

УДК 621.391

Н.А. Штомпель

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Рассмотрены особенности построения телекоммуникационной инфраструктуры при переходе к информационному обществу. Представлены направления развития и классификация методов помехоустойчивого кодирования информации, применяемых в современных телекоммуникационных технологиях.

Ключевые слова: телекоммуникации, помехоустойчивые коды, кодирование, декодирование.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

Одним из обязательных условий развития информационного общества в Украине является постоянное совершенствование национальной телекоммуникационной инфраструктуры. Для этого при построении телекоммуникационных систем и сетей разных видов необходимо использовать современные телекоммуникационные технологии, стандарты и протоколы, которые реализуются с помощью цифрового оборудования [1]. При этом телекоммуникационная инфраструктура должна удовлетворять ряду требований, среди которых важное значение имеет обеспечение заданной достоверности передачи информации. Типовым подходом к решению данной задачи является применение помехоустойчивых кодовых конструкций [2]. Гетерогенность существующей телекоммуникационной инфраструктуры и отличия в требованиях к достоверности передаваемой информации в зависимости от вида телекоммуникационной услуги приводят к необходимости разработки и использования различных методов помехоустойчивого кодирования и декодирования информации [3]. При этом актуальной задачей является определение тенденций развития методов помехоустойчивого кодирования информации с учетом особенностей существующей телекоммуникационной инфраструктуры для обеспечения дальнейшего развития информационного общества в Украине.

Целью статьи является определение тенденций развития и областей применения различных методов помехоустойчивого кодирования информации.

Изложение основного материала

Национальная телекоммуникационная инфраструктура состоит из совокупности проводных и беспроводных телекоммуникационных систем и сетей. Телекоммуникационные сети принято разделять на транспортные сети и сети доступа. При этом назначение транспортной сети заключается в соединении между собой сетей доступа. В Украине транспортные сети строятся с использованием различных проводных телекоммуникационных технологий на основе воло-

конно-оптических линий связи. При технической реализации данных сетей наибольшее распространение получили системы передачи информации на основе технологии синхронной цифровой иерархии и технологии спектрального уплотнения каналов. В свою очередь, сети доступа предназначены для организации возможности подключения конечного оборудования пользователей к ближайшим элементам транспортной сети. Построение сетей доступа осуществляется в соответствии с особенностями территориального размещения пользователей, существующими техническими возможностями и характеристиками требуемых телекоммуникационных услуг. В связи с этим сети доступа характеризуются значительным разнообразием используемых телекоммуникационных технологий. Например, для реализации подключения пользователей в сельской местности или частном секторе городов широкое распространение получили системы передачи информации на основе технологии цифровой абонентской линии и технологии пассивных оптических сетей. Подключение пользователей в городах наиболее часто осуществляется на основе технологии Ethernet из-за простоты технической реализации и низкой стоимости. Ключевую роль в национальной телекоммуникационной инфраструктуре играют системы подвижной (мобильной) связи разных поколений, которые быстро развиваются и позволяют предоставить телекоммуникационные услуги большому числу пользователей. Также широкое применение в локальных телекоммуникационных сетях и для подключения пользователей в общественных местах получили беспроводные технологии, например, на основе стандарта IEEE 802.11. Технологии спутниковой связи используются для построения сетей специального назначения или при отсутствии другой технической возможности для подключения пользователей.

Характерной чертой современных телекоммуникаций является конвергенция проводных и беспроводных телекоммуникационных сетей на основе пакетных технологий (в основном с использованием стека протоколов TCP/IP), необходимость обеспечения высокоскоростной передачи больших объемов мультимедийной информации (речи, видео, данных), а также ис-

пользования пользователями в качестве конечного оборудования различной компьютерной техники [1].

Из рассмотренного выше материала следует, что техническая реализация национальной транспортной инфраструктуры основана на множестве телекоммуникационных технологий. При этом для удовлетворения растущих требований к достоверности передаваемой информации в данных технологиях используются различные методы помехоустойчивого кодирования. Ниже рассмотрены варианты реализации защиты от ошибок в наиболее популярных телекоммуникационных технологиях.

В волоконно-оптических технологиях транспортных сетей применяются следующие кодовые конструкции:

- двоичные и недвоичные алгебраические блочные коды (коды БЧХ, коды Рида-Соломона);
- последовательные каскадные коды на основе алгебраических блочных кодов и сверточных кодов;
- коды с малой плотностью проверок на четность;
- блочные коды производства.

