

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МНОГОПороГОВЫХ ДЕКОДЕРОВ В КАНАЛАХ СВЯЗИ С ЗАМИРАНИЯМИ

Золотарёв В.В.,

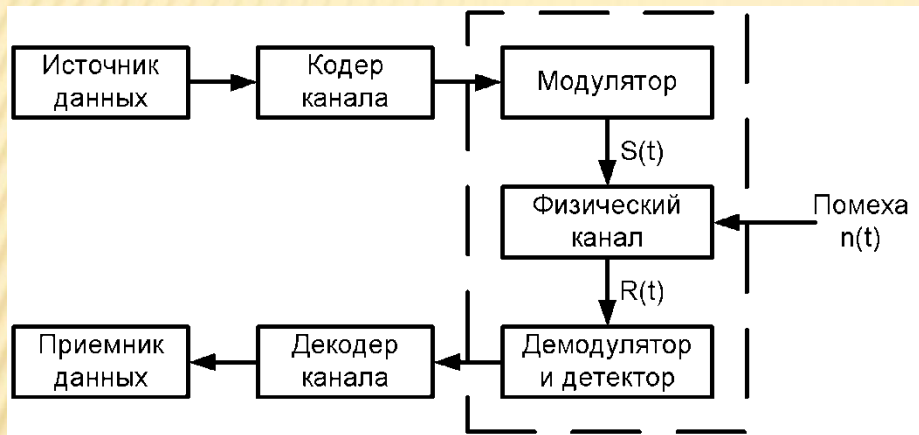
Институт космических исследований РАН

Овечкин Г.В., Шевляков Д.А.

Рязанский государственный радиотехнический университет



ЦЕННОСТЬ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ



Если $R < C$, то возможна передача информации со сколь угодно высокой достоверностью (теорема существования).

Для получения наибольшей эффективности коды должны быть длинными.

Основная проблема: декодирование помехоустойчивых кодов с близкой к предельной эффективностью при минимально возможной сложности реализации.

Применение помехоустойчивого кодирования позволяет получить энергетический выигрыш кодирования (ЭВК), каждый децибел которого оценивается в миллионы долларов в среднемасштабных системах.

$$G = (E_b/N_0)_{\text{без кодир.}} - (E_b/N_0)_{\text{с кодир.}}$$

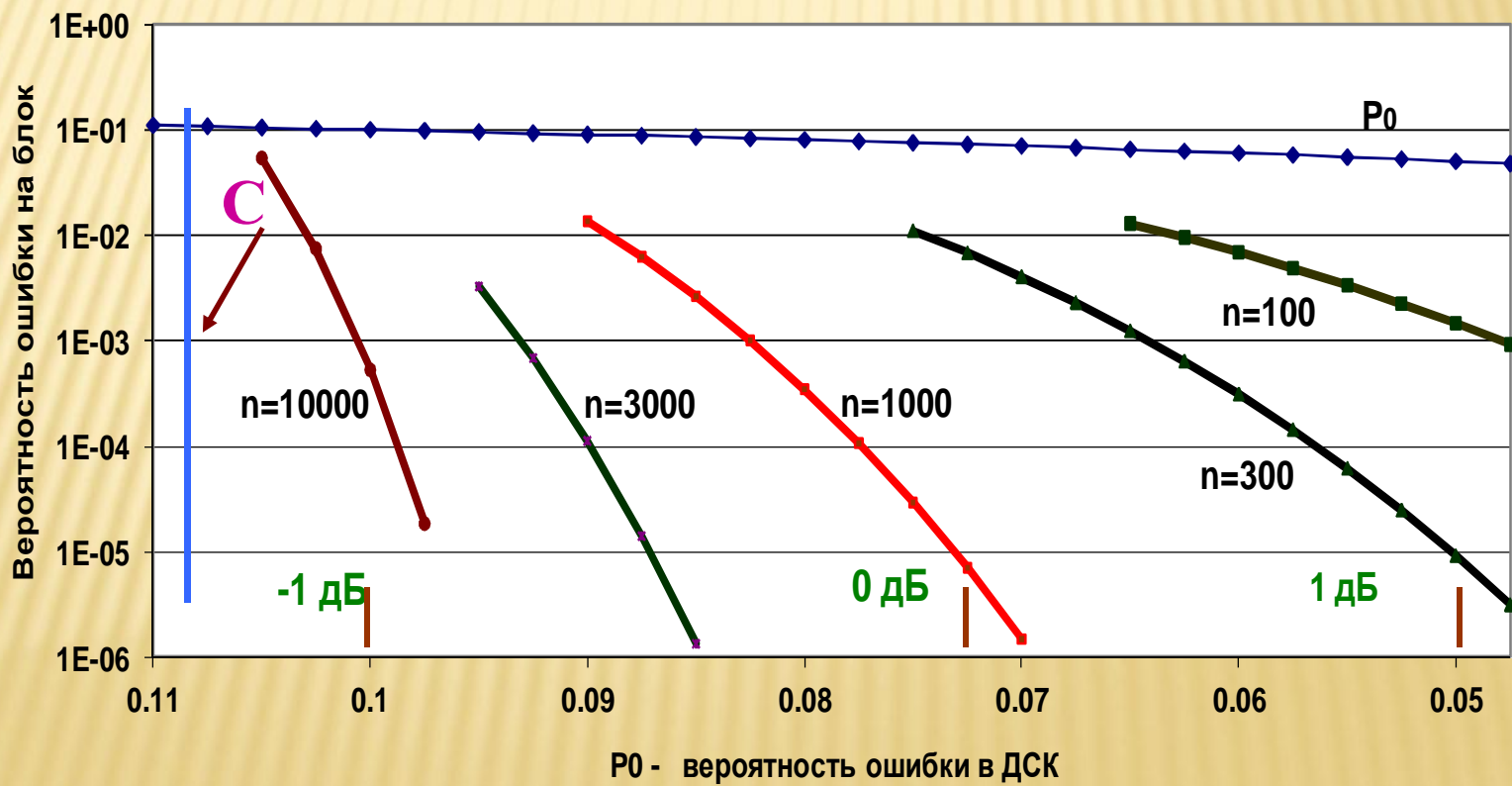
ЭВК в 3 дБ позволяет:

- снизить мощность передатчика в 2 раза;
- повысить скорость передачи данных на 50%;
- уменьшить размеры антенн на 30%;
- повысить дальность связи на 40%;
- уменьшить занимаемую полосу частот в 2 раза;
- снизить требования к уровню шума в канале на 3 дБ.

НИЖНИЕ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОШИБКИ ДЕКОДИРОВАНИЯ БЛОКОВЫХ КОДОВ С $R=1/2$

Даже коды длины $n=1000$ неэффективны при вероятности ошибки в канале $P_0 > 0.08$.

А теория утверждает, что можно успешно работать при $P_0 < 0.11$!!!
И это при 2^{500} вариантах решений!



СОВРЕМЕННЫЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ КОДЫ И МЕТОДЫ ИХ ДЕКОДИРОВАНИЯ

Сверточные коды с декодированием Витерби (3GPP LTE, Wi-Fi, TIA-1008, CCSDS).

Сверточные коды с последовательным декодированием (TIA-1008).

Коды Рида-Соломона (DVB, WiMAX, TIA-1008).

Внешний код Рида-Соломона и внутренний сверточный код (DVB-S, WiMAX, TIA-1008, CCSDS).

Турбо коды, построенные на основе сверточных кодов (3GPP LTE, DVB-S, WiMAX, CDMA-2000, UMTS, TIA-1008).

