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

УДК 621.396

Приемный тракт персонального связного комплекта для навигации внутри помещений

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,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»
rl1@bmstu.ru

1. Актуальность

В настоящее время остро встал вопрос о разработке систем локации и мониторинга статуса людей и передвижного имущества, таких как скорая помощь, пожарных отрядов и других общественных служб и их оборудования внутри помещений и снаружи. Данная задача также включает в себя идентификацию и отслеживание объектов, проходов и выходов в сложных по структуре зданиях при аварийных поисковых и спасательных операциях. Особенность заключается в том, что система может обеспечить навигацию и мониторинг статуса людей и имущества даже там, где системы ГНСС не работают или ограничены.

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) – всем известные системы навигации и мониторинга людей и имущества. Однако, действие гражданских систем ГНСС ограничено по точности по многим причинам, включая национальную безопасность. Также, действие и точность ГНСС могут быть ограничены свойствами окружающего пространства, например, городская среда может блокировать или ограничивать сигналы спутников ГНСС. Исходя из тех же причин, ГНСС не может функционировать внутри помещений напрямую. Навигационные методы и системы обычно используются для того, чтобы обеспечить транспортные средства на суше, в море и воздухе информацией об их местоположении. Они включают в себя различные формы методов радионавигации, транспондеров, навигационных маячков большой дальности действия, систем радиодетектирования и ранжирования, радиочастотной идентификации и фиксирования, глобальных систем позиционирования и отслеживания и космических систем, внедренных военными организациями. Обычно такие методы требуют, чтобы движущийся транспортный объект был оборудован радиопередатчиком или

приемопередатчиком, в котором местоположение определяется по трем измерениям времени задержки кодированного сигнала от различных передающих стационарных или движущихся источников с известной координатой. Такие методы обычно ограничены малой мощностью; слабые сигналы, получаемые приемником от передатчика, подвержены риску полного подавления из-за местных природных и искусственных топологических особенностей, таких как в зданиях, где слабые сигналы становятся незаметными на фоне шумов. С таким уровнем сигналов, ГНСС приемникам очень сложно рассчитать данные о точном местоположении.

2. Постановка задачи

В общем смысле требуется разработать систему навигационного обеспечения оперативных групп спецслужб, пожарных отрядов и других служб в условиях частичного или полного отсутствия возможности приема сигналов глобальных навигационных систем (ГНСС). Целью данной работы является проработка системы в части аппаратуры приема сигналов ГНСС и локальной радионавигационной системы (ЛРС). Персональный навигационный комплект члена оперативной группы или пожарного отряда должен обеспечивать возможность одновременного и/или раздельного приема сигналов ГНСС и ЛРС в диапазоне частот L1. Для этого требуется разработать универсальный радиочастотный тракт приемника с минимальным энергопотреблением для персонального навигационного комплекта (ПНК). Пример такой системы представлен на рис. 1. [1]

