



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012157632/07, 27.12.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.12.2012

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2014 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 20.11.2014 Бюл. № 32

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Вейцель А.В. "Новый класс меандровых шумоподобных радиосигналов для радионавигационных системЦ, ж.Вестник МАИ т.16 N7, 2009, с.43-48. RU2009139282 А, 27.04.2011. WO03/007510 А2, 23.01.2003. WOO2010/074605 А1, 01.07.2010

Адрес для переписки:

115114, Москва, 1-й Дербеневский пер., 5, подъезд 5, оф. 602, ООО "Спирит Корп"

(72) Автор(ы):

Пурто Леонид Викторович (RU),
Беркович Геннадий Михайлович (RU),
Смирнов Павел Валентинович (RU),
Будник Руслан Александрович (RU),
Свириденко Владимир Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

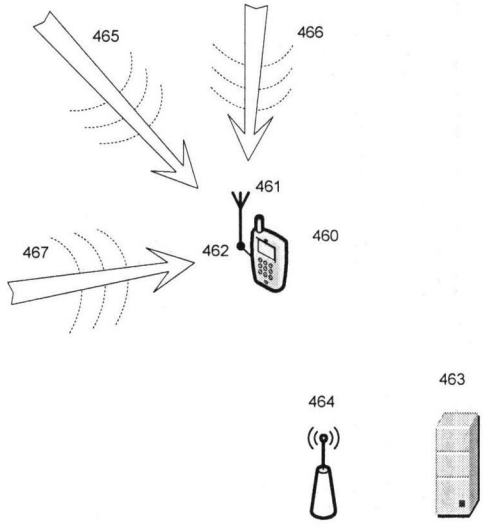
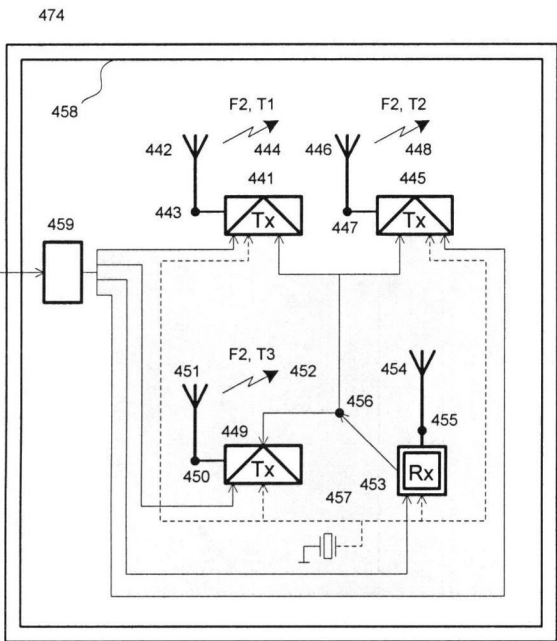
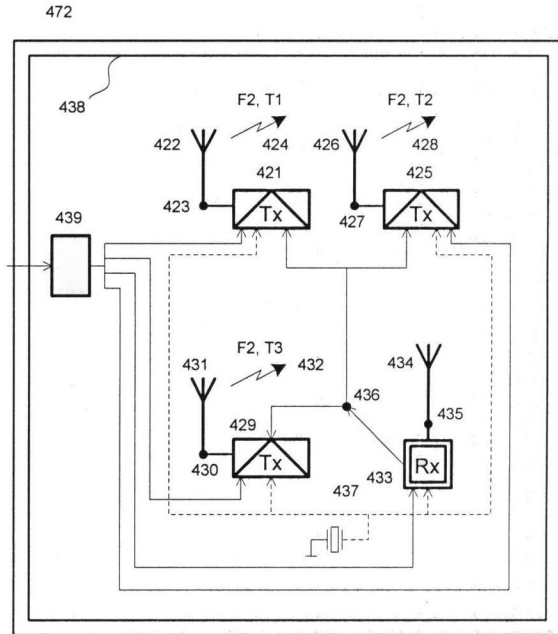
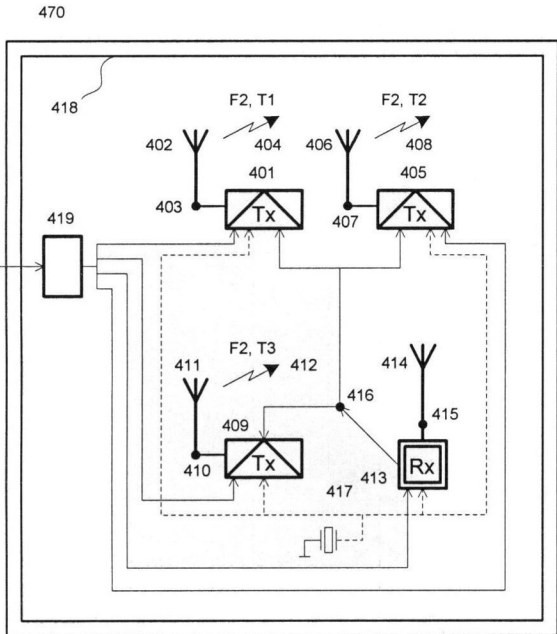
Общество с ограниченной ответственностью
"Спирит Корп" (RU)

