

БАЗОВЫЕ ОСНОВЫ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ

Зайцев И.Д., Юрченко Е.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Герасимович В.Ю. – старший преподаватель

Рассмотрены базовые концепции передачи сигналов навигационных спутников и приведены примеры моделей в среде Matlab.

Для передачи сигналов навигационных спутников исходный сигнал, представленный нулями и единицами, должен подвергнуться модуляции. В большинстве случаев оказывается, что спектр исходного сигнала сосредоточен не на тех частотах, которые эффективно пропускает имеющийся канал. Поэтому необходимо преобразовать исходный сигнал таким образом, чтобы полученный сигнал соответствовал всем требованиям канала. Этот процесс и называется модуляцией, сущностью которого является формирование некоторого колебания, называемого несущим колебанием или просто несущей, и изменение какого-либо параметра колебания во времени пропорционально исходному сигналу. [2] Если в качестве несущего колебания использовать гармонические колебания, то будет существовать три параметра, которые можно использовать для представления исходных данных: амплитуда, частота и фаза.

В спутниковой навигации применяется бинарная фазовая манипуляция (BPSK – Binary Phase Shift Keying). Так как в цифровых системах существует только два состояния, модуляция будет заключаться в смещении фазы модулируемого сигнала на одно из двух значений (ноль или $\pi(180^\circ)$). [1] При практической реализации выбирается значение частоты несущего колебания и происходит кодирование нулей и единиц через последовательные интервалы во времени T_b таким образом, что единица кодируется несущей частотой с нулевой фазой, а ноль – со сдвигом фазы в 180° . Стоит заметить, что исходный цифровой сигнал нужно модифицировать к интервалу $-1 +1$ и только затем обрабатывать. Полученный BPSK сигнал можно рассматривать как произведение двух сигналов – несущего колебания и исходных данных, принимающих значения либо $+1$, либо -1 . [3]

Таким образом с помощью BPSK происходит кодирование нулей и единиц. Однако возникает проблема интерференции и наложения сигналов друг на друга, потому что спутник передает одновременно множество сигналов. Для решения такой проблемы используется расширение спектра методом прямой последовательности (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum). Такой метод является расширением BPSK и характеризуется наличием третьего компонента, называемым сигналом распространения или PRN (PRN – Pseudo Random Noise) кодом. [3]

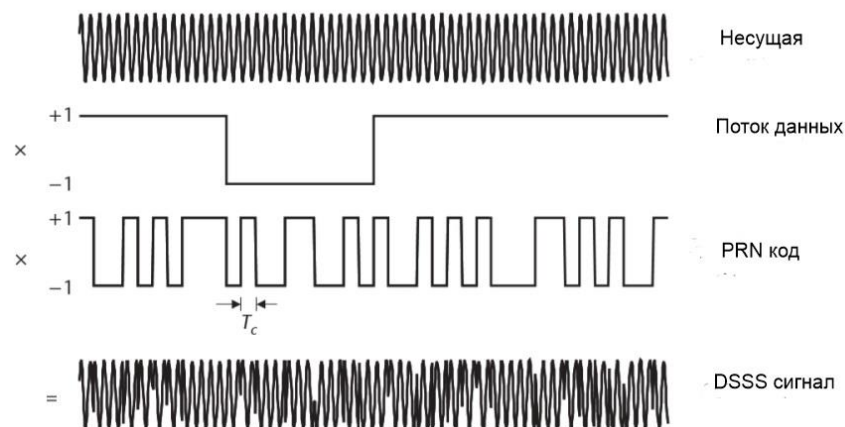


Рисунок 1 – DSSS модуляция

В общем случае навигационный космический аппарат(НКА) GPS излучает три PRN кода:

1. Точный P (Protected/Precise) код, который является основным навигационным кодом;
2. Y-код, используемый вместо P-кода, когда нужно исключить возможность несанкционированного использования P-кода;
3. C/A (Coarse/Acquisition) код грубого поиска, который используются в гражданских нуждах.

Для передачи информации в GPS применено кодовое разделение радиосигналов, т.е. все НКА используют одни и те же несущие частоты, но каждый из спутников имеет свои коды, свойства которых позволяют надежно (с заданной вероятностью) разделять сигналы различных НКА между собой.

