

***Кафедра Радиотехнических систем
(РТС)***

Курс

Навигационно-связные радиосистемы

Семинар №8.

НСРС на базе DSRC

Литература

1. (2009) Range and Range-Rate Measurements Using DSRC - Facts and Challenges - Alam et al
2. (2009) A Channel Capacity Perspective on Cooperative Positioning Algorithms for VANET -Efatmaneshnik et al
3. (2010) Performance Evaluation of Range Information Provided by Dedicated Short-Range Communication (DSRC) Radios – Allen
4. (2010) Lane-Level Vehicle Positioning using DSRC as an Aiding Signal – CERT
5. (2013) Cooperative Positioning using GPS, Low-cost INS and Dedicated Short Range Communications – Kealy
6. (2017) Определение взаимной ориентации и положения транспортных средств - Корогодин

1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий.

Проблемы безопасности дорожного движения и интеллектуального управления транспортными потоками – наиболее актуальные из существующих на сегодня в транспортной индустрии, а их разрешение невозможно без развития и внедрения самых современных технологий, в том числе для связи подвижных объектов.

Наиболее современным и общепризнанным способом в этих случаях является применение технологии **DSRC (Dedicated Short Range Communication – радиосвязь ближнего радиуса действия)**. DSRC означает специализированная беспроводная связь на коротком расстоянии.

DSRC– это стандарт V2V и V2I (vehicle-to-infrastructure) связи, родственен стандарту Wi-Fi IEEE 802.11n.

Сигналы DSRC имеют модуляцию OFDM, несущую частоту в диапазоне **5,8-5,9 ГГц**. Полоса сигналов составляет **10 МГц** (опционально **20 МГц**), излучаемую мощность находится в пределах **15-45 дБм**.

1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий (продолжение).

Примерно **7%** современных автомобилей оснащены трансиверами DSRC, ожидается существенное увеличение их количества.

В США в 1999 г. Федеральная комиссия по связи (FCC) выделила **75 МГц** в диапазоне **5,9 ГГц** (5,875–5,925) для **DSRC**.

В России в 2011 г. вышло постановление ГКРЧ, согласно которому решено выделить полосу радиочастот **5855–5925 МГц**.

Кроме того, на пунктах взимания платы также применяется DCRS, однако на других частотах (обычно, 5,7975 ГГц, 5,8025 ГГц, 5,8075 ГГц и 5,8125 ГГц).

Устройства DSRC, созданные в соответствии с международными стандартами IEEE 802.11 и IEEE 1609 позволяют решать проблему оперативной передачи данных между автомобилями и объектами транспортной инфраструктуры с одновременной минимизацией расходов на центры обработки данных, без создания дорогостоящей инфраструктуры и задействования глобальных каналов коммуникаций.

1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий (продолжение)

Технология DSRC – это вид связи стандарта IEEE 802.11p, который иногда называют «автомобильным Wi-Fi».

В отличие от **сетей сотовой связи** он позволяет стабильно передавать данные при движении транспортного средства со скоростью **до 250 км/ч**.

Дополнение DSRC технологиями динамической маршрутизации для построения одноранговых сетей (Delay & Disruption-Tolerant Networking, DTM – сетей, устойчивых к задержкам), систем GLONASS/GPS и средствами первичной обработки данных непосредственно на приемо-передающих устройствах без отправки больших объемов информации в вычислительные центры **позволяет** закрыть большинство проблем!

Технологии DSRC хорошо сочетаются с существующими решениями в области геопозиционирования, интерфейсами и протоколами передачи данных, кооперируются с мобильной и наземной связью и дополняют традиционные **интеллектуальные транспортные сети (ИТС)**.

Решения на базе DSRC признаны в мире, как наиболее рациональные, дешевые и современные в своей области и интенсивно развиваются.

1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий (продолжение)

Компоненты интеллектуального города:

- Управление дорожным движением
- Централизованное управление элементами дорожной инфраструктуры
- Централизованное и локальное адаптивное управление дорожным движением
- Возможность автоматизации приоритетного проезда общественного и спецтранспорта
- Оперативная информация о плотности и скорости транспортных потоков в городе
- Оперативная информация о событиях в городской дорожной обстановке
- Оперативная информация об авариях и поломках на городском транспорте
- Диспетчеризация пассажиропотоков на основе информации о загруженности маршрутов
- Оптимизация маршрутов городского транспорта

1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий (продолжение)

Безопасность

- Система оповещения пассажиров и водителей на транспорте
- Сохранение работоспособности сети при локальных или глобальных отключениях электроэнергии в городе за счет автомобильных источников тока
- Возможность размещения на городском транспорте аудио- и видеорегистраторов, веб-камер, газоанализаторов, измерителей уровня радиации и т.п. для получения оперативной информации в городском ситуационном центре и всех заинтересованных ведомствах об обстановке на транспорте и в городе в целом
- Организация службы «тревожной кнопки» на транспорте с возможностью оперативной аудио- и видеосвязи с конкретным транспортным средством
- Глобальная диспетчеризация городского транспорта в случае возникновения ЧС

1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий (продолжение)

Для пассажиров

- Информация о времени прибытия транспорта
- Новые удобные формы оплаты проезда
- Дополнительная информация и реклама на транспорте

Для города в целом

- Повышение емкости телекоммуникационных сетей
- Развитие услуг для государственных оперативных служб
- Вывод на рынок новых телекоммуникационных услуг

Технология DSRC является разновидностью технологии Wi-Fi для применения на движущемся транспорте и **обеспечивает:**

- Практически мгновенное (менее $\frac{1}{4}$ секунды) соединение
- Передачу данных на скоростях до 27 мегабит на дальность до 1.5 км
- Устойчивую работу при движении транспорта со скоростью до 250 км/ч

1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий (продолжение)

