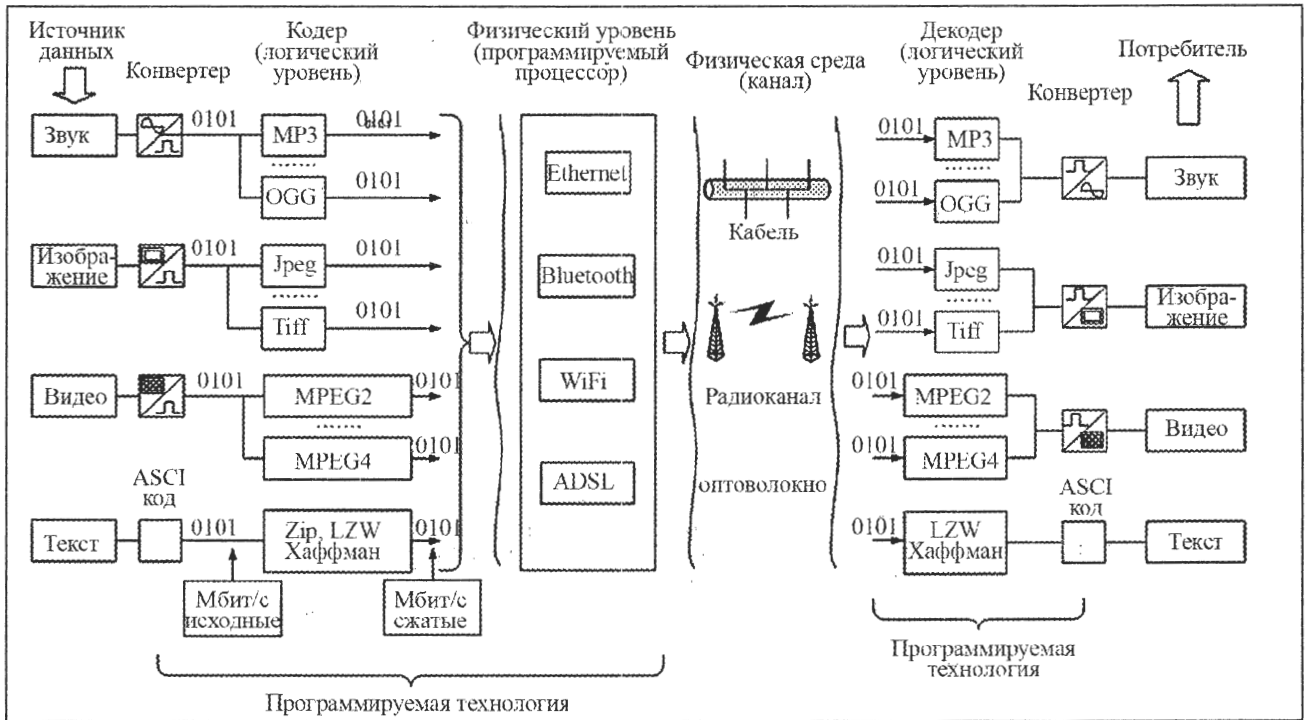


Рис. 6. Иллюстрация принципа программируемой технологии по А. Н. Колмогорову

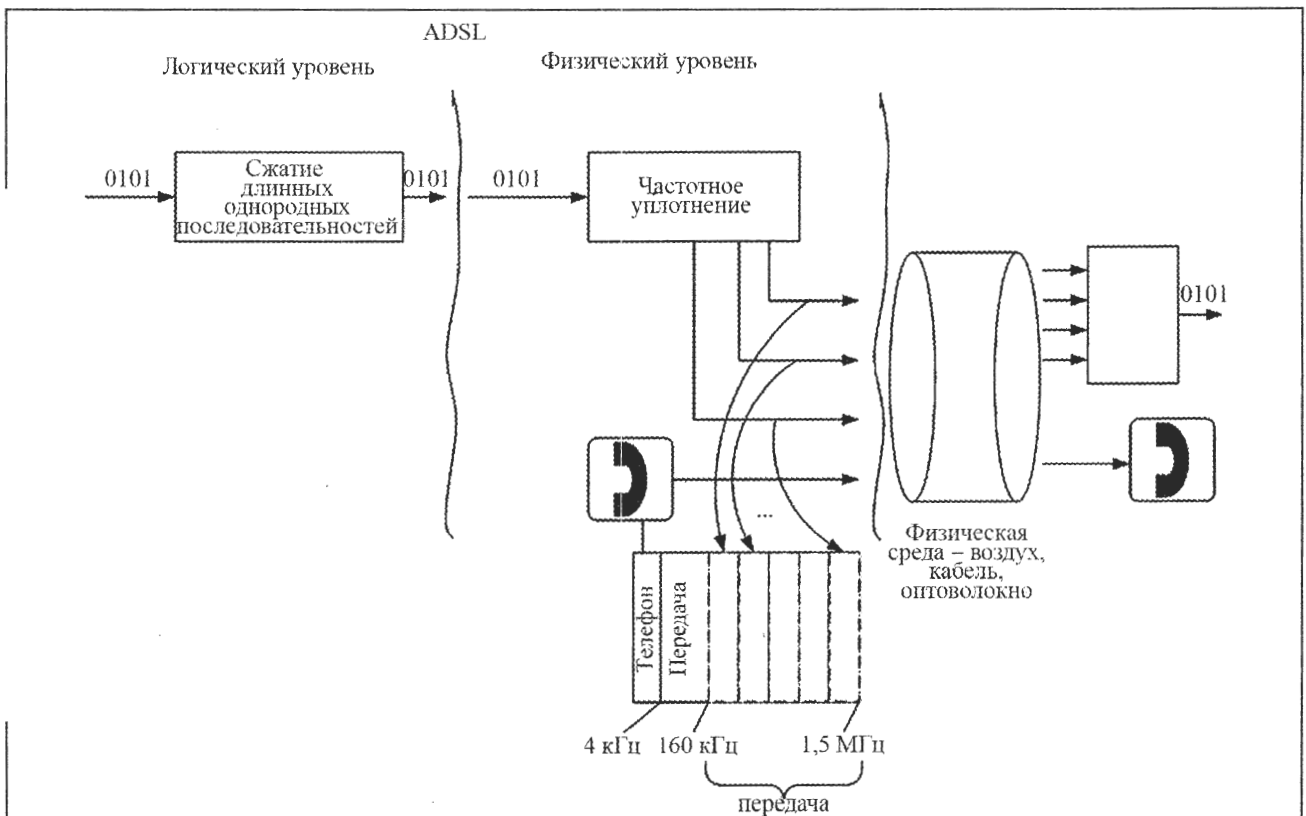


Рис. 7. Принцип построения виртуальной сверхширокополосной системы связи

физической среды (телефонный кабель) на ряд различных физических сред (частотные полосы в распределенном диапазоне) с целью создания виртуального канала с большей пропускной способностью.

Приведенные рисунки поясняют принцип цифровой технологии обработки сигналов и иллюстрируют последовательность битовой трансляции информационного содержания в его битовую форму.

### **Выводы**

Программируемая технология А. Н. Колмогорова позволяет реализовать цифровые системы связи с адаптируемой виртуальной сверхширокой полосой передачи данных (bit stream), реализуя принцип подмены исходных данных терминальной программой, восстанавливающей исходные данные на приемной стороне.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Дойч Д.* Квантовая теория, принцип Черча–Тьюринга и универсальный квантовый компьютер: Пер с англ. *А. П. Бельтюкова.* – Proc. R. Soc. Lond. A 400. 97 117 (1985).
2. *Колмогоров А. Н.* Три подхода к определению понятия «количество информации». – Проблемы передачи информации, 1965, вып. 1, с. 3–11.
3. *Александров В. В., Кулешов С. В.* Нарративные представления информационных процессов. – Электронный научный журнал «Информационные процессы», 2004, т. 4, № 2, с. 160–169. [www.jip.ru](http://www.jip.ru)
4. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications* K. J. Falconer. – John Wiley & Sons, Ltd, 2003.