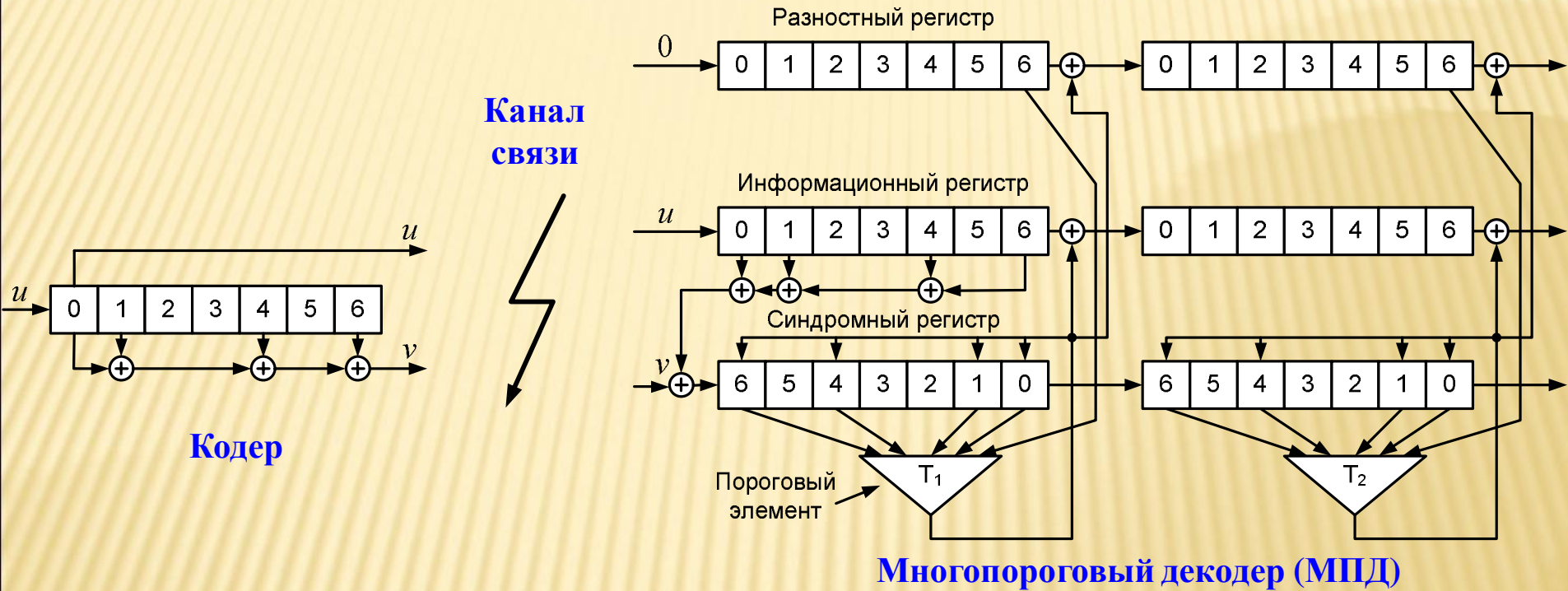
Турбо коды, построенные на основе блочных кодов (WiMAX, INTELSAT).

Двоичные и недвоичные низкоплотностные коды (DVB-S2, Wi-Fi, WiMAX).

Полярные коды.

Многопороговые декодеры двоичных и недвоичных самоортогональных кодов.

СХЕМА КОДЕРА И МНОГОПороГОВОГО ДЕКОДЕРА СВЕРТОЧНОГО КОДА С $R=1/2$



Многопороговый декодер является модификацией обычного порогового декодера Мессе.

МПД применяется для декодирования блочных и сверточных двоичных и недвоичных самоортогональных кодов .

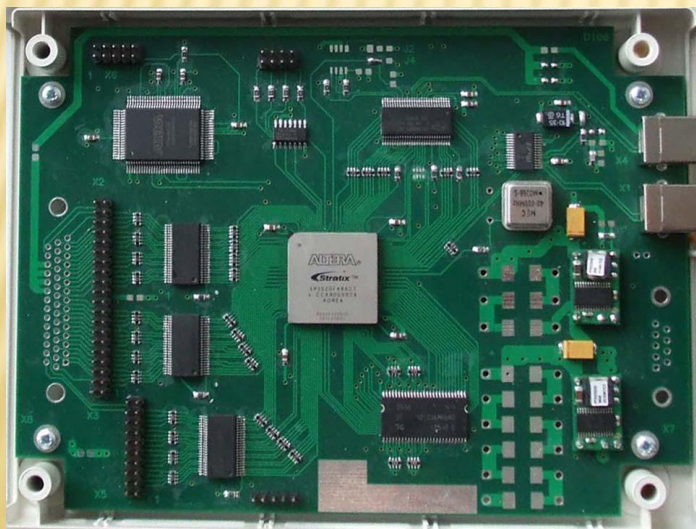
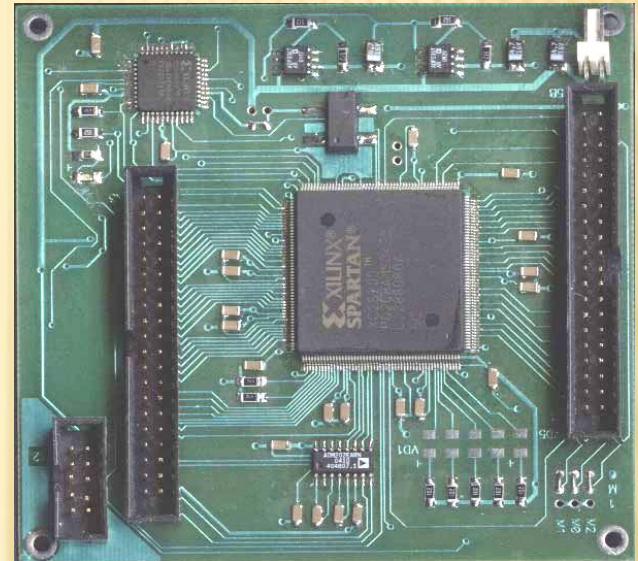
При каждом изменении декодируемых символов решение МПД приближается к оптимальному.