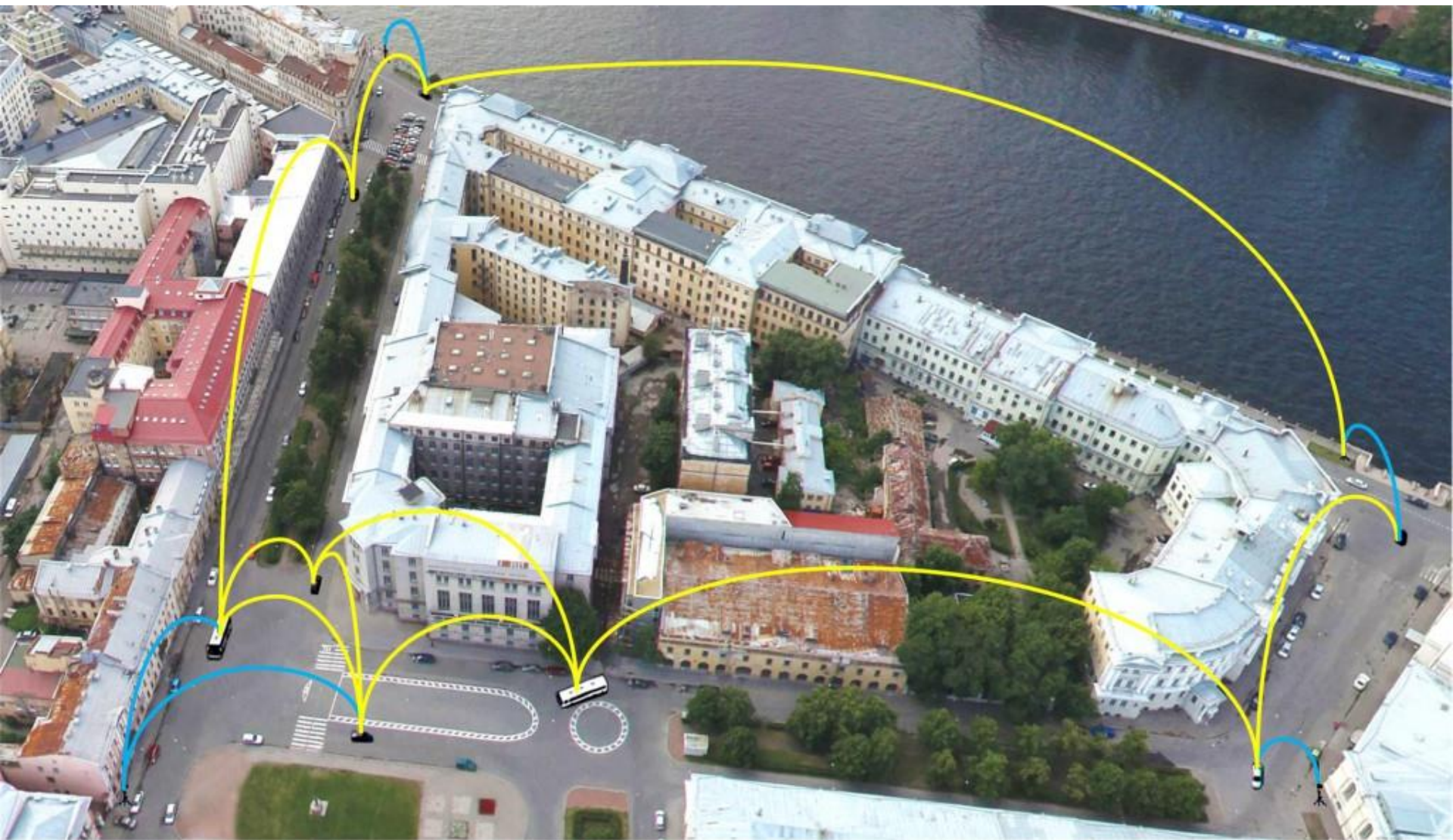


Рисунок 1.1.

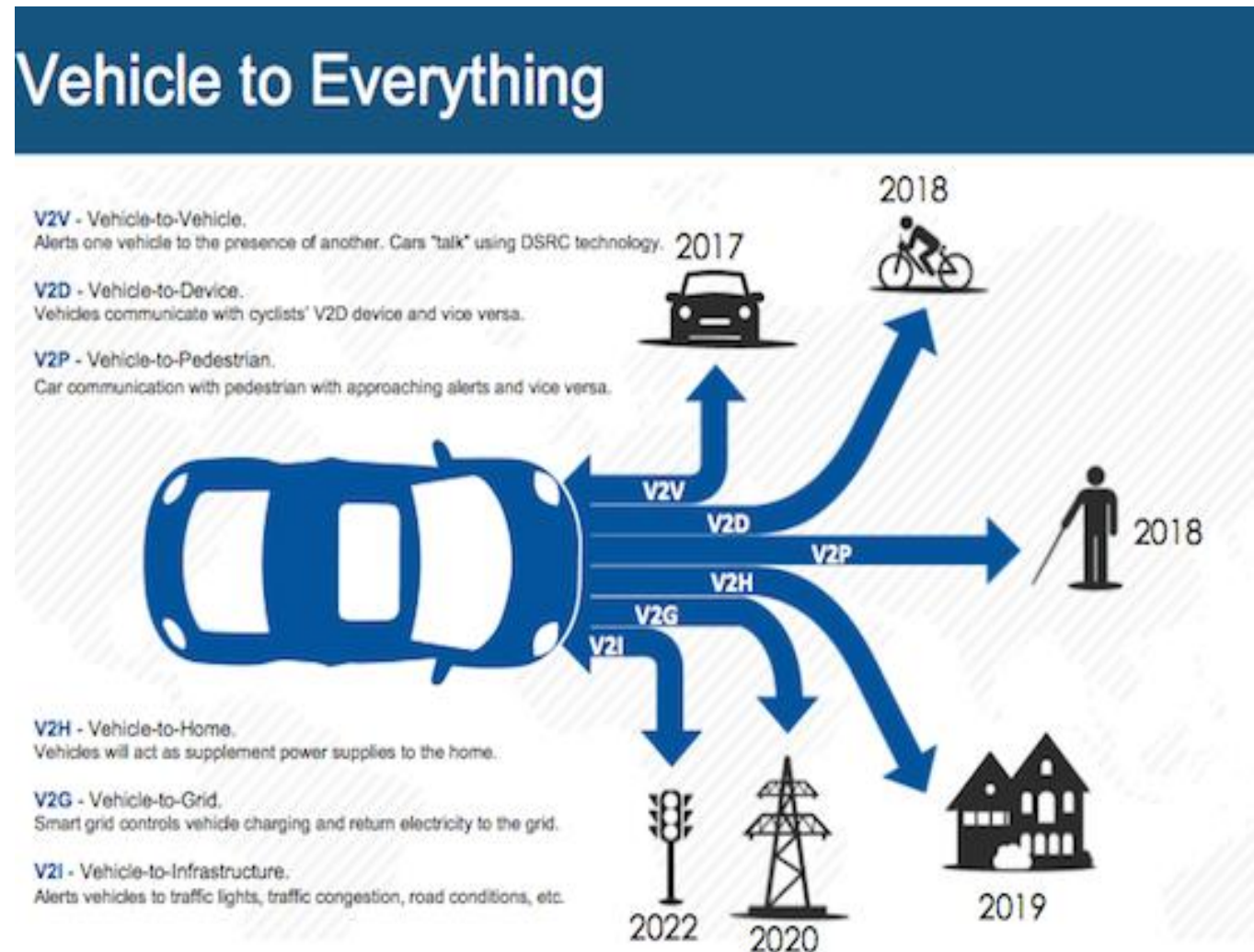
1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий (продолжение)

Решения на базе DSRC признаны в мире, как наиболее рациональные, дешевые и современные в своей области и интенсивно развиваются.