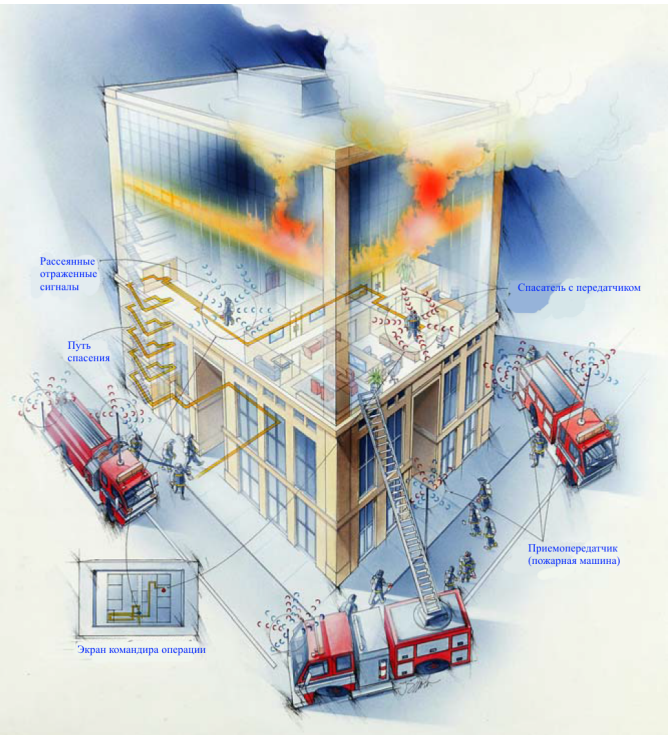

Рис. 1. Предполагаемое исполнение

3. Краткий обзор разработок в области навигации внутри помещений

В стандартной навигационной аппаратуре потребителя часто комбинируются инерциальные и неинерциальные сенсорные устройства, такие как компасы, барометры, гироскопы и акселерометры. Устройства на вертикальных гироскопах, которые используют электрически стабильные механические гироскопы, коммерчески выгодны и обеспечивают измерения углов крена и наклона относительно горизонта. Одноосные гироскопы, измеряющие угловую скорость, и трехосные акселерометры часто применяются в системах, используемых для счисления координат и контроля углов крена и наклона в наземном транспорте и роботах. Гиростабилизаторы, включающие в себя комбинацию акселерометров и гироскопов, часто совмещают с системами контроля как критические компоненты инерциальной навигационной системы потребителя.

В недавнем времени были предприняты попытки совмещения инерциальных гиростабилизаторов с системами GPS для навигации наземного транспорта, авиации, оружия и роботов, в тех случаях, когда GPS сигналы не всегда доступны.

- Система «TRX systems», используемая компанией Motorola для решения задач по проведению оперативных мероприятий в закрытых помещениях для нужд полиции, службы спасения, пожарных и т.п [2]
- Компании, предлагающие решения на основе WiFi-, Bluetooth-маяков и специального программного обеспечения для планшетов и смартфонов для навигации внутри помещений (гражданское применение)
    1. BlueTooth-маячки iBeacon фирм Kontakt.io, Glimworm Beacons и др., свободно интегрируемые в смартфоны на базе Android и iOS[3]
    2. Технология, комбинирующая различные GSM, 3G/4G (LTE), Wi-Fi датчики магнитного поля, компасы, барометры, акселерометры, гироскопы, Bluetooth и GPS, разработанная компанией infsoft [4]

Надежных методов точного персонального слежения и навигации внутри помещений очень ограниченное количество, так как движение человека, в отличие от машины, очень сложное, нелинейное и беспорядочное. Большинство современных разработчиков применяют метод счисления пути, из-за чего проявляются значительные неточности метода накопления данных при длительном использовании. Из-за ошибки ухода параметров акселерометра, подобные методы слежения обычно накапливают большое количество ошибок за относительно короткий период времени и требуют частого внесения поправок посредством маячков, координаты которых заранее определены. Также заметим, что данные методы совершенно не применимы для отслеживания нелинейных и

беспорядочных движений человека, так как ошибка накапливается слишком быстро и делает применение маячков неизбежным. Кроме того, большинство подобных устройств страдают от неточной калибровки и задания нулевой точки.[5]

На данный момент реально используется лишь система “TRX Systems”, внедренная компанией Motorola для решения задач по проведению оперативных мероприятий в закрытых помещениях для нужд полиции, службы спасения, пожарных и т.п. Ее принцип действия схематично показан на рис. 2.[5] Данная система может обеспечить пользователя навигацией, слежением за реальными объектами, двусторонней связью и функцией управления данными.

