электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.396

Ретрансляция радионавигационных сигналов в помещение, техническая реализация, проблемы и их возможные решения

***Дединец О.В.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Научный руководитель: Мыкольников Я.В.,
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
main@rl1-11.bmstu.ru

Ретрансляция спутниковых радионавигационных сигналов внутри помещения в настоящее время является актуальной задачей. Подобные системы востребованы как для проведения лабораторных исследований и отладки навигационной аппаратуры потребителя, так и для навигации объектов по сигналам ГЛОНАСС/GPS внутри помещения. Типовое решение данной задачи может быть представлено в виде структурной схемы, изображенной на рис. 1. Подобную реализацию системы [1] предлагает ЗАО КБ НАВИС. Техническая реализация состоит в передаче сигналов навигационных космических аппаратов в диапазоне L1, принимаемых наружной антенной, последующем усилении, разделении и повторном излучении антеннами внутри здания в этом же диапазоне.

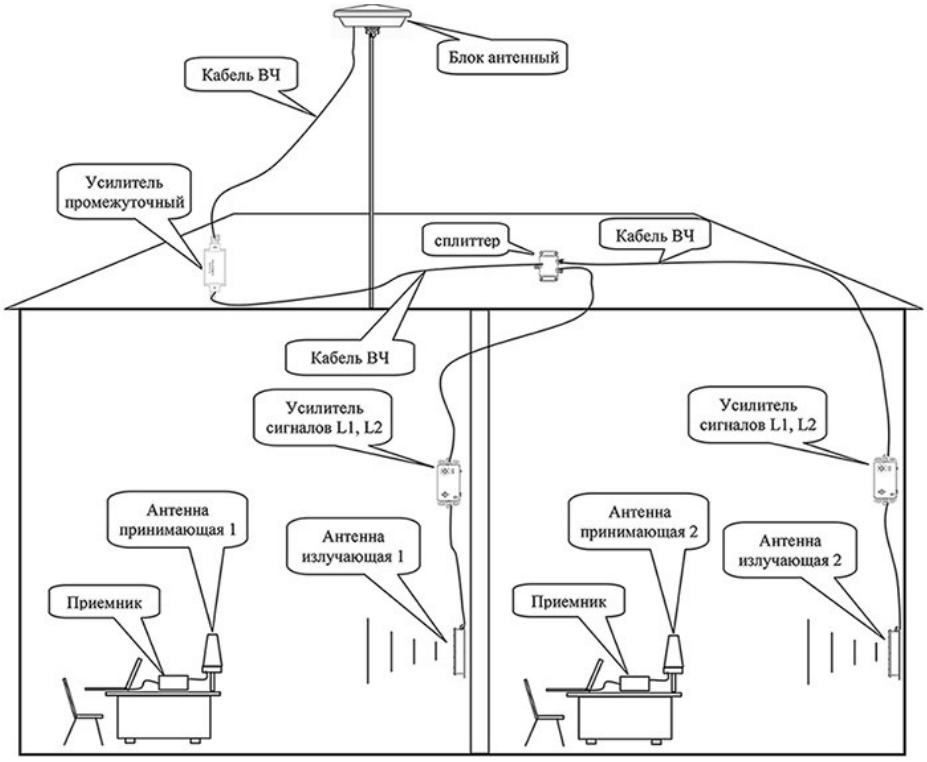

Рис. 1. Принцип работы ретранслятора

Для обеспечения возможности проведения лабораторных практикумов по спутниковой навигации в учебной аудитории кафедры РЛ1 МГТУ им. Н. Э. Баумана была разработана ГЛОНАСС/GPS ретранслятор, структурная схема устройства представлена на рис. 2.

