

Гибридные кодеки и их применение в цифровых программируемых каналах передачи данных

© Авторы, 2012

С. В. Кулешов

*к.т.н., ст. науч. сотрудник, лаборатория «Автоматизация научных исследований»,
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН)
E-mail: kuleshov@iias.spb.su*

Рассмотрен подход к организации программируемых каналов передачи данных на основе сепарации представления цифрового контента и использования гибридных кодеков – динамически реконфигурируемых кодеров-декодеров, осуществляющих компрессию битового потока данных.

Ключевые слова: кодек, битовый поток, компрессия данных.

The paper considers the approach to programmable data channels based on the separation of digital content representation and hybrid codecs using. Hybrid codecs is dynamically reconfigurable codec to compress the bit stream.

Keywords: codec, bit stream, data compression.

История развития технологий передачи и обработки данных показала целесообразность применения специализированных методов и алгоритмов кодирования данных, подлежащих передаче. Именно узкая специализация методов направлена на решение оптимизационных задач энергоинформационной эффективности.

Так, например, алгоритм Э.Д. Витерби, служивший средством фильтрации сигнала от помех канала, был разработан для кодирования аудиоданных в рамках задачи передачи голоса [1]. Метод, предложенный В.В. Александровым, был направлен на решение задачи кодирования и распознавания изображений, используя эквидистантные свойства матрицы Адамара [2]. Известно также множество методов, объединенных стандартом MPEG, ориентированных на преобразование видеоданных с целью минимизации их битового описания.

Развитие технологических возможностей процессорной обработки цифровых данных при одновременном создании теоретических основ управления цифровыми информационными объектами [3] позволяет унифицировать проблему построения систем кодирования-декодирования цифровых данных (кодеков), что, в свою очередь, позволяет организовывать программируемые каналы связи [4] и инфраструктурные системы информационного обмена.

Рассмотрим актуальную задачу инфокоммуникационного взаимодействия, заключающуюся в необходимости передавать по физическому каналу с заданной пропускной способностью различные мультимедийные данные. С одной стороны, пересылка однородного контента, имеющего значительный удельный объем (например, видеоданных), требует использования методов компрессии, ориентированных именно на такой тип контента, а с другой стороны, универсальность коммуникационной среды предполагает возможность передачи разнородного типа контента. Одновременно с этим всегда остается возможность появления потенциально новых типов контента, которые также необходимо эффективно передавать, что возможно только с использованием компрессии.

Для решения этой задачи предложен метод сепарации контента. Суть сепарации контента состоит в том, что в рамках цифровой программируемой технологии инфокоммуникации (т.е. такой коммуникации, при которой в передаваемом потоке данных предполагается наличие семантического компонента [5]) любой цифровой информационный объект (ЦИО) может быть представлен в виде двух независимых компонентов: программа восстановления контента из битового потока и передаваемого (храняемого) битового потока для инициализации программы восстановления с целью генерации заданного объекта (рис. 1).

Практическая ценность сепарации контента заключается в возможности однократной передачи программы восстановления P_1 , и многократной передачи потока инициализации программы P_1

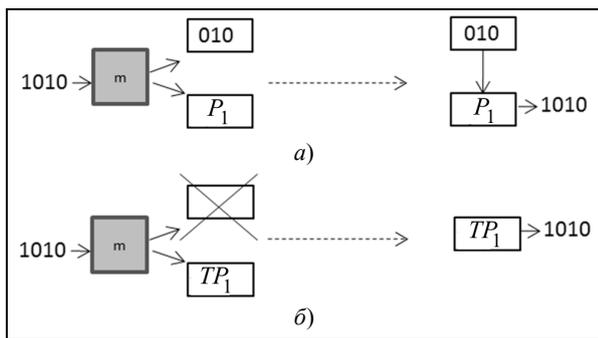


Рис. 1. Принцип сепарации представления ЦИО на транспортный поток и порождающую программу P (а), случай представления ЦИО в виде терминальной программы (ТР), не использующей входные данные (б)

(рис. 1,а). В случае изменения типа передаваемых данных производится передача программы P_2 , за которой следует передача соответствующих инициализирующих потоков.

