

С. В. КУЛЕШОВ

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Приведена классификация цифровых каналов связи, рассмотрена структура унарного цифрового канала, выведены ограничения, накладываемые на функционирование каналов. Рассмотрена тенденция развития цифровых каналов связи.

Ключевые слова: каналы, пропускная способность, источник, приемник, контейнер, битовый поток.

В последнее время создается большое количество проприетарных (от англ. proprietary — стандарт, закрытый для разработчиков) каналов связи с использованием радиомодулей для различных применений: задач телеметрии, дистанционного управления, организации доступа к сети Интернет, локальной связи между устройствами, передачи видео- и аудиоданных.

В случае когда новая технология создается при поддержке большой компании или ассоциации производителей, осуществляется выделение новой полосы частот, в иных случаях используются нелицензируемые свободные диапазоны (ISM, PMR и др.)

При таком подходе каждая реализация конкретного коммуникационного протокола оказывается узкоспециализированной для определенного приложения. Так, например, практически невозможно использовать готовые высокочастотные модули Bluetooth для передачи телеметрии или модули WiFi для передачи видеоданных между видеоплеером и телевизором. Проблема заключается в тесной интеграции интерфейсных и сервисных функций с радиомодулем, что, с одной стороны, делает дешевой реализацию устройств, для которых эти стандарты изначально были разработаны, но, с другой стороны, препятствует применению готовых стандартов обмена данными в новых устройствах.

В настоящей статье предлагается способ унификации структуры каналов связи для упрощения интеграции вновь разрабатываемых систем, приводится классификация каналов связи и формулируются базовые ограничения.

Классификация каналов связи. Введем следующую классификацию цифровых каналов передачи данных (ЦКПД).

1. Унарный (проприетарный) ЦКПД — канал, не требующий идентификации типа потока данных; является самым простым видом канала точка—точка, в котором потребитель непосредственно получает данные одного типа от передатчика.

2. Мультиплексируемый ЦКПД — канал, допускающий передачу нескольких типов данных (контента), разделяемых маркером-идентификатором (ID пакета) или с помощью алгоритма.

3. Универсальный ЦКПД — канал, который в общем случае соединяет множество потребителей с множеством источников и допускает несколько типов данных. Под источником понимается устройство или программа, формирующие битовый поток данных (bit stream) и имеющие заданные ограничения на возможность управления скоростью этого потока. При использовании универсального канала требуется введение специальных полей в потоке данных для адресации и идентификации их типа. Типичным примером такого канала являются TCP/IP-сети.

Структура каналов связи. Традиционный унарный канал передачи данных, использующий радиоканал, представляет собой систему подготовки контента для более эффективной

модуляции несущей с генератора G , причем способ подготовки и тип модуляции определяют протокол связи (рис. 1).

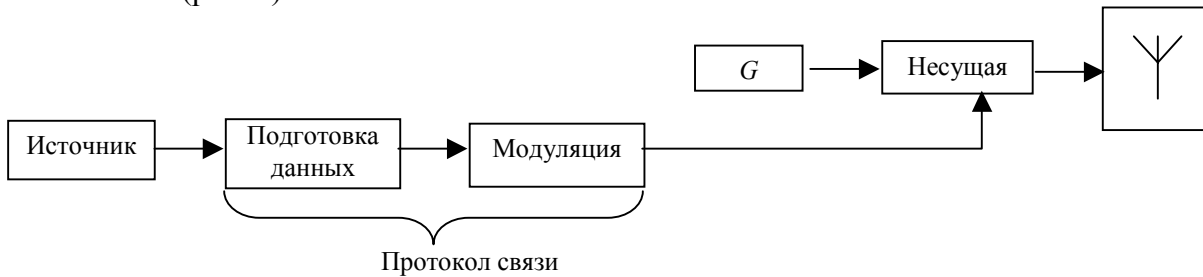


Рис. 1

В целях унификации структуры цифровых каналов передачи данных рассмотрим более подробную схему, абстрагируясь от физической природы среды унарного ЦКПД и допуская возможность модификации данных для их компрессии, шифрования и т.п. (рис. 2).

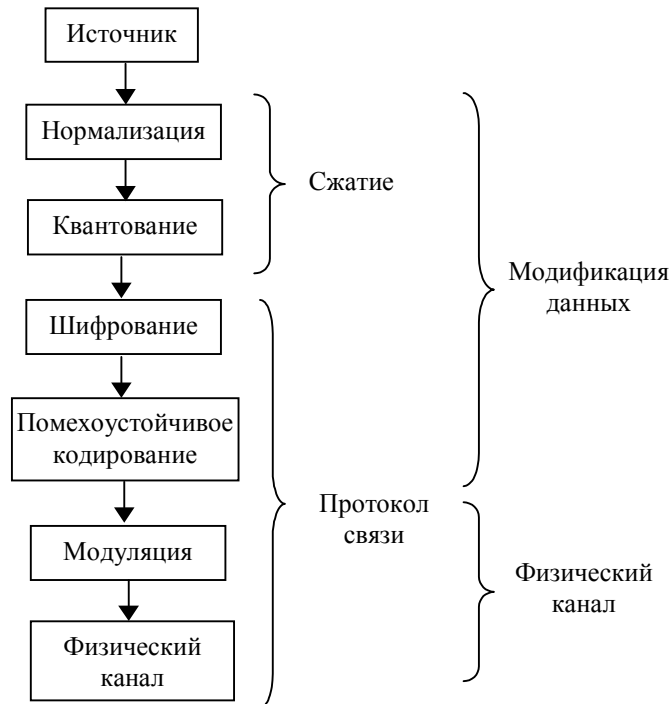


Рис. 2

Приведенная детальная схема демонстрирует последовательность этапов подготовки (модификации) данных и передачи их по физической среде; при этом протокол связи определяется не только типом модуляции, но и всеми этапами преобразования данных.

