



УДК 636.23

**Г.Ж. Солтан**

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ  
В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ВОДНОГО ОБЪЕКТА**

Современное развитие фундаментальных и прикладных исследований привели к необходимости системного подхода и использования информационных технологий для оценки, обоснования и выбора управленческих решений в области охраны окружающей среды. Такой подход определяет большие возможности в построении систем экологического мониторинга. Вместе с тем, ограничения, связанные с техническими и экономическими возможностями, требуют оптимального размещения ресурсов на развитие и функционирование систем поддержки принятия решений в рамках экологического мониторинга.

На предприятиях ВКО в основном используются системы разового неавтоматизированного пробоотбора, причем соответствие данных реальному состоянию за все рабочее время остается на совести предприятий. Существуют лишь отдельные метрологические аттестованные системы контроля стоков (например УК Водоканал – приборы контроля стоков). Государственным органам удастся зафиксировать только крупные выбросы загрязняющих веществ. Периодический приборный контроль за текущим состоянием водных ресурсов осуществляется ВК Центром по гидрометеорологии и мониторингу, но не существует минимально-достаточной сети мониторинга.

Информация по состоянию окружающей среды рассредоточена по различным организациям и отдельным лицам, что создает проблему для комплексного анализа фактического состояния окружающей среды региона. Анализ сложившейся ситуации позволил определить как первоочередную задачу совершенствования существующей системы экологического мониторинга.

Система экологического мониторинга представляет собой достаточно сложный комплекс взаимосвязанных в информационном плане, но обособленных в функциональном отношении систем измерения, сбора и обработки данных о состоянии окружающей природной среды, источниках воздействия на нее. Для того чтобы такая система отвечала всем предъявляемым к ней требованиям, деятельность всех ее элементов должна:

- во-первых, подчиняться неким общим требованиям и правилам;
- во-вторых, взаимодействовать друг с другом по определенным направлениям функционирования, прежде всего генерации и обмена информацией;
- в третьих, взаимодействие элементов друг с другом должно отличаться от простого суммирования результатов деятельности элементов, давать возможность получения соответствующей информации, необходимой для принятия решений управляющими субъектами.

Принятие решений должно основываться на реальных данных об объекте управления.

Такая информация обычно хранится в оперативных базах данных OLTP-систем. Но эти оперативные данные не подходят для целей анализа, так как для анализа и принятия стратегических решений в основном нужна агрегированная информация. Кроме того, для целей анализа и прогноза необходимо иметь возможность быстро манипулировать информацией, представлять ее в различных аспектах, производить различные нерегламентированные запросы к ней, что затруднительно реализовать на оперативных данных по соображениям производительности и технологической сложности.

Решением данной проблемы является создание в рамках сложившейся системы мониторинга отдельного блока, включающего информационно-аналитической системы поддержки принятия решения в экологическом мониторинге водного объекта (ИАСППР).

ИАСППР создается для информационного обеспечения процедуры принятия решения в процессе управления природопользованием и охраной окружающей среды, предназначена для обеспечения администрации субъектов ВКО и территориальных природоохранительных органов актуальной, достоверной и объективной информации при подготовке и контроле за исполнением управленческих решений в области охраны окружающей среды и природопользования. Она позволит унифицировать процедуры структуризации данных, характеризующих экологическую ситуацию в субъектах ВКО, правила обмена данными и их представлениям лицам, принимающим решения (ЛПР).

Структура ИАСППР представляет собой программно-технический комплекс, включающий:

- систему управления базами данных;
- геоинформационную систему;
- программные средства, которые осуществляют:
  - поддержку взаимодействия всех компонентов системы;
  - обмен и сохранение информации, поступающей в систему;
  - создание, каталогизацию и хранение аналитических документов, создаваемых по запросам ЛПР.

Разработанная система представляет собой программно-технический комплекс, позволяющий осуществлять следующие функции:

- ввод, вывод, редактирование и обновление данных;
- статистическую обработку данных;
- графическое и картографическое отображение экологических данных;
- анализ и оценку экологических проблем;
- генерацию отчетов, необходимых для поддержки принятия решения в области охраны ОС и природопользования.

В системе хранения, обработки и анализа данных регионального экологического мониторинга можно выделить три основных уровня, отличающихся по методам работы с экологической информацией. Верхний уровень должны составлять программные модули для поддержки принятия решений, средний - программное обеспечение, позволяющее провести системный анализ информации о состоянии окружающей среды, а нижний - модули обработки первичной экологической информации.

Задачи сбора экологической информации решаются на базе существующих региональных структур мониторинга.

Используемые в проекте технические решения обеспечивают высокую надежность, простоту и безопасность эксплуатации системы, а также возможность ее расширения.

Разрабатываемая система представляет собой программный комплекс, предназначенный для использования в различных регионах. Поэтому постановка задач, решаемых с помощью данной системы, проводится с учетом требований пользователей в регионе, но с сохранением приоритетности отработки типовых решений.

В качестве приоритетных задач рассматриваются:

- управление планированием природоохранной деятельности;
- управление инвестициями в природоохранную деятельность;
- управление природоохранной деятельностью (включая организацию экологического контроля).

В качестве конечных пользователей ИАСППР предполагаются: руководители региональных органов исполнительной власти и их структурных подразделений, руководители органов отраслевого управления и организаций – природопользователей.

Таким образом, вся информация, накапливаемая первоначально в базах данных субъектов, уполномоченных на организацию и ведение экологического мониторинга по отдельным подсистемам, поступает в информационный центр экологического мониторинга для дальнейшей обработки, обобщения, анализа и получения всесторонней картины фактического состояния окружающей среды региона.

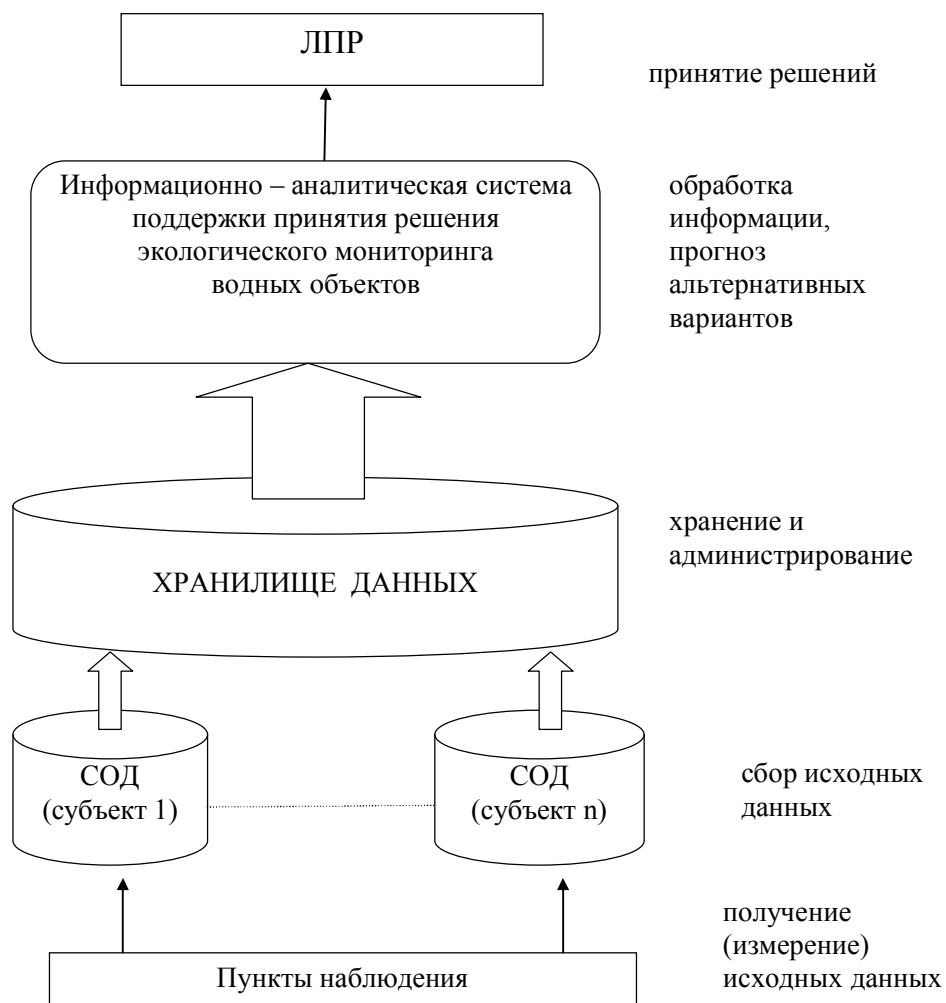


Рисунок 1 – Технология обработки информации

При этом в основе поддержки принятия решений лежат три концепции:

– гибкая навигация по хранилищу данных с целью генерации нерегламентированных запросов и представление результатов в виде различных отчетов, а также отображение их через геоинформационный интерфейс на топологической основе;

– многомерный анализ данных, позволяющий организовать агрегированную информацию из хранилища в виде гиперкубической модели и обеспечить ее удобный просмотр и анализ. При этом в ячейках гиперкуба хранятся числовые значения агрегированных показателей, а измерения позволяют упорядочить данные в соответствии с хронологической, географической и другими классификациями на основе справочников хранилища;

– поиск зависимостей в накопленной информации на основе алгоритмов интеллектуального анализа данных.