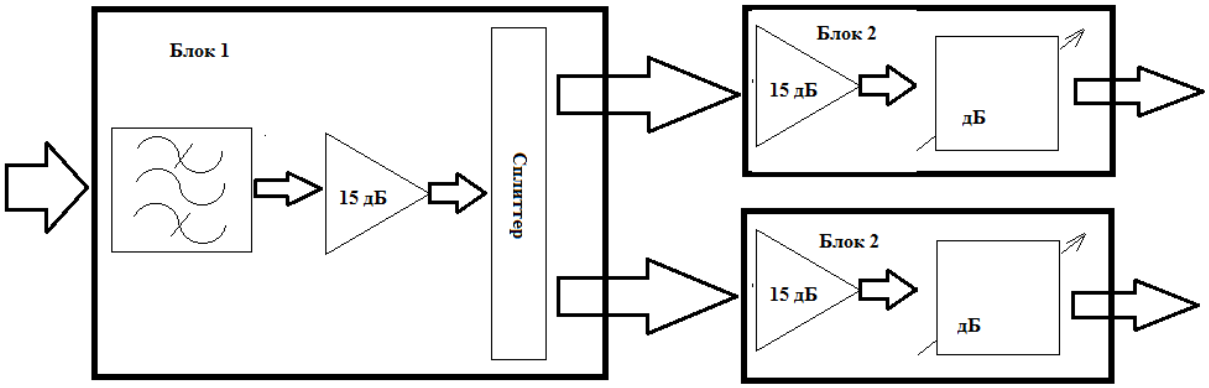

Рис. 2. Блок-схема ретранслятора

Сигнал от антенны с МШУ, размещенной на крыше ГУК МГТУ им. Н. Э. Баумана, поступает по кабелю на вход блока 1. Затем в блоке 1 входной сигнал фильтруется в полосе частот от 1575 до 1610 МГц, усиливается и через делитель поступает на блок 2,

содержащий усилитель и аттенюатор. Значения коэффициента передачи и коэффициента шума первого и второго блоков были рассчитаны в программе AppCad. По данной схеме было проведено схемотехническое проектирование в среде P-CAD 2006, электрические схемы и топологии представлены на рис. 3-6.