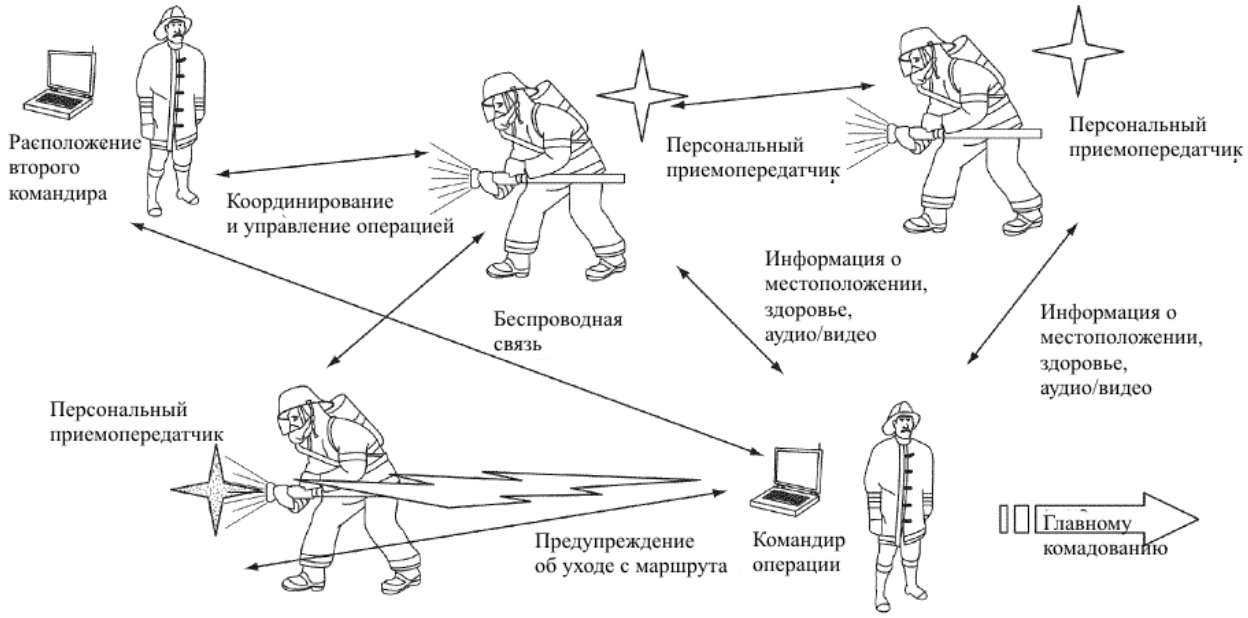

Рис. 2. Схематическое изображение системы в соответствии с изобретением

Данная система позволяет командиру операции отслеживать (например, удаленно на безопасной дистанции) местоположение, состояние здоровья и другую информацию о своих подчиненных (пожарниках, полицейских, работниках EMS, службе безопасности, военном персонале) и внутри помещений, и на открытом воздухе во время аварийной спасательной или любой другой операции. Информация о ситуации может включать в себя такие данные о спасателе, животном или имуществе, как ориентацию (в каком направлении они смотрят) и положение (стоя, сидя, полусидя, лежа на животе или спине), неподвижны они или идут, бегут или ползут, движутся ли они горизонтально, вверх или вниз по наклонной плоскости или лестнице.

Система содержит модуль инерциальной навигации (МИН) и коммуникационный модуль (КМ). Модуль инерциальной навигации включает в себя инерциальные

навигационные датчики и компоненты обработки сигналов для определения координаты, направления движения и положения объекта. Как показано на рис.3, модуль инерциальной навигации - малое по размерам устройством, которое расположено на ремне субъекта. Коммуникационный модуль (КМ) связан с модулем инерциальной навигации (МИН) для приема данных сенсора и беспроводной связи с командованием посредством радио приемопередатчика. Как показано на рис. 3, [5] коммуникационный модуль также маленькое по размерам устройство, носимое субъектом. Модуль инерциальной навигации и коммуникационный модуль могут быть выполнены в едином устройстве. Питание на каждое устройство подается одной или более батареями или источником энергии, генерирующим электричество посредством нагрева или солнечной энергии.