Программа P_i может быть сформирована на передающей стороне каждый раз под конкретный тип данных, подлежащих передаче, и передана по каналу непосредственно перед инициализирующим потоком. В случае использования типов данных, предварительно оговоренных некоторым стандартом (в этом случае на принимающей стороне имеется набор стандартных программ восстановления), возможна передача только индекса i в качестве идентификатора программы P_i , требуемой для восстановления цифрового информационного объекта.

Предельным случаем такого отдельного представления является использование программы восстановления контента, не использующей входные данные (порождающей программы, терминальной программы). При этом битовый поток для инициализации не используется, а весь контент содержится внутри терминальной программы [6], генерирующей битовое представление ЦИО (рис. 1,б).

Д. Хофштадтер в [7] рассматривает схожий вопрос разделения информационного представления в следующем контексте «Где содержится больше информации – в пластинке или в патефоне?» Этот вопрос возникает при описании пластинки с некоторой оригинальной записью, которая будучи проиграна на разных патефонах, воспроизводит две различные мелодии. Естественно говорить об извлечении музыки с пластинки как о «раскрытии» содержащейся в данной записи ее содержания.

Практическим примером реализации принципа сепарации является представление видеоданных сервиса YouTube, когда программа восстановления (плеер) передается по протоколу http и является приложением Adobe Flash в формате SWF, а собственно видефрагмент передается также по протоколу http в виде транспортного потока в формате FLA.

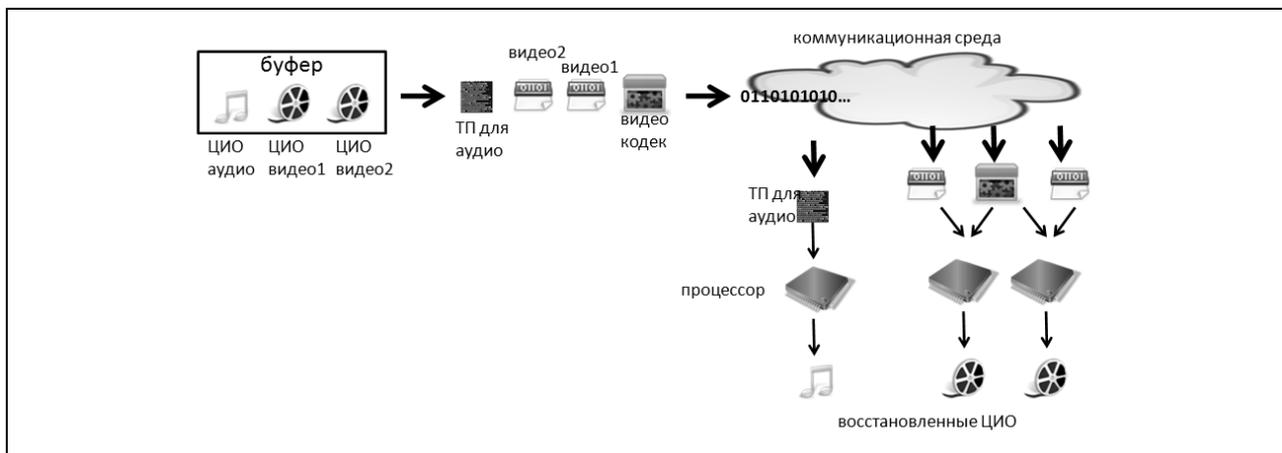


Рис. 2. Иллюстрация использования терминальных программ и принципа сепарации контента для инфокоммуникации

С точки зрения технологического решения организации процесса инфокоммуникации с использованием сепарации контента, предлагается использовать понятие гибридного кодера.

Впервые понятие гибридного кодера предложено автором в [8]. *Гибридный кодек* (кодер/декодер) – блок преобразования данных, оптимизирующий некоторую характеристику передаваемых по цифровому каналу данных, причем такой блок построен из последовательности унифицированных элементов, каждый из которых реализует определенный этап обработки (рис. 3), а конкретное сочетание блоков оптимизировано под конкретную целевую задачу.