Для возможности проведения комплексного анализа состояния окружающей среды региона пространственная модель должна содержать следующие измерения:

– время;

– виды мониторинга (например, мониторинг источников антропогенного воздействия,

мониторинг качества абиотических сред, качества биотических сред и т.д.);

- среда (атмосферный воздух, поверхностные воды, подземные воды, почва и т.д.);
- территория (населенный пункт, пункт контроля и т.д.);
- объекты мониторинга;
- пункты наблюдений;
- виды параметров объекта;
- параметры объекта.

В данном случае наиболее предпочтительным представляется использование схемы "звезда", поскольку пользователи могут легко адаптировать ее для формулирования бизнес-вопросов, и она может относительно быстро давать ответы на эти вопросы. Общая схема «виртуальной звезды» многолетних наблюдений за состоянием объекта мониторинга показана на рис. 2.



Рисунок 2 – Схема «виртуальной звезды» многолетних наблюдений за состоянием объекта мониторинга

Схема звезды для анализа данных наблюдений за объектом мониторинга в общем случае содержит следующие измерения: время, параметры объекта мониторинга, критерии оценки параметров, посты наблюдений, субъекты мониторинга. Таблица фактов в качестве «зерна» содержит фактические значения параметров объектов мониторинга, полученные в результате наблюдений.

Информационная архитектура хранилища должна позволять:

- загружать и обеспечивать хранение и обращение к необходимому объему исторических данных;
- обеспечивать загрузку данных из оперативных источников без нарушения выполнения ими своих функций.

Предложенная информационно-аналитическая система регионального экологического мониторинга должна являться составной частью системы управления, взаимодействия человека с окружающей средой, поскольку информация о существующем состоянии природной среды и тенденциях ее изменения должна быть положена в основу разработки мер

по охране окружающей среды и учитываться при планировании социально-экономического развития региона. Поэтому необходимо использовать информационные ресурсы системы экологического мониторинга государственными органами при принятии ими решений по вопросам социально-экономического развития Восточно-Казахстанской области, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, что позволит, учитывая реальную экологическую обстановку в регионе и прогнозы ее изменения, повысить эффективность принимаемых управленческих решений.

Список литературы

1. Арский Ю.М. Информационное обеспечение экономических механизмов регулирования природоохранной деятельности / Ю.М.Арский, Ю.А.Арский, И.И.Потапов // Экономика природопользования (Обзорная информация). - 2001. - № 3. - С. 45-51.
2. Количественная оценка состояния окружающей среды // Экология и устойчивое развитие. - 2003. - № 4. - С.53-56.
3. Уткин И.А. Информационно-аналитическая система поддержки принятий решений в сфере природопользования и охраны окружающей среды / И.А. Уткин, Д.О. Сергеев // Экологическая экспертиза (Обзорная информация). - 1999. - № 3 - С. 44
4. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.1.4.559-96). - М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. - 111 с.

Получено 12.03.08

## ЦВЕТНОЙ СВЕТ

Голландская фирма «Филипс» начала выпускать электролампочку, которая внутри содержит четыре светодиода – два красных, синий и зеленый. Манипулируя пультом дистанционного управления вроде телевизионного, можно варьировать яркость свечения каждого светодиода и тем самым – цвет свечения лампы в пределах выбора из 16 миллионов цветов. Яркость света и насыщенность цветов также регулируются пультом.

«Наука и жизнь» № 8, 2007

УДК 681.3.07

**Н.Н. Ташатов**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,

ПО СТРАНИЦАМ



**ДЕКОДИРОВАНИЕ ПО МЕТОДУ МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ  
СВЕРТЧНОГО КОДИРОВАНИЯ**

*Декодирование по методу максимального правдоподобия.* Минимальная вероятность ошибки получается при использовании декодера, если все входные последовательности сообщений равновероятны. Декодер сравнивает условные вероятности и выбирает максимальную вероятность. Условные вероятности также называют функциями правдоподобия  $P(Z/U^{(m)})$ , где  $Z$  – это принятая последовательность, а  $U^{(m)}$  – одна из возможных пе-

переданных последовательностей. Декодер выбирает  $U^{(m)}$ , если

$$P(Z/U^{(m)}) = \max P(Z/U^{(m)}) \text{ по всем } U^{(m)}. \quad (1)$$

Принцип максимального правдоподобия, определяемый уравнением (1), является фундаментальным достижением теории принятия решений ([1], приложение Б). Это формализация способа принятия решений, когда имеются статистические данные о вероятностях. При двоичной демодуляции предполагается передача только двух равновероятных сигналов  $s_1(t)$  и  $s_2(t)$ . Следовательно, принятие двоичного решения на основе принципа максимального правдоподобия, касающееся данного полученного сигнала, означает, что в качестве переданного сигнала выбирается  $s_1(t)$ , если

$$p(z/s_1) > p(z/s_2),$$

в противном случае считается, что передан был сигнал  $s_2(t)$ . Параметр  $z$  представляет собой величину  $z(T)$ , т.е. значение принятого сигнала до детектирования в конце каждого периода передачи символа  $t = T$ . Однако при использовании принципа максимального правдоподобия в задаче сверточного декодирования в сверточном коде обнаруживается наличие памяти (полученная последовательность является суперпозицией текущих и предыдущих двоичных разрядов). Таким образом, применение принципа максимального правдоподобия при декодировании бит данных, закодированных сверточным кодом, осуществляется в контексте выбора наиболее вероятной последовательности, как показано в уравнении (1). Обычно имеется множество возможных переданных последовательностей кодовых слов. Последовательность из  $L$  кодовых слов в двоичном коде является членом набора из  $2^L$  возможных последовательностей. Следовательно, в контексте максимального правдоподобия в качестве переданной последовательности декодер выбирает  $U^{(m)}$ , если правдоподобие  $P(Z/U^{(m)})$  больше правдоподобия всех остальных возможно переданных последовательностей. Такой оптимальный декодер, минимизирующий вероятность ошибки (когда все переданные последовательности равновероятны), известен как декодер, работающий по принципу максимального правдоподобия (maximum likelihood detector). Функция правдоподобия задается или вычисляется, исходя из спецификации канала.

Предположим, что имеем дело с аддитивным белым гауссовым шумом с нулевым средним (каналом без памяти), т.е. шум влияет на каждый символ кода независимо от остальных символов. При степени кодирования сверточного кода, равной  $\frac{1}{n}$ , правдоподобие выражается следующим образом:

$$P(Z/U^{(m)}) = \prod_{i=1}^{\infty} P(Z_i/U_i^{(m)}) = \prod_{i=1}^{\infty} \prod_{j=1}^n P(z_{ji}/u_{ji}^{(m)}), \quad (2)$$

где  $Z_i$  – это  $i$ -я ветвь принятой последовательности  $Z$ ,

$U_i^{(m)}$  – это ветвь отдельной последовательности кодовых слов  $U^{(m)}$ ,

$z_{ji}$  – это  $j$ -й кодовый символ  $Z_i$ ,

$u_{ji}^{(m)}$  – это  $j$ -й кодовый символ  $U_i^{(m)}$ , а каждая ветвь состоит из  $n$  кодовых символов.

Задача декодирования заключается в выборе пути сквозь решетку, показанную на рисунке 1 (каждый возможный путь определяет последовательность кодовых слов), таким образом, чтобы произведение

$$\prod_{i=1}^{\infty} \prod_{j=1}^n P(z_{ji} / u_{ji}^{(m)}) \quad (3)$$

было максимальным.