(54) СПОСОБ И СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА ВНУТРИ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ГЛОНАСС-ПОДОБНОГО СИГНАЛА

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике связи и может использоваться в системах мобильной связи. Технический результат состоит в повышении точности и надежности позиционирования внутри зданий, допускающего размещение внутри помещений большого количества позиционирующих передающих устройств, не требующего серьезных изменений спутниковых навигационных приемников или иных компонентов, содержащихся в мобильных устройствах, таких как, например, смартфон, а также в недопущении помех существующим навигационным приемникам. Для этого используют стационарные маяки, состоящие из нескольких передатчиков и одного приемника, служащего для синхронизации передатчиков. Содержащиеся в маяке передатчики и приемник синхронизируются единым тактовым

генератором, а их положение фиксируется при помощи радиопрозрачного корпуса маяка. В качестве навигационных шумоподобных сигналов используют ГЛОНАСС-подобный сигнал, начало М-последовательности которого для разных сигналов, передаваемых на одной и той же несущей частоте, сдвигают по задержке на разную величину. Перед расчетом позиции в память мобильного терминала загружают информацию об ожидаемом сдвиге М-последовательности и другую информацию. В мобильном терминале сопровождают сигналы передатчиков, определяют углы излучения сигналов, передаваемых передатчиками, настроенными на одну и ту же несущую частоту, а также псевдодальности до всех передатчиков, и рассчитывают позицию. 2 н. и 17 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг. 4



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01S 5/02 (2010.01)
H04B 7/216 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012157632/07, 27.12.2012
(24) Effective date for property rights: 27.12.2012
Priority:
(22) Date of filing: 27.12.2012
(43) Application published: 10.07.2014 Bull. № 19
(45) Date of publication: 20.11.2014 Bull. № 32
Mail address:
115114, Moskva, 1-j Derbenevskij per., 5, pod"ezd 5, of. 602, OOO "Spirit Korp"

(72) Inventor(s):
**Purto Leonid Viktorovich (RU),
Berkovich Gennadij Mikhajlovich (RU),
Smirnov Pavel Valentinovich (RU),
Budnik Ruslan Aleksandrovich (RU),
Sviridenko Vladimir Aleksandrovich (RU)**
(73) Proprietor(s):
**Obschestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju
"Spirit Korp" (RU)**

(54) **METHOD AND SYSTEM FOR POSITIONING OF MOBILE TERMINAL INSIDE BUILDINGS BASED ON GLONASS-TYPE SIGNAL**

(57) Abstract:

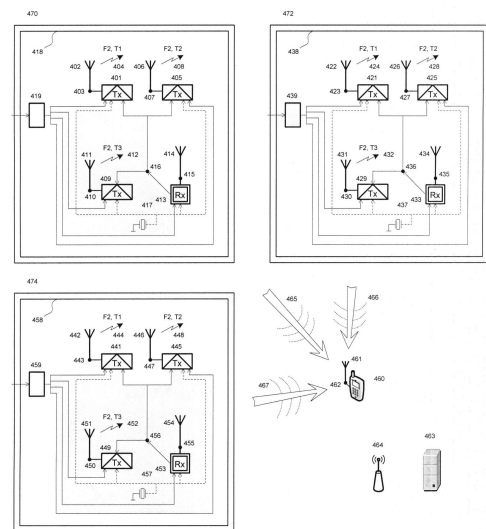
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: invention relates to communication equipment and can be used in mobile communication systems. Stationary beacons consisting of several transmitters and one receiver serving for synchronisation of transmitters are used. Transmitters and the receiver contained in the beacon are synchronised with a common clock generator, and their position is fixed by means of radio transparent beacon housing. As navigation noise-like signals, GLONASS-type signal is used, the beginning of M-sequence of which for different signals transmitted on one and the same carrying frequency, is shifted as to delay by different values. Before the position is calculated, information on expected shift of M-sequence and other information is loaded to mobile terminal memory. Signals of transmitters are accompanied in the mobile terminal, angles of radiation of signals sent by transmitters tuned to one and the same carrier frequency, as well as pseudo-distances to all transmitters are determined, and the position is calculated.

