

КАНАЛ СВЯЗИ С ПОЗИЦИЙ АТРИБУТИВНО-ТРАНСФЕРНОЙ СУЩНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация:

В статье предложена модель цифрового канала связи, которая была получена на основе новой концепции сущности информации. В рамках модели получен общий подход по классификации преобразований сигналов и информации в канале связи.

Анотація:

У статті запропонована модель цифрового каналу зв'язку, яка була отримана на основі нової концепції сутності інформації. На основі моделі отримано загальний підхід щодо класифікації перетворень сигналів та інформації в каналі електрозв'язку.

Abstract

The paper proposes a model of the digital communication channel, which has been obtained on the basis of the new concept of the essence of information. Based on the model obtained a common approach to the classification of signals and information transformation in the channel of telecommunications.

Канал связи и проблемы с информацией

Возникновение систем электросвязи и их дальнейшее стремительное развитие было вызвано насущной потребностью в быстрой передаче информации на расстояние. Появление научных теорий [1-3], позволяющих конструктивно применять математический аппарат для описания процессов передачи сообщений с помощью электромагнитных сигналов, значительно увеличило возможности по разработке новых принципов обмена информацией в различных физических средах. В тоже время при всех достоинствах этих теорий ни одна из них не даёт определения термину «информация». Отсутствие единой системы взглядов на объект передачи в канале электросвязи (далее – канал связи) нередко приводит к возникновению дополнительных проблем. Классическим примером возникновения такой ситуации является проблема совместного использования в рамках одного канала связи систем, разработанных на основе разных теорий. Например, последовательное применение системы помехоустойчивого кодирования и системы демодуляции сигналов, каждая из которых разработана по критериям оптимальности своих теорий, может привести к катастрофическому росту ошибок в канале связи. Только дополнительные процедуры согласования, различные для разных комбинаций кодов и сигналов, позволяют разрешить эту ситуацию. Одной из причин такого положения является отсутствие единой системы взглядов на сущность информации и процесс её передачи. В теории помехоустойчивого кодирования информация заменяется битовой (двоичной) последовательностью, а в теории оптимального приёма сигналов объектом обработки является последовательность сигналов из их множества, применяемого в данном канале связи. С одной стороны, оба подхода кажутся правильными. С другой стороны, для специалистов общеизвестно, что не всегда в исправно работающем канале связи двоичная последовательность на выходе помехоустойчивого кодера, а, соответственно, и последовательность сигналов в линии связи, содержит информацию. Видимо, существуют дополнительные аспекты отношений между указанными последовательностями, которые часто интуитивно воспринимаемы и связываются с

наличием сообщения на входе канала, но из-за отсутствия их формализованного описания конструктивно не применяются.

В данной статье предлагаются способы формализованного представления типового канала связи, полученные на основе атрибутивно-трансферного подхода к сущности информации.

Атрибутивно-трансферный подход к сущности информации

С одной стороны, существующие теории информации [1-3] с разных математических позиций (комбинаторика, теория вероятности, алгоритмическая сложность и другие) предлагают формальное описание количества информации. Однако при этом, как уже отмечалось, не раскрывается сущность феномена информации (качества информации), который носит универсальный характер и во многом определяет как процессы развития природы, так и общества.

С другой стороны, существует многообразие философских трактовок сущности информации [4-6]: «передача разнообразия», «оригинальность, новизна», «мера сложности структур», «отрицание энтропии», «вероятность выбора», «полученные сведения», «отражённое разнообразие», «мера упорядоченности структур и их взаимодействия», «передача сигналов в управляющих системах, возникших с появлением жизни» и многие другие. В силу значительной смысловой неопределённости понятий, используемых в этих определениях, их направленность на объяснение сущности информации не подкрепляется возможностью получить соответствующие математические интерпретации.

В рамках определения сущности информации в работах [7, 8] на основе ряда утверждений, позволивших значительно сузить область анализа, были сформулированы следующее понятия:

1) **информация** – это свойство объекта, приобретённое в результате взаимодействия с другим объектом и являющееся отображением свойства этого другого объекта;

2) **информация об объекте А в объекте В** – это упорядоченный набор элементов объекта В, сформированный в результате его взаимодействия с объектом А и являющийся результатом отображения упорядоченности (-ей) элементов этого объекта А.