«Умный» автомобиль:

Рисунок 1.2.

- автомобиль-автомобиль (V2V),
- автомобиль - инфраструктура (V2X);
- автомобиль-пешеход (V2P);
- автомобиль - электросеть (V2G);
- автомобиль - устройство (V2D).



1. НАП ГНСС – это de facto стандарт навигации транспорта в масштабах улиц и зданий (продолжение)

Сервисы безопасности V2V (автомобиль — автомобиль)

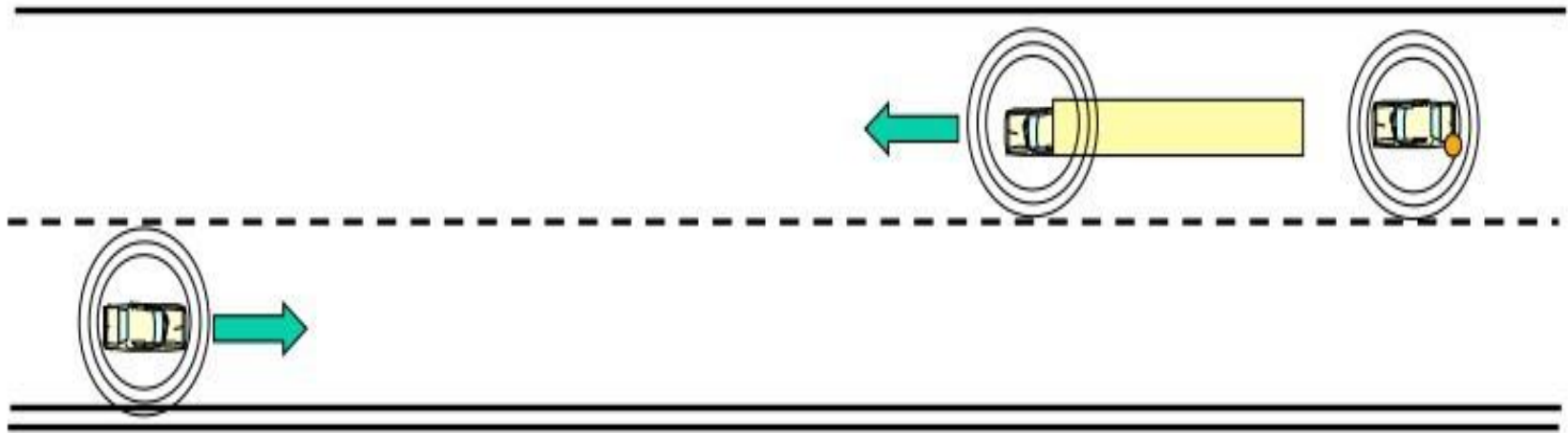


Рис.1.3. Грузовик предупреждает собирающуюся идти на обгон легковушку об опасности подобного маневра

В течение **ближайших 20 лет** DSRC-связь появится в каждом транспортном средстве, включая легковые автомобили.

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC.

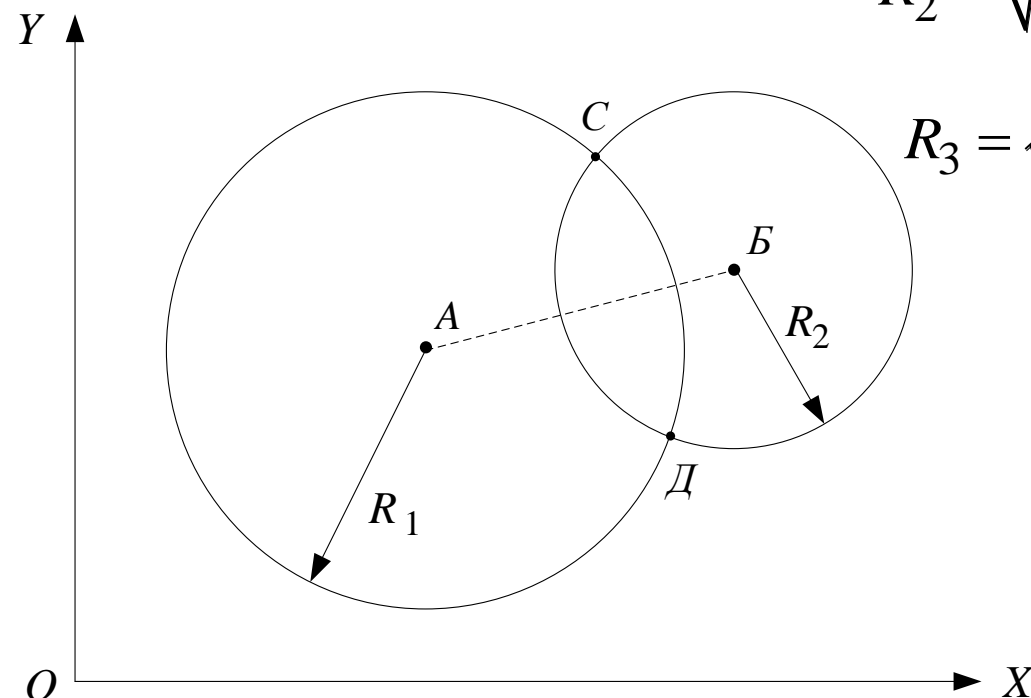
Received Signal Strength (интенсивность принимаемого сигнала) (**RSS**) – дальномерный метод, использующий в качестве радионавигационного параметра **амплитуду** (или **мощность**) сигнала.

Дальномерный метод

$$R_1 = \sqrt{(x_1 - x_o)^2 + (y_1 - y_o)^2 + (z_1 - z_o)^2}$$

$$R_2 = \sqrt{(x_2 - x_o)^2 + (y_2 - y_o)^2 + (z_2 - z_o)^2}$$

$$R_3 = \sqrt{(x_3 - x_o)^2 + (y_3 - y_o)^2 + (z_3 - z_o)^2}$$



2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

Оценка расстояния с использованием RSS – интенсивности принимаемого сигнала

1. Модель потери пути распространения сигнала в канале

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d} \right)^2, \quad d \geq d_0 \geq d_f$$
$$P_r(d) \text{ dBm} = 10 \log \left[\frac{P_r(d_0)}{0.001 \text{ W}} \right] + 20 \log \left(\frac{d_0}{d} \right) \quad (1)$$

Зона (область) Фраунгофера:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}, \quad d_f \gg D, \quad d_f \gg \lambda$$