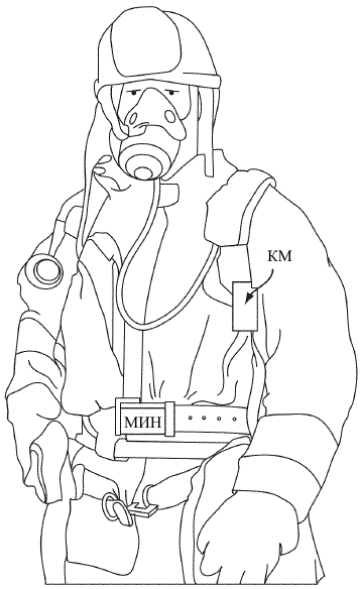

Рис. 3. Носимые модуль инерциальной навигации и коммуникационный модуль

Система также содержит базовую станцию, обеспечивающую мониторинг и управление всем персоналом и оборудованием на месте проведения. Она включает в себя компьютер (портативный или ноутбук), соединенный с радио трансивером, который позволяет командиру получать данные обо всем персонале (и снаружи, и внутри помещения) посредством их коммуникационных модулей, и передавать личные или общие приказы, такие как эвакуация людей в области проведения операции. Базовая станция может также иметь программное обеспечение, координирующее все коммуникации в данной области, и быть настроена так, чтобы отображать местоположение и статус объектов в удобной и простой форме.

МИН - малый по размерам электронный модуль, носимый объектом. МИН использует инерциальные датчики и датчики магнитного или электромагнитного поля для создания данных, которые используются для отслеживания координаты, направления

движения и положения субъекта. Это достигается комбинированием различных датчиков движения с микропроцессором или микроконтроллером, который обеспечивает двустороннюю поддержку периферийных датчиков и вычислительных возможностей для обработки сигналов.

В корпусе, показанном на рис. 4, [5] размеры мобильного МИН составляют 3x1.5x0.5 дюйма (1 дюйм примерно равен 2.54 см), модуль крепится на пояс объекта. МИН может быть разработан и сконструирован с несколькими микроэлектронными датчиками движения. Эти датчики обычно выполняются по технологии Микро Электромеханических Систем (МЭМС). В стандартном корпусе МИН обычно содержатся трехосный МЭМС-акселерометр, одно- или двухосный МЭМС-гироскоп и трехосный МЭМС-датчик магнитного поля.

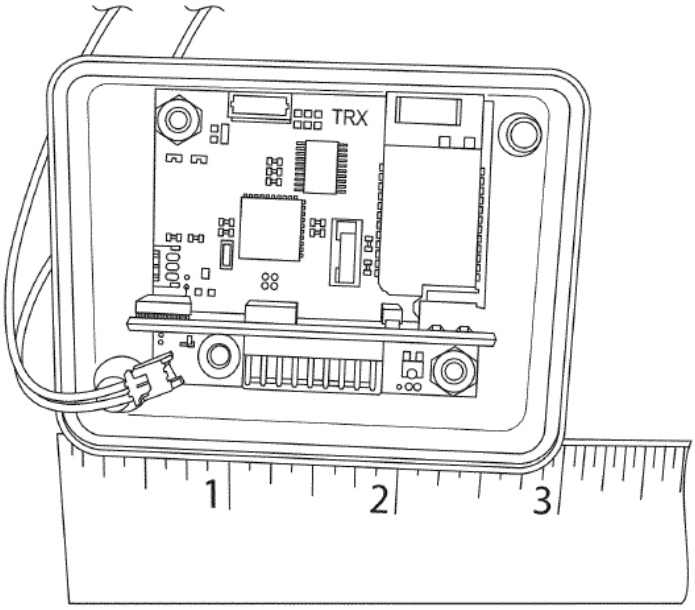

Рис. 4. Фотография модуля инерциальной навигации (размеры указаны в дюймах)

Данные с МЭМС-акселерометра используются для различения каждого шага субъекта, длины и частоты шагов, даже если субъект поднимается по лестнице или на лифте. МЭМС-гироскоп измеряет угловую скорость изменения направления движения субъекта. Данные датчиков магнитного поля также используются для вычисления направления движения субъекта. Эти датчики могут управляться цифровым сигнальным контроллером, таким как микросхема сигнальной обработки dsPIC, производимая Microchip Inc. Данные, полученные с датчиков, обрабатываются уникальными алгоритмами для обеспечения точности отслеживания движений и траектории субъекта.

Данные датчиков и вычисленные координаты передаются посредством беспроводной связи (например, BlueTooth), коммуникационному модулю.