Сложность МПД – **линейная!** Сложность на бит $O(dI)$ и может быть уменьшена до $O(d+I)$.

Доказана основная теорема многопорогового декодирования.

ПЛИС МПД СВЕРТОЧНОГО КОДА

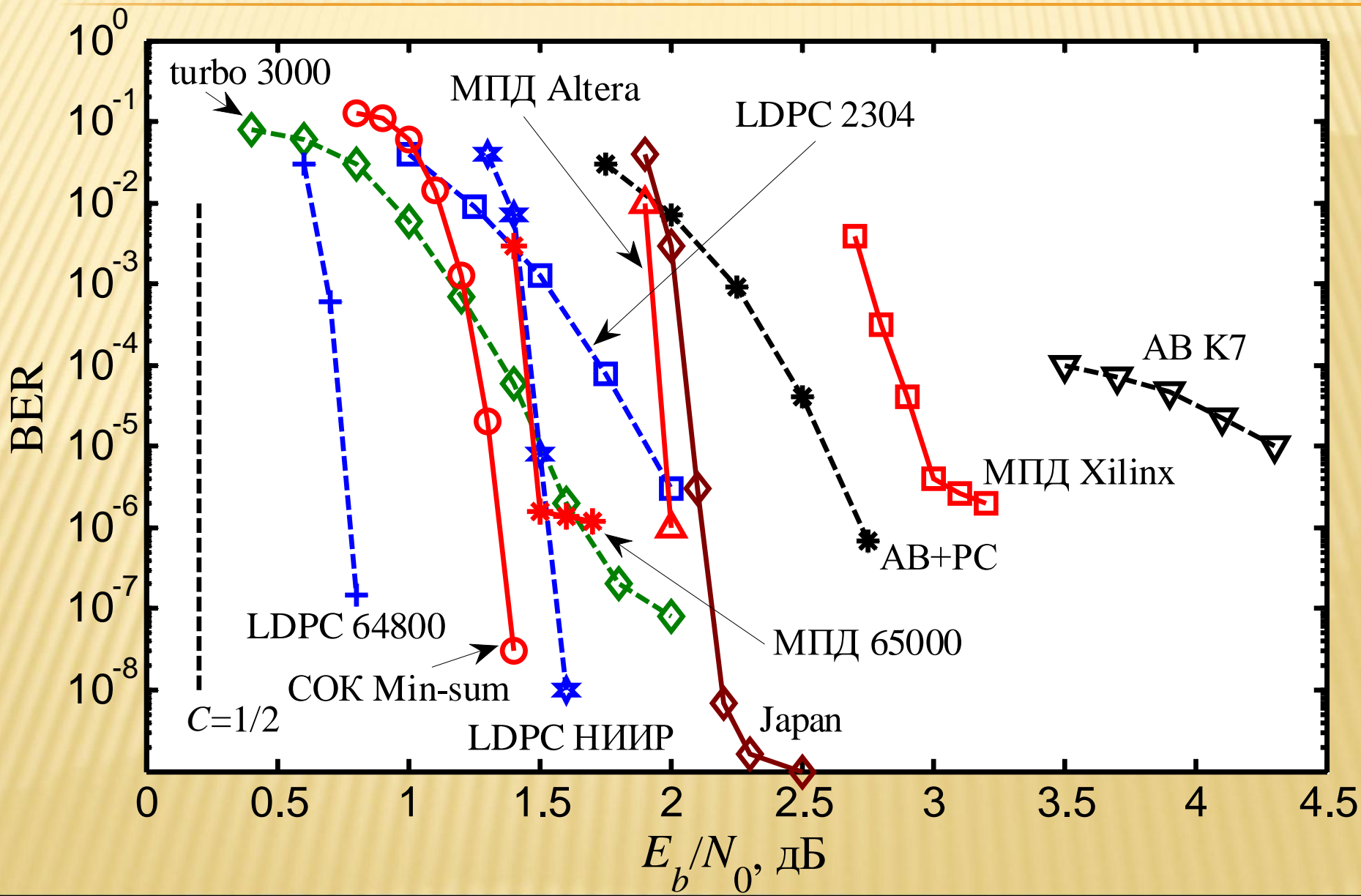
ПЛИС семейства Spartan-II типа XS2S200-PQ208 с эквивалентной емкостью 200000 системных вентиляей. Информационная скорость – 200 Мбит/с. Кодовая скорость – 1/2. Задержка декодирования – 10000 битов.