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

$$P_r(R) = K - 20 \log(R) \quad dBm \quad (2)$$

$$K = 10 \log \left[\frac{P_r(d_0)}{0.001W} \right] + 20 \log(d_0) \quad (3)$$

$$P_r(R) = K - 10\varepsilon \log(R) \quad dBm \quad (4)$$

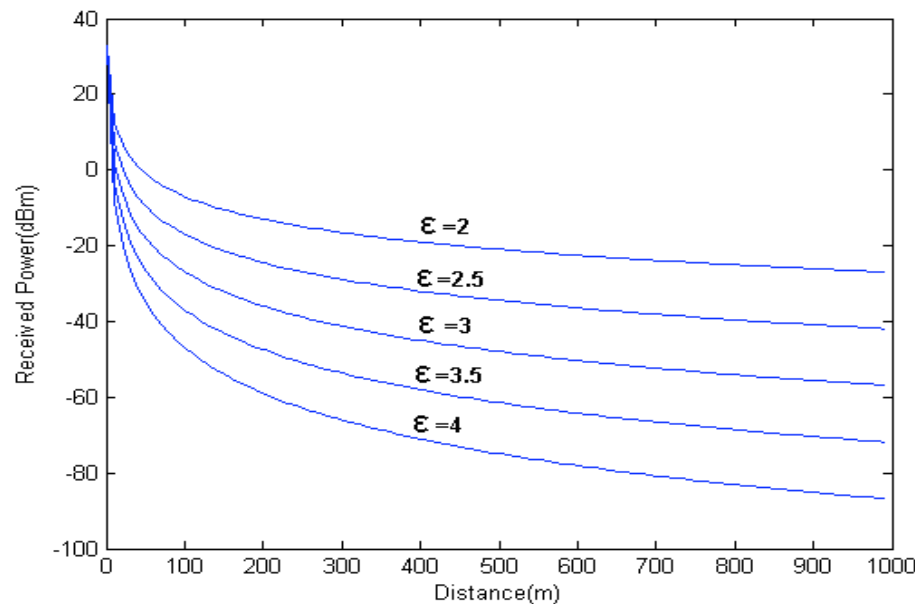


Рисунок 1. Влияние различных величин ε на $P_r(R)$

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

2. Чувствительность оценки расстояния к коэффициенту потери пути

$$S_{\varepsilon}^R = \frac{\partial R / R}{\partial \varepsilon / \varepsilon} \quad (5)$$

$$S_{\varepsilon}^R = \frac{(P - K) \ln(10)}{10\varepsilon} \quad (6)$$

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

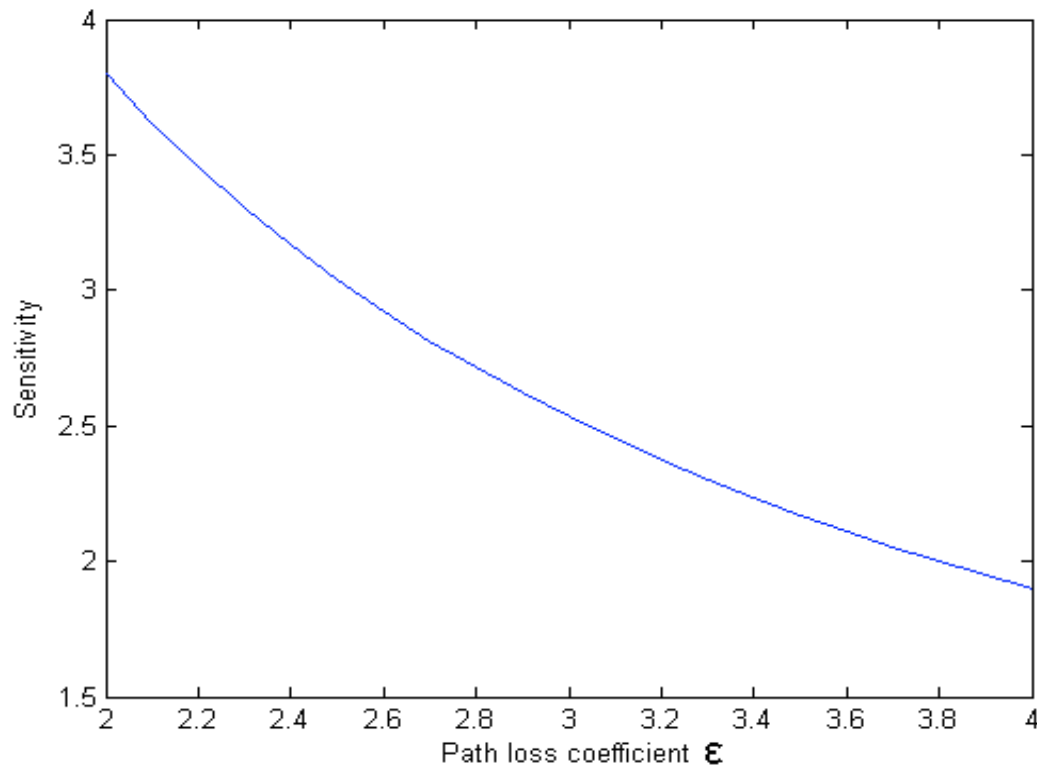


Рисунок 2. Абсолютные значения чувствительности оценки расстояния к ϵ

Ошибка в 10% при $\epsilon = 3$ приводит к 25% -ной ошибке оценки расстояния, поэтому, если дальность равна 100 м, то ошибка составляет 25 м.

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

3. Нижняя граница Рао-Крамера для оценки расстояний по методу RSS

$$C_e(X) \geq \frac{1}{I_y(X)} \quad (7)$$

$$I_y(X) = E \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial x} \ln f_{y/x}(y/x) \right] \Big| x = X \right\} = - E \left\{ \frac{\partial^2}{\partial x^2} \ln f_{y/x}(y/x) \Big| x = X \right\} \quad (8)$$

$$y = 0.1(K - P_r) \ln(10) \quad (9)$$

$$y = \varepsilon \ln(r) \quad (10)$$

$$\varepsilon \sim N(m, \sigma^2) \rightarrow f(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \text{Exp}\left(\frac{-(\varepsilon - m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (11)$$

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

$$f_{y/r}(Y/R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 \ln(R)}} \text{Exp}\left(-\frac{\left(\frac{Y}{\ln(R)} - m\right)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (12)$$

$$I_y(r) = -E \left\{ \frac{\partial^2}{\partial r^2} \ln\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 \ln(R)}} \text{Exp}\left(-\frac{\left(\frac{Y}{\ln(R)} - m\right)^2}{2\sigma^2}\right)\right) \bigg|_{R=r} \right\} = \frac{m^2 + 2\sigma^2}{\sigma^2 (r \ln(r))^2} \quad (13)$$

$$C_e(r) \geq \frac{\sigma^2 (r \ln(r))^2}{m^2 + 2\sigma^2} \quad (14)$$

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

Предположим $r = 100$ м и среднее значение коэффициента потерь пути, равное 3, и дисперсию σ_ϵ^2 в пределах от 0,01 до 1 м².

