

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ GPS И ГЛОНАСС СИГНАЛОВ

Чжо Хинн Аунг

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

Листопад Н.И – д.т.н., профессор (научн.рук.)

1. Навигационные сигналы как объект моделирования

- GPS и ГЛОНАСС используют радиосигналы диапазона L для передачи кодовой информации и навигационного сообщения.
- Моделирование позволяет воспроизвести структуру сигнала, процессы модуляции и влияние шумов, характерных для реальных условий приёма.

2. Моделирование GPS-сигнала (CDMA)

- GPS использует принцип кодового разделения каналов (CDMA), где каждый спутник имеет уникальный PRN-код.
- В модели формируется C/A-код, выполняется BPSK-модуляция и добавляется навигационное сообщение.
- В сигнал вводится аддитивный белый гауссов шум (AWGN) для анализа устойчивости алгоритмов синхронизации и корреляции.
- Моделирование позволяет исследовать влияние шума на процесс поиска задержки и доплеровского сдвига. В данном моделировании использовалось значение $SNR = -15$ дБ, что соответствует условиям слабого сигнала.

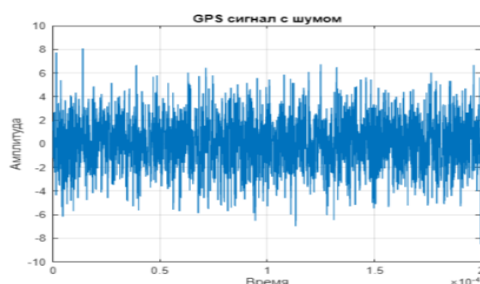


Рисунок 1 Моделирование GPS-сигнала с шумом (CDMA)

3. Моделирование ГЛОНАСС-сигнала (FDMA)

- ГЛОНАСС использует частотное разделение каналов (FDMA): каждый спутник передаёт на своей частоте.
- В модели учитывается частотный канал k , формируется код ST или VT, выполняется BPSK-модуляция.
- Добавление шума позволяет оценить устойчивость частотного разделения и влияние межканальных помех.
- Моделирование FDMA-структуры важно для анализа точности частотной синхронизации. В работе моделирование проводилось при $SNR = -10$ дБ для оценки помехоустойчивости FDMA.

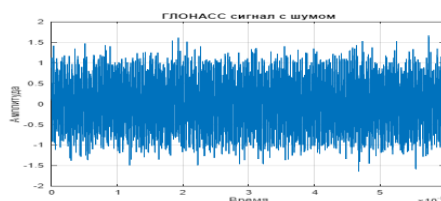


Рисунок 2 Моделирование ГЛОНАСС -сигнала с шумом (FDMA)

4. Шум и отношение сигнал/шум (SNR)

- SNR является ключевым параметром, определяющим качество приёма и точность навигации.

· При моделировании исследуется зависимость эффективности корреляции, точности определения задержки и устойчивости PLL (Phase-Locked Loop – фазовая автоподстройка частоты) и DLL (Delay-Locked Loop – схема синхронизации по задержке) от уровня шума.

· Низкие значения SNR приводят к ухудшению обнаружения сигнала, увеличению ошибок навигационного сообщения и потере слежения.

На рисунке 3 показано, как уровень шума влияет на принимаемый сигнал. При низком SNR (например, –15 дБ) корреляционный пик слабо различим на фоне шума, что приводит к ошибкам синхронизации и демодуляции. С увеличением SNR (например, до 5 дБ и выше) корреляционный пик становится чётким и высоким, что обеспечивает стабильную работу PLL/DLL, снижение вероятности битовой ошибки (BER) и надёжный приём навигационных данных.

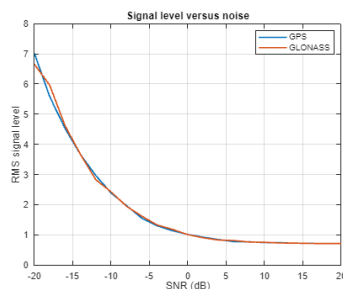


Рисунок 3 Зависимость уровня сигнала от шума (SNR)

5. Практическая значимость моделирования

- Модели позволяют тестировать алгоритмы приёма без использования реального оборудования.

- Исследуются условия работы приёмника в помеховой среде, при многолучёвости, при слабом сигнале.

- Результаты моделирования применяются при разработке GNSS-приёмников, оптимизации фильтров, корреляторов и систем синхронизации.

Список литературы

1. Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications*. 3rd ed. Artech House.
2. GLONASS Interface Control Document (ICD) – *Russian Institute of Space*