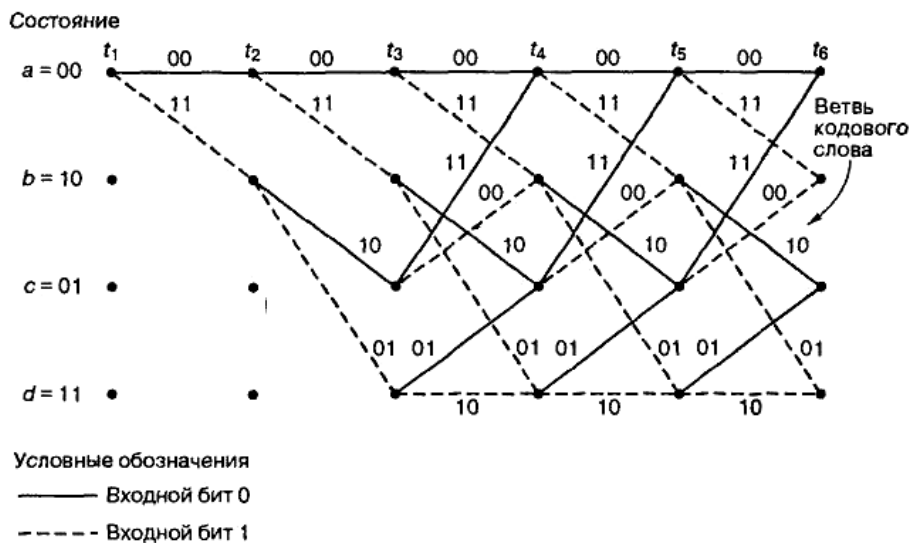


Рисунок 1 – Решетчатая диаграмма кодера степень кодирования 1/2 и длиной кодового ограничения K = 3

При вычислениях удобно пользоваться логарифмом функции правдоподобия, т.к. это позволяет произведение заменить суммированием. Можно воспользоваться таким преобразованием, поскольку логарифм является монотонно возрастающей функцией и, следовательно, не внесет изменений в выбор окончательного кодового слова. Логарифмическая функция правдоподобия определяется следующим образом:

$$\gamma_U(m) = \log P(Z/U^{(m)}) = \sum_{i=1}^{\infty} \log P(Z_i / U_i^{(m)}) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^n \log P(z_{ji} / u_{ji}^{(m)}) \quad (4)$$

Теперь задача декодирования заключается в выборе пути вдоль дерева (рис. 2) или решетки (рис. 1) таким образом, чтобы  $\gamma_U(m)$  было максимальным. При декодировании сверточных кодов можно использовать как древовидную, так и решетчатую структуру. При древовидном представлении кода игнорируется то, что пути снова объединяются. Для двоичного кода количество возможных последовательностей, состоящих из L кодовых слов, равно  $2^L$ . Поэтому декодирование полученных последовательностей, основанное на принципе максимального правдоподобия с использованием древовидной диаграммы, требует метода «грубой силы» или исчерпывающего сопоставления  $2^L$  накопленных логарифмических метрик правдоподобия, описывающих все варианты возможных последовательностей кодовых слов. Поэтому рассматривать декодирование на основе принципа максимального правдоподобия с помощью древовидной структуры практически невозможно. При решетчатом представлении кода декодер можно построить так, чтобы можно было отказываться от путей, которые не могут быть кандидатами на роль максимально правдоподобной последовательности.



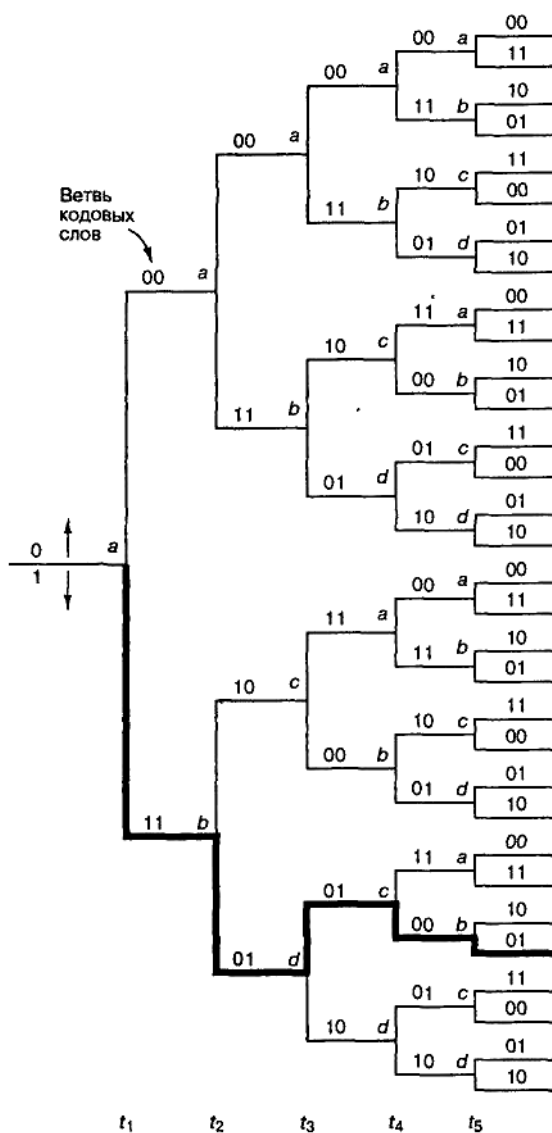


Рисунок 2 – Древоидное представление кодера степень кодирования 1/2 и длиной кодового ограничения  $K = 3$

Путь декодирования выбирается из некоего сокращенного набора выживших путей. Такой декодер является оптимальным в том смысле, что путь декодирования такой же, как и путь, полученный с помощью декодера критерия максимального правдоподобия, действующего «грубой силой», однако предварительный отказ от неудачных путей снижает сложность декодирования.

Существует несколько алгоритмов, которые дают приближительные решения задачи декодирования на основе критерия максимального правдоподобия, включая последовательный [2, 3, 4] и пороговый [5]. Каждый из этих алгоритмов является подходящим для узкоспециальных задач, однако все они близки к оптимальному. Алгоритм декодирования Витерби, напротив, осуществляет декодирование на основе критерия максимального

правдоподобия шире, следовательно, является оптимальным. Это не означает, что алгоритм Витерби в любой реализации является наилучшим, при его использовании существуют жесткие условия, налагаемые на аппаратное обеспечение.

*Модели каналов: мягкое или жесткое принятие решений.* Прежде чем рассмотрим алгоритм, который задает схему принятия максимально правдоподобного решения, сначала опишем канал. Последовательность кодовых слов  $U^{(m)}$ , определяемую словами ветви, каждое из которых состоит из  $n$  кодовых символов, можно рассматривать как бесконечный поток, в отличие от блочного кода, где исходные данные и их кодовые слова делятся на блоки строго определенного размера. Последовательность кодовых слов, показанная на рис. 3, выдается сверточным кодером и подается на модулятор, где кодовые символы преобразуются в сигналы.

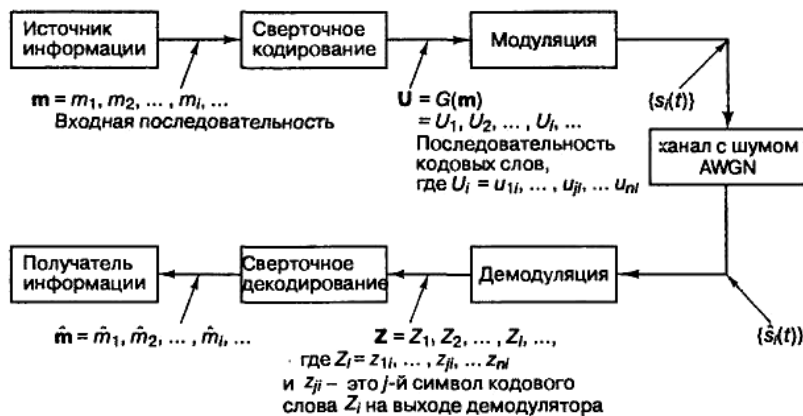


Рисунок 3 – Кодирование/декодирование и модуляция/демодуляция в канале связи

Модуляция может быть низкочастотной (например модуляция импульсными сигналами) или полосовой (например модуляция PSK или FSK). Вообще, за такт в сигнал  $s_i(t)$  преобразуется  $l$  символов, где  $l$  – целое,  $i = 1, 2, \dots$ , а  $M = 2^l$ . При  $l = 1$  модулятор преобразует каждый кодовый символ в двоичный сигнал. Предположим, что канал, по которому передается сигнал, искажает сигнал гауссовым шумом. После того, как искаженный сигнал принят, он сначала обрабатывается демодулятором, а затем подается на декодер.