В основе этих предложенных понятий использовалась следующая система взглядов:

- вербальное описание понятия «информация» должно позволить осуществить его математическую интерпретацию;

- для объяснения сущности феномена необходимо использовать максимально ограниченный, но универсальный набор базовых понятий, который может быть применён как для описания процессов в природе (неживой и живой), так и в социальной сфере. Такими понятиями стали: «объект», «свойство», «элемент», «взаимодействие», «отображение – как перенос свойства»;

- свойства объектов определяются характером упорядоченности их составных частей и проявляются через взаимодействие с другими объектами;

- информация всегда связана с материальным объектом, являющимся её носителем и расположенным в конкретной точке пространства-времени;

- принципиально важно отличать реальные объекты с их свойствами (состав, структура, цвет, вес, возможные состояния, расположение в окружающей среде, их поведение и многие другие) от информации об этих объектах и их свойствах;

- информация – это особый результат физического взаимодействия реальных объектов.

Так, как сущность рассматриваемого феномена составляет «взаимодействие объектов с переносом свойств», то предлагается назвать данный подход *атрибутивно-трансферным* (от англ. *attribute transfer* - перенос свойств (атрибутов)). Такое уточнение позволяет отличать предложенную позицию от других существующих подходов: *атрибутивного, структурного, атрибутивно-структурного и функционального*.

Второе определение является более строгим в плане устранения смысловой неопределённости, что упростило переход к следующему математическому описанию:

информация об объекте А в объекте В (далее – информация $I(A:B)$) – это упорядоченный набор элементов $Pr^{*(B)}$ объекта А, сформированный в результате взаимодействия f^*_{map} с объектом В и являющийся образом упорядоченного набора $Pr^{(A)}$ элементов объекта А, т.е.:

$$I(A:B) = Pr^{*(B)} \mid f^*_{map} : Pr^{(A)} \mapsto Pr^{*(B)}. \quad (1)$$

В представлении (1) объект А - это система, способная проявлять себя в окружающей среде через конечное множество свойств, каждое из которых определяется упорядоченным набором $Pr^{(A)}_i$ конечного числа элементов системы (Pr – от англ. *property* (свойство), i – номер свойства). В свою очередь, разнообразие этих элементов описывается множеством $M^{(A)} = \{a\}$ с мощностью $|M^{(A)}| = n^{(A)}$. В этом случае объект с его свойствами можно представить множеством $S^{(A)} = \{A', M^{(A)}\}$, где $A' = \{Pr^{(A)}_i\}$ – конечное множество реализованных (текущих) свойств объекта, являющееся подмножеством потенциальных свойств А (т.е. - $A = \{Pr^{(A)}_i\}$). Количество текущих свойств $n^{(A)} = |A'|$. Аналогично определяется объект В как множество $S^{(B)} = \{B', M^{(B)}\}$ с текущими свойствами $B' = \{Pr^{(B)}_i\}$, количество которых $|B| = n^{(B)}$.

Физическое взаимодействие между объектами, которое сформировало новый упорядоченный набор $Pr^{*(B)} \in B = \{Pr^{(B)}_i\}$, обозначено в (1) фактором f^*_{map} (индекс * обозначает состоявшееся взаимодействие и его последствия; индекс *map* - от английского слова *mapping* (отображение)). Если считать, что существует конечное множество факторов $F = \{f\}$, способных осуществить взаимодействие рассматриваемых объектов, то f^*_{map} принадлежит подмножеству взаимодействий $\{f_{map}\} = F_{map} \subset F$, приводящих к появлению дополнительных свойств из числа потенциально возможных $B = \{Pr^{(B)}_i\}$ в данной окружающей среде. С позиций математической интерпретации f^*_{map} - это бинарное отношение $\{(Pr^{(A)}, Pr^{(B)})\} \in A' \times B$, которому принадлежит упорядоченная пара $(Pr^{(A)}, Pr^{*(B)})$.

Если в ходе физического взаимодействия объектов выполняется условие, согласно которому каждому $Pr^{(A)} \in A'$ ставится в соответствие единственное значение $Pr^{(B)} \in B$, то это взаимодействие f^*_{map} можно интерпретировать как функцию, определённую на множестве A' и принимающую значения в множестве B . В этом случае запись $f^*_{map} : Pr^{(A)} \mapsto Pr^{*(B)}$ будет означать, что функция f^*_{map} (фактор f^*_{map}) отображает упорядоченный набор $Pr^{(A)}$ одного объекта в упорядоченный набор $Pr^{*(B)}$ другого объекта. Сформированный набор $Pr^{*(B)}$ и будем считать информацией об объекте А в объекте В, т.е. - $I(A:B)$.

Для формального описания в рамках (1) потенциальных возможностей механизма формирования информации относительно двух взаимодействующих объектов A и B может быть использована упорядоченная тройка (кортеж) множеств:

$$(A', F_{map}, B), \quad (2)$$

Взаимосвязь конкретной информации с объектом, от свойства которого эта информация зависит, можно представить следующим упорядоченным набором:

$$(Pr'^{(A)}, f_{map}^*, Pr^{*(B)}). \quad (3)$$

Полученные описания (1-3) являются математической (теоретико-множественной) интерпретацией атрибутивно-трансферной сущности информации.