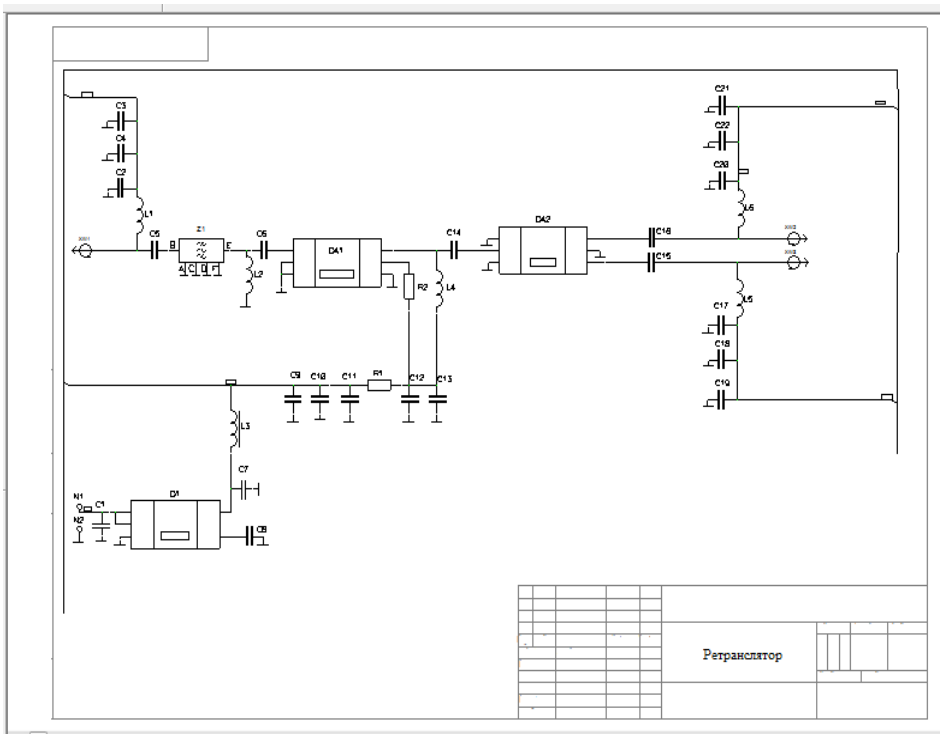

Рис. 3. Электрическая схема первого блока ретранслятора

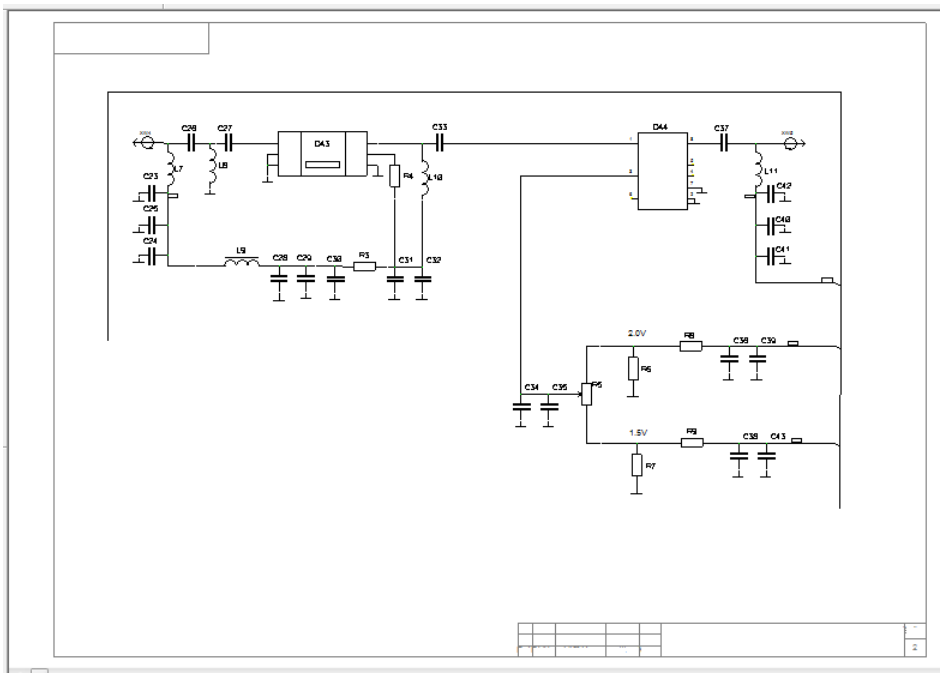

Рис. 4. Электрическая схема второго блока ретранслятора

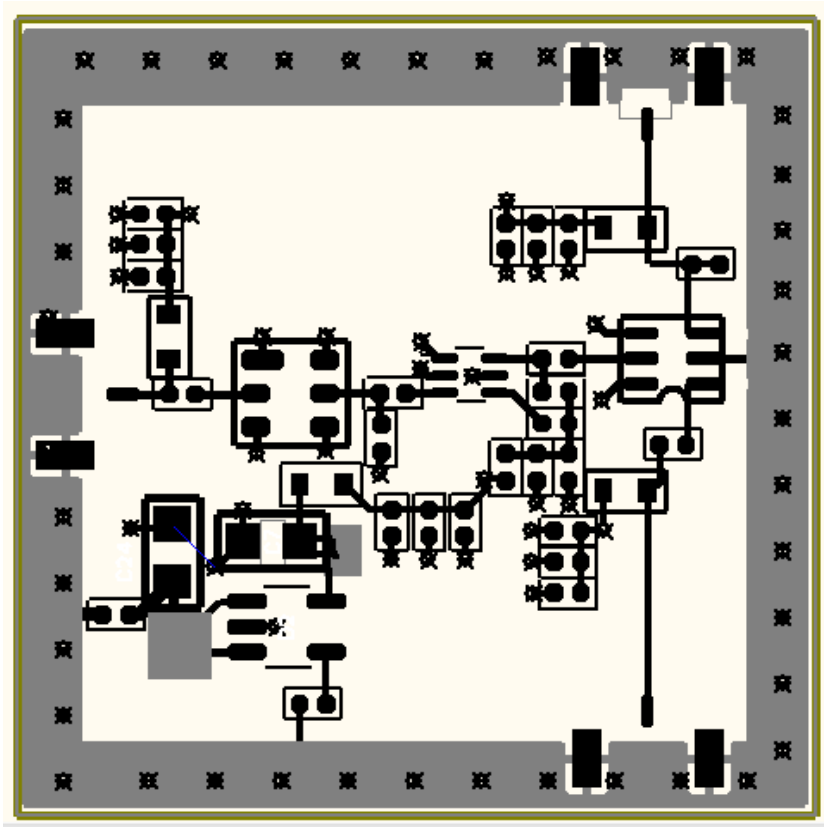

Рис. 5. Топология первого блока ретранслятора

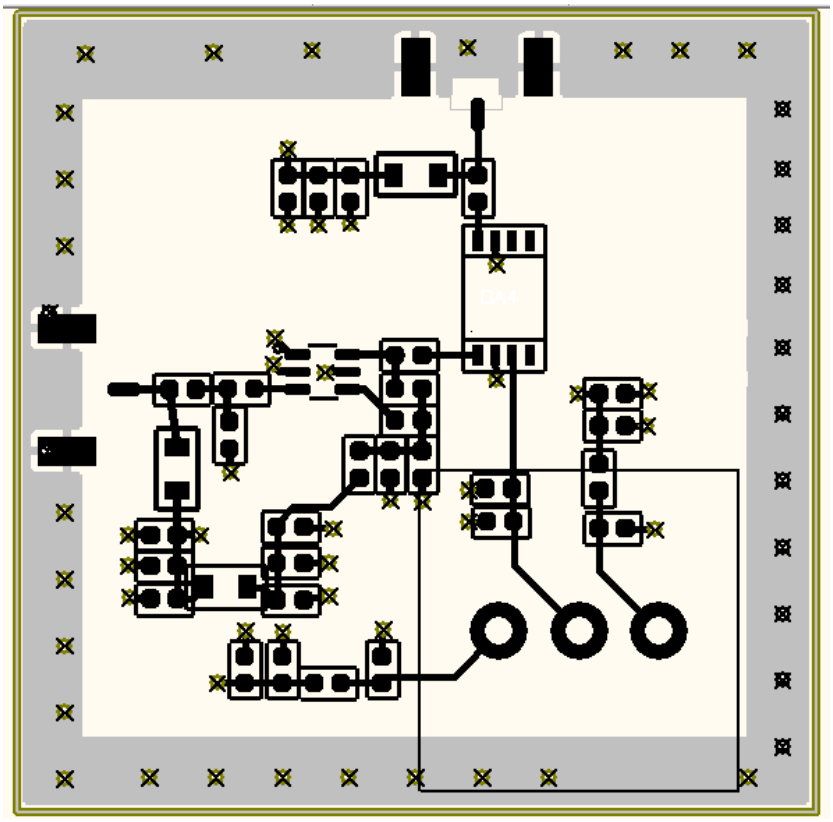

Рис. 6. Топология второго блока ретранслятора

Первый блок состоит из ПАВ-фильтра FP-538, МШУ MGA-62563, делителя SP-2G+, стабилизатора TPS-79333, ВЧ-разъемов CP-50 и SMA. Второй блок состоит из МШУ MGA-62563, аттенюатора, управляемого напряжением HMC473MS8, переменного резистора и ВЧ-разъемов SMA. Усиление регулируется аттенюатором, управляемым напряжением. Аттенюатор вносит ослабление от 3 до 37 дБ в диапазоне управляющего напряжения от 1,5 до 2,0 В. Управляющее напряжение формируется потенциометром на основе переменного резистора. Вращая ручку переменного резистора, подбирается нужное ослабление. Значение ослабления прокалибровано на шкале, находящейся на корпусе. Калибровка проводится на анализаторе цепей.