Модуль связи и датчиков, или коммуникационный модуль, может контролировать датчики и управлять связями между субъектом и базовой станцией. КМ имеет размеры маленького сотового телефона. КМ содержит PIC микроконтроллер, производимый Microchip Inc. Микропроцессор может форматировать и пакетировать данные датчиков в отчет об электрических узлах. Микроконтроллер управляет мобильным приемопередатчиком для беспроводной передачи отчета об узлах (данные датчиков и информация о ситуации) базовой станции раз в определенный интервал или асинхронно, в зависимости от условий связи. [5]

На рис. 5 показано исполнение коммуникационного модуля.

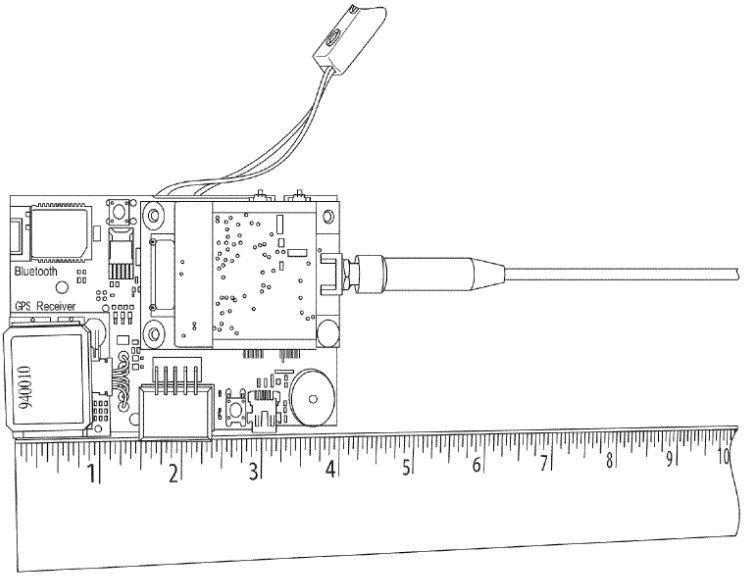

Рис. 5. Фотография коммуникационного модуля (размеры указаны в дюймах)

В основе работы TRX системы лежит комплексированная система навигации, состоящая из инерциальных датчиков (гироскопы, акселерометры и т.п.) и приемника сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) GPS. В помещение работает только инерциальная система, что со временем (при длительном пребывании внутри помещения) приводит к ухудшению точности навигации (особенность инерциальных систем – накопление ошибки).

4. Предлагаемое решение и облик системы

Принцип построения и работы такой системы проиллюстрирован на рисунке 6 и заключается в следующем. На объекте или на территории, прилегающей к нему, разворачивается комплекс средств по формированию дополнительного

радионавигационного поля, например, сеть радиомаяков, синхронизированных между собой с помощью ГНСС и излучающих фазокодоманипулированные сигналы. Оперативная группа снабжена персональными навигационными комплектами, в состав которых входят: приемник сигналов ГНСС и радиомаяков, инерциальная навигационная система, средства связи и передачи данных. Находясь вне помещения, ПНК работает по прямым сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS, при этом осуществляется калибровка и коррекция ИНС в составе ПНК. При нахождении в помещении сигналы от ГНСС становятся недоступными, и для дальнейшего определения местоположения ПНК переключается на ИНС, а также осуществляет работу по сигналам от ЛРС. Полученные навигационные решения по ЛРС и ИНС отображаются в виде координат и маршрута движения объекта на поэтажных картах или планах здания.