Пусть M_1, M_2, \dots, M_K – функциональные классы модулей, где K – общее число этапов обработки.

В рамках гибридного кодека требуется выполнение следующих условий согласования интерфейсов для функциональных классов модулей:

$$F(M_i^{out}) \equiv F(M_{i+1}^{in}), 1 < i < K,$$

где $F(X^{in})$ и $F(X^{out})$ – формат входного и выходного интерфейса элемента X соответственно; $F(M_1^{in}) \equiv F(src)$ – условие согласованности интерфейса первого модуля и интерфейса источника, где $F(src)$ – формат данных, определяемый спецификацией источника данных (сенсором); $F(M_K^{out}) \equiv F(channel)$ – условие согласованности интерфейса последнего модуля и интерфейса канала, где $F(channel)$ – формат данных, определяемый спецификацией канала.

Условие согласования интерфейсов требует эквивалентности по структуре данных (формату) и программе обработки (протоколу) и ограничивает множество допустимых коммутаций между модулями. В случае программной реализации модулей формат интерфейса аналогичен описанию ABI (Application Binary Interface – двоичного интерфейса приложений). В случае аппаратной реализации формат интерфейса дополняется описанием физических характеристик (тактовая частота, количество линий данных и служебных линий и некоторые другие).

Пусть имеются реализации методов $m_{i,j}$ для каждого класса методов $m_{i,j} \in M_i$. Специально вводится пустой метод $m_{i,0} = \circ$, не производящий никаких действий, кроме обеспечения согласования интерфейсов предыдущего и последующего модулей $F(M_{i-1}^{out}) \equiv F(M_{i+1}^{in})$.

Конфигурацией кодека будем называть упорядоченный набор $C := (m_1, m_2, \dots, m_K)$, где m_i – конкретная реализация метода из класса M_i .

При построении гибридного кодека требуется выполнение условия совместимости модулей по входным и выходным интерфейсам. Такая совместимость может быть реализована следующими способами:

- 1) полная унификация модулей;
- 2) частичная попарная унификация между функциональными классами модулей;
- 3) частичная попарная унификация между экземплярами модулей.

Полная унификация является наиболее общим и универсальным способом, но является функционально избыточной, так как в реальных кодеках последовательность действий по преобразованию данных фиксирована. Кроме того, техническая реализация системы, построенной по принципам полной унификации модулей, часто не эффективна в связи с увеличением накладных расходов на преобразование данных к единому формату (часто с использованием формального контейнера). В случае аппаратной реализации такой способ требует организации конфигурируемой шины между модулями с топологией соединений «каждый с каждым», которая потребует неоправданно большого количества аппаратных ресурсов на кристалле.

Частичная попарная унификация между экземплярами модулей устраняет проблемы полной унификации, но усложняет задачу конфигурирования кодека, ограничивая число возможных вариантов модуля только интерфейсно-совместимыми вариантами.

В качестве компромиссной и рекомендуемой к практическому использованию для построения гибридных кодеков предлагается частичная унификация в рамках функционального класса модулей. Классы модулей определяются в соответствии с этапами преобразования данных в кодеке (рис. 4). Такой подход обоснован тем, что обеспечивается универсальность без повышения накладных расходов на реализацию.

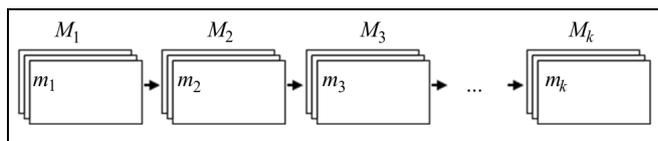


Рис. 3. Структура гибридного кодека



Рис. 4. Функциональные классы модулей в кодеке (этапы обработки)

С другой стороны, такой подход может потребовать наличия модулей-заглушек (модулей, обеспечивающих конвертацию из входного формата в выходной, соответствующих спецификации заданного класса без осуществления полезной работы) в случае отсутствия соответствующего этапа в разрабатываемом гибридном кодеке.