Было проанализировано решение навигационной задачи в помещении, предложенное в статье [2] англоязычного журнала InsideGNSS. Описанный в статье ретранслятор будет решать навигационную задачу с хорошей точностью в условиях большой безэховой камеры. Принцип действия ретранслятора описан ниже.

Ретранслятор сигналов ГНСС по сути работает также, как и телефонный, только намного меньше в размерах. Установив ГНСС-ретранслятор, можно принимать реальные GNSS-сигналы даже внутри помещения. Однако положение приемника, по сути, есть позиция наружной антенны, поэтому ретранслятор действует как кабель, соединяющий внешнюю антенну и приемник внутри помещения. Таким образом, дополнительная задержка распространения в ретрансляторе общая для всех спутников и неразличима для приемника.

Базовая идея состоит в том, что наружные сигналы усиливаются, изменяются, и получают задержку для того, чтобы можно было рассчитать координаты внутри помещения.

Ключ к использованию ГНСС-ретранслятора в навигации – в радиочастотном переключателе. Это устройство принимает сигнал на вход (например, с наружной антенны) и переключает его между переизлучающими антеннами (по одной за раз). Посредством такого мультиплексирования временного интервала, приемники могут последовательно отслеживать сигналы от системы переизлучающих антенн, установленных в различных местах.

При таком переключении между антеннами сдвиг появляется в тракте повторной передачи сигнала. Сдвиг соответствует разности времен приема (TDOA-РВП) между переключаемыми антеннами повторной передачи и пользователем. Следовательно, имея четыре антенны повторной передачи, подключенные к переключающему ретранслятору,

мы можем получить три значения РВП для определения местоположения в пространстве, как показано на рис. 7.

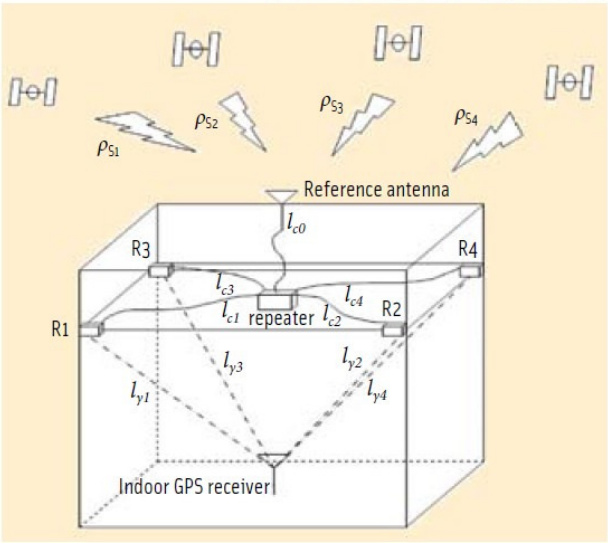

Рис. 7. Конфигурация переключающего ретранслятора для определения местоположения внутри помещения с системой переизлучающих антенн

Формула для измерения псевдодальности $Pr_i^k(t)$ между k-ым спутником и приемником через i-ый переизлучающий тракт в момент времени t может быть записана как

$$Pr_i^k(t) = \rho_{sk}(t) + l_{co} + l_{ci} + l_{ri}(t) + cb(t) \quad (1),$$

Где $\rho_{sk}(t)$ – геометрическое расстояние между k-ым спутником и эталонной антенной; l_{co} – длина кабеля между принимающей антенной и переключающимся ретранслятором (известная величина); l_{ci} – длина кабеля между ретранслятором и i-ой антенной повторного излучения (известная величина); $l_{ri}(t)$ – расстояние между i-ой переизлучающей антенной и приемником; cb(t) – смещение опорного генератора приемника.