Последовательность отображений и математическое представление

Предложенные толкование и формальное представление феномена информации позволяют провести более детальный анализ многих процессов, которые наблюдаются в самих различных сферах и интуитивно связываются с информацией. Так основными естественными факторами, определяющими информационные процессы в окружении человека, являются свет и звук. Ограничимся более детальным рассмотрением ролью света в формировании информационной картины мира.

Солнечное излучение (свет) представляет собой поток электромагнитных волн в оптическом диапазоне. После отражения от предмета (или при прохождении через среду распространения) и в зависимости от свойств этого предмета поток меняет значения некоторых своих характеристик (интенсивность, длину волны и другие). То есть, совокупность всех отражённых потоков представляет собой совокупность электромагнитных носителей информации об окружающих объектах. С позиций представления (1) в рамках рассматриваемой ситуации можно выделить следующие компоненты:

- предмет, отражающий свет (объект A) – это источник информации;
- форма и цветовые свойства этого предмета ($Pr'^{(A)}$) - прообраз информации;
- солнечный свет, способный менять свои свойства в ходе отражения от объекта - инфообразующий оператор (f_{map}^*);
- отражённый от предмета световой поток (объект B) - носитель информации;
- сформированный при отражении набор значений характеристик светового потока - информация $I(A:B)$ (приобретенный образ $Pr^{*(B)}$).

Таким образом, можно однозначно утверждать, что ещё до появления человека существовала естественная среда, в которой постоянно формировалась информация. Эту среду составляет совокупность всех отражённых излучений. Характерная особенность рассматриваемой информационной среды – это способность её носителей информации с большой скоростью распространяться в пространстве. Видимо поэтому эта среда и стала естественным универсальным механизмом формирования и распространения информации, который не только играет значительную роль в животном мире и человеческом обществе, но, и весьма вероятно, что оказал влияние на само появление жизни и её эволюцию.

Если продолжить анализировать ситуацию, то становится очевидным, что отражённый световой поток – это только *первичная информация* о каком-то объекте в последовательности информационных преобразований, которые использует человек. С помощью органов зрения мозг человека формирует *вторичную информацию* (видимо, первоначально в виде набора состояний нейронов клетчатки глаза, а затем в виде набора

состояний нейронов и взаимосвязей между нейронами в гипоталамусе и далее в неокортексе). В отличие от светового потока «время жизни» этой информации, что доказано повседневным опытом каждого, может значительно превышать продолжительность увиденной ситуации. Скорей всего, именно это свойство лежит в основе механизма, позволяющего человеку сравнивать ранее увиденное (сохранённая информация, память) с наблюдаемым событием (текущая информация). От результата такого сравнения в значительной мере и зависит поведение человека.

Последовательность информационных взаимодействий нескольких объектов, позволяющая отобразить *исходный упорядоченный набор* (в последнем примере – наблюдаемая ситуация) в *конечную информацию* (конечная – относительно последнего объекта в последовательности; в примере – упорядоченный набор состояний нейронов и взаимосвязей между ними) по аналогии с (3) может быть выражена следующим упорядоченным набором

$$(Pr^{(A)}, f^*_{map(A,B)}, Pr^{*(B)}, f^*_{map(B,C)}, Pr^{*(C)}, f^*_{map(C,D)}, Pr^{*(D)}), \quad (4)$$

либо с учётом (1)

$$(Pr^{(A)}, f^*_{map(A,B)}, I(A:B), f^*_{map(B,C)}, I(A:C), f^*_{map(C,D)}, I(A:D)), \quad (5)$$

где:

- $Pr^{(A)}$ - прообраз информации;
- $I(A:D)$ – конечная информация об A на носителе D ;
- $I(A:B)$ – первичная информация об A ;
- $I(A:C)$ – промежуточная информация об A ;
- $f^*_{map(A,B)}, f^*_{map(B,C)}, f^*_{map(C,D)}$, - инфообразующие операторы.

В общем случае в рамках одной последовательности отображений и источник информации, и все носители информации, а также, все механизмы отображений могут иметь различную физическую природу. Учитывая и то, что источник информации может иметь несколько свойств, каждое из которых может стать прообразом соответствующей информации, то в каждой конкретной последовательности (5) следует уточнять формальную запись конкретной информации. Для этого её можно записать в виде $I(Pr^{(A)}:D)$.