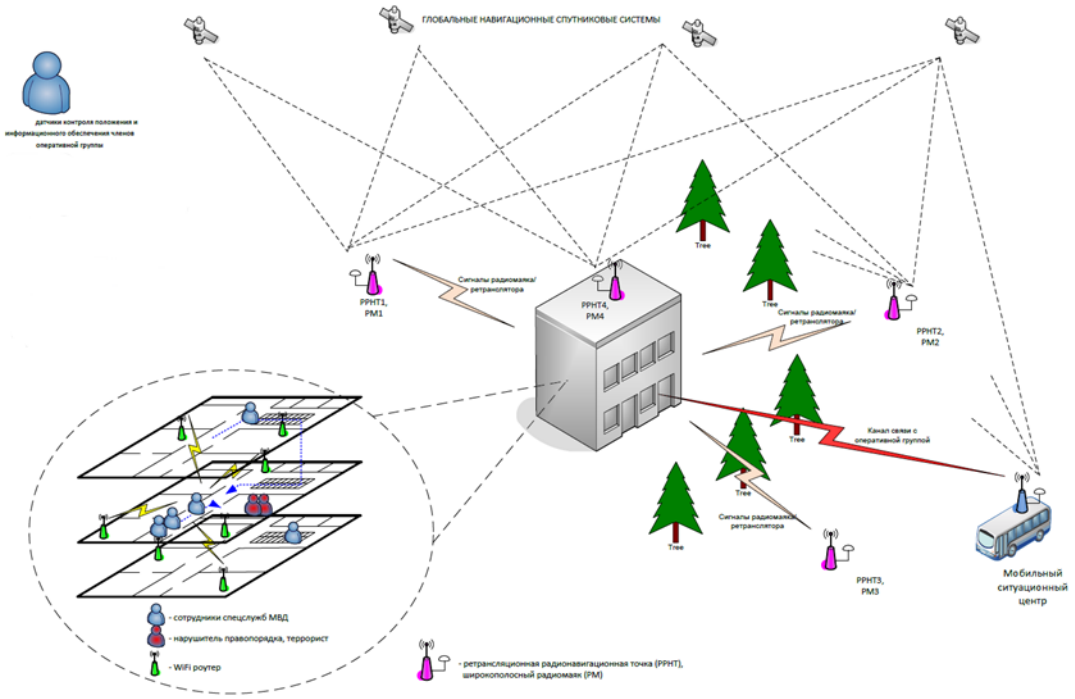

Рис. 6. Предполагаемый облик системы

5. Особенности реализации радиочастотной части приемника навигационных сигналов

Особенностью реализации радиочастотной части приемника состоит в том, что она должна принимать сигналы не только малого уровня как обычный ГНСС-приемник, а также сигналы с радиомаячков или ГНСС-ретрансляторов, уровень которых значительно выше. Поэтому встает вопрос – осуществлять прием на одном или двух каналах? У каждого из данных способов есть свои преимущества и недостатки. Так, при построении

одного канала приема, нужно позаботиться о достаточно широком динамическом диапазоне приемника, потому как по существу высокие по уровню сигналы ретрансляторов или маячков будут являться внутриполосной помехой для спутниковых сигналов, что может привести к отказу системы. С другой стороны, при построении приемного тракта с двумя каналами приема потребуется как минимум три синтезатора частот, что приведет к значительному увеличению энергопотребления, и, как следствие, к увеличению габаритов приемника, что крайне нежелательно при выполнении спасательных операций. Исходя из подобных соображений, было решено осуществлять прием сигналов при помощи микросхемы приемника с одним каналом и широким динамическим диапазоном.

В связи с распоряжением Правительства РФ об импортозамещении, для выполнения задачи навигации внутри помещения был выбран отечественный приемный модуль NT1020-32 компании NTLab. Данный приемник, благодаря широкому динамическому диапазону, позволяет принимать не только сигналы ГНСС прямой видимости и малого уровня, но и ретранслированные сигналы более высокого уровня, что позволяет избежать построения второго приемного тракта, что могло бы привести к большему энергопотреблению, и, как следствие, увеличению габаритов модуля. Микросхема имеет малое энергопотребление, а также еще одну важную особенность – из-за того, что опорная частота составляет 24.84 МГц, частота гетеродина не попадает в диапазон L1 ГЛОНАСС. Также, из-за наличия двух квадратурных дифференциальных каналов I и Q, чувствительность приемника на 3 дБ выше, чем у его ближайших аналогов с одним каналом.