Пусть двоичный сигнал передается за отрезок времени  $(0, T)$ . Двоичную единицу представим сигналом  $s_1(t)$ , а двоичный ноль – сигналом  $s_2(t)$ . Тогда принятый сигнал будет иметь вид  $r(t) = s_i(t) + n(t)$ , где  $n(t)$  – гауссов шум с нулевым средним. Детектирование  $r(t)$  происходит в два основных этапа. На первом этапе принятый сигнал переводится в число  $z(T) = a_i + n_0$ , где  $a_i$  – это компонент сигнала  $z(T)$ , а  $n_0$  – компонент шума – это случайная переменная, значения которой имеют гауссово распределение с нулевым средним. Следовательно,  $z(T)$  также будет случайной гауссовой величиной со средним  $a_1$  или  $a_2$ , в зависимости от того, какая величина была отправлена – двоичная единица или двоичный ноль. На втором этапе процесса детектирования принимается решение о том, какой сигнал был передан. Это решение принимается на основе сравнения  $z(T)$  с порогом. Условные вероятности  $z(T)$ ,  $p(z / s_1)$  и  $p(z / s_2)$ , показанные на рис. 4, обозначены как правдоподобие  $s_1$  и  $s_2$ .

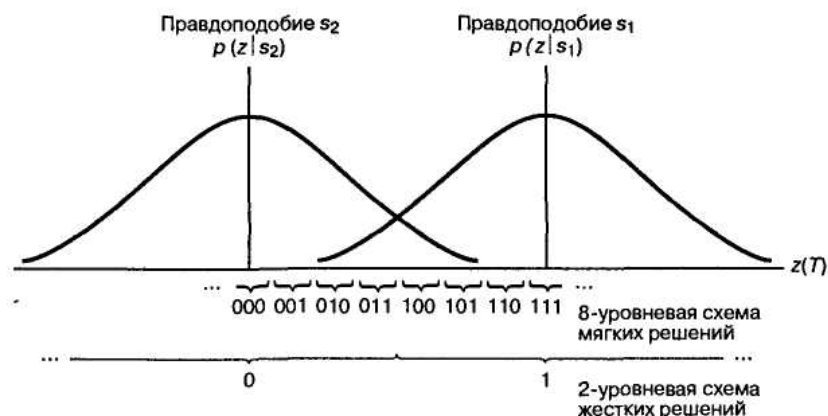


Рисунок 4 – Жесткая и мягкая схемы декодирования

Демодулятор (рис. 3) преобразует упорядоченный по времени набор случайных переменных  $\{z(T)\}$  в кодовую последовательность  $Z$  и подает ее на декодер. Выход демодулятора можно настроить по-разному. Реализовать его можно в виде жесткой схемы принятия решений относительно того, представляет ли  $z(T)$  единицу или нуль. В этом случае выход демодулятора квантуется на два уровня, нулевой и единичный, и соединяется с декодером. Так как декодер работает в режиме жесткой схемы принятия решений, принятых демодулятором, такое декодирование называется жестким.

Аналогично демодулятор можно настроить так, чтобы он подавал на декодер значение  $z(T)$ , квантованное более чем на два уровня. Такая схема обеспечивает декодер большим количеством информации, чем жесткая схема решений. Если выход демодулятора имеет более двух уровней квантования, то декодирование называется мягким. На рис. 4 на оси абсцисс изображено восемь 3-битовых уровней квантования. Если в демодуляторе реализована жесткая схема принятия двоичных решений, он отправляет на декодер только один двоичный символ. Если в демодуляторе реализована мягкая двоичная схема принятия решений, квантованная на восемь уровней, он отправляет на декодер 3-битовое слово, описывающее интервал, соответствующий  $z(T)$ . По сути, поступление такого 3-битового слова, вместо одного двоичного символа, эквивалентно передаче декодеру меры достоверности вместе с решением относительно кодового символа. Пусть с демодулятора (рис. 4) поступила на декодер последовательность 1 1 1. Это равносильно утверждению, что с очень высокой степенью достоверности кодовым символом была 1, в то время как переданная последовательность 1 0 0 равносильна утверждению, что с очень низкой степенью достоверности кодовым символом была 1. Совершенно ясно, что, в конечном счете, каждое решение, принятое декодером и касающееся сообщения, должно быть жестким, в противном случае на распечатках компьютера можно было бы увидеть нечто, подобное следующему: «думаю, это 1», «думаю, это 0» и т.д. То, что после демодулятора не принимается жесткое решение и на декодер поступает больше данных (мягкое принятие решений), можно понимать как промежуточный этап, необходимый для того, чтобы на декодер поступило больше информации, с помощью которой он затем сможет восстановить последовательность сообщения (с более высокой достоверностью передачи сообщения по сравнению с декодированием в рамках жесткой схемы принятия решений). 8-уровневая метрика (рис. 8) мягкой схемы принятия решений часто обозначается как -7, -5, -3, -1,

1, 3, 5, 7. Такие обозначения вводятся для простоты интерпретации мягкой схемы принятия решения. Знак метрики характеризует решение. Например, выбирается  $s_1$ , если величина положительна, и  $s_2$ , если отрицательна, а величина метрики описывает степень достоверности этого решения. Преимуществом метрики (рис. 4) является только то, что в ней не используются отрицательные числа [1].

В настоящее время существуют блочные и сверточные алгоритмы декодирования, функционирующие на основе жесткой или мягкой схемы принятия решений. Однако при блочном декодировании мягкая схема принятия решений, как правило, не используется, поскольку ее значительно сложнее реализовать, чем схему жесткого принятия решений. Чаще всего мягкая схема принятия решений применяется в алгоритме сверточного декодирования Витерби, т.к. при декодировании Витерби мягкое принятие решений лишь незначительно усложняет вычисления.

Двоичный симметричный канал (binary symmetric channel – BSC) – это дискретный канал без памяти, имеющий на входе и выходе двоичный алфавит и симметричные вероятности перехода. Его можно описать с помощью условных вероятностей (рис. 5).

$$\begin{aligned} P(0/1) &= P(1/0) = p, \\ P(1/1) &= P(0/0) = 1 - p. \end{aligned} \quad (5)$$

Вероятность того, что выходной символ будет отличаться от входного, равна  $p$ , а вероятность того, что выходной символ будет идентичен входному, равна  $(1 - p)$ . Канал BSC является примером канала с жесткой схемой принятия решений. Это означает, что даже если демодулятор получил сигнал с непрерывным значением, BSC позволяет принять только какое-то одно определенное решение. Так что каждый символ  $z_{ji}$  на выходе демодулятора (рис. 3) содержит одно из двух двоичных значений. Индексы величины  $z_{ji}$ , указывают на  $j$ -кодировый символ  $i$ -го кодового слова  $Z_i$ . Далее демодулятор передает последовательность  $Z = \{Z_{ij}\}$  на декодер.

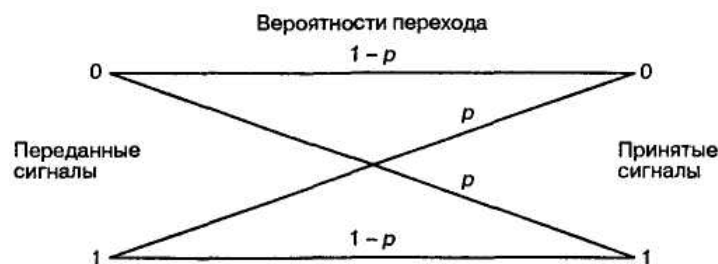


Рисунок 5 – Двоичный симметричный канал (канал с жесткой схемой принятия решений)

Пусть  $U^{(m)}$  – переданное кодовое слово по каналу BSC с вероятностью появления ошибочного символа  $p$ ,  $Z$  – полученная декодером соответствующая последовательность. Декодер, работающий по принципу максимального правдоподобия, выбирает кодовое слово  $U^{(m')}$ , имеющее максимальное правдоподобие  $P(Z/U^{(m)})$  или его логарифм. Для BSC это эквивалентно выбору кодового слова  $U^{(m')}$ , находящегося на наименьшем расстоянии Хэмминга от  $Z$  [2]. Расстояние Хэмминга – это удобная метрика для описания расстояния или степени сходства между  $U^{(m)}$  и  $Z$ . Из всех возможных переданных последовательностей  $U^{(m)}$  декодер выбирает такую последовательность  $U^{(m')}$ , для которой

расстояние до  $Z$  минимально. Предположим, что каждая из последовательностей  $U^{(m)}$  и  $Z$  имеет длину  $L$  бит и отличается на  $d_m$  позиций, т.е. расстояние Хэмминга между  $U^{(m)}$  и  $Z$  равно  $d_m$ . Поскольку предполагалось, что канал не имеет памяти, то вероятность того, что  $U^{(m)}$  преобразовалось в  $Z$ , находящееся на расстоянии  $d_m$  от  $U^{(m)}$ , можно записать в следующем виде:

$$P(Z/U^{(m)}) = p^{d_m} (1-p)^{L-d_m}. \quad (6)$$

Логарифмическая функция правдоподобия будет иметь следующий вид:

$$\log P(Z/U^{(m)}) = -d_m \log\left(\frac{1-p}{p}\right) + \log(1-p). \quad (7)$$

Если вычислить эту величину для каждой возможно переданной последовательности, последнее слагаемое в уравнении (7) будет постоянным для всех случаев. Предположим, что  $p < 0,5$ , тогда (7) можно записать в следующей форме:

$$\log P(Z/U^{(m)}) = -Ad_m - B, \quad (8)$$

где  $A$  и  $B$  – положительные константы. Следовательно, такой выбор кодового слова  $U^{(m')}$ , чтобы расстояние Хэмминга до полученной последовательности  $Z$  было минимальным, соответствует максимизации метрики правдоподобия или логарифма правдоподобия. Отсюда следует, что в канале  $BSC$  метрика логарифма правдоподобия легко заменяется расстоянием Хэмминга, а декодер, работающий по принципу максимального правдоподобия, будет выбирать на древовидной или решетчатой диаграмме путь, соответствующий минимальному расстоянию Хэмминга между последовательностью  $U^{(m')}$  и полученной последовательностью  $Z$ .