Последовательность образования информации (5) может быть представлена также в виде следующей композиции отображений

$$I(Pr^{(A)}:D) = f^*_{map(C,D)} (f^*_{map(B,C)} (f^*_{map(A,B)} (Pr^{(A)}))) = f^*_{map(A,D)} (Pr^{(A)}), \quad (6)$$

где, в общем случае, $f^*_{map(X,Y)}(x) = h^*_{map}(g^*_{map}(w^*_{map}(x)))$ – это комплексный инфообразующий оператор, отображающий прообраз x источника информации X в информацию $I(x:Y)$ на носителе Y путём реализации последовательности отображений $w^*_{map}(\cdot)$, $g^*_{map}(\cdot)$, $h^*_{map}(\cdot)$.

Структура типового цифрового канала связи

Полученные выражения (4-6), описывающие взаимосвязь между прообразом и информацией, позволяют получить формализованное представление цифрового канала связи, обеспечивающего передачу на расстояние дискретного сообщения (любое аналоговое сообщение с необходимой точностью может быть представлено в виде дискретного). Рассмотрим, например, типовой радиоканал, упрощённая графическая структура которого представлена на рисунке 1.

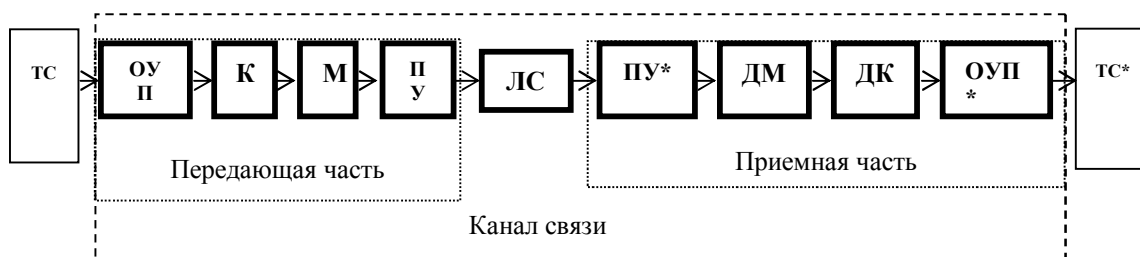


Рис. 1. Структура типового радиоканала

Канал состоит из четырёх устройств передающей части, четырех устройств приёмной части и среды распространения радиосигнала, обеспечивающей взаимосвязь этих частей (далее – линия связи (ЛС)). Назначение и наименование устройств будет рассмотрено ниже. Все устройства в рамках передающей и приёмной частей взаимодействуют между собой через соединительные линии (далее – СЛ), которые обеспечивают передачу электрического сигнала. Рассмотрим случай передачи текстового сообщения ($ТС$) на бумаге, которое с помощью *оконечного устройства пользователя* (ОУП) в передающей части преобразовывается в последовательность электрических сигналов $u_T(b)$. Нижний индекс обозначает длительность сигнала T , а аргумент b – дискретный параметр, принимающий только одно из двух значений «1» или «0». Дискретный параметр b соответствует одному биту. Физической реализацией «1» или «0» могут быть конкретные значения различных параметров электрического сигнала. Наиболее распространённый случай - различные значения амплитуды. Например, $+I_b$ и $-I_b$ соответственно, или $+I_b$ и $+0, I_b$. Параметры сигнала, которые изменяются в зависимости от передаваемого сообщения, принято называть *информационными параметрами*. Те параметры сигнала, значения которых детерминированы для приёмной части, называют *сопутствующими параметрами*. В дальнейшем электрические сигналы $u_T(b)$ будем называть *элементарными сигналами (ЭС)*. Каждому знаку текстового сообщения будет соответствовать набор (комбинация) ЭС. Всю последовательность из ЭС, которая соответствует исходному сообщению, назовём *первичной последовательностью (ПП)*. Преобразование исходного сообщения в ПП может осуществить человек с помощью персонального компьютера. Для дальнейшей конкретизации ситуации будем считать, что соответствие знаков текста сообщения и сигналов u_T в ПП определяется с помощью широко распространённой таблицы кодирования ASCII-8. Согласно ей одному знаку текста соответствует один байт данных, т.е. комбинация из восьми *элементарных сигналов* $u_T(b)$. Введём дискретный параметр λ , которым обозначим комбинацию из значений восьми параметров b (т.е. $\lambda = (b_7, \dots, b_1, b_0)$). Далее эта *первичная последовательность* преобразовывается с помощью кодера К в *кодую последовательность (КП)* из таких же сигналов, однако каждому исходному байту ставится в соответствие уже комбинация из нескольких бит, число которых превышает один байт. Значения бит этой комбинации определяется текущим исходным байтом. Такое кодирование предназначено для обнаружения и исправления на приёмной стороне возможных ошибок из-за помех в канале связи и называется *помехоустойчивым кодированием*. Обратная процедура осуществляется в приёмной части с помощью декодера (ДК). Будем считать, что используется кодер, ставящий в соответствие одному байту ПП два байта КП (т.е. скорость кодирования равна значению $1/2$). В этом случае для каждого текстового сообщения число элементарных сигналов КП будет в два раза

превышать число сигналов $ПП$. Обозначим через σ дискретный параметр, который соответствует набору из 16 бит последовательности элементарных сигналов на выходе кодера (т.е. $\sigma=(b_{15}, \dots, b_1, b_0)$).

