

Лекция 12. Декодирование навигационного сообщения

Болденков Е.Н.

Московский Энергетический институт

ноябрь 2014

Содержание

- 1 Приём навигационного сообщения
 - Скорость передачи данных
 - Как работает помехоустойчивое кодирование?
- 2 Кодирование в сигнале ГЛОНАСС ПТ
 - Устройство кода Хэмминга в системе ГЛОНАСС
 - Почему кодирование в ГЛОНАСС не является помехоустойчивым
- 3 Кодирование в сигнале GPS C/A
 - Устройство кода в сигнале GPS C/A
- 4 Кодирование в современных навигационных сигналах
 - Свёрточное кодирование
 - Проверка ошибок

Приём навигационного сообщения

При отсутствии помехоустойчивого кодирования нижний предел приёма сообщения определяется только скоростью передачи данных

Сигнал	Длительность бита	Скорость	Предел
ГЛОНАСС ПТ	20 мс	50 бит/с	27 дБГц
GPS C/A	20 мс	50 бит/с	27 дБГц
Galileo E1	8 мс	125 бит/с	31 дБГц
GPS L1C	20 мс	50 бит/с	27 дБГц
SBAS	2 мс	500 бит/с	37 дБГц

Приём навигационного сообщения

Единственный способ снизить предел — использовать помехоустойчивое кодирование

Сигнал	Кодирование
ГЛОНАСС ПТ	Код Хэмминга
GPS C/A	Код Хэмминга
GPS L2C	Свёрточный код $K=7 R=1/2$
Galileo E1	Свёрточный код $K=7 R=1/2$
GPS L1C	LDPC-код
SBAS	Свёрточный код $K=7 R=1/2$

Применение помехоустойчивого кодирования может дать выигрыш несколько децибел.

Как работает помехоустойчивое кодирование?

Помехоустойчивое кодирование вносит *избыточность* в сообщение



Как работает помехоустойчивое кодирование?

Избыточность увеличивает число комбинаций данных, передаваемых в канал

- Количество комбинаций входного сообщения 2^N .
- Количество комбинаций символов на выходе кодера — всё равно 2^N .
- Количество комбинаций на выходе канала связи — 2^M .

Как работает помехоустойчивое кодирование?

Избыточность увеличивает число комбинаций данных, передаваемых в канал

- Количество комбинаций входного сообщения 2^N .
- Количество комбинаций символов на выходе кодера — всё равно 2^N .
- Количество комбинаций на выходе канала связи — 2^M .

Количество *разрешённых комбинаций* — 2^N

Если принята запрещённая комбинация — значит в канале произошла ошибка. Для исправления берут ближайшую разрешённую комбинацию.

Устройство кода Хэмминга в системе ГЛОНАСС

В сигнале ГЛОНАСС ПТ используется код Хэмминга

- Длина блока данных 77 бит.
- Длина кодового блока 85 бит.
- Кодовая скорость $R = 77/85$.

Код Хэмминга позволяет исправлять одиночные ошибки и обнаруживать двойные.

Устройство кода Хэмминга в системе ГЛОНАСС

Структура сообщения приведена в ИКД ГЛОНАСС



Устройство кода Хэмминга в системе ГЛОНАСС

Структура кода задана проверочными уравнениями

$$C_k = \beta_k \otimes \left[\sum_i b_i \right].$$

Для первого уравнения

$i=9,10,12,13,15,17,19,20,22,24,26,28,30,32,34,35,37,39,41,43,$
 $45,47,49,51,53,55,57,59,60,61,64,65,67,68,70,72,74,76,78,80,82,84.$

Аналогичные списки есть для всех 8 уравнений.

Устройство кода Хэмминга в системе ГЛОНАСС

Проверка с использованием кода Хэмминга

В результате вычислений получается 8 бит контрольной суммы

- Если все $C_1 \dots C_7$ нулевые, а $C_8 = 1$ — ошибок нет.
- Если среди $C_1 \dots C_7$ есть ненулевые биты, есть одиночная ошибка.
- Если $C_8 = 0$ — есть кратные ошибки.

Устройство кода Хэмминга в системе ГЛОНАСС

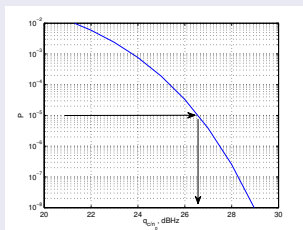
Одиночные ошибки можно скорректировать

Контрольные суммы $C_1 \dots C_7$ дают $2^7 = 128$ комбинаций, а одиночных ошибок может быть только 85. Каждой одиночной ошибке соответствует своя комбинация проверочных бит $C_1 \dots C_7$.