Микросхема NT1020 представляет собой трехсистемное РПУ для одновременного приема, преобразования, фильтрации и усиления сигналов навигационных систем GPS/Галилео/ГЛОНАСС в диапазоне L1/F1. Микросхема разработана с использованием SiGe БиКМОП технологии TSMC с проектными нормами 0.18 мкм.

Особенности:

- Супергетеродинный приемник с одним преобразованием.
- Переключаемые режимы работы приемного тракта: общий IQ, GPS IQ, Глонасс IQ, GPS и Глонасс одновременно с подавлением зеркального канала.
- Встроенный МШУ с внутренним согласованием на 50 Ом по выходу.
- Встроенный предусилитель квадратурного смесителя с программируемым рабочим током.
- Смесители с подавлением зеркального канала.

- Встроенные фильтры ПЧ с системой автоматической калибровки полосы пропускания.
- Переключаемые режимы работы по выходу каналов: дифференциальные линейные выходы или цифровые КМОП выходы со встроенным 1.5- битным АЦП с программируемыми порогами.
- Полностью интегрированный синтезатор частоты с внутренним подстраиваемым фильтром ФАПЧ и формирователем тактовой частоты для коррелятора.
- Полностью интегрированный ГУН с автоматической подстройкой по рабочему поддиапазону.
- Детектор захвата частоты синтезатором.
- 3-проводной интерфейс для управления режимами работы и подстройки параметров блоков.
- Режим «Все выключено» с минимальным током потребления.
- Малогабаритный 32-выводной корпус QFN типа с габаритными размерами 5 x 5 x 0.9 мм и шагом по выводам 0.5 мм. [6]