Далее с помощью *модулятора* M осуществляется преобразование кодовой последовательности $KП$ в *последовательность радиосигналов (ПРС)*, которые способны распространяться через среду передачи (такой средой в данном случае является электромагнитное поле в заданном радиодиапазоне частот). Обратное преобразование в радиоканале на приёмной стороне осуществляет *демодулятор* $ДМ$. В цифровых системах радиосвязи ПРС в общем виде представляет собой последовательность *элементов радиосигнала (ЭРС)*, каждый из которых на длительности T^* может принимать только одно из конечного числа возможных значений θ . Представим ЭРС следующим образом

$$S_{T^*}(\theta, t) = A(\theta) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad 0 \leq t \leq T^*, \quad (7)$$

где: θ – дискретный параметр, значение которого определяет одно из возможных значений *элемента радиосигнала* $S_{T^*}(\theta)$; ω_0 – круговая частота, связанная с линейной частотой f следующим образом: $\omega_0 = 2\pi \cdot f$; φ_0 – начальная фаза гармонического колебания. В приведённой формуле (7) *информационным параметром сигнала* является амплитуда $A(\theta)$ (такие системы связи называются системами с амплитудной манипуляцией), однако, наиболее распространены системы фазовой и частотными манипуляциями, т.е. *информационными параметрами* соответственно выступают начальная фаза $\varphi_0(\theta)$ и круговая частота $\omega_0(\theta)$ (соответственно – системы с фазовой и частотной манипуляцией). Наиболее широко встречаются радиоканалы с фазовой манипуляцией, в которых θ принимает или два значения (системы с двоичным ансамблем радиосигналов), или восемь (системы с восьмиричным ансамблем радиосигналов). Для первых систем длительность *элементов радиосигнала* $S_{T^*}(\theta)$ совпадает с длительностью *элементарных сигналов* $u_T(b)$ (т.е. $T^*=T$), для вторых выполняется условие $T^*=3T$ (т.е. один *элемент радиосигнала* по длительности соответствует трём *элементарным сигналам*). Далее будем рассматривать систему с двоичным ансамблем радиосигналов.

В дальнейшем *передающее устройство (ПУ)* преобразует последовательность ЭРС к виду, который согласован со *средой распространения (СР)*. К таким преобразованиям, как правило, относятся увеличение частоты и/или амплитуды радиосигнала, оптимизация его частотного спектра, преобразование электрического сигнала в электромагнитный и некоторые другие. Пройдя через линию связи, радиосигнал попадает на приёмное устройство (ПУ*), где происходят обратные преобразования. Так как эти взаимобратные преобразования не касаются изменения значений информационного параметра радиосигнала, то в дальнейшем в статье они не будут рассматриваться.

Прохождение радиосигнала по линии связи сопровождается воздействием на него различных факторов электромагнитной природы. Поэтому на вход демодулятора поступает элемент радиосигнала с изменениями в своей структуре, которые носят случайный характер. Обозначим его как $Y_{T^*}(\theta, n(t), t)$, где $n(t)$ – случайный фактор, отображающий результат воздействия недетерминированных процессов в среде распространения. Если такая входная смесь сигнала и случайного фактора носит

аддитивный характер (широко распространённый случай), то её можно представить следующим образом:

$$Y_{T^*}(\theta, n(t), t) = S_{T^*}(\theta, t) + n(t), 0 \leq t \leq T^*. \quad (8)$$

В этом случае основной задачей, которую решает демодулятор, является принятие решения об информационном параметре θ в условиях неопределённости $n(t)$. Сигнал $Y_{T^*}(\theta, n(t), t)$ принято называть *входной смесью*. В свою очередь, на основании полученной оценки $\hat{\theta}$ демодулятор принимает решение об информационном параметре b (т.е., формируется оценка \hat{b}). По комбинациям этих оценок конечное устройство пользователя ОУП* будет формировать текст принятого сообщения ТС*. Очевидно, что в силу наличия случайного фактора в канале связи $n(t)$ принятое сообщение может отличаться от переданного ($ТС \neq ТС^*$) из-за возникших ошибок при формировании оценок информационных параметров.