Ограничения условий функционирования каналов связи. Введем следующие обозначения: X , Y — битовая последовательность данных источника и приемника соответственно; S_X , S_Y — скорость потока данных источника и приемника соответственно, бит/с; L_X , L_Y — длина битовой последовательности данных источника и приемника соответственно, бит; $S(t)$ — динамическая скорость потока данных в момент времени t , бит/с.

При однократной передаче сообщения будем считать $0 < S_X < S_{\max}$, т.е. скорость потока S_X ограничена сверху физическими возможностями источника (скоростью считывания S_{\max}).

В случае необходимости передачи сообщения в реальном времени (периодической) существуют следующие ограничения: $S_{\min} < S_X < S_{\max}$; при этом S_{\min} — скорость передачи данных, ограниченная особенностями передаваемого контента. Так, например, при передаче видеоданных скорость потока задана видеостандартом: $S_X = S_{\min} = S_{\max}$.

В соответствии с определением цифровой коммуникации [1] передаваемые данные должны быть приняты неизменными, т.е. $X=Y \Rightarrow L_X=L_Y$, что позволяет записать следующее ограничение на параметры цифрового канала связи:

$$C\tau \geq L_X,$$

где C — пропускная способность цифрового канала, τ — время передачи данных.

Используя это соотношение, можно оценить необходимую минимальную пропускную способность канала для сообщения X при заданном времени передачи τ или минимальное время передачи при заданной пропускной способности канала C .

Основное свойство цифрового канала связи — возможность управления параметрами передачи данных в целях оптимизации времени передачи и скорости канала — определяется как

$$\int_{\tau} S(t)dt \leq C\tau \text{ или } \sum_{\tau} S(t)\Delta t \leq C\tau,$$

где $\Delta t=L_X/S_X$ — временной отрезок, на котором значение S постоянно.

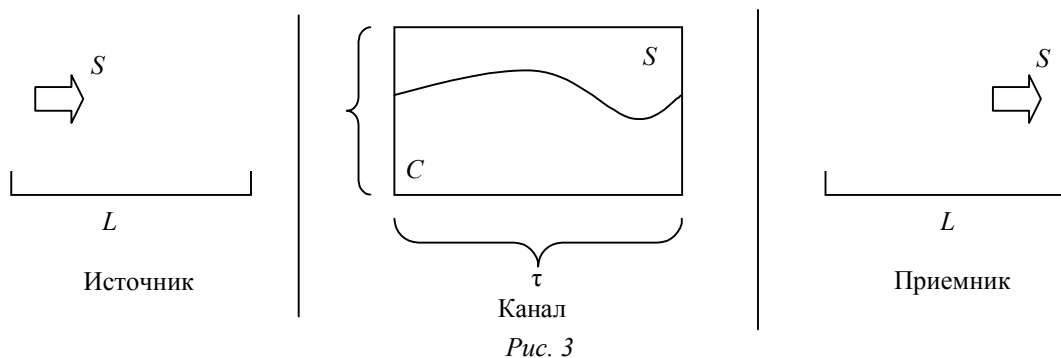
Этим свойством определяется возможность передачи потока данных, скорость которого в некоторые моменты времени может превышать пропускную способность канала: $S(t) > C$.

Учитывая постулат Колмогорова о существовании программы p для передачи последовательности X [2], причем $L(p) \leq L_X$ (в худшем случае последовательность X будет представлена в виде программы „вывода самой себя“ с накладными расходами δ), получаем соотношение

$$S(t) + \delta \leq S_X \Rightarrow C \leq S_X.$$

При однократной передаче данных $\delta \leq C$, а при периодической — $C \sim E$, где E — энергетические затраты на организацию канала с пропускной способностью C .

Приведенные соотношения, определяющие ограничения пропускной способности каналов, можно представить графически (рис. 3).



Заключение. Сформулированные базовые ограничения, накладываемые на функционирование каналов, позволили реализовать ряд алгоритмов для организации подготовки к передаче и компрессии данных [3—5], а также сформулировать утверждение о возможности компенсации недостаточной пропускной способности канала путем увеличения времени передачи данных в случае, когда параметры физического канала не обеспечивают необходимых потребностей [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. В., Кулешов С. В., Цветков О. В. Цифровая технология инфокоммуникации. Передача, хранение и семантический анализ текста, звука, видео. СПб: Наука, 2008. 244 с.
2. Колмогоров А. Н., Успенский В. А. К определению алгоритма // Успехи математических наук. 1958. Т. 13, вып. 4. С. 3—28.

3. Кулешов С. В. Реконфигурируемая коммуникационная платформа передачи радиолокационных данных // Вопр. радиоэлектроники. 2010. Вып. 1. С.173—177.
4. Кулешов С. В. Методы оптимизации энергопотребления при организации цифровых каналов связи // Материалы Пятой науч.-практ. конф. „Перспективные системы и задачи управления“. Таганрог: Изд-во Южн. фед. ун-та, 2010. С. 226.
5. Кулешов С. В. Формат представления реальных трехмерных сцен для объемного телевидения (True3D Vision) // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7, № 4. С. 49—52.
6. Александров В. В., Кулешов С. В., Цветков О. В. Концепция программируемой технологии цифровой теории связи: от герц к бит/с // Там же. 2007. Т. 5, № 6. С. 62—72.

Сведения об авторе

Сергей Викторович Кулешов

— канд. техн. наук; СПИИРАН, лаборатория автоматизации научных исследований; E-mail:kuleshov@iiias.spb.su

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию
09.07.10 г.