C/A-код формируется с помощью двух сдвиговых регистров G1 и G2, имеющих по 10 разрядов,

и число символов (чипов) C/A-кодов составляет $M_{C/A} = 2^{10} - 1 = 1023$. Кодовая последовательность из 1023 символов формируется с тактовой частотой $f_{\text{чип}} = 1,023$ МГц и имеет длительность 1 мс. Для формирования C/A кода используется алгоритм последовательности Голда.

P-код является основным более точным дальномерным кодом. Используется в военных целях.

Y-код представляет собой зашифрованный P-код с помощью системы A/S (Anti/Spoofing).

Таким образом, можно передавать различные сигналы на одной несущей частоте. Приемник заранее знает частоту несущей и PRN код. Фактически, PRN код является ключом при демодуляции сигнала приемником. Такая технология получила название множественного доступа с кодовым разделением (CDMA – Code Division Multiple Access). Ее идея заключается в передаче сигналов одновременно и на одной частоте, но каждый такой сигнал имеет свой PRN код. Каждый спутник имеет свой уникальный PRN код, который вшивается в исходный сигнал. Приемник знает PRN коды всех спутников и может определить от какого спутника был принят сигнал. Это обеспечивает разделение данных от разных спутников.

Таким образом, PRN код служит для идентификации передающего спутника. PRN коды обладают такими полезными свойствами, как:

1. Свойство ортогональности, т.е. сигналы, пришедшие с разных спутников, не интерферируют друг с другом.
2. Использование PRN кодов позволяет повысить помехоустойчивость канала передачи. [4]

На рисунках 2 и 3 приведены примеры моделирования CDMA технологии для одной несущей и одинаковых исходных данных, но с разными PRN кодами.

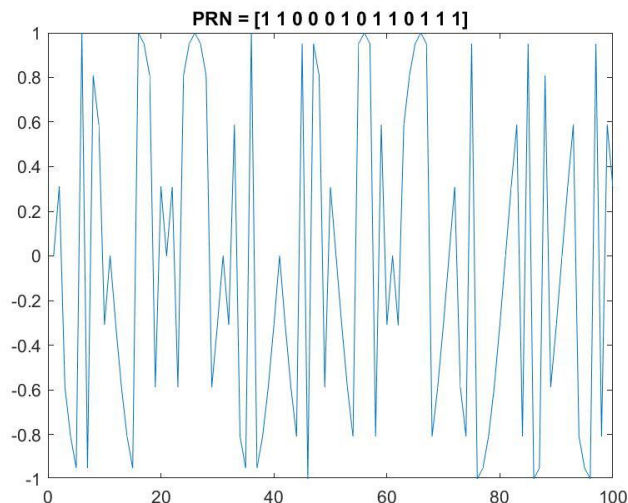


Рисунок 2 – Пример использования CDMA.

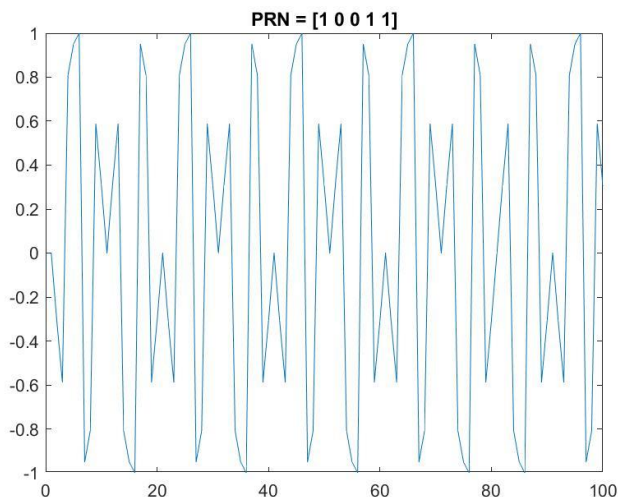


Рисунок 3 – Пример использования CDMA технологии.

Список использованных источников:

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Вильямс, 2003.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. Пособие. БХВ-Петербург, 2011.
3. Kaplan E.D., Hegarty C.J. Understanding GPS: Principles and Applications. ARTECH HOUSE, 2006.
4. Власов В.М., Мактас Б.Я., Богумил В.Н. Беспроводные технологии на автомобильном транспорте. ИНФРА-М, 2018.