Цифровой канал связи как последовательность отображений

Описанную выше модель радиоканала связи можно интерпретировать с позиций теоретико-множественного представления сущности информации. В этом случае полученный через канал связи текст сообщения ТС* является информацией относительно передаваемого текста сообщения ТС (*прообраз*), т.е.

$$ТС^* = I(ТС: ОУП^*) = f_{mapKC}^*(ТС), \quad (9)$$

Эта информация формируется посредством реализации последовательности преобразований прообраза ТС. Инфообразующий оператор канала связи $f_{mapKC}(\cdot)$, определяющий эти преобразования, носит комплексный характер. Его можно представить в виде следующей композиции отображений:

$$ТС^* = I(ТС: ОУП^*) = f_{map(KC)}(ТС) = f_{map(ОУП^*)} (f_{map(ДК)} (f_{map(ДМ)} (f_{map(СР)} (f_{map(М)} (f_{map(K)} (f_{map(ОУП)}(ТС)))))). \quad (10)$$

В ходе промежуточных преобразований формируется промежуточная информация, носителями которой в канале связи являются либо электрические сигналы (*элементарные сигналы* в соединительных линиях на участках ОУП-К, К-М, ДМ-ДК, ДК-ОУП*; *элементы радиосигнала* – на участках М-ПУ, ПУ*-ДМ), либо электромагнитные сигналы (*элементы электромагнитного сигнала в диапазоне радиочастот* в среде распространения СР на участке между ПУ и ПУ*). Главная задача канала связи – формирование в удалённой точке пространства такой информации, которая наилучшим образом соответствует исходному сообщению. То есть, для рассматриваемых моделей канала связи и сущности информации, это означает, что в точке получения сообщения ОУП* должен быть сформирован такой же упорядоченный набор из используемых элементов, который был в точке отправления. Передача сообщения на необходимое расстояние осуществляется с помощью соответствующей среды распространения (линия связи) и набора дополнительных преобразований, позволяющих эффективно использовать эту среду для передачи сигналов (в рассматриваемом канале – это электромагнитные сигналы в диапазоне радиочастот). В нашем случае такими преобразованиями, решающими частные задачи, являются следующие пары взаимобратимых преобразований:

- $f_{map(OУП)}$ и $f_{map(OУП^*)}$ – преобразование исходного сообщения в информацию на электрическом носителе в точке отправления и обратное преобразование в точке получения;

- $f_{map(M)}$ и $f_{map(ДМ)}$ – модулятор преобразует исходный электрический сигнал в сигнал со структурой на основе гармонического электрического колебания, который способен после преобразований в ПУ преодолеть СР. Демодулятор осуществляет обратное преобразование;

- $f_{map(K)}$ и $f_{map(ДК)}$ – пара преобразований, позволяющая в приёмной части исправить часть ошибок демодулятора, вызванных искажениями сигналов при их прохождении через СР.

Учитывая, что результатом каждого преобразования является упорядоченная последовательность сигналов, соответствующая исходному набору знаков сообщения, то канал связи можно представить в виде упорядоченного набора информации, т.е.

$$КС = (I(ТС:СЛ_{оуп-к}), I(ТС:СЛ_{к-м}), I(ТС:СЛ_{м-пу}), I(ТС:ЛС), I(ТС:СЛ_{пу-нк^*}), I(ТС:СЛ_{дм-дк}), I(ТС:СЛ_{дк-оуп^*})). \quad (11)$$

В таком наборе каждую указанную информацию можно считать промежуточной относительно исходного сообщения $ТС$. Например, $I(ТС:СЛ_{к-м})$ – это промежуточная информация о тексте сообщения $ТС$ в соответствующем наборе сигналов соединительной линии между кодером K и модулятором M . А информация $I(ТС:СР_{пу-нк^*})$ – это промежуточная информация о тексте сообщения $ТС$ в среде распространения радиосигнала ЛС. Каждая соединительная линия и линия связи представляют физический объект (кабель, соединительный провод или электромагнитное поле), который обладает своей протяженностью в пространстве. Передача сигналов по любой из этих сред распространения сопровождается их искажениями, которые вызваны влиянием различных воздействия различных факторов (естественные и искусственные электромагнитные помехи). Для наилучшего анализа влияния искажений на передачу сообщений желательно учитывать то, в какой точке канала связи рассматриваются сигналы, являющиеся носителями промежуточной информации. В этом случае лучше уделять внимание сигналам, уже прошедшим участок среды распространения, т.е. рассматривать вход устройства, на которое поступают эти сигналы. Тогда более правильно будет следующее представление канала связи в виде упорядоченного набора:

$$КС = (I(ТС:K), I(ТС:M), I(ТС:ПУ), I(ТС:ЛС), I(ТС:ПУ^*), I(ТС:ДМ), I(ТС:К), I(ТС:ОУП^*)). \quad (12)$$

В таком наборе, например, $I(ТС:K)$ - это промежуточная информация о тексте сообщения $ТС$, содержащаяся в последовательности сигналов на входе кодера K , а $I(ТС:ДМ)$ – это аналогичная информация на входе демодулятора.