Почему кодирование в ГЛОНАСС не является помехоустойчивым

В ГЛОНАСС используется относительная фазовая модуляция

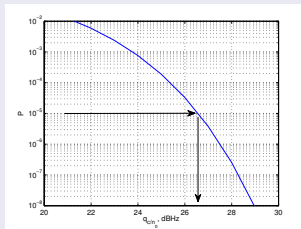
При ОФМ ошибки всегда двойные, а код Хэмминга исправляет только одинарные.



Почему кодирование в ГЛОНАСС не является помехоустойчивым

В ГЛОНАСС используется относительная фазовая модуляция

При ОФМ ошибки всегда двойные, а код Хэмминга исправляет только одинарные.



Код Хэмминга был разработан для коррекции сбоев в аппаратуре. 30 лет назад это было актуально.

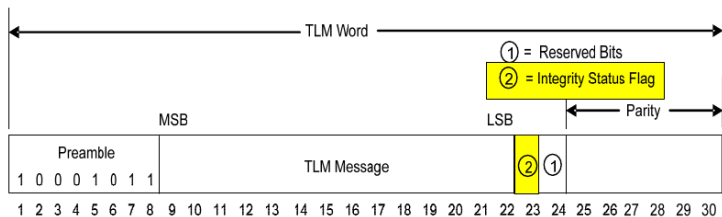
Устройство кода в сигнале GPS C/A

В GPS C/A тоже используется код Хэмминга

- Длина блока данных 24 бит.
- Длина кодового блока 30 бит.
- Кодовая скорость $R = 24/30$.

Устройство кода в сигнале GPS C/A

Структура сообщения приведена в ИКД GPS IS-GPS-200E



Устройство кода в сигнале GPS C/A

Структура кода определяется проверочными уравнениями

$$D_{25} = d_{29} * \left[\sum_i d_i \right]$$

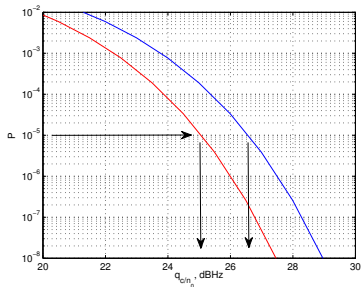
$i=1,2,3,4,5,6,10,11,12,13,14,17,18,20,23$.

Аналогично заданы остальные 5 проверочных уравнений.

Код Хэмминга позволяет исправлять одиночные ошибки и обнаруживать двойные.

Устройство кода в сигнале GPS C/A

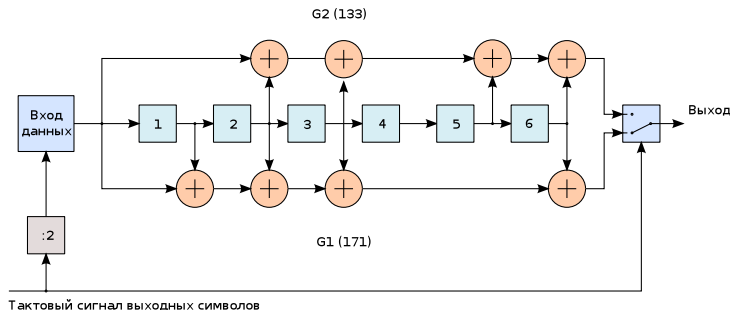
Эффект от коррекции ошибок в GPS



Коррекция ошибок снижает предел на 1.5 дБ. Правда после внесения коррекции нет возможности проверить наличие ошибок — контроль чётности уже будет сходиться.

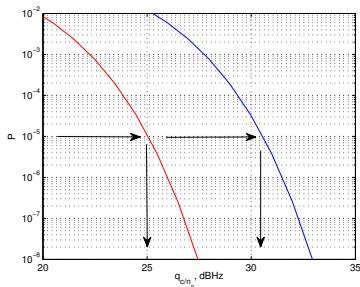
Кодирование в современных навигационных сигналах

Практически во всех перспективных навигационных сигналах используется свёрточное кодирование $K=7$, $R=1/2$.
Формирующие полиномы (133,171).