Для гауссова канала каждый выходной символ демодулятора  $z_{ji}$  (рис. 3) принимает значения из непрерывного алфавита. Символ  $z_{ji}$  нельзя пометить для детектирования как правильное или неправильное решение. Передачу на декодер таких мягких решений можно рассматривать как поступление семейства условных вероятностей различных символов. Максимизация  $P(Z/U^{(m)})$  эквивалентна максимизации скалярного произведения последовательности кодовых слов  $U^{(m)}$  (состоящей из двоичных символов, представленных как биполярные значения) и аналогового значения полученной последовательности  $Z$  [8]. Таким образом, декодер выбирает кодовое слово  $U^{(m')}$ , если выражение

$$\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^n z_{ji} u_{ji}^{(m)} \quad (9)$$

имеет максимальное значение. Это эквивалентно выбору кодового слова  $U^{(m')}$ , находящегося на ближайшем евклидовом расстоянии от  $Z$ . Несмотря на то, что каналы с жестким и мягким принятием решений требуют различных метрик, концепция выбора кодового слова  $U^{(m')}$ , ближайшего к полученной последовательности  $Z$ , одинакова для обоих случаев. Чтобы в (9) точно выполнить максимизацию, декодер должен осуществлять арифметические операции с аналоговыми величинами. Это непрактично, поскольку обычно декодеры являются цифровыми. Таким образом, необходимо дискретизировать полученные символы  $z_{ji}$  [6]. Уравнение (9) является дискретным вариантом корреляции входного полученного сигнала  $r(t)$  с опорным сигналом  $s_i(t)$ , которая выражается уравне-

нием (10)

$$z_i(T) = \int_0^T r(t) s_i(t) dt, \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (10)$$

Квантованный гауссов канал, называемый каналом с мягкой схемой решений, – это модель канала, в которой предполагается, что декодирование осуществляется на основе описанной ранее мягкой схемы принятия решения.

Список литературы

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд., испр. – Пер. с англ. – Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1104 с.: ил.
2. Viterbi A. Convolutional Codes and Their Performance in Communication Systems. IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM19, n. 5, October, 1971, P. 751-772.
3. Forney G.D. Jr and Bower E.K. A High Speed Sequential Decoder: Prototype Design and Test. IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM19, n. 5, October, 1971, P. 821-835.
4. Jelinek F. Fast Sequential Decoding Algorithm Using a Stack. IBM J. Res. Dev., vol. 13, November, 1969, P. 675-685.
5. Massey J.L. Threshold Decoding. The MIT Press, Cambridge, Mass., 1963.
6. Вернер М. Основы кодирования. – М.: Техносфера, 2004. – 288 с.

Получено 19.02.08.

---

УДК 681.3.07

**Н.Н. Ташатов, Г.Т. Бекманова**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

**ХАРАКТЕРИСТИКА ТУРБОКОДОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ  
В СИСТЕМАХ СОВРЕМЕННОЙ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ**

Широкое применение помехоустойчивого кодирования в современных цифровых системах связи обусловлено тем, что оно является эффективным средством приведения параметров системы к желаемому компромиссу между достоверностью передачи, необходимой мощностью и пропускной способностью.

Турбокоды (ТК) представляют собой сравнительно новый тип кодов для исправления ошибок, возникающих при передаче цифровой информации по каналам связи с шумами. Впервые они были введены в рассмотрение французским исследователем К. Берру в 1993 году и сразу же привлекли к себе пристальное внимание специалистов в области помехоустойчивого кодирования. Причина этому – уникальная способность ТК обеспечивать характеристики помехоустойчивости передачи информации, близкие к теоретически достижимым значениям при умеренной сложности реализации кодеков. Входной поток битов, поступающих на кодер, построчно записывается в матрицу. Сначала кодируются строки, затем столбцы, в результате чего получается кодированная матрица, содержащая как информационные, так и проверочные символы. Каждая строка матрицы представляет собой кодовое слово и состоит из информационных символов и проверочных. Каждый столбец, соответственно, также представляет собой кодовое слово и состоит из информационных символов и проверочных. Как правило, передача битов из кодированной матрицы в последующие цепи осуществляется построчно.

Помехоустойчивые коды принято делить на блочные и сверточные коды. Отметим в

этой связи кратко особенности классических блочных и сверточных кодов и уясним место ТК в классификации помехоустойчивых кодов.

Блочный систематический код представляет собой блок из  $n$  битов (в более общем двоичном случае – символов), в котором содержатся в явном виде  $k$  информационных битов, остальные  $(n - k)$  – проверочные. Проверочные символы представляют собой линейные комбинации информационных символов. При прочих равных условиях эффективность блочных кодов возрастает с ростом длины блока, однако растет и сложность алгоритма декодирования. На практике наибольшее распространение получили так называемые циклические коды, для которых при кодировании и декодировании используется теория полиномов, предполагающая алгебраические вычисления в конечных полях. Принятие решения в декодере о переданных  $k$  информационных символах обычно выносится после «жесткого» принятия решения (ноль или единица) в демодуляторе о каждом из переданных как информационных, так и проверочных символов. При этом, однако, «мягкие» решения, которые при аналоговой обработке в демодуляторе представляют собой непрерывные значения, а при цифровой – многоуровневые числа, являются оценкой достоверности принятых символов и их использование при декодировании потенциально могло бы повысить качество приема информации. В то же время реализация алгоритма декодирования с «мягкими» решениями для классических блочных кодов, как правило, вызывает затруднения. Примерами классических алгебраических блочных кодов являются коды Хэмминга, Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ) и Рида-Соломона.

«Хорошие» сверточные коды были найдены методом моделирования на основе критерия минимума вероятности ошибки. Процесс кодирования сверточным кодом сводится к вычислению свертки непрерывного (в общем случае неограниченной длины) информационного потока символов с заданными последовательностями длины  $K$ . При этом число состояний, в которых может находиться сверточный кодер, ограничено и равно  $2K - 1$ . Величина  $K$  называется длиной кодового ограничения. На практике для декодирования сверточных кодов наибольшее распространение получил алгоритм Витерби, предложенный в 70-х годах, и несколько модификаций алгоритма последовательного декодирования. В отличие от блочных алгебраических кодов, декодирование сверточных кодов с «мягкими» решениями не вызывает затруднений. Последнее обстоятельство позволяет, например для сверточного кода Оденвальдера с  $K = 7$ , используемого практически во всех стандартах консорциума DVB (Digital Video Broadcasting) и являющегося стандартом де-факто для многих спутниковых цифровых систем (например, Inmarsat и Intelsat), получить энергетический выигрыш не менее 2 дБ при декодировании по алгоритму Витерби в сравнении с использованием «жестких» решений для требуемой величины BER менее чем  $10^{-5}$ .

В противоположность классическим алгебраическим блочным кодам, ТК следует отнести к случайным кодам. В этом смысле ТК следуют принципу Шеннона. В то же время длина блока ТК реально может достигать чрезвычайно большой величины, поскольку она не влияет на вычислительную сложность алгоритма декодирования. При декодировании ТК, как и сверточных кодов, не возникает трудностей использования «мягких» решений.