В свою очередь каждую промежуточную информацию можно задать в виде упорядоченного набора из сигналов последовательно наблюдаемых в выбранной точке среды распространения, например:

$$I_u(ТС:K) = (u_{T,j}(b), j=0, \dots, J-1), \quad (13)$$

где $u_{T,j}(b)$ – элементарные сигналы, используемые в соединительной линии, а J – количество таких сигналов, необходимых для представления сообщения $ТС$. Если сообщение содержит V знаков, а v – номер текущего знака, то для рассматриваемого канала связи $J = 8V$.

С другой стороны, промежуточную информацию можно задать и через упорядоченный набор значений информационных параметров следующим образом:

$$I_b(TC:K)=(b_j, j=0, 1, \dots, J-1), \quad (14)$$

либо

$$I_\sigma(TC:K)=(\sigma_v, v=0, 1, \dots, V-1), \quad (15)$$

т.е. промежуточную информацию на входе кодера можно рассматривать как в виде упорядоченного набора из последовательности битов b_j , так и в виде упорядоченного набора байтов σ_v . При этом текущий номер байта соответствует текущему номеру передаваемого знака сообщения.

При учёте вида сигналов, являющихся, носителями промежуточной информации, представление канала связи (12) можно заменить следующим образом:

$$KC=(I(TC:K_u), I(TC:M_u), I(TC:ПУ_s), I(TC:ЛC_{sh}), I(TC:ПУ^*_{yh}), I(TC:ДM_y), I(TC:ДK_u), I(TC:ОУП^*_u)). \quad (16)$$

Такое представление позволяет указать не только конкретную точку канала связи, в которой рассматривается промежуточная информация, но и её носитель. Например, M - вход модулятора, а нижний индекс u при M - на входе модулятора сигнал $u_T(b)$. Индекс s при $ПУ$ означает, что на входе передающего устройства рассматривается сигнал $S_{T^*}(\theta_p, t)$, а индекс sh указывает на использование высокочастотного образа сигнала $S_{h,T^*}(\theta_p, t)$. Индексы yh и y соответственно указывают на высокочастотный и низкочастотный сигналы, прошедшие линию связи.

В современных каналах связи совокупная протяжённость всех СЛ значительно меньше протяжённости ЛС. Это позволяет считать ЛС тем участком канала связи, где происходят основные искажения сигналов. В дальнейшем маловероятные искажения в соединительных линиях учитываться не будут.

Для упорядоченного набора (16) характерным является наличие заданного отношения между двумя смежными информациями. Это отношение можно представить соответствующим инфообразующим оператором f_{map} , который преобразует (отображает) одну промежуточную информацию (прообраз) в другую (образ). Например:

$$I(TC: M_u) = f_{map(k)}(I(TC: K_u)). \quad (17)$$

Такое представление позволяет провести их анализ сущности преобразований по соотношению носителей прообраза и образа, а также по соотношению информационных параметров этих носителей. В результате анализа была получена следующая иерархия видов преобразований (рис.1).

В соответствии с указанной иерархией проанализируем некоторые преобразования рассматриваемого канала связи:

- пара информации $I(TC:K_u)$ и $I(TC:M_u)$ в зависимости от конкретной структуры кодера может быть связана преобразованием или 1.2.1, или 1.2.2 (на рисунке не указаны);
- пара информации $I(TC:M_u)$ и $I(TC:ПУ_s)$ связано преобразованием 2.1.2 (т.е. с заменой сигнала u на сигнал s);
- пара информации $I(TC:ПУ_s)$ и $I(TC:ЛC_{sh})$ также связана преобразованием 2.1.2 (т.е. с заменой сигнала s на сигнал sh , но без изменений значений информационных параметров);
- пара информации $I(TC:ЛC_{sh})$ и $I(TC:ПУ^*_{yh})$ связана преобразованием 1.1.2. Замена значений информационных параметров сигнала обусловлена искажающим воздействием линии связи;

- пара информаций $I(ТС:ПУ^*_{yh})$ и $I(ТС:ДМ_y)$ связана преобразованием 2.1.2 (т.е. с заменой сигнала yh на сигнал y , но без изменений значений информационных параметров).



Рис. 1. Иерархия возможных видов преобразований промежуточной информации в канале связи

Предложенная иерархия видов преобразований информации в канале связи не является полной и, конечно, может быть расширена (например, для ветвей 1.2 и 2.2). Однако, информационные подходы, лежащие в основе этой классификации, позволяют смотреть на всё многообразие каналов современных систем связи с единых позиций.

