

УДК 004.056.053

В.А. Василенко, Л.П. Старобинская, О.И. Афонин

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕКОДИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ

Предлагается эффективный способ понижения вероятности переполнения буферного устройства при последовательном декодировании данных. Даются практические рекомендации.

В настоящее время пути развития техники кодирования могут быть сведены к двум основным направлениям.

1. Выбор лучших из «коротких» кодов (длина кодового слова 10...30 символов) и реализация для них переборных алгоритмов.
2. Отказ от полного декодирования по максимуму правдоподобие и поиск специальных кодов, допускающих простое декодирование. При этом можно использовать коды, в которых неполное использование их корректирующих возможностей компенсируется за счёт длины самого кода ($l \geq 200$).

Каскадные (гибридные) системы появились в теории кодирования из-за необходимости значительно упростить алгоритмы декодирования и одновременно существенно повысить их эффективность. Основная идея применения каскадных кодов заключается в том, что кодирование сообщений для передачи по каналу осуществляется не одним, а несколькими кодерами различных кодов. Чаще всего на практике ограничиваются двумя каскадами.

Информационная последовательность первоначально поступает на кодер первого каскада, с выхода которого кодовая последовательность поступает как информационная на вход второго кодера, и только кодовая комбинация с выхода второго кодера направляется в канал. На приёмной стороне декодирование происходит в обратном порядке.

Применение каскадных схем кодирования позволяет обеспечить высокие достоверности при весьма большом уровне помех и умеренной сложности декодирования.

Столь хорошие характеристики каскадных кодов объясняются тем, что минимальное расстояние каскадного кода d_k не меньше, чем произведение расстояний составляющих его кодов $d_k = d_1 \cdot d_2$, это обстоятельство существенно увеличивает корректирующую способность каскадных кодов и уменьшает вероятность ошибки декодирования.

При создании гибридных систем, использующих принципы каскадного кодирования, необходимо подобрать такие коды, которые вместе позво-

ляют существенно повысить эффективность декодирования при достаточно высоком уровне шумов в канале.

В данной работе предлагается повысить эффективность декодирования, используя двухкаскадную гибридную схему

Одной из наиболее важных характеристик алгоритмов последовательного декодирования является вероятность переполнения буфера. Достоинством методов последовательного декодирования является то, что число операций, необходимых для декодирования одного символа, является случайной величиной в отличие от того, что имеет место при алгебраических методах, и число это изменяется в зависимости от уровня шумов в канале [1-3]. Однако, при последовательном декодировании ошибки могут возникнуть вследствие того, что оказываются занятыми все ячейки памяти буферного запоминающего устройства, т.е. из-за переполнения буфера.

Вероятность переполнения буфера можно понизить, если установить для последовательного декодера максимально допустимое число операций, а символы, для определения которых декодер должен выполнить большее число операций, декодировать другим методом, например, одним из алгебраических методов, для которых число операций при декодировании всегда ограничено. Возможность уменьшения вероятности переполнения буфера может быть достигнута с помощью системы гибридного (каскадного) кодирования и декодирования.

В работе исследован возможный вариант построения системы гибридного кодирования и декодирования, использующий в качестве внешнего каскада код Рида-Соломона, а в качестве внутреннего сверточные коды. Гибридный кодер такой системы изображен на рисунке 1.

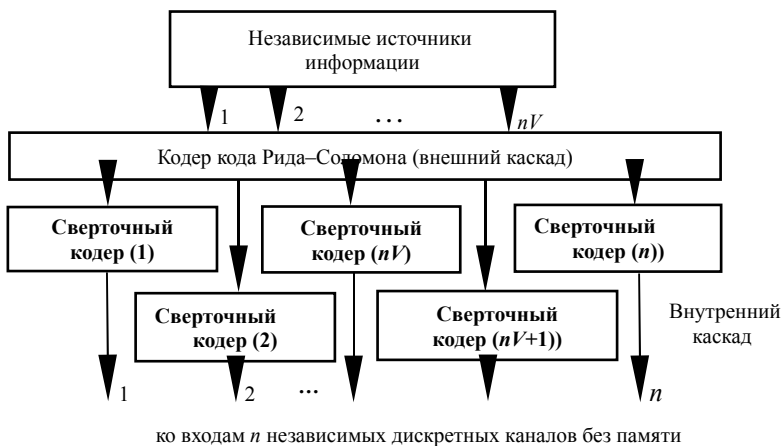


Рисунок 1 – Гибридный кодер

В данном случае по n независимым дискретным каналом без памяти каждые m секунд передается один символ. На вход каждого канала символы передаются с выхода соответствующего свёрточного кодера. Если свёрточные коды имеют скорость передачи $V=1/k$, то вход любого свёрточного кодера информационные двоичные символы должны поступать каждые km секунд. Если же регистры сдвига всех этих кодеров приводятся в нулевое состояние каждые λkm секунд, то каждый блок из λ входных двоичных символов кодируется в блок из λk символов канала независимо от входных двоичных символов предшествующих и последующих блоков.

Чтобы символы, поступающие на входы кодеров, при декодировании можно было восстановить с малой вероятностью ошибки [3] они должны оказывать влияние на достаточно большое число входных символов канала, однако, поскольку регистры кодеров очищаются перед передачей нового блока, то воздействие оказывается уже на сравнительно небольшое число символов канала. Это приводит к возрастанию вероятности ошибки при декодировании последних символов каждого блока.