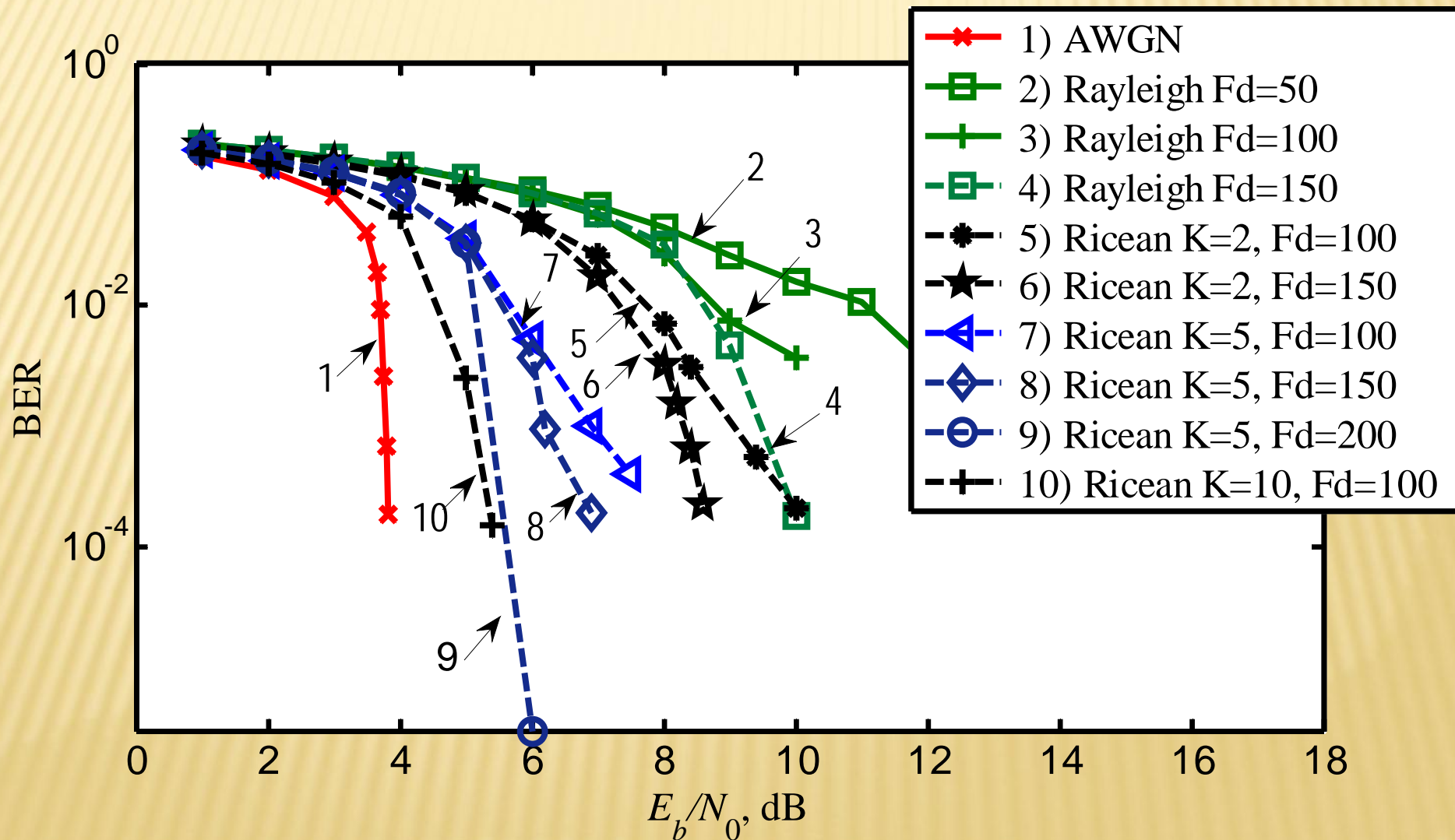
Кодек МПД создан на базе ПЛИС Altera Stratix EP1S20 (стоимость ПЛИС < 400\$).