Таким образом, передача сообщения в канале связи представляет собой процесс формирования упорядоченного по времени и по средам распространения сигналов, входящим в этот канал, набора из промежуточных информаций (16). Каждая из этих промежуточных информаций, является образом исходного сообщения (прообраза) и формируется в результате преобразования предыдущей промежуточной информации. В свою очередь, исходное сообщение представляет упорядоченный набор из знаков. Конкретный профиль упорядоченности знаков в сообщении является семантикой (смыслом) этого сообщения. Путем последовательных инфообразующих преобразований канал связи формирует в удалённой точке пространства такой же профиль упорядоченности и из таких же знаков, которые присущи сообщению. То есть, таким способом необходимый смысл передаётся в необходимое место с помощью электромагнитных сигналов.

Заключение

Феномен информации рассматривается как особый результат физического взаимодействия различных объектов. Особенность такого результата в том, что при взаимодействии объект приобретает новое свойство, которое предопределено (находится в зависимости) от свойства другого объекта. Приобретённое свойство и есть

информацией об одном объекте в другом. Если взаимодействуют объект A с объектом B , то информация об A в B (т.е. $I(A:B)$) – это свойство, приобретённое объектом B .

Рассматриваемый подход в понимании сущности информации предложено называть *атрибутивно-трансферным* (от англ. *attribute transfer* - перенос свойств (атрибутов)). В отличие от других подходов (*атрибутивного, структурного, атрибутивно-структурного и функционального*) он:

- обладает универсальностью, т.е. позволяет объяснить с общих позиций сущность разнообразных процессов в природе и обществе, которые ранее только интуитивно связывались с информацией;

- позволяет использовать для описания этих разнообразных процессов процедуру теоретико-множественной формализации.

С помощью нового подхода было получено формализованное представление типового канала электросвязи. Суть такого представления в том, что канал связи – это последовательность инфообразующих преобразований передаваемого сообщения, рассматриваемого в виде исходного упорядоченного набора электрических сигналов. Результатом каждого преобразования является промежуточная информация, сформированная и передаваемая в рамках очередной среды распространения сигнала. Все эти информации могут отличаться друг от друга по виду носителя (сигнала), по информационным параметрам и по значениям этих параметров. При возможном разнообразии все промежуточные информации объединяет то, что они являются образами исходного сообщения (прообраза). Последнее преобразование канала связи формирует в конечном устройстве пользователя такой же профиль упорядоченности и из таких же знаков, которые присущи передаваемому сообщению.

В статье предложен подход, позволяющий с единых позиций классифицировать всё многообразие преобразований, используемых в современных системах связи.

Полученные результаты отражают только одну «информационную» сторону канала связи – процесс формирования цепочки промежуточных информации. С позиций атрибутивно-трансферной сущности информации в рамках дальнейших исследований планируется описать процессы использования в приёмной части каналов:

- информации о структурах алгоритмов преобразований передающей части;
- информации о структуре сигналов, формируемых модулятором;
- информации об изменении состояния основной среды распространения радиосигналов (линии радиосвязи);
- информации о семантической структуре передаваемого сообщения.

Результаты данных исследований, как предполагается, позволят выйти на уровень конструктивных предложений, позволяющих повысить эффективность передачи информации в цифровых каналах связи.

Литература:

1. Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal, Vol.27, pp. 379-423, 623-656, July, October, 1948.
2. Колмогоров А.Н. Три подхода к определению понятия «количество информации». – Проблемы передачи информации, 1965, №1.
3. Стратонович Р.Л. Теория информации. - М.: Советское радио, 1975. - 424с.

4. Абдеев Р.Ф. Философия информационной цивилизации. - М.: ВЛАДОС, 1994. - : 58 ил.
5. Марков Ю.Г. Функциональный подход в современном научном познании. - Новосибирск: "Наука", 1982.
6. Петров М.А. О соотношении понятий «знание» и «информация». Диссертация на соискание ученой степени кандидата философских наук. Специальность 09.00.01- онтология и теория познания. – Красноярск: Красноярский государственный университет, 2005.
7. Яковів І.Б. Сутність інформації та її теоретико-множинне уявлення. // Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації: Зб. наук. пр. - Київ: ІСЗЗІ НТУУ «КПІ», 2011. – вип. 1(19) – С. 55-58.
8. Яковив И.Б. Взаимосвязь информации и знаков. // Information Technology and Security: Периодическое специализированное издание. - Киев: ИССЗИ НТУУ «КПИ», 2012. – вып. 1(1) – С. 31-41.