5. *Александров В. В., Кулешов В. В.* Семиологические информационные системы – аналитическое самореферирование. – Мат. X Междунар. конф. и Российской научной школы «Системные проблемы надежности, качества, информационных технологий (Инноватика-2005)». Ч. 6. – М.: Радио и связь, 2005, с. 9–14.
6. *Цветков О. В.* Цифровые технологии обработки видео сигналов: компрессия и семантический анализ // Тр. СПИИРАН. Вып. 2, т. 1. – СПб.: СПИИРАН, 2004, с. 145–158.
7. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
8. *Langefors, B.*, Infological Models and Information User Views. – Information Systems, 1980, vol. 5, pp. 17–32.

**Поступила 30 ноября 2006 г.**

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ



№ 6, т. 5, 2007 г.

## В НОМЕРЕ:

*Методы повышения адекватности моделей*

*Энтропийно-вероятностный фильтр  
обнаружения шумоподобных сигналов*

*Виртуальные и физические каналы  
цифровой передачи сигналов*

*и др.*



Тел./факс: (495) 625-92-41  
E-mail: [info@radiotec.ru](mailto:info@radiotec.ru)  
<http://www.radiotec.ru>

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 81692 В КАТАЛОГЕ АГЕНТСТВА "РОСПЕЧАТЬ": ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. Б. Авдеев, Л. П. Андрианова, Г. Н. Арсеньев, И. А. Брусакова, К. Ю. Гаврилов, Б. Г. Горшков, А. М. Краснов, В. И. Кузьмин, А. И. Логвин, В. И. Меркулов, А. И. Николаев, С. И. Почув, О. Ф. Самарин, В. А. Сарычев, В. В. Соломенцев, Е. М. Сухарев, В. Н. Татаринев, Б. Г. Татарский (зам. главного редактора), В. П. Харьков, В. Н. Храменков, К. В. Черевков, И. А. Шайко, О. И. Шелухин

Главный редактор  
докт. техн. наук, проф.  
А. И. Канащенков

## Содержание

№ 6, т. 5, 2007 г.

