

# Программно-аппаратные платформы Интернета вещей и встраиваемые системы

Лекция 14

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ**

# Задача позиционирования

- Outdoor
  - ГНСС (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou, ...)
  - По вышкам сотовой связи, базовым станциям и т. п.
- Indoor
- RSSI – по уровню сигнала
- ToF – по задержке сигнала
- AoA – по направлению на источник сигнала

# **ГЛОБАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

# Спутниковые навигационные системы

- GPS (Navstar) (США)
- ГЛОНАСС (СССР, РФ)
- Galileo (Европейское космическое агентство)
- Beidou (Китай)
- Региональные системы
  - QZSS (Япония)
  - IRNSS (Индия)

# Навигационные уравнения

- Приемник знает местоположение спутников
- Приемник может определить задержку сигнала от каждого спутника (точнее, разность времени спутника и времени приемника)
- Получаем систему уравнений (для каждого видимого спутника)

$$c\Delta t_s = \sqrt{(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + (z - z_s)^2}$$

- Для получения времени и координат нужно 4 спутника в области видимости

# Космический сегмент

- GPS – 32 спутника, 6 плоскостей, орбита высотой 20 180 км, период обращения 11 ч 58 минут
  - L1 = 1575,42 МГц
  - L2 = 1227,60 МГц
  - L5 = 1176,45 МГц
- Модуляция BPSK, 50 бит/с, кодовое разделение с псевдослучайной кодовой последовательностью (1,023 МГц для «гражданского» C/A сигнала, 10,23 МГц для P-кода)

# Космический сегмент

- Глонасс – 24 спутника, 3 плоскости, орбита высотой 19 100 км, период обращения 11 ч 15 минут
  - L1:  $1602 \text{ МГц} + n \times 0,5625 \text{ МГц}$
  - L2:  $1246 \text{ МГц} + n \times 0,4375 \text{ МГц}$
  - L5: 1202,32 МГц
- Модуляция BPSK, 100 бит/с, частотное (L1, L2) и кодовое (L5) разделение



# Космический сегмент

- Galileo – 30 спутников в 3 плоскостях, орбита высотой 23 222 км, период обращения 14 ч 4 минуты
- Beidou – 44 спутника на разных орбитах (24 - средняя околоземная высотой 21 528 км, 3 плоскости, 12 – геосинхронная, 8 – геостационарная)

# ГНСС-приемники

- Основные характеристики радиочастотной части:
  - количество каналов (то есть одновременно принимаемых сигналов от разных спутников)
  - количество корреляторов
  - чувствительность:
    - старта (-145 дБм)
    - удержания (-160 дБм)

# Навигационное сообщение

- Альманах – приблизительные сведения об орбитах спутников
- Эфемериды – точные сведения об орбите конкретного спутника
- Служебная информация
- Длина сообщения – несколько десятков килобит, время на его прием – 10-15 минут

# Старт приемника

- Холодный старт – нет ни альманаха, ни эфемерид
  - От 5 до 15 минут
- Теплый старт – есть альманах, нет эфемерид
  - 1-2 минуты
- Горячий старт – после кратковременного отключения
  - Почти мгновенно
- Можно ускорить старт с помощью передачи эфемерид из других источников (A-GPS, Assisted GPS)

# Точность и бюджет ошибок

- Неточность эфемерид – 2,1 м
- Нестабильность работы генератора – 2,1 м
- Ионосферная задержка – 4,0 м
- Тропосферная задержка – 0,7 м
- Многолучевость – 1,4 м
- Шумовая ошибка приемника – 0,5 м
  
- Итого – 5,3 м (UERE – User Equipment Equivalent Error)  
для неподвижного приемника в хороших условиях

# Высокоточная навигация

- Постобработка с точными эфемеридами
- Differential GPS
  - Нужно два приемника
  - Устраняется атмосферная задержка
  - «Для бедных» – системы дифференциальной коррекции (EGNOS, СДКМ, SBAS, GBAS)
- RTK (realtime kinematic), фазовые измерения
  - Нужно два приемника
  - Точность до 0,1 – 1 мм
  - Большой объем вычислений

# Модуль GPS-приемника

- Все собрано в одном устройстве
- Выдает данные в формате NMEA-0183, иногда есть поддержка двоичных форматов
- 1-2 порта UART, иногда I2C или SPI
- Сигнал PPS – секундные импульсы
- Опционально – поддержка дифференциальных режимов, высоких темпов выдачи данных, «сырых» данных в двоичном формате, ...



# NMEA-сообщения

\$GPGGA,092750.000,5321.6802,N,00630.3372,W,1,8,1.03,61.7,M,55.2,M,,\*76  
\$GPGSA,A,3,10,07,05,02,29,04,08,13,,,,,1.72,1.03,1.38\*0A  
\$GPGSV,3,1,11,10,63,137,17,07,61,098,15,05,59,290,20,08,54,157,30\*70  
\$GPGSV,3,2,11,02,39,223,19,13,28,070,17,26,23,252,,04,14,186,14\*79  
\$GPGSV,3,3,11,29,09,301,24,16,09,020,,36,,,\*76  
\$GPRMC,092750.000,A,5321.6802,N,00630.3372,W,0.02,31.66,280511,,,A\*43  
\$GPGGA,092751.000,5321.6802,N,00630.3371,W,1,8,1.03,61.7,M,55.3,M,,\*75  
\$GPGSA,A,3,10,07,05,02,29,04,08,13,,,,,1.72,1.03,1.38\*0A  
\$GPGSV,3,1,11,10,63,137,17,07,61,098,15,05,59,290,20,08,54,157,30\*70  
\$GPGSV,3,2,11,02,39,223,16,13,28,070,17,26,23,252,,04,14,186,15\*77  
\$GPGSV,3,3,11,29,09,301,24,16,09,020,,36,,,\*76  
\$GPRMC,092751.000,A,5321.6802,N,00630.3371,W,0.06,31.66,280511,,,A\*45



# **ЛОКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

# RSSI

- Приемник измеряет уровень сигнала от передатчика, сравнивает его с эталонным, определяет расстояние
- Не требует какой-либо специальной поддержки со стороны оборудования
- iBeacon, Eddystone – стандарты Apple и Google соответственно для смартфонов на базе BLE



# TOF, TDOA, TWR

- Time of Flight – время между передачей и приемом
  - Нужны синхронизированные часы на неподвижных «маячках» и подвижном устройстве
- Time Difference of Arrival – фиксируется разность по времени на нескольких приемниках
  - Нужны синхронизированные часы на неподвижных «маячках»
- Two-way ranging – измеряется время между передачей сигнала и приемом ответа (формируется аппаратно)
  - Поддерживается в SX1280, приемопередатчике LoRa диапазона 2,4 ГГц

# AoA, AoD

- Применяется в многоантенных системах
- По разности фаз между принятыми на разные антенны сигналами можно определить направление на источник сигнала (AoA)
- Аппаратно поддерживается в Bluetooth 5.1, близкие возможности есть в WiFi и системах сотовой связи