Для предотвращения возрастания вероятности ошибки в конце блока, в качестве последних μ ($\mu < \lambda$) символов в каждом блоке берётся некоторая фиксированная последовательность, которая известна декодеру. Тогда входные символы кодеров, которые заранее декодеру не известны, оказывают влияние на μk символов канала. Последние μ символов каждого входного блока становятся убыточными, и реальная скорость передачи свёрточных кодеров становится равная $(1 - \mu/\lambda) \cdot k$. Если выбрать $\lambda \gg \mu$, то этим уменьшением можно пренебречь.

Итак, n внутренних блоков формируются при кодировании одновременно и передаются по n дискретным каналам. Эти n блоков образуют один суперблок, а $n\lambda$ -символов образуют параллельный блок (символы поступают параллельно на входы последовательных декодеров). Верхние $nV\lambda$ -символов параллельного блока составляют подблоки, каждый из которых состоит из $\lambda - \mu$ информационных двоичных символов и μ известных (фиксированных) символов. Остальные $n(1-V)\lambda$ -символов параллельного блока являются проверочными и формируются алгебраическим кодером по nV верхним независимым λ -символам, с которыми алгебраический кодер оперирует как с элементами поля $GF(2^\lambda)$. Параллельные блоки образуют 2^λ -ичный блочный код длины n , содержащий $2^{\lambda nV}$ кодовых слов. Естественно, что при больших и средних длинах блоков, наиболее эффективным в данной ситуации будет код Рида–Соломона. Эти коды могут быть построены для любой скорости передачи V и любой длины n , не превышающей объёма алфавита символов, и обладают минимальным кодом расстоянием $d=(1-V)n+1$. Если рассматривать коды под полем $GF(2)$, то размер алфавита будет степенью двойки и должен быть не меньше $(n+1)$ [4].

Поскольку для построения кода Рида–Соломона требуется число элементов, линейно растущее с n , а каждый из n свёрточных кодеров содержит не более t разрядов регистров сдвига, то общее число элементов необходимых для построения гибридного кодера, пропорционально tn .

Гибридный декодер, изображенный на рисунке 2, состоит из n параллельно работающих последовательных декодеров и декодере кода Рида–Соломона.

При декодировании каждого суперблока n независимых последовательных декодеров осуществляют декодирование соответствующих внутренних блоков.

После завершения декодирования суперблок последовательными декодерами он переходит в параллельный блок (это кодовое слово Рида–Соломона, возможно искаженное в канале), состоящий из $(n-p)\lambda$ -символов, которые рассматриваются как стирания. Этот параллельный блок подаётся на декодер кода Рида–Соломона. Если этот код имеет минимальное расстояние d , а среди $(n-p)\lambda$ -символов имеется не более чем t неправильно декодированных, то декодер Рида–Соломона может декодировать данный блок правильно при выполнении условия: $2t+p=d-1$ [4].

Таким образом, в гибридных системах при декодировании число операций всегда конечно и приближённо оценивается величиной $n \log n$ или $t \log n$. Даже если последовательное декодирование некоторых p внутренних блоков не завершено, но другие $(n-p)$ блоков уже декодированы, то начинается процесс коррекции всех этих блоков с помощью алгебраического декодера.

Таким образом, использование алгебраического декодера не позволяет резко возрасти объёму вычислений время от времени возникающих при последовательном декодировании внутренних блоков, а это, в свою очередь, уменьшает вероятность переполнения буферов, последовательных кодеров.

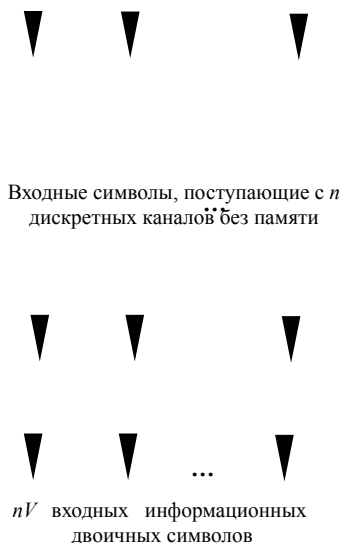


Рисунок 2 – Гибридный декодер

Кроме того, так как минимальное расстояние кода Рида–Соломона равно $(1 - V)n + 1$, то всегда можно положить $2t + p = (1 - V)n$, т.е. число исправляемых ошибок и стираний при фиксированной скорости передачи V прямо пропорционально n .

Для получения малых вероятностей ошибок декодирования $p_o \leq 1 \cdot 10^{-6}$ можно использовать гибридные системы с каскадированием на основе алгоритмов Витерби и Берлекэмп для свёрточных кодов. Обеспечение эффективности работы аппаратуры связи умеренной сложности вблизи предела Шеннона для отношения энергии на бит передаваемой информации к мощности шума канала, равного 1,6 дБ, возможно только на основе низкоскоростных каскадных (гибридных) схем.

Перспективы увеличения эффективности работы подобных систем заключаются в упрощении аппаратной реализации и разработке новых методов и алгоритмов кодирования информации, что составит предмет дальнейших исследований в данном направлении.

Библиографический список

1. Бэрмкэмп Э. Алгебраическая теория кодирования / Э. Бэрмкэмп. — М.: Мир, 1991. — 778 с.
2. Форни Д. Каскадные коды / Д. Форни. — М.: Мир, 1990. — 208 с.
3. Теория информации и кодирование / В.П. Цылебал. — К.: Выща шк., 1991. — 262 с.
4. Чернега В.С. Расчёт и проектирование технических средств обмена и передачи информации / В.С. Чернега, В.А. Василенко, В.Н. Бондарев. — М.: Высш. шк., 1990. — 224 с.

Поступила в редакцию 17.11.2005 г