

# Информационные технологии и оптимизация

УДК 621.391:519.72

## Итоги 25-летнего развития оптимизационной теории кодирования

© Авторы, 2016

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2016

**Ю.Б. Зубарев** – д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, советник ген. директора, ЗАО «МНИТИ» (Москва)

E-mail: osa@mniiti.ru

**В.В. Золотарёв** – д.т.н., профессор, вед. науч. сотрудник, ИКИ РАН (Москва)

E-mail: zolotasd@yandex.ru

**Г.В. Овечкин** – д.т.н., профессор, РГРГУ (Рязань)

E-mail: g\_ovechkin@mail.rutel

**П.В. Овечкин** – к.т.н., доцент, РГРГУ (Рязань)

E-mail: pavel\_ov@mail.ru

Дан обзор оптимизационной теории кодирования, являющейся основой для разработки многопороговых методов декодирования самоортогональных кодов. Показано, что разработанные двоичные МПД в гауссовских каналах обеспечивают сопоставимую или лучшую эффективность по сравнению с известными реализуемыми методами декодирования при в десятки раз меньшей вычислительной сложности. Отмечено, что разработанные символьные МПД, обладающие линейной от длины кода вычислительной сложностью, не зависящей от размера символа, обеспечивают исправление значительно большей доли символьных ошибок по сравнению с другими. Представлены результаты сравнения по эффективности методов коррекции ошибок в каналах со стираниями, из которых следует, что МПД-алгоритм демонстрирует успешную работу при отношении  $R/C \sim 0,96$  и более, что является уникальным достижением для алгоритмов с восстановлением стираний. Рассмотрены основные сложности современной теории и перспективные направления для дальнейшего развития оптимизационной теории кодирования.

**Ключевые слова:** системы передачи данных, помехоустойчивое кодирование, самоортогональные коды, многопороговые декодеры, оптимизационная теория кодирования, достоверность передачи данных.

Optimizing coding theory is discussed. The theory is base for development of multithreshold decoders (MTD) for self-orthogonal codes. The possibilities of MTD is compare with performance of most effective known error correction methods such as classical Viterbi decoders for convolutional codes, decoders for turbo and low-density parity-check codes. It's shown the developed MTDs provide bit error rate performance similar to or even better the performance of used in communication systems decoders with much less computational complexity. The methods for symbol error correction are discussed. It's shown known MTDs provide correction of more symbol errors in comparison with other methods. Yet computational complexity of symbol MTD is liners and isn't depend on symbol size. The results on performance estimation of error correction methods over erasure channels are presented. In the channels MTD provide effective erasures recovering at code rate to channel capacity ratio about 0,96 and upper. It is unique situation for erasure recovering algorithms. The main problems in coding theory is discussed and perspective ways for development of optimizing coding theory are noted.

**Keywords:** communication systems, error-correcting coding, self-orthogonal codes, multithreshold decoders, optimizing coding theory, data transmission reliability.

В 2015 г. исполнилось 25 лет со дня публикации материалов [1], в которых для очень простых по сегодняшним меркам кодов были доказаны многие основные положения оптимизационной теории кодирования, а позднее систематизированы и представлены в [2, 4, 6–9, 12, 14, 19]. На основе развития идей мажоритарного декодирования [5] оптимизационная теория позволила иначе взглянуть на проблему итеративной коррекции ошибок декодирования, методы которых были запатентованы в 1972 г. [11].

В настоящее время все основные этапы проектирования и исследования многопороговых методов декодирования (МПД) проводятся на основе оптимизационных процедур, роль и сложность которых быстро растет. При этом сложность самого метода МПД остается минимальной, линейно растущей с длиной кода. Однако с увеличением числа итераций характеристики МПД непрерывно улучшаются и при весьма небольшой сложности по сравнению с другими методами практически во всем диапазоне