Предположим, что в момент времени t происходит переключение с антенны i на антенну j и псевдодальность между k-ым спутником и приемником через j-ый тракт повторного излучения измеряется в момент t+dt. Разницу между значениями расстояния в моменты t и t + dt можно записать как:

$$\Delta Pr_{j,i}^{k}(t)=Pr_j^k(t+dt) - Pr_i^k(t) = (\rho_{sk}(t+dt) + l_{co} + l_{cj} + l_{rj}(t+dt) + cb(t+dt)) - (\rho_{sk}(t) + l_{co} + l_{ci} + l_{ri}(t) + cb(t)) \quad (2).$$

Если время переходного процесса переключения dt достаточно мало, можно предположить, что местоположение пользователя не изменится за этот промежуток времени (справедливо в большинстве случаев использования внутри помещения) и, следовательно, $l_{rj}(t+dt) \approx l_{rj}(t)$. Длины кабелей – известные фиксированные величины и разница длин $l_{cj} - l_{ci}$ может быть скомпенсирована.

Разница между расстояниями до спутника $\rho_{sk}(t+dt) - \rho_{sk}(t)$ может быть математически предсказана, или же можно предположить, что она одинакова с величиной $\rho_{sk}(t) - \rho_{sk}(t-dt)$, измеренной до переключения антенн. Также $(cb(t+dt) - cb(t))$предполагается равной $(cb(t) - cb(t-dt))$. Поэтому, разность между 2-мя значениями расстояния перед переключением в моменты времени t и t – dt по предположению можно записать как $\Delta Pr_{i,i}^{k}(t-dt) \approx \rho_{sk}(t+dt) - \rho_{sk}(t) + (cb(t+dt) - cb(t))$.

Объединяя соотношение (2) и наши предыдущие предположения, получим выражение для РВП:

$$TDOA_{j,i}^{k}(t) = TDOA_{j,i}(t) = l_{rj}(t) - l_{ri}(t) \sim l_{rj}(t+dt) - l_{ri}(t) = \Delta Pr_{j,i}^{k}(t) - \Delta Pr_{i,i}^{k}(t-dt) - (l_{cj} - - l_{ri}) \quad (3).$$

Учитывая, что для всех видимых спутников значение РВП будет одинаковым, потому как каждый из них будет иметь одинаковую постепенно увеличивающуюся псевдодальность, запишем $TDOA_{j,i}^{k}(t) = l_{rj}(t) - l_{ri}(t), k = 1,2,\dots,N$, где N – число спутников в поле видимости. Само по себе число спутников не влияет на значение РВП; однако, при большем количестве спутников уменьшается ошибка при усреднении.

Рисунок 8 показывает зависимость дифференциальной псевдодальности от времени $\Delta Pr^{k}(t) = Pr^{k}(t+1) - Pr^{k}(t)$ для системы из трех антенн. Измерения псевдодальности проводятся каждые 0,1 секунды, а антенны переключаются каждые полсекунды (обозначены красными точками). Скачки на этом графике соответствуют РВП между переизлучающими антеннами R1 и R2 и так далее. Нам нужно как минимум три значения РВП для составления гиперболических уравнений для определения местоположения пользователя в пространстве.