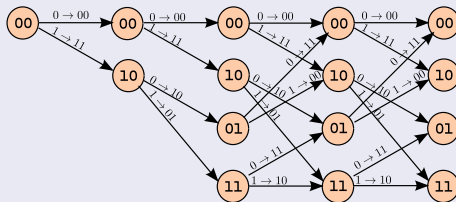
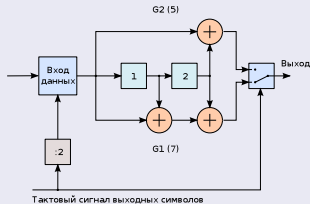
Свёрточный код

С учётом ограничений разрядности декодера эффект от свёрточного кодирования достигает 5.5 дБ



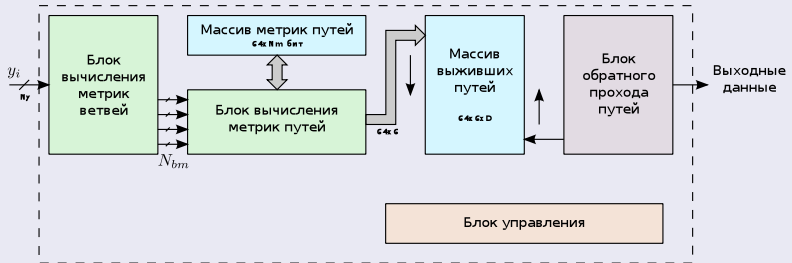
Свёрточный код

Для декодирования применяется алгоритм Витерби



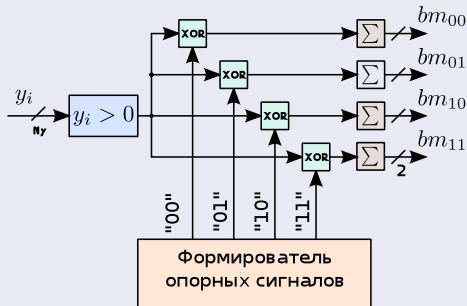
Свёрточный код

Структура блока декодирования



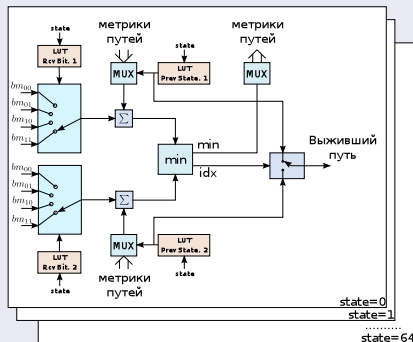
Свёрточный код

Структура блока вычисления метрик ветвей



Свёрточный код

Структура вычисления блока метрик путей



Проверка ошибок

Кроме помехоустойчивого кодирования в современных сигналах осуществляется контроль ошибок после декодирования

При малом отношении сигнал/шум на выходе помехоустойчивого декодера появляются блочные ошибки.

Проверка ошибок

В настоящее время стандартным для навигации стал проверочный код CRC-24Q

Код задан полиномом

$$G(X) = (1 + X) (X^{23} + X^{17} + X^{13} + X^{12} + X^{11} + X^9 + X^8 + X^7 + X^5 + X^3 + X^1 + 1)$$

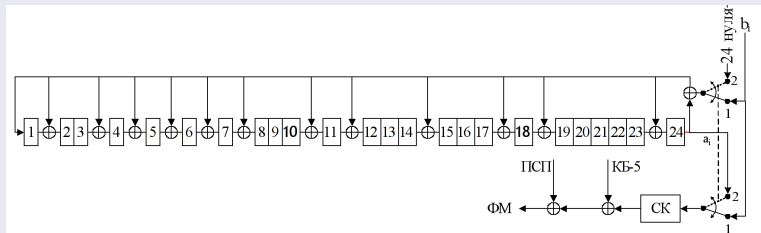


Рисунок 7.6 Циклический кодер формирования 24-х проверочных бит в строках навигационного сообщения L3.

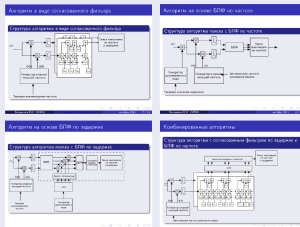
Проверка ошибок

Возможности проверочного кода CRC24Q

- Обнаружение всех одиночных ошибок.
- Обнаружение всех блочных ошибок при длине блока до 24 бит.
- Для блоков более 24 бит обнаруживается 99% ошибок.

Следующая лекция

Тема следующей лекции - погрешности измерений СРНС



Посетите наш web-сайт

<http://srns.ru>