Позволяет декодировать потоки данных с информационной скоростью свыше 1 Гбит/с. Обеспечивает ЭВК более 9 дБ.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СХЕМ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК С $R=1/2$ В ГАУССОВСКОМ КАНАЛЕ



ЭФФЕКТИВНОСТЬ СХЕМ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК С $R=1/2$ В КАНАЛАХ С ЗАМИРАНИЯМИ



Выводы

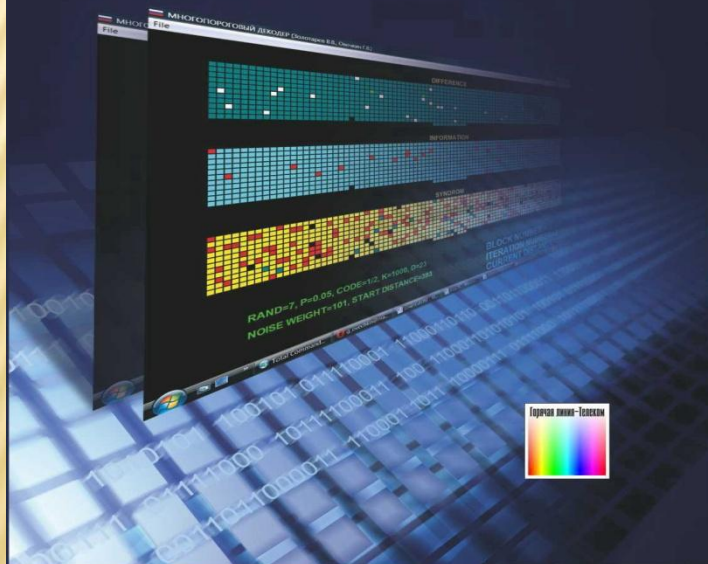
МПД позволяет работать при максимально возможных шумах канала на произвольно больших скоростях передачи. При равной эффективности ему требуется в десятки раз меньшее число операций, чем другим методам.

Аппаратные МПД на ПЛИС реализуют ЭВК в 9 дБ и более на скоростях свыше 1 Гбит/с, а программные версии метода успешно декодируют двоичные потоки на скоростях до 15 Мбит/с даже при очень больших шумах канала.

Применение МПД в каналах с замираниями позволяет обеспечить высокую достоверность передачи данных, сопоставимую с другими современными методами коррекции ошибок при много меньшей вычислительной сложности.

В. В. Золотарёв, Ю. Б. Зубарев, Г. В. Овечкин

МНОГОПороГОВЫЕ ДЕКОДЕРЫ И ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ КОДИРОВАНИЯ



Золотарёв В.В., Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В.
Многопороговые декодеры и оптимизационная теория кодирования. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 239 с., ил.

Изложены основные принципы современной оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования и следующие из нее алгоритмы многопорогового декодирования (МПД). Эти итеративные алгоритмы при каждом изменении корректируемых ими символов всегда находят строго более правдоподобные решения.

Рассмотрены возможности открытых авторами символьных кодов и соответствующих им простых в реализации специальных символьных МПД, которые намного проще и эффективнее всех других известных методов декодирования двоичных кодов. Оцениваются границы эффективности реальных кодов при равенстве пропускной способности канала и кодовой скорости, т.е. при $R=C$. Сравняется сложность различных алгоритмов коррекции ошибок.

Для специалистов в области теории и техники кодирования, разработчиков систем связи, студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

**Большой объем дополнительной информации
о многопороговых декодерах можно найти
на специализированных двуязычных веб-сайтах
www.mtdbest.iki.rssi.ru и www.mtdbest.ru**

Для контакта:

**Золотарев В.В.: ИКИ РАН, (495) 333-45-45,
моб. 8-916-518-86-28,
zolotasd@yandex.ru;**

**Овечкин Г.В.: РГРТУ, (4912) 46-03-64,
моб. 8-920-952-02-26,
g_ovechkin@mail.ru;**

**Шевляков Д.А.: РГРТУ, (4912) 46-03-64,
моб. 8-920-977-76-07,
dima-shevlyakov@yandex.ru.**