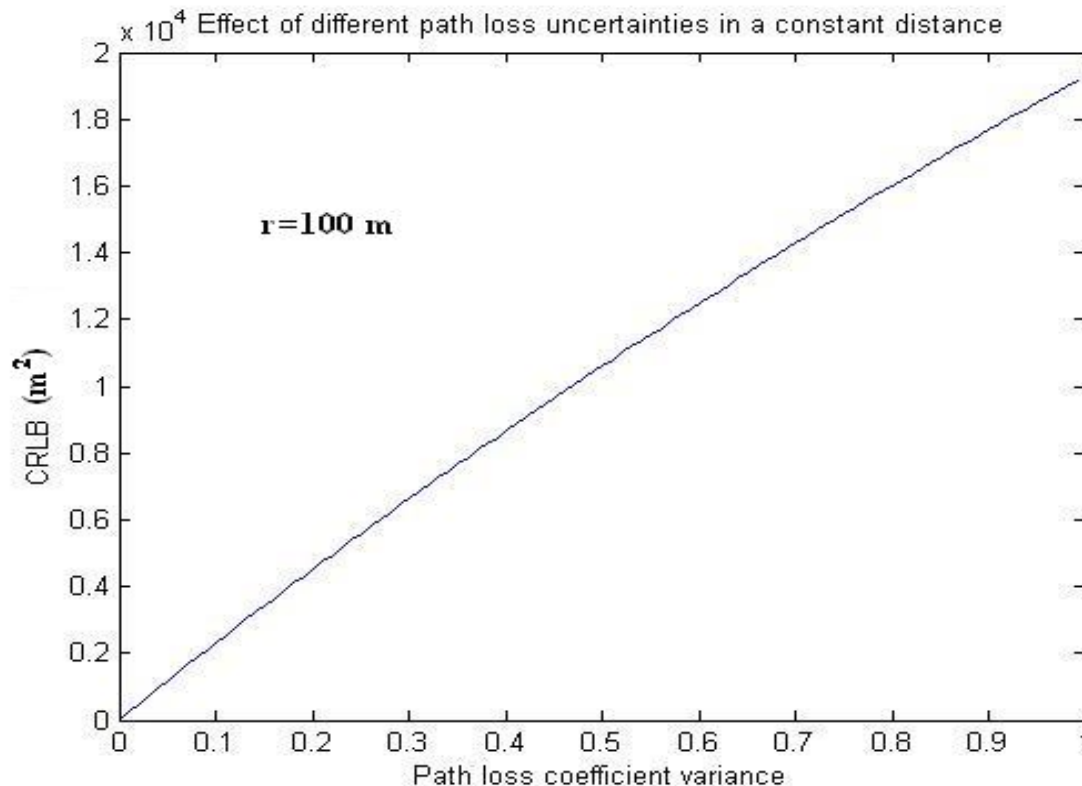


Рисунок 3. Влияние неопределенности потерь пути на нижнюю границу Рао-Крамера при фиксированном расстоянии

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

Источники флуктуации интенсивности сигнала

Одним из основных источников колебаний являются **препятствия** между радиостанциями. Интенсивность (уровень) сигнала значительно падает, когда сигнал проходит через любую плотную (твердую) среду.

Другой источник флуктуации сигнала – **многолучевость**.

Флуктуация в интенсивности сигнала из-за сигнала, отражающегося от дороги, наиболее распространена, когда расстояние между радиостанциями составляет менее 100 метров.

Когда диапазон между радиостанциями составляет менее 100 метров, уровень сигнала подчиняется закону распределению ослабления Райса.

После 100 метров мощность сигнала подчиняется закону распределению ослабления (затухания) Рэлея.

Это 100-метровое критическое расстояние предполагает, что антенны находятся на одной высоте.

2. Измерение расстояния между транспортными средствами (ТС) по мощности принимаемого сигнала DSRC (продолжение).

Выводы

Оценка дальностей между радиостанциями DSRC с использованием только интенсивности принимаемого сигнала по методу RSS нецелесообразна.

Уровень (интенсивность) сигнала колеблется слишком сильно из-за препятствий на пути распространения сигнала и многолучевости, особенно если расстояние между радиостанциями составляет менее 100 метров.

Как правило, от 0 до 100 метров RSSI будет находиться в интервале между 30 и 1.

Попытка оценить дальность более 100 метров с целочисленным шагом от 1 до 30 приведет к большим ошибкам из-за отсутствия точности в измерениях уровня принимаемого сигнала RSSI.

3. Измерение расстояния между ТС по задержке сигнала DSRC запросным методом.

Time of Arrival (время прибытия) (*TOA*) – дальномерный метод, использующий в качестве радионавигационного параметра **время распространения** радиосигнала.

В методе *TOA* неявно полагается, что время распространения радиосигнала определяется по **задержке огибающей**.

Метод *TOA* наиболее широко используется в различных приложениях, в том числе и в ГНСС.

Time Difference of Arrival (разность времен прибытия) (*TDOA*) – разностно-дальномерный метод.

3. Методы на основе времени прибытия для оценки расстояния

Методы TOA и TDOA – это два метода оценки расстояния на основе времени, которые используют время распространения сигнала, и в обоих методах требуется **синхронизация** между их элементами.²²

3. Измерение расстояния между ТС по задержке сигнала DSRC запросным методом (продолжение).

Производительность (эффективность) метода TOA

Шум в канале и многолучевые эффекты оказывают наиболее негативное влияние на производительность оценки времени.

Оценка производительности зависит от метода оценки и используемого алгоритма и в основном достижима с помощью сложных вычислений.

Производительность методов, основанных на оценке времени прибытия сигнала, связана с такими параметрами, как отношение сигнал / шум (SNR), длительность сигнала и ширина полосы пропускания сигнала.

$$\text{var}(TOA) \geq \frac{1}{2\omega^2 BTR} \quad (15)$$

3. Измерение расстояния между ТС по задержке сигнала DSRC запросным методом (продолжение).

$$\text{var}(TOA) \geq \frac{1}{2\omega^2 BTR} \quad (15)$$

$$R = \sqrt{\frac{SNR_r SNR_t}{1 + SNR_r + SNR_t}} \quad (16)$$

Если формула (15) используется для канала с параметрами:

$B = 1\text{MHz}$, $f = B = 1\text{MHz}$, $T = 100$ мкс и $SNR_r = SNR_t = 4$,

это приводит к ошибке оценки времени, равной: 9,75 нс, что эквивалентно 2,9 м.

Эта ошибка соответствует свободной от многолучевости среде, но может дать нам представление о достижимых разрешающих способностях, возможно, более сложных и более дорогих систем.