Тут весьма уместно заметить: «Все новое – хорошо забытое старое», поскольку идеи создания подобных кодов и их декодирования восходят к работам Галлагера о так называемых кодах с малой проверкой на четность почти 40-летней давности [1, 2]. Тем не менее, этот факт никак не умаляет заслуг авторов создания ТК, поскольку помимо возро-

дения самой идеи, они предложили оригинальную схему случайного кодирования, в которой для формирования проверочных символов используются сверточные кодеры, а для декодирования – очень эффективный итеративный алгоритм с «мягкими» решениями. Более того, после открытия ТК турбоподобными кодами стали называть целую группу кодов, в частности как более ранние коды Галлагера, так и гипер-коды (Hyper-Codes), о которых широко было заявлено в 1998 г. [3, 4]. Все эти коды объединяет возможность применения итеративного алгоритма декодирования с «мягкими» решениями.

Один из вариантов построения кодера приведен на рис. 1.

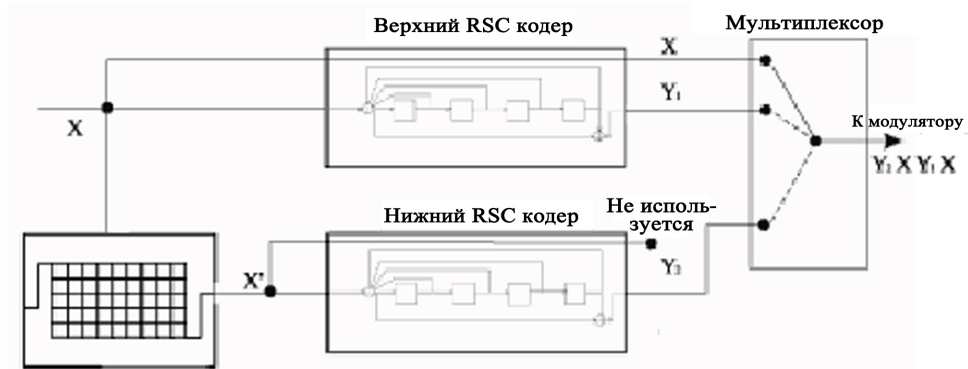


Рисунок 1 – Кодер

Кодер представляет собой параллельное соединение двух рекурсивных систематических сверточных кодеров (Recursive Systematic Convolutional Codes – RSC). Оба RSC кодера работают со скоростью, равной  $1/2$ . Это означает, что на информационный бит на входе RSC кодер откликается двумя битами на выходе. Значение бита на систематическом выходе верхнего RSC кодера совпадает со значением входного бита, а на втором выходе формируется проверочный бит. На вход второго RSC кодера с выхода перемежителя поступает бит, номер которого  $j$  зависит от номера  $i$  на входе перемежителя по псевдослучайному закону ( $i, j = 1, \dots, k$ ). (Для этого блок из  $k$  информационных символов предварительно перед операцией кодирования должен быть записан в память). У нижнего RSC кодера систематический выход не используется, а на втором выходе формируется второй проверочный бит. С выхода всего турбо-кодера на модулятор сначала поступает бит с систематического выхода верхнего кодера, а затем два проверочных бита: сначала с верхнего RSC кодера, затем – с нижнего. В результате кодовая скорость  $r$  всего турбо-кодера в целом оказывается равной  $1/3$ . Однако можно сформировать и так называемый перфорированный, или выколотый (puncturing) код, в котором биты с проверочных выходов RSC кодеров мультиплексируются, в результате чего сопровождение информационного бита чередуется от бита к биту проверочным битом либо с верхнего, либо с нижнего RSC кодера. При этом несколько снижается корректирующая способность кода, однако кодовая скорость  $r$  возрастает до  $1/2$ . В любом случае благодаря использованию систематических сверточных кодеров в кодовом блоке можно явно выделить систематическую и проверочные части. Более того, можно считать, что в канал связи передаются два кодовых блока: первый кодовый блок, состоящий из информационной части и проверочной части верхнего RSC кодера, и второй кодовый блок, состоящий из перемешанной информационной части и проверочной части нижнего RSC кодера. Ясно, что передавать пере-



мешанную (систематическую) часть второго кодового блока в канал связи нет смысла, поскольку для ее восстановления в декодере можно использовать операцию, обратную операции перемежения информационной части кодового блока (деперемежения).

Какими физическими принципами руководствовались создатели ТК, представив такую схему кодирования? Традиционно коды оптимизируются по критерию так называемого максимума минимального расстояния  $d_{\min}$  между кодовыми блоками. При этом, однако, достижение больших значений  $d_{\min}$  связано со значительным усложнением операции декодирования. Эффективность же ТК определяется, в основном, не  $d_{\min}$ , а средним значением расстояний между кодовыми блоками ( $d_{\text{ср}}$ ), поскольку в процессе кодирования присутствует элемент случайности (перемежитель). Благодаря особенностям формирования кодовых блоков из двух практически независимых частей, величина  $d_{\text{ср}}$  их суммы будет заметно больше, чем  $d_{\min}$  исходного сверточного кода. В то же время, в отличие от сверточного кода, исправляющая способность ТК будет в большей степени зависеть от распределения числа кодовых блоков, расположенных на расстоянии  $d$  от других кодовых блоков, или, как говорят иначе, – от вида функции распределения  $S(d)$ , описывающей спектр расстояний, и особенно от той ее части, где  $d < d_{\text{ср}}$ . Таким образом, в отличие от других кодов, где для оценки их эффективности достаточно было знать лишь некоторые параметры этой функции, для корректной оценки эффективности ТК необходимо располагать весьма полным описанием функции распределения  $S(d)$ . Из структурной схемы кодера ясно, что свойства функции  $S(d)$  будут зависеть от длины и вида используемого сверточного кода, а также от параметров перемежителя. Что касается вида используемого сверточного кода, то, по мнению автора работы [5], при применении рекурсивного сверточного кодера (с обратной связью), который имеет неограниченную реакцию при воздействии на его вход единичного бита, достигается наиболее благоприятная форма закона распределения  $S(d)$  с точки зрения влияния его на вероятность ошибочного декодирования.

#### Жесткое решение об информационных битах

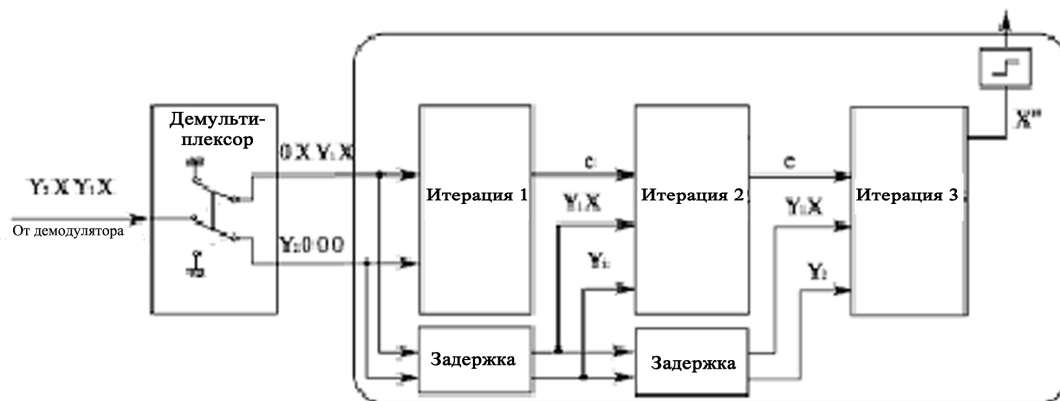


Рисунок 2 – Турбо-декодер. Три итерации ( $Q = 3$ )

Анализ многочисленных результатов экспериментальных исследований ТК, выполненных различными авторами, показал, что структура перемежителя сравнительно слабо влияет на его эффективность. Те же результаты свидетельствуют о пропорциональном увеличении эффективности ТК с ростом как длины кодового ограничения сверточного

кода, так и длины перемежителя.

Из рассмотрения принципа кодирования ясно, что при декодировании блок можно «расщепить» на два кодовых блока, причем информационные части этих двух блоков в силу систематического кодирования и с учетом перемежения идентичны. Это обстоятельство позволяет использовать два декодера, каждый из которых производит декодирование своего кодового блока. Поскольку информационные части каждого из двух кодовых блоков идентичны, декодированную информацию первого (второго) декодера с учетом перемежения можно использовать в качестве априорной информации для второго (первого) декодера с целью уточнения результата декодирования, тем самым как бы замыкая обратную связь между декодерами двух кодовых блоков. Подобную операцию можно производить многократно. В этом и состоит принцип турбо – или итеративного декодирования. Приведенные выше рассуждения являются лишь эвристическим описанием механизма функционирования декодера. Безусловно, оптимальный декодер должен быть построен на основе критерия минимума вероятности ошибочного декодирования. Однако построение такого декодера из-за наличия перемежителя встречает трудности. В то же время изложенная идея итеративного под-оптимального декодирования оказалась исключительно плодотворной и эффективной.