В настоящее время в данных технологиях декодирование практически всех этих кодовых конструкций осуществляется на основе жестких решений с использованием алгебраических, вероятностных и итеративных процедур [4]. Развитие когерентных волоконно-оптических систем передачи информации обуславливает перспективность итеративных методов мягкого декодирования, применяемых совместно с кодами с малой плотностью проверок на четность и турбоподобными кодовыми конструкциями.

Радиотехнологии сетей подвижной (мобильной) связи в качестве механизмов повышения достоверности передачи информации используют: сверточные коды; последовательные каскадные коды на основе алгебраических блочных кодов и сверточных кодов; параллельные каскадные коды на основе сверточных кодов (турбокоды); коды с малой плотностью проверок на четность; блочные коды производства; полярные коды.

Первоначально в данных технологиях ключевую роль играли сверточные кодовые конструкции, особенностью которых является простота реализации декодирования на основе мягких решений с использованием вероятностных процедур. Следует отметить, что применение в составе последовательных каскадных кодов алгебраических блочных кодов, декодируемых на основе жестких решений с использованием алгебраических процедур, существенно снижает их эффективность. Декодирование остальных кодовых конструкций, которые применяются в системах подвижной (мобильной) связи новых поколений, основано на мягких решениях с использованием итеративных процедур [5, 6].

В технологиях цифровых абонентских линий сетей доступа широкое распространение получили недвоичные алгебраические блочные коды – коды

Рида-Соломона, декодирование которых преимущественно осуществляется на основе жестких решений. В настоящее время для повышения спектральной эффективности данных технологий осуществлен переход к методам решетчатой кодовой модуляции с использованием сверточных кодов, допускающих мягкое вероятностное декодирование. Также в данных технологиях применяются последовательные каскадные кодовые конструкции на основе кодов Рида-Соломона и сверточных кодов [7]. Кроме того, последний вариант кодовых конструкций находит широкое применение в технологиях спутниковой связи. В качестве альтернативы ранее в данных технологиях применялись сверточные коды с последовательным декодированием на основе вероятностных процедур. В настоящее время в технологиях спутниковой связи применяются турбоподобные кодовые конструкции, допускающие итеративное декодирование [8].

Основным способом повышения достоверности передачи информации в беспроводных технологиях локальных телекоммуникационных сетей является использование сверточных кодов совместно с мягким декодированием на основе вероятностных процедур. В современных высокоскоростных вариантах данных технологий также применяются итеративно декодируемые коды с малой плотностью проверок на четность [5].

Приведенные выше методы помехоустойчивого кодирования информации применяются на физическом уровне модели взаимодействия открытых систем. В телекоммуникационных сетях на основе пакетных технологий передачи информации помехоустойчивые коды также применяются на более высоких уровнях данной модели – канальном, сетевом и транспортном. Первоначально в телекоммуникационных сетях на основе стека протоколов TCP/IP помехоустойчивые коды использовались только для обнаружения ошибок в принятых пакетах с последующим применением методов повторной передачи. Наибольшее распространение для решения данной задачи получили циклические избыточные коды. В современных пакетных технологиях для обнаружения ошибок в пакетах также применяются более эффективные коды с малой плотностью проверок на четность [2].

Новым оригинальным подходом к восстановлению пакетов целиком является использование фонтанных кодов совместно с итеративным декодированием на прикладном уровне модели взаимодействия открытых систем. Наиболее популярными представителями кодов данного класса являются:

- коды Лаби;
- последовательные каскадные кодовые конструкции на основе кодов с малой плотностью проверок на четность и кодов Лаби (коды «Raptor») [9].

Таким образом, на основе проведенного анализа классификацию кодовых конструкций, приме-

няемых в современных телекоммуникационных технологиях для исправления ошибок, можно пред-