Техническая проблема организации цифровых каналов заключается в сложности реализации мультистандартных устройств, способных работать как в рамках нескольких различных стандартов связи, так и будучи оптимизированными под определенные виды контента. Типовым решением является включение в состав устройства существующих типов модулей, необходимых для поддержки многообразия доступных протоколов связи. Такой способ повышает сложность коммуникационной системы и стоимость конечного продукта.

Решением проблемы может быть использование программируемых каналов [4], которые позволяют создавать решения с реконфигурируемой архитектурой на базе гибридных кодеков, способных изменять свою функциональность посредством программного конфигурирования или обновления встроенного программного обеспечения.

Примеры реализаций базовых этапов гибридных кодеков, отвечающих за уменьшение объема битового потока, (без шифрования и помехоустойчивого кодирования) для различных типов информационного контента приведены в табл. 1.

Таблица 1. Типовые реализации этапов в гибридных кодеках

Тип контента	Нормализация	Семантическая редукция	Вторичное сжатие
Видео	2D-ДКП, 3D-ДКП [9], вейвлет-преобразования	Квантование + зиг-заг сканирование	Сжатие Хаффмана, LZW, ZIP (deflate)
Изображения	2D-ДКП, пирамидальное представление [10]	Квантование + зиг-заг сканирование	арифметическое сжатие и т.п.
Текст	Нормализация текста [11]	Фильтрация семантического окружения	

Заключение

Описанная технология на основе гибридных кодеков может стать полезным инфраструктурным решением, являясь надстройкой над известной моделью ISO/OSI, будучи ориентированной на данные, содержащие контент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витерби А.Д., Омура Дж.К. Принципы цифровой связи и кодирования. М.: Радио и связь. 1982.
2. Александров В.В., Полонников Р.И. Об одном способе решения задачи опознавания объектов // Изв. АН СССР «Техническая кибернетика». 1967. № 1. С. 92–102.
3. Александров В.В., Кулешов С.В., Цветков О.В. Концепция программируемой технологии цифровой теории связи: от герц к бит/с // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. № 6. Т. 5. С. 62–72.
4. Кулешов С.В. Программируемый канал для организации передачи сенсорных данных // Радиотехника. 2011. № 6. С. 56–58.

-
5. *Александров В.В., Кулешов С.В., Цветков О.В.* Цифровая технология инфокоммуникации. Передача, хранение и семантический анализ текста, звука, видео. СПб.: Наука. 2008.
 6. *Александров В.В., Кулешов С.В.* Этерификация и терминальные программы // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008. № 10. Т. 6. С. 50–53.
 7. *Хофштадтер, Д. Гедель, Эшер Бах.* Эта бесконечная гирлянда. Издательство: Бахрах-М. 2001.
 8. *Кулешов С.В.* Программируемый канал для организации передачи сенсорных данных // Радиотехника. 2011. № 6. С. 56–58.
 9. *Кулешов С.В.* Пространственно-временное представление, обработка и компрессия видеопотока // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008. Т. 6. № 4. С. 33–37.
 10. *Кулешов С.В., Зайцева А.А., Аксенов А.Ю.* Ассоциативно-пирамидальное представление данных // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008. Т. 6. № 4. С. 14–17.
 11. *Боумедин Шаннаг, Кокорин П.П., Щелкунова Е.В.* Алгоритм нормализации и онтологической кластеризации текстов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 7. С. 60–63.

Поступила 1 марта 2012 г.

Hybrid Codecs and Application in Digital Programmed Data Transmission Channels

© Authors, 2012

S.V. Kuleshov

The history of technology data transfer and processing shows a transition from the specialized methods and algorithms for encoding data to be transmitted to unified systems. The idea of separation is something in common in a homogeneous flow of data content and its transmission once led to the development of the principle of separation of content delivery. In terms of technological solutions organize the process of separation with the use of info-communications presentation, it is proposed to use the concept of hybrid codec. Hybrid codec pack is called the transformation of data transmitted via a digital data channel, and this unit is constructed of a series of standardized elements, each of which implements a particular stage of processing, and a specific combination of units is optimized for a specific target. Technology-based hybrid codec can be a useful infrastructure solution, being focused on the data, being built on top of the well-known model ISO/OSI.