Имея в виду изложенный принцип итеративного декодирования, помимо общего критерия минимума вероятности ошибочного декодирования путем нахождения наиболее благоприятной формы закона распределения функции  $S(d)$ , можно также сформулировать критерий повышения достоверности декодирования путем сочетания структуры псевдослучайного перемежителя со структурой сверточных кодеров [5]: в случае формирования «плохого» первого кодового блока, т.е. близко расположенного от соседних кодовых блоков, следует стремиться второй кодовый блок сделать «хорошим», т.е. расположить его далеко от соседних кодовых блоков. Тогда в целом повышается достоверность декодирования информационного блока. Решению этой задачи посвящено значительное число работ по ТК.

Итак, турбо-кодер представляет собой хороший способ построения случайного кода большой длины. Главный принцип турбо-кодирования – использование двух параллельно работающих элементарных кодеров. При этом информационный блок кодируется дважды, причем второй раз – после предварительного случайного перемежения (перемешивания, перетасовывания и т.п.).

При декодировании кодированный блок можно «расщепить» на два кодовых блока. Это обстоятельство позволяет использовать два декодера, каждый из которых производит декодирование своего кодового блока. Декодированная информация с выхода первого (второго) декодера используется в качестве априорной информации для второго (первого) декодера с целью уточнения результата декодирования. Подобную операцию можно производить многократно. В этом состоит принцип турбо- или итеративного декодирования. Вычислительная сложность турбо-декодера в расчете на один информационный бит не зависит от длины информационного блока и сравнима со сложностью декодера Витерби для сверточного кода. Критерием выбора параметров кода служит минимум количества кодовых блоков с малым взаимным расстоянием при максимуме среднего расстояния в противоположность весьма распространенному критерию максимума минимального расстояния между кодовыми блоками. Такой критерий обеспечивает более высокую достоверность декодирования при низком отношении сигнал/шум, чем критерий минимума

максимального расстояния. Снижение вероятности ошибки декодирования достигается увеличением длины информационного блока без увеличения вычислительной сложности алгоритма декодирования. Иначе говоря, длиной блока можно управлять вероятностью ошибки.

Ввиду исключительно высокой ЭЭ (под ЭЭ понимается минимально допустимое значение отношения энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума, требуемое для обеспечения заданной достоверности приема сообщения), ТК должны найти свое место в системах связи военного назначения для увеличения дальности приема, скрытности системы, а также для обеспечения связи в радиосистемах с низким энергетическим потенциалом. Кроме того, активно рассматриваются СКК, сочетающие ТК с различными недвоичными методами модуляции [6], что позволяет, помимо высокой ЭЭ, добиться значительного повышения пропускной способности систем связи.

Список литературы

1. Gallager R.G. Low-Density Parity-Check Codes, IRE Trans. on Inform. Theory. - January, 1962. - P. 21-28.
2. Галлагер Р.Г. Коды с малой плотностью проверок на четность // Теория кодирования: Сб. - Изд-во «Мир», 1964. - С. 139-165.
3. Hunt A., Hyper-Codes: High-Performance Low-Complexity Error-Correcting Codes, Master's Thesis, Carleton University, Ottawa, Canada, defended March, 25, 1998.
4. Hunt A., Crozier S., Falconer D., Hyper-Codes: High-Performance Low-Complexity Error-Correcting Codes, 19-th Biennial Symposium on Communications, Kingston, Ontario, Canada. - May 31-June 3, 1998. - P. 263-267.
5. Andersen J.D., Selection of component codes for turbo coding based on convergence properties, "Annales des Telecommunications", Vol. 54, № 3-4, special issue on turbo codes, March-April, 1999 (<http://www.tele.dtu.dk/~jda/>).
6. Markarian G., Mason A., Huggett A., Novel high-order modulation techniques for future DVB-S systems, IBC-1999.

Получено 26.02.08.

---

УДК 004.42

**И.И. Фураева**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

**ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО УЧЕБНОГО ПЛАНА ДЛЯ КРЕДИТНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ**

Центральным документом, определяющим содержание профессиональной подготовки студентов, является рабочий учебный план. В нем регламентируется объем учебных дисциплин, нагрузка студента по периодам обучения, реализуются принципы отбора предметов и их систематизация. На структуру и содержание рабочего учебного плана (РУП) влияет ГОСО по соответствующим направлениям и специальностям.

Процедура контроля качества разработки РУП традиционным способом является трудоемкой и длительной. Применение современных технологий позволяет реализовать процесс интеграции информации в единый информационный ресурс вуза. Это позволяет избежать дублирования действий и документов, реализовать цели, способствующие повышению качества обучения, ускорить принятие оперативных решений.

Автоматизированная система предназначена для улучшения качества учебного про-

цесса, повышения эффективности управления учебным процессом. Кроме того, она упрощает работу кафедр, устраняет характерные ошибки учебного процесса, осуществляет централизованный контроль информации, формирует и печатает документы.

Обобщенная модель учебного процесса вуза позволяет связать все элементы учебного процесса на основании ряда допущений, которые сводятся к тому, что специальность характеризуется учебным планом, студенты привязываются к учебному плану, что служит основой для составления расписания. Система позволяет формировать РУП на основе типовых планов за предыдущие годы.

План учебного процесса содержит список дисциплин. Каждая дисциплина характеризуется следующей информацией:

- 1) семестры, в которых проводится дисциплина;
- 2) общее количество кредитов;
- 3) всего аудиторных часов, состоящих из аудиторных часов по видам занятий;
- 4) недельное распределение аудиторных часов.

Отдельная дисциплина может читаться в течение нескольких семестров, но в этом случае для каждого семестра отводится отдельная строка с указанием количества кредитов в каждом семестре. В РУП дисциплины закрепляются за кафедрами. Кроме того, необходимо осуществлять контроль норм недельной загрузки студента. Подготовка студентов может осуществляться по специализациям, что также следует учитывать при формировании РУП.

При разработке РУП необходимо учитывать возможность объединения потоков при проведении лекционных занятий. Согласно [1] РУП можно представить в виде множества дисциплин, пересечение которых дает множество дисциплин для формирования потоков. Максимальное перекрытие РУП по совпадающим учебным дисциплинам обеспечит оптимальное объединение учебных потоков по совпадающим учебным дисциплинам, что приведет к освобождению ресурсов, необходимых для проведения занятий по этим дисциплинам в случае, если бы они проводились отдельно для каждой специальности.

Учебная нагрузка в условиях кредитной системы обучения формируется на основании РУП и траекторий обучения студентов. Траектория обучения каждого студента формируется на основании представленных силлабусов, в которых каждый преподаватель в краткой форме описывает содержание дисциплины обучения. Силлабус представляется лектором, следовательно, при выборе дисциплины происходит выбор ведущего преподавателя. Так как дисциплина предусматривает проведение практических, лабораторных или семинарских занятий и СРСП, то нагрузка по этим видам обучения распределяется на кафедре.

Формирование учебной нагрузки кафедры является важной частью работы вуза. При решении этой задачи используются данные о контингенте студентов, РУП и распределение учебных дисциплин по кафедрам [3]. Неполная или неточная информация по любому из указанных компонентов приводит к неправильному формированию учебной нагрузки, что ведет впоследствии к появлению незапланированных часов, неверному расчету количества штатных единиц и т.д. Даже в тех случаях, когда выпускающая кафедра предоставляет сервисным кафедрам информацию о дисциплинах, которые ей поручается вести, возникает множество проблем в том случае, если произведенная впоследствии корректировка РУП не была доведена до сведения сервисных кафедр.

Решение вопроса о закреплении учебных дисциплин, учебно-ознакомительных и учеб-

но-вычислительных практик за конкретными кафедрами позволяет централизованно распределять учебную нагрузку по кафедрам как в конце учебного года, учитывая ожидаемый контингент студентов старшего курса, так и начале учебного года, когда имеется фактическая информация по контингенту студентов всех курсов.

Автоматизация процесса распределения учебной нагрузки по кафедрам позволит увеличить эффективность управления процессом подготовки специалистов, своевременно производить определение штатов, свести к минимуму появление незапланированных часов на кафедре, которое в этом случае может появиться только в результате редактирования РУП.

На рис. 1 представлена основная форма для ввода информации в РУП. На первой вкладке вводится основная информация о специальности, всех видах практик; на второй – дисциплины РУП; на третьей – тематика занятий, на основании которой производится объединение потоков; на четвертой – пререквизиты дисциплин, что является важнейшей информацией для кредитной системы обучения.