EFFECT: improvement of accuracy and reliability of positioning inside buildings, which allows for

arrangement inside rooms of a large number of positioning transmitting devices, requires no major changes to satellite navigational receivers or other components contained in mobile devices, such as for example a smart phone, as well as in non-admission of disturbances to existing navigation receivers.

19 cl, 7 dwg



Фиг. 4

RU 2 533 202 C2

RU 2 533 202 C2

Изобретение относится к навигации на основе радиосигналов (к радионавигации) и может быть использовано для определения позиции в условиях, когда прием сигналов глобальных спутниковых навигационных систем (GNSS) затруднен или невозможен, например, при нахождении внутри зданий.

5 Уровень техники

Известно большое количество способов определения позиции приемника с помощью радиосигналов. Единого способа радионавигации, пригодного для позиционирования в любых условиях, не существует. Наиболее универсальным средством для определения местоположения пользователя является спутниковая навигация. Базовые принципы спутниковой навигации описаны в работе [1]. К сожалению, спутниковая навигация, несмотря на заявляемый глобальный характер, гарантирует точность позиционирования порядка единиц метров только на открытой местности, а внутри помещений может быть недоступна. Низкое качество и ограниченная доступность спутниковой навигации внутри помещений связаны с двумя фундаментальными факторами: со значительным ослаблением мощности спутникового сигнала внутри помещений перекрытиями и стенами здания и с отражением сигнала от стен и других объектов. Последний фактор приводит к многолучевому распространению радиоволн.

Технологии определения местоположения объекта, отличные от традиционной спутниковой навигации, принято называть альтернативными способами навигации. Именно такие технологии набирают все большую популярность в связи с возросшим спросом на навигацию внутри помещений.

Особо интересны альтернативные способы навигации, доступные для применения в мобильных устройствах, таких как, например, смартфон. Популярность той или иной альтернативной технологии позиционирования зависит от ряда факторов. Среди них: достигаемая точность и надежность, сложность поддержки в мобильном устройстве, влияющая на стоимость, необходимость дополнительной специальным образом развертываемой инфраструктуры. В ряде случаев, таких как навигация в крупных магазинах, аэропортах, вокзалах, музеях, выставочных центрах, желаемая точность позиционирования составляет десятки сантиметров. Одновременно с точностью к навигации в указанных местах предъявляются и другие требования, такие как надежность и минимальные пиковые ошибки. Неотъемлемой частью навигации внутри помещений является подробный план здания, как правило, загружаемый мобильным устройством через интернет.

Для повышения точности и надежности навигации на территории, где спутниковый сигнал может быть частично или полностью заблокирован, предложено несколько способов дополнения спутникового созвездия наземными передатчиками, чей сигнал полностью или частично напоминает сигнал спутников и может быть принят обычными либо специализированными приемниками. Известен способ, заключающийся в дополнении спутникового созвездия так называемыми псевдоспутниками (в английской терминологии pseudolite). Пример системы, реализующей данный способ, описан в патенте [2]. Предлагаемая система состоит из традиционных навигационных спутников, наземных передатчиков (псевдоспутников), корректирующих базовых станций и организованных между передатчиками и базовыми станциями каналов связи для передачи корректирующих данных. В патенте [2] перечисляется большое число радиочастотных диапазонов, в рамках которых возможно организовать каналы связи для обмена данными. Предполагается, что сигнал наземных передатчиков синхронизируется с сигналом навигационных спутников согласно тем же принципам, что используются и при синхронизации сигналов спутников. Достоинством данного