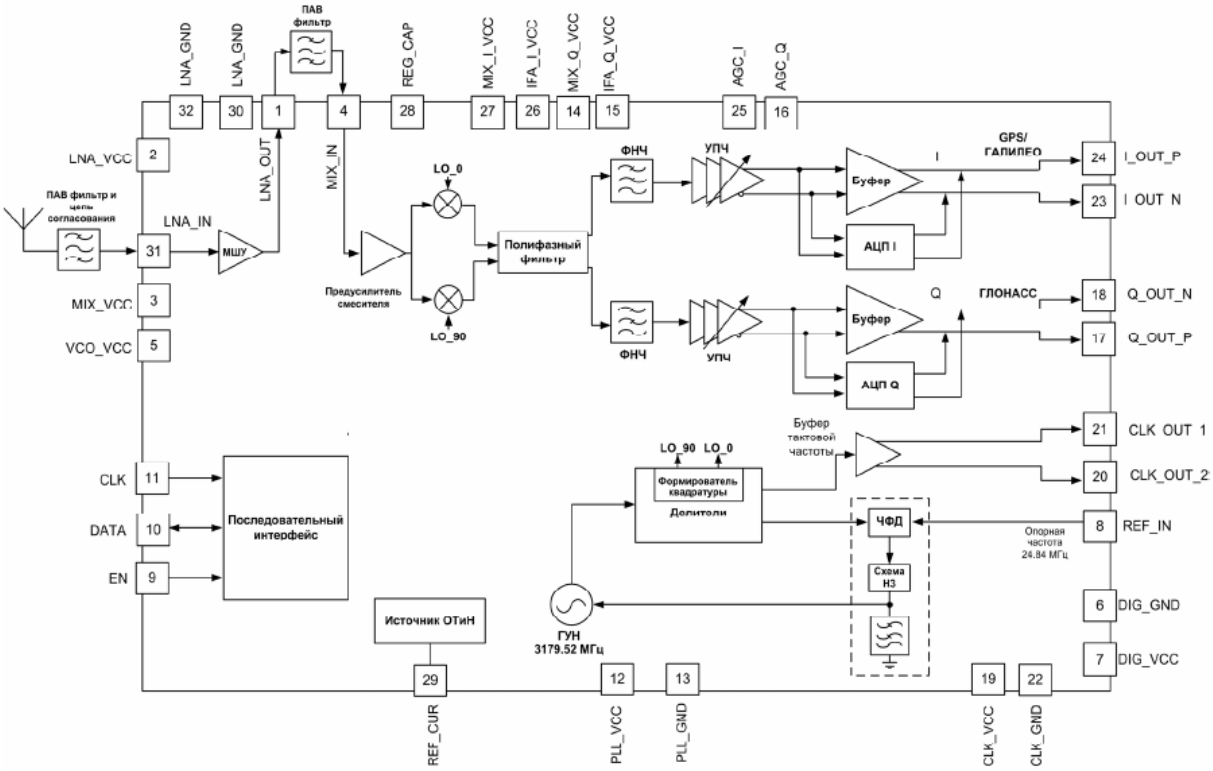

Рис. 7. Структурная схема NT1020-32

Таблица 1

Электрические характеристики по переменному току [6]

Наименование параметра	Обозначение	Условия	Значение			Единица измерения
			мин	тип	макс	
Диапазон входных частот	F_{IN}	Диапазон L1 для сигналов ГНСС ГЛОНАСС	1597.04		1606.39	МГц
		Диапазон L1 для сигналов GPS и SBAS	1573.13		1582.48	
		Диапазон L1 для сигналов Галилео	1573.13		1582.48	
Коэффициент шума	NF	При максимальном усилении		2.2	3.5	дБ
КСВН по входу	$VSWR_{IN}$	С учетом схемы согласования на 50 Ω		1.35	1.5	
Максимальный уровень сигнала на входе в линейном режиме	P_{1dB}		-65	-62		дБмВт
Коэффициент усиления	G_{MAX}	При нагрузке 500 Ом	60			дБ
Диапазон регулировки АРУ	ΔG		50			дБ
Опорная частота	F_{REF}			24.84		МГц
Частота гетеродина	F_{LO1}			1589.76		МГц

Заключение

В настоящее время остро встал вопрос о навигации внутри помещений. Многие компании поставили перед разработчиками задачу – создать систему, которая обеспечивала бы навигацию в крупных объектах (таких как торговые и бизнес центры,

центры оптовой торговли, спортивные сооружения и т.п.) при проведении оперативных мероприятий. Однако реальных результатов добилась лишь компания “TRX Systems”, разработавшая систему комплексированной инерциальной и спутниковой навигации. Однако в силу того, что методы счисления координат инерциальных систем имеют свойство накапливать ошибку в вычислениях, требуется вносить поправку в вычисления при помощи данных локальной навигационной системы (системы радиомаячков или ретрансляторов). Для уменьшения энергопотребления, соответственно и габаритов модуля, носимого работниками спецслужб, предлагается использование отечественного приемника NT1020-32 компании NTLab. Данный приемник, благодаря широкому динамическому диапазону, позволит принимать сигналы как спутников, так и ретрансляторов.

Список литературы

1. Hemish K. Parikh An RF System Design for an Ultra Wideband Indoor Positioning System: dis. Worcester Polytechnic Institute Degree of Doctor of Philosophy in Electrical and Computer Engineering. Worcester, 2008. 314 p.
2. TRX Systems Company. Available at: http://www.trxsystems.com/GPS-Denied-Navigation-Products, accessed 06.03.2014.
3. Bluetooth Smart Beacons with iBeacon. Available at: http://kontakt.io/our-technology/kontakt-io-beacons-ibeacon-compatible/, accessed 06.03.2014.
4. Infsoft company. Available at: http://www.infsoft.com/Products/Indoor-Navigation, accessed 06.03.2014.
5. Funk B., Bandyopadhyay A., Kohn E., Goldsman N., Teolis C., Blankeship G. Method and system for locating and monitoring first responders. Patent US no. 8706414. 2012. 67 p.
6. Многосистемный однодиапазонный приемник сигналов ГНСС GPS/Galileo/ГЛОНАСС/BeiDou. Режим доступа: http://ntlab.com/IP/rus/Hard/Analog_Mixed/RECEIVER/0180IP_HT1020.pdf (дата обращения 06.03.2014).
7. Дединец О. В. Ретрансляция радионавигационных сигналов в помещение, техническая реализация, проблемы и их возможные решения // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 3. Режим доступа: http://sntbul.bmstu.ru/doc/711007.html (дата обращения 06.03.2014).