### МЕТОДЫ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Methods of synthesis and analysis of devices and systems for different physical values measurements

Энтропийно-вероятностный фильтр для обнаружения шумоподобных сигналов.

Авдеев В. Б., Паньчев С. Н., Сенькевич Д. В.

Entropy-statistical filter for detection of signals similar to noise. Avdeev V. B., Panychev S. N., Sen'kevich D. V. 3

### ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Principles of construction of multi-purpose information-measurement systems

Виртуальные и физические каналы цифровой передачи сигналов. Цветков О. В.

Virtual and physical channels for digital signal transmitting. Tsvetkov O. V. 9

### МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

Methods of signal processing in information-measurement and control systems

Экспериментальные результаты обработки измерений спутниковых радионавигационных систем в системе высокоточной посадки летательных аппаратов. Глухов П. Б.

Experimental results of SRS-data processing at the Joint Precision Approach and Landing System. Glukhov P. B. 15

Возможности реализации режима вычислительного томографа на рентгеновском симуляторе SLS-9.

Жизняков А. Л., Семенов С. И., Сушкова Л. Т., Троицкий Д. П., Чирков К. В.

Opportunities realizations of a mode of computing tomography on x-ray simulator SLS-9.

Gizniakov A. L., Semenov S. I., Sushkova L. T., Troickiy D. P., Chirkov K. V. 20

Интегрированная информационно-управляющая радиосистема для малых космических аппаратов радиолокационного мониторинга Земли. **Горячкин А. А., Коваленко А. И., Корольков В. К., Римап В. В. Хлебников А. С., Шишанов А. В.**

Integrated information and control radio system for small Earth radar monitoring spacecraft. **Goryachkin A. A., Korolkov V. K., Riemann V. V., Khlebnikov A. S., Shishanov A. S.**

26

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

**Methods of evaluation inaccuracy of physical value measurement**

Тестирование аналого-цифровых преобразователей для проведения сертификационных испытаний.

**Дудников С. В., Рождественский Д. Б.**

Testing the analog-to-digital converters for certificate test. **Dudnikov S. V., Rojdestvensky D. B.**

34

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И УПРАВЛЕНИЯ

**Mathematical modeling of processes of measurement, processing and management**

Методы повышения адекватности моделей с целью улучшения качества сопровождения маневренной воздушной цели. **Данилов С. Н.**

Methods of increase of adequacy of models with the purpose of improvement of quality of support of the maneuverable air target. **Danilov S. N.**

42

Вероятностные характеристики функционирования РЛС в условиях активных помех по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны. **Баринов С. П., Маевский Ю. И., Ельцов О. Н.**

Probabilistic characteristics of radar stations functioning under conditions of jamming signals along side lobes of directional pattern. **Barinov S. P., Maevsky Yu. I., Yeltsov O. N.**

53

## НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

**New Information Technologies in the Life Cycle of Information-Measurement and Control Systems**

Концепция программируемой технологии цифровой теории связи: от герц к бит/с.

**Александров В. В., Кулешов С. В., Цветков О. В.**

Concept of programmed technology of "digital" communication theory: from hertz to bit/s.

**Alexandrov V. V., Kuleshov S. V., Tsvetkov O. V.**

62

На нашей странице в Internet — <http://www.radiotec.ru> — Вы можете увидеть содержание очередного номера журнала с аннотациями к статьям за месяц до выхода его в свет.

Журнал «Информационно-измерительные и управляющие системы» относится к категории печатных изданий, публикации в которых учитываются при рассмотрении докторских и кандидатских диссертаций ВАК РФ и в диссертационных советах

Зав. редакцией А. А. Глушкова

Учредитель: Издательство "Радиотехника".

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12980 от 20 июня 2002 г.

Сдано в набор 27.04.2007. Подписано в печать 28.05.2007. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура "Таймс". Печать офсетная. Печ. л. 10. Изд. № 6.

Адрес издательства "Радиотехника": 107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6. Тел. 621-48-37. Тел./факс 625-92-41.

E-mail: [info@radiotec.ru](mailto:info@radiotec.ru) [www.radiotec.ru](http://www.radiotec.ru)

Компьютерная верстка и фотоформы Издательства "Радиотехника".

Подольская типография филиала ОАО «Чеховский полиграфический комбинат». 142110, г. Подольск, ул. Кирова, 15. Зак. №

© Издательство "Радиотехника", 2007 г.

Тиражирование содержания журнала в электронном и любом другом виде — только с разрешения Издательства "Радиотехника".