способа является улучшение навигационного покрытия заданной территории и доведение точности навигации до уровня, сопоставимого с навигацией под открытым небом. Среди недостатков данного подхода в первую очередь следует отметить инфраструктурную сложность и дороговизну системы. Сложность и дороговизна системы вызваны необходимостью развертывания специальных базовых станций с поддержкой особого типа сигнала, на основе которого осуществляется синхронизация псевдоспутников. Другим существенным недостатком системы является нерешенная проблема многолучевого распространения. Третий серьезный недостаток - проблема кросскорреляционных помех, создаваемых друг другу C/A-сигналами спутников GPS (в англоязычной литературе данную проблему часто именуют "near/far problem"). Суть этой проблемы состоит в том, что короткий (1023 чипа) псевдослучайный код, используемый в GPS для кодового разделения сигналов спутников (английский термин Code Division Multiple Access или CDMA), приводит к перекрестным помехам GPS-сигналов на уровне до -21 дБ. Таким образом, относительно слабый сигнал одного из спутников, а также псевдоспутников может быть подавлен соизмеримой с ним или превосходящей его помехой, создаваемой сигналом другого спутника или псевдоспутника ([1], глава 4.3.4. "Cross-Correlation Functions and CDMA Performance"). Проблема кросскорреляций при использовании псевдоспутников GPS усугубляется относительно небольшим расстоянием между псевдоспутником и приемником, а также большой его относительной вариативностью. При работе с псевдоспутниками расстояние от приемника до одного из передатчиков, передающих навигационный сигнал, может оказаться во много раз меньше, чем расстояние до другого передатчика, что неминуемо приводит к большой разности мощностей сигналов псевдоспутников на входе приемника и соответственно к сильным помехам, причиняемым одному из сигналов. Проблема большого динамического диапазона сигнала возникает и при одновременном приеме сигналов псевдоспутника и обычного спутника. Слишком сильное приближение к передатчику псевдоспутника приводит к блокированию относительно слабого сигнала, излучаемого настоящим спутником GPS, а слишком сильное отдаление приводит к блокированию относительно слабееющего сигнала псевдоспутника сигналом настоящего спутника. Использование сигнала ГЛОНАСС с частотным разделением каналов снижает уровень помех, создаваемых одним спутником или псевдоспутником другому спутнику. Так, если несущие частоты спутников расположены на соседних литерах, максимальный уровень кросскорреляционной помехи составляет - 26 дБ, а если несущие разнесены на двойной шаг по частоте, то - 34 дБ. Очевидным недостатком частотного разделения каналов в соответствии со стандартом ГЛОНАСС является недостаточное количество каналов в пределах отведенной под них частотной полосы. Завершая перечисление недостатков системы [2] и лежащего в ее основе метода, следует также отметить проблему синхронизации со спутниками в тех зданиях, где нет возможности вынести на крышу наружную антенну.

Описанные выше проблемы частично решаются за счет отказа от глобальной синхронизации псевдоспутников по сигналам реальных спутников. Известен пример реализации подобной системы, изложенный в патенте [3]. Согласно данной идее, система работает автономно и не предполагает наличия реальных навигационных спутников. Входящие в систему псевдоспутники делятся на один ведущий и остальные ведомые (в английской терминологии master и slave). Часы ведомых псевдоспутников синхронизируются с часами ведущего. Для обеспечения синхронизации используется проводной интерфейс или иной способ, выходящий за рамки патента. Достоинством данного метода является несколько большая легкость инсталляции, так как система

не предполагает синхронизации псевдоспутников с реальными спутниками.

Недостатками данного метода, как и в предыдущем случае, являются инфраструктурная сложность, неизбежная для любого метода синхронизации псевдоспутников с точностью, сопоставимой с точностью синхронизации системы GPS. В дополнение к требованию 5 высокой точности синхронизации инфраструктурные затраты на развертывание описываемой системы усугубляются отсутствием удобного канала синхронизации. Не решена в описываемой системе и проблема многолучевости и ограниченного динамического диапазона сигналов псевдоспутников (описанная выше near/far problem), что приводит к серьезным ограничениям в расположении передатчиков и к относительно 10 небольшой зоне покрытия на их основе. Отдельно стоит отметить потенциальную несовместимость развертываемой системы псевдоспутников с существующими стандартными приемниками. Несовместимость связана с рядом опасностей передачи псевдоспутниками сигнала, в точности эквивалентного сигналу реальных спутников, в частности передаваемого на той же несущей частоте и образованного на основе той 15 же псевдослучайной последовательности. Потенциальная алгоритмическая несовместимость сигнала псевдоспутника с программным обеспечением