3. Измерение расстояния между ТС по задержке сигнала DSRC запросным методом (продолжение).

$$SNR_r = SNR_t = SNR$$

$$f = B = 1 \text{ MHz}$$

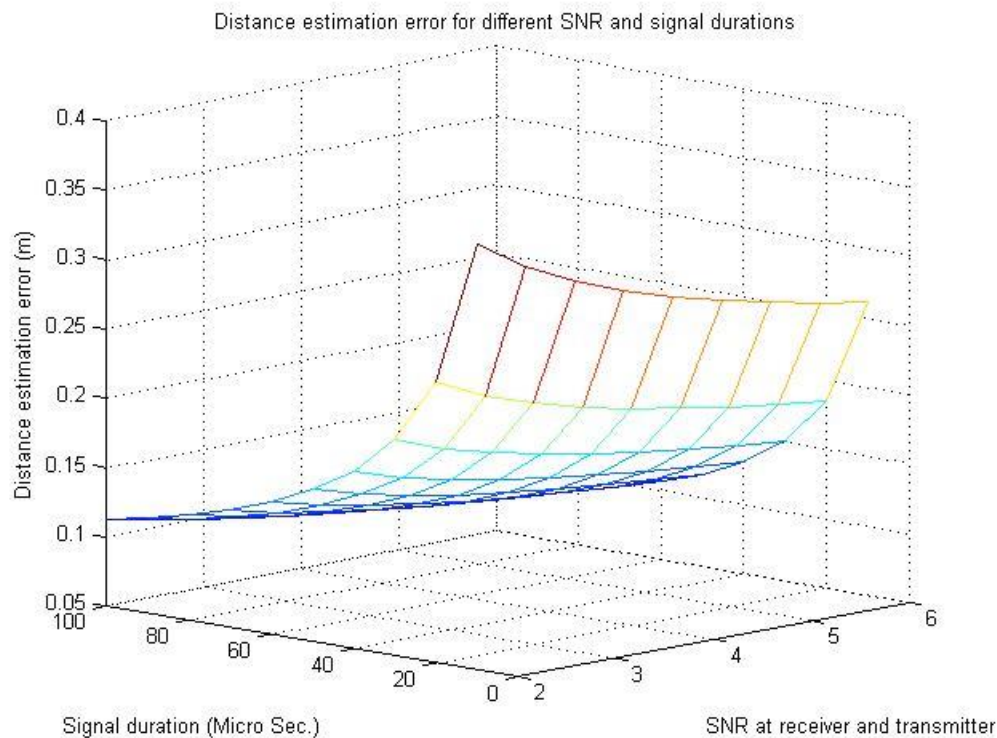


Рисунок 5. Влияние SNR и длительности сигнала на ошибку оценки расстояния

3. Измерение расстояния между ТС по задержке сигнала DSRC запросным методом (продолжение).

$$S_T^{CRLB} = \left| \frac{\partial CRLB / CRLB}{\partial T / T} \right| = 1 \quad (17)$$

$$S_{SNR}^{CRLB} = \left| \frac{\partial CRLB / CRLB}{\partial SNR / SNR} \right| = 1 - \frac{SNR}{1 + 2SNR} \quad (18)$$

Из (17): время когерентного накопления T имеет 100% эффект на нижнюю границу Рао-Крамера, т.е. если T увеличено, например, на 50%, то нижняя граница будет уменьшена на 50%.

С другой стороны (18) подразумевает, что чувствительность ошибки оценки к SNR имеет тенденцию быть равной 0,5, если SNR увеличивается.

Это означает, что даже при высоких уровнях SNR изменения, например, на 50%, уменьшают нижнюю границу примерно на 25%.

3. Измерение расстояния между ТС по задержке сигнала DSRC запросным методом (продолжение).

TDOA

Для оценки времени прихода по методу **TOA** требуется **синхронизация** между приемником и передатчиком.

Эта синхронизация делает метод TOA более сложным и дорогостоящим, чем другие подходы.

TDOA – это метод, позволяющий в некоторой степени исключить синхронизацию.

В этом методе два сигнала от пары передатчиков принимаются одним приемником, и для оценки расстояния рассматривается разность времени прихода между этими двумя сигналами.

В такой системе синхронизация приемника не требуется, но передатчики по-прежнему необходимо синхронизировать.

Были предложены другие инновационные стратегии, такие как **метод Two-Way (двунаправленный) TOA**, в котором для оценки расстояния учитывается больше взаимосвязи между передатчиком и приемником.

3. Измерение расстояния между ТС по задержке сигнала DSRC запросным методом (продолжение).

Транспортные приложения технологии DSRC не являются по сути синхронными, а протокол DSRC не имеет специального пакета для синхронизации часов.

Двунаправленный метод TOA может рассматриваться в DSRC для радио дальнометрии.

Среднеквадратическая ошибка оценки задержки (RMS) в пределах от 50 нс до 400 нс в связи транспортное средство-транспортное средство (vehicle-vehicle) и точность часов DSRC 20 ppm – это некоторые проблемы, которые следует рассматривать в этом методе определения дальности.

3. Измерение расстояния между ТС по задержке сигнала DSRC запросным методом (продолжение).

Другим методом определения расстояния между радиостанциями DSRC является **измерение времени полета сообщения**.

Сигнал DSRC перемещается примерно со скоростью света от одной радиостанции к другой. Поэтому **время полета** может быть умножено на скорость света для оценки дальности (расстояния).

Одностороннее измерение времени полета трудно получить, поскольку для этого требуется, чтобы **часы обоих радиостанций были синхронизированы по времени**.

Способ обойти эту проблему – это измерить двухстороннее время полета.

Двухстороннее время полета будет измеряться только одним радиоприемником, что **исключает необходимость синхронизации часов**.

4. Измерение относительной скорости между ТС по доплеровскому сдвигу сигнала DSRC (продолжение).

Doppler Shift – доплеровский сдвиг сигнала.

Доплеровский сдвиг и оценка расстояния

Доплеровский сдвиг – это разница между частотой излучения сигнала с передатчика и наблюдаемой частотой в приемнике. Это различие обусловлено относительной скоростью между передатчиком и получателем.

Для скоростей, значительно меньших скорости электромагнитных волн, доплеровский сдвиг может описываться как:

$$\frac{\Delta f}{f} \cong -\frac{v \cos(\theta)}{c} \quad (19)$$

4. Измерение относительной скорости между ТС по доплеровскому сдвигу сигнала DSRC.

Использование доплеровского сдвига для оценки местоположения

Используя четыре маяка с известными координатами можно оценить положение и скорость движущегося объекта в двумерном пространстве.

Следует отметить, что оценка местоположения в первой спутниковой навигационной системе TRANSIT была основана на эффекте Доплера.

В автомобильных системах, если предполагается, что скорости транспортного средства доступны благодаря DSRC связи, а также имеются ограничения (препятствия) на дорогах, количество маяков может быть уменьшено до трех для оценки 2D-позиции

Транспортное средство находится в неизвестной точке $P(x, y)$ с известной скалярной скоростью v .

Три фиксированных маяка $B_1(x_1, y_1)$, $B_2(x_2, y_2)$ и $B_3(x_3, y_3)$

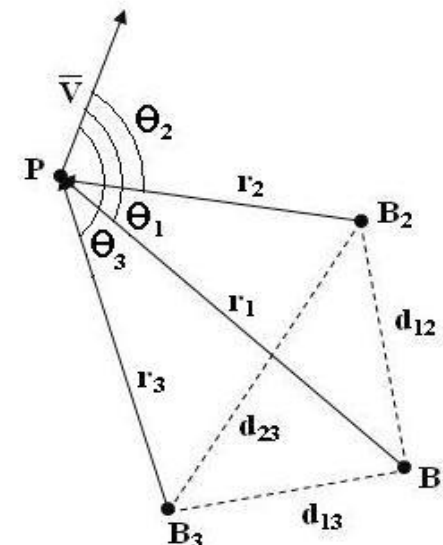


Рисунок 6. Три фиксированных маяка и движущийся автомобиль

4. Измерение относительной скорости между ТС по доплеровскому сдвигу сигнала DSRC (продолжение).

$$\frac{\Delta f}{f} \cong -\frac{v \cos(\theta)}{c} \quad (19)$$

$$\begin{cases} r_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\ r_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\ r_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} d_{12}^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos(\alpha_1) \\ d_{23}^2 = r_2^2 + r_3^2 - 2r_2r_3 \cos(\alpha_2) \\ d_{13}^2 = r_1^2 + r_3^2 - 2r_1r_3 \cos(\alpha_3) \end{cases} \quad (21)$$

$$\alpha_1 = \theta_1 - \theta_2, \alpha_2 = \theta_3 - \theta_2, \alpha_3 = \theta_3 - \theta_1$$

$$\begin{aligned} r_2 &= r_1 \cos(\alpha_1) \pm \sqrt{d_{12}^2 - r_1^2 \sin^2(\alpha_1)} \\ r_3 &= r_1 \cos(\alpha_3) \pm \sqrt{d_{13}^2 - r_1^2 \sin^2(\alpha_3)} \end{aligned} \quad (22)$$

4. Измерение относительной скорости между ТС по доплеровскому сдвигу сигнала DSRC (продолжение).

$$s_{ij} = S_{\alpha_j}^{r_i} = \frac{\partial r_i / r_i}{\partial \alpha_j / \alpha_j}, \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (23)$$

$$S = \begin{bmatrix} \frac{r_2 \alpha_1 \sin(\alpha_1)}{r_2 \cos(\alpha_1) - r_1} & 0 & \frac{r_1 \alpha_3 \sin(\alpha_3)}{r_3 \cos(\alpha_3) - r_1} \\ \frac{r_1 \alpha_1 \sin(\alpha_1)}{r_1 \cos(\alpha_1) - r_2} & \frac{r_3 \alpha_2 \sin(\alpha_2)}{r_3 \cos(\alpha_2) - r_2} & 0 \\ 0 & \frac{r_2 \alpha_2 \sin(\alpha_2)}{r_2 \cos(\alpha_2) - r_3} & \frac{r_1 \alpha_3 \sin(\alpha_3)}{r_1 \cos(\alpha_3) - r_3} \end{bmatrix} \quad (24)$$

В некоторых ситуациях и с некоторыми определенными диапазонами значений r_i и α_j чувствительность будет очень высокой, стремящейся к бесконечности, и будет иметь место очень плохой геометрический фактор (Dilution Of Precision, DOP).

Это может вызвать серьезные проблемы при оценке и увеличить вычислительные шумы.

Выводы по рассмотренным ранее методам:

Ранее обсуждались три метода: RSS, TOA / TDOA и по доплеру.

У каждого метода есть свои ограничения, сильные и слабые стороны.

Метод RSS довольно прост в реализации, но очень чувствителен к тому, насколько хорошо оценивается коэффициент потерь пути распространения сигнала.

Методы, основанные на измерении времени, такие как **TOA** и **TDOA**, требуют синхронизации и более сложны и дороги для транспортных сетей.

Двунаправленный **метод Two-Way TOA** может устранить необходимость синхронизации и связанные с ней сложности.

Доплеровский сдвиг может использоваться для оценки местоположения в транспортных системах (сетях).

Комбинация различных подходов может быть лучшей стратегией управления для возможности определения дальности и оценки местоположения в таких системах.

5. Использование DSRC как составного элемента кооперативной навигации, в которой на борту каждого ТС комплексируется НАП ГНСС с ИНС, а за счёт коммуникации между ТС точность комплексирования возрастает

Резюме

Многие новые усовершенствованные приложения ITS потребуют определения местоположения транспортного средства на уровне его полосы движения. Хотя глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) могут оценивать положение транспортного средства с погрешностью до нескольких метров, но при этом необходимо интегрировать разнообразные навигационные технологии, чтобы иметь возможность получать точность **в пределах одного метра**, необходимую для позиционирования на уровне полосы.

Одним из перспективных решений является выполнение слияния данных из различных источников, включая приемники ГНСС (например, GPS), инерциальные измерительные устройства, колесные измерительные датчики и наземные радиосистемы (Ground Based Radio Systems, GBRS). Существует ряд наземных радиосистем, но использование сети приемников DSRC является привлекательным решением, поскольку они уже развернуты для других приложений ITS.

5. Использование DSRC как составного элемента кооперативной навигации, в которой на борту каждого ТС комплексируется НАП ГНСС с ИНС, а за счёт коммуникации между ТС точность комплексирования возрастает (продолжение)

Предполагается, что опыт и результаты, полученные от этой архитектуры связи, будут способствовать достижению совершенствования сети Connected Vehicle network в США.

Архитектура позиционирования DSRC и техническое обоснование описывают следующие оценочные показатели:

- 1) точность позиционирования,
- 2) способность системы позиционирования надёжно работать во всех условиях движения (надёжность, доступность, непрерывность);
- 3) достижение недорогого развертывания.

Техническое обоснование

следующие технические проблемы:

1. асинхронность;
2. задержка;
3. надёжность

5. Использование DSRC как составного элемента кооперативной навигации, в которой на борту каждого ТС комплексируется НАП ГНСС с ИНС, а за счёт коммуникации между ТС точность комплексирования возрастает (продолжение)

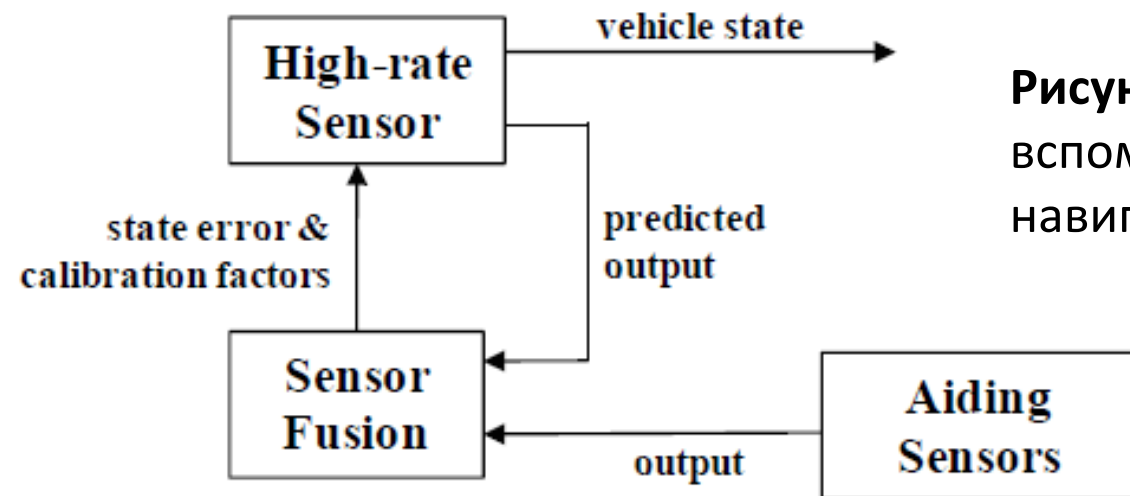


Рисунок 1. Интегрированная (или вспомогательная) архитектура навигационной системы

В этом интеграционном подходе высокоскоростной датчик high-rate sensor (например, инерциальные измерительные датчики) является основой для непрерывной оценки состояния транспортного средства (положения, скорости, ориентации), с рядом других датчиков (например, DSRC), повышающих точность решения состояния.

Датчики GNSS и GBRS непосредственно обеспечивают измерения дальности, которые могут быть объединены для оценки местоположения, когда имеется достаточное количество измерений.

5. Использование DSRC как составного элемента кооперативной навигации, в которой на борту каждого ТС комплексируется НАП ГНСС с ИНС, а за счёт коммуникации между ТС точность комплексирования возрастает (продолжение)

Наземные радиосистемы – подключаемые к транспортному средству вспомогательные датчики DSRC связи (GBRS)

Различные формы вспомогательных сигналов, способствующих позиционированию, могут быть получены из наземных радиосистем, таких как системы радиопередачи, телевизионных передач, сотовых телефонов или подключенных в автомобиле модемов DSRC.

Эти архитектуры все еще не являются совершенными, но предлагают потенциальные малозатратные подходы к значительному улучшению способности надежно оценивать положение транспортных средств до точности уровня полосы движения.

Инфраструктура Connected Vehicle имеет уникальное преимущество в том, что ее дизайн определяется общностью наземного транспорта.

5. Использование DSRC как составного элемента кооперативной навигации, в которой на борту каждого ТС комплексируется НАП ГНСС с ИНС, а за счёт коммуникации между ТС точность комплексования возрастает (продолжение)

Измерение времени полета сигнала TOF от передатчика DSRC придорожного движения с помощью приемника позволит точно измерить дальность до модема DSRC.



Рис. 2. Антенна DSRC устанавливается на сигнале светофора или рядом с ним

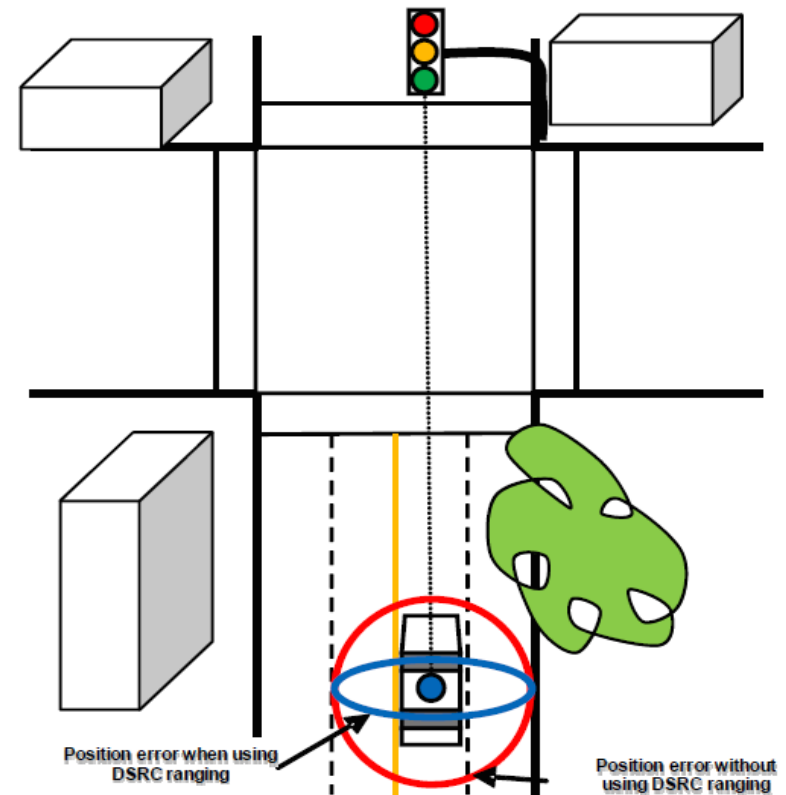


Рисунок 3. Ошибка позиционирования, показанная красным цветом, уменьшена вдоль направления прямой видимости на антенну DSRC, что приводит к ошибке позиционирования, изображенной синим цветом

5. Использование DSRC как составного элемента кооперативной навигации, в которой на борту каждого ТС комплексируется НАП ГНСС с ИНС, а за счёт коммуникации между ТС точность комплексирования возрастает (продолжение)

Выводы

Было проведено очень мало экспериментов с использованием DSRC для позиционирования, поэтому производительность в настоящее время трудно определить количественно. Точность позиционирования во многом зависит от геометрических условий и количества хорошо расположенных передатчиков.

Позиционирование на уровне полосы возможно с DSRC, если информация о времени предоставляется как часть сигнала. Существуют недостатки, так что для обеспечения непрерывного покрытия потребуется обширная придорожная инфраструктура вдоль обочины дороги. Таким образом, DSRC – это идеальная технология, помогающая транспортным средствам в проблемных транспортных средах.

Система DSRC & GNSS, поддерживающая кинематический интегрированный подход, вероятно, будет жизнеспособна. Поскольку будущие системы связи DSRC добавляются в инфраструктуру дорог, чтобы обеспечить обмен информацией между транспортными средствами, а также между транспортными средствами и инфраструктурой