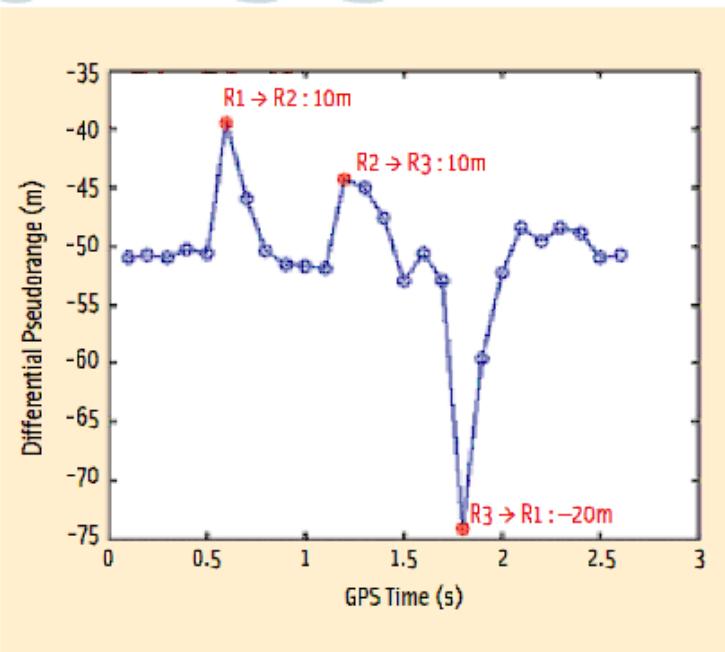

Рис. 8. График зависимости дифференциальной псевдодальности от времени для случая трех антенн

Следовательно, главная проблема навигации внутри зданий на основе ретранслятора состоит в измерении РВП, где главный технический вопрос – определить фазовые скачки в момент переключения сигнала. Проблема детектирования и измерения скачка часто решается при помощи оценки максимально вероятного значения. Чтобы уменьшить влияние этой проблемы, можно заменить переключение операцией задержки сигнала.

Основная идея навигации на базе ретранслятора с временной задержкой предполагает использование свойства ортогональности сигналов с расширением спектра методом прямой последовательности (DSSS). Например, если две различные антенны повторного излучения с относительной задержкой (намеренно внесенной) на 2 и более элемента задержки дальномерного кода помещены в разные пространственные позиции и продолжительное время повторно излучают общий сигнал, два различных сигнала не будут отражаться друг от друга из-за ортогональности DSSS-сигналов.

Для того чтобы сгенерировать сигнал с задержкой по времени, можно использовать такие задерживающие элементы, как программируемые линии задержки.

Рисунок 9 иллюстрирует блок-схему ГНСС-ретранслятора с временной задержкой. Как показано на изображении, элементы задержки – аппаратные компоненты, каждый из которых вносит известный «сдвиг по времени» (может быть нулевым) во входной сигнал.

Рис. 9. Блок-схема ретранслятора с временной задержкой

Сигналы с различными сдвигами могут быть отслежены без изменения полосы пропускания петли слежения приемника. Если, полагая в основу эту идею, использовать четыре антенны повторного излучения с различными временными задержками, можно подсчитать положение приемника в пространстве.

Точность, с которой можно решить навигационную задачу при помощи ретрансляции, составляет порядка 1-10 метров в зависимости от конфигурации системы и окружения в самом помещении.

Однако сложность реализации этого теоретического решения состоит в присутствии в эфире помехи в диапазоне L1 от компьютеров, генераторов и другой измерительной техники. Работу ретранслятора будет ухудшать эффект переотражения усиленного навигационного сигнала от конструкций здания. В учебно-экспериментальном помещении точность определения координат будет зависеть от множества изменяющихся факторов, поэтому мы применяем упрощенный вариант ретранслятора, в котором координаты приемника будет совпадать с положением внешней антенны.

Список литературы

1. Конструкторское бюро навигационных систем НАВИС. Режим доступа: http://www.navis.ru/catalog_17_211.html (Дата обращения 07.03.14).
2. Petovello M., Jee Gyu-In What is GNSS repeater-based positioning and how is it different from using pseudolites? // InsideGNSS, 2009. - №4. P. 18-21.

3. P-CAD 2006. Схемотехника и проектирование печатных плат / К.М. Динц, А.А. Куприянов, Р.Г. Прокди [и др.] Самоучитель. Книга + видеокурс: СПб.: Наука и Техника, 2009. 320 с.: ил.