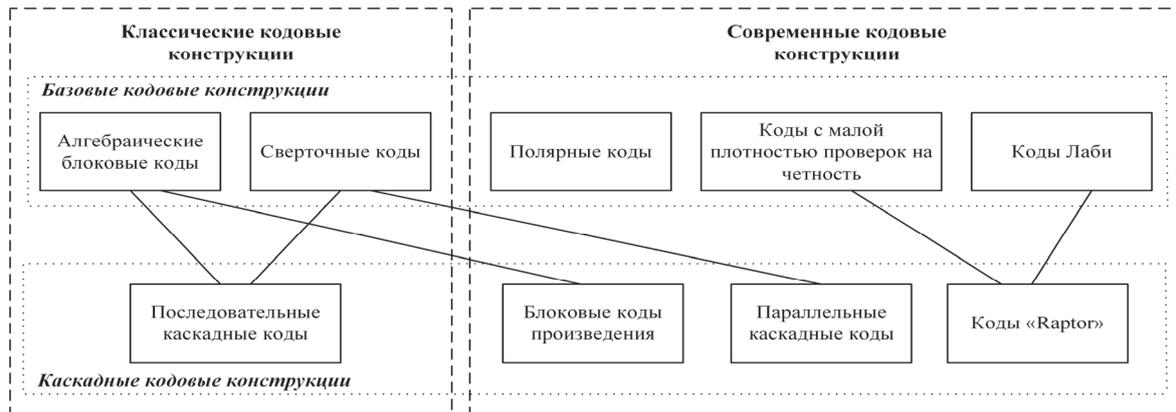


Рис. 1. Классификация кодовых конструкций

Из рис. 1 следует, что в современных телекоммуникационных технологиях классические базовые коды применяются только в составе более эффективных турбоподобных каскадных конструкций. Также с учетом особенностей развития телекоммуникационных технологий предложены новые базовые конструкции, применяемые как отдельно, так и в качестве элементов каскадных конструкций. Эволюция подходов к декодированию кодовых конструкций заключается в переходе от алгебраического жесткого декодирования и вероятностного мягкого декодирования к итеративному декодированию, позволяющему использовать как жесткие, так и мягкие решения. При этом итеративный принцип обработки информации можно рассматривать как универсальный подход к декодированию различных кодовых конструкций.

Выводы

Переход к информационному обществу в Украине требует усовершенствования телекоммуникационной инфраструктуры и обеспечения высокой достоверности передаваемой информации.

Развитие методов помехоустойчивого кодирования информации, применяемых в современных телекоммуникационных технологиях, основано на использовании более эффективных базовых и каскадных кодовых конструкций совместно с итеративным декоди-

рованием на основе жестких и мягких решений.

Список литературы

1. Льченко М.Ю. *Сучасні телекомунікаційні системи* / М.Ю. Льченко, С.О. Кравчук. – К.: НВП Видавництво «Наукова думка» НАН України. – 328 с.
2. Морелос-Сарагоса Р. *Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение: пер. с англ.* / Р. Морелос-Сарагоса. – М.: Техносфера, 2005. – 320 с.
3. Ryan W. *Channel Codes: Classical and Modern* / W. Ryan, S. Lin. – New York: Cambridge University Press, 2009. – 692 p.
4. Djordjevic I.B. *Next Generation FEC for High-Capacity Communication in Optical Transport Networks* / I.B. Djordjevic, M. Arabaci, L.L. Minkov // *Journal of Lightwave Technology*. – 2009. – Vol. 27. – № 16. – P. 3518-3530.
5. Вишне夫斯基 В.М. *Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G* / В.М. Вишне夫斯基, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
6. Dahlman E. *4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G: Third Edition* / E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold. – Academic Press, 2016. – 616 p.
7. Starr T. *DSL Advances* / T. Starr, M. Sorbara, J.M. Cioffi, P.J. Silverman. – Prentice Hall, 2003. – 561 p.
8. Pratt T. *Satellite Communications: 2nd Edition* / T. Pratt, C.W. Bostian, J.E. Allnut. – Wiley, 2006. – 560 p.
9. Shokrollahi A. *Raptor codes* / A. Shokrollahi // *IEEE Transactions on Information Theory*. – 2006. – Vol. 52. – № 6. – P. 2551-2567.

Поступила в редколлегию 3.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.І. Приходько, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков.

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

М.А. Штомпель

Розглянуто особливості побудови телекомунікаційної інфраструктури при переході до інформаційного суспільства. Представлені напрями розвитку та класифікація методів завадостійкого кодування інформації, що застосовуються у сучасних телекомунікаційних технологіях.

Ключові слова: телекомунікації, завадостійкі коди, кодування, декодування.

DEVELOPMENT TRENDS OF METHODS OF ERROR-CORRECTING CODING INFORMATION IN TELECOMMUNICATIONS

M. Shtompel

The features of construction of the telecommunication infrastructure in the transition to the information society are considered. The directions of development and classification of methods of error-correcting coding information which used in modern telecommunication technologies are presented.

Keywords: telecommunications, error-correcting codes, encoding, decoding.