№ п/п	Код дисц.	Наименование дисциплин	Кафедра	Семестр	Р.К. [1 нед.]	Р.К. [2 нед.]	Курс: работы	Число кредитов	Лекц.	Практ. ие	Лабор- ные	СРСР	СРС
<b>Обязательный компонент</b>													
<b>9,5 кредитов</b>													
1	Ge109	Информатика	Менеджмент	2		4 да	3				22	22	22
2	Ge104	Структура данных	Информатика	4	4	4 нет	4				44	44	44
3	Ge107	ППС	Менеджмент	5	7	7 нет	2,5				77	77	77
<b>ИТОГО:</b>								<b>9,5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>143</b>	<b>143</b>	<b>143</b>
<b>Компонент по выбору</b>													
<b>6 кредитов</b>													
<b>Курс по выбору 1</b>													
1	Ge120	Нейронные сети	Маркетинг	3	3	4 да	4	33				33	33
2		ППС	Математический анализ										
3		ППС	Информатика										
<b>Курс по выбору 2</b>													
1	Ge121	Машинная графика	Информатика	5	5	2 да	2	10	10	10	30	30	30
2		Структура данных	Прикладная математика										
<b>ИТОГО:</b>								<b>6</b>	<b>43</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>63</b>	<b>63</b>
<b>Всего по циклу</b>								<b>15,5</b>	<b>43</b>	<b>10</b>	<b>153</b>	<b>206</b>	<b>206</b>

Рисунок 1 – Форма ввода информации в рабочий учебный план

Традиционно РУП составляется только на основе ГОСО без учета имеющегося контингента студентов, причем по каждой специальности и для каждого курса независимо от других. В ЕНУ используется математическая модель формирования РУП, минимизирующая влияние малокомплектных групп на использование аудиторного фонда, а также неравномерность нагрузки сервисных кафедр [2]. Корректировка РУП производится только на текущий учебный год, так как на следующий учебный год ситуация может измениться в связи с изменением контингента студентов.

Учебный процесс как система взаимодействия объектов во времени описывается тремя группами объектов: преподаватели, учебные группы и аудитории, которые для достижения определенной цели выполняют некоторый технологический процесс, описываемый заданным учебным планом. Поскольку множества значений указанных групп достигают

значительного числа, поиск оптимального по некоторой совокупности критериев варианта управления их взаимодействием является трудоемким процессом и должен быть автоматизирован.

РУП является основным документом, регламентирующим учебно-организационную деятельность вуза. Разработка автоматизированных информационно-аналитических систем, которые удовлетворяли бы потребности учебных заведений в современных средствах как планирования и управления их деятельностью, так и формирования содержания подготовки, является весьма актуальной.

При составлении РУП должны учитываться возможности учебного заведения по ресурсному обеспечению учебного процесса. Основными ресурсами выступают преподавательские кадры, аудиторный фонд (площади), а также стремительно развивающиеся программные и технические средства современных информационных технологий. Ресурсный потенциал учебного заведения существенно влияет не только на планируемое содержание учебной программы, но и на объем набора.

Информационная система должна реализовывать три основные функции. Во-первых, это должна быть справочная система, основная задача которой заключается в предоставлении доступа к некоторой информации. Во-вторых, она должна поддерживать множество оперативных баз данных, автоматизирующих бизнес-процессы вуза. Наконец, в третьих, система должна играть роль средства поддержки принятия решений и экспертной системы для руководителей вуза и его подразделений.

Последовательность изучения дисциплин в указанные семестры, представленная в рабочем учебном плане, может быть обязательной, тогда выбор траектории обучения студентом состоит только в выборе одного из нескольких предлагаемых вузом спецкурсов. При таком подходе именно выбор спецкурсов определяет индивидуальную траекторию обучения. При этом количество дисциплин в каждом семестре у всех студентов, обучающихся по данному РУП, будет одинаковым, соответственно будет одинаково у них и время обучения в вузе. То, каким образом будет происходить выбор студентом спецкурса, определяет качество дальнейшей образовательной деятельности вуза.

Для дисциплин РУП можно ввести понятия «пре» и «пост» репреквизитов. Препреквизиты показывают, какие дисциплины необходимо освоить до изучения данной дисциплины. Пострепреквизиты – после изучения данной дисциплины.

Учет репреквизитов и пострепреквизитов позволяет рассматривать РУП как ориентированный граф. Пусть  $G=(V,E)$  - граф, где  $V$  – множество вершин и  $E$  – множество его ребер.

Полученный граф можно разложить на независимые компоненты или подграфы, удалив предварительно имеющиеся избыточные связи или ребра. После такого разложения с каждым компонентом можно работать отдельно. Независимый компонент ориентированного графа  $G=(V,E)$  представляет собой максимальное количество вершин  $C \subseteq V$ , такое, что для каждой пары вершин  $u$  и  $v$  из  $C$  справедливо  $u \rightarrow v$ , т.е. вершина  $v$  достижима из вершины  $u$ .

Каждая вершина графа связана с дисциплиной и семестром, который рекомендован для ее изучения рабочим учебным планом. Кроме того, учитывается вид дисциплины: обязательная или элективная, а также какие связные компоненты относятся к одной группе.

Граф можно рассматривать как взвешенный, если каждому ребру поставить в соответствие расстояние между двумя смежными вершинами, измеряемое количеством семест-

ров. Используя граф РУП в виде независимых компонентов можно описать предоставление студенту возможности реализации права на ускоренное завершение программы, перемещающая начала всех подграфов на заданный семестр и уменьшая вес каждого ребра до единицы.

Представленный таким образом РУП позволяет корректировать индивидуальный учебный план в зависимости от положения обучающегося в каждом из независимых подграфов РУП. Это приводит к тому, что понятие «задолженность по дисциплине» исчезает: положение каждого студента определяется его индивидуальной позицией к графу РУП. Автоматически ликвидируется также такое понятие, как «разница» при переводе из другого вуза или восстановлении студента. При установлении индивидуальной позиции к графу РУП может возникнуть неоднозначность только при учете элективных дисциплин. Этот вопрос можно решить, если, кроме транскрипта, при переводе будут предоставляться силлабусы элективных курсов, на основании которых кафедры будут иметь возможность сделать мотивированное заключение о зачете соответствующего курса.

Дисциплины рабочего учебного плана, связанные пререквизитами и постреквизитами представляют собой связный граф, узлы которого расположены по 8 семестрам. Для этого графа решается задача разбиения его на независимые подграфы. Наибольшая глубина подграфа показывает минимальное время (в семестрах) его прохождения, т.е. наименьший срок обучения по данному учебному плану. Имея графическое представление дисциплин РУП в виде независимых подграфов, можно производить анализ всех возможных траекторий обучения по заданной специальности. При этом облегчается анализ возможностей досрочного прослушивания некоторых курсов, увеличения количества выбранных на семестр кредитов. Кроме того, имея информацию для каждого студента, обучающегося по заданному учебному плану, и о сданных им дисциплинах, можно на основании графа дисциплин специальности строить индивидуальный граф, и возможности выбора дисциплин.

Список литературы

1. Темралиева А.Я. Автоматизированная система формирования вычисления кредитов: Дис. канд. техн. наук. - Астү
2. Фураева И.И. Вопросы моделирования и автоматизации управления учебным процессом вуза // Вестник ПГУ. - 2007. - №1. - Павлодар, 2007. - С. 135-146.
3. Фураева И.И. Автоматизированная система распределения учебной нагрузки / И.И. Фураева, В.З. Макатов // Труды II Междунар. конф., 31 марта-2 апр. 2004 г. - Алматы, Казахстан. New Trends in the Computer Science Master's Curriculum. - Алматы, 2004. - С. 242 - 247.



Получено 11.02.08.

---

## **ВМЕСТО СВАЛКИ – В ПЕРЕРАБОТКУ**

---

Утилизация отслуживших срок кислотных аккумуляторов представляет серьезную опасность для окружающей среды.

На «Технофоруме-2007», проходившем в «Экспоцентре» на Красной Пресне, воронежские машиностроители показали автоматическую линию КРАБ для переработки ак-

кумуляторных батарей в эбонитовых и полипропиленовых корпусах.

Аккумуляторы по конвейеру подаются в кислотостойкий бункер, где их разрушают и сливают кислоту. Стальные детали отсортировывают в магнитном сепараторе, а остальное попадает в гранулятор, где дробится в мелкую крошку. Для отделения свинца от пластика применено гидродинамическое вибросито. Неметаллические кусочки потоком воды уносятся к водному сепаратору, в котором происходит разделение полипропилена, эбонита и бумаги. Значительную часть отходов можно отправить на повторную переработку.

Габариты КРАБа (10x25x4,5 м) позволяют использовать его не только на специальных пунктах, но и на крупных автопредприятиях.

«Наука и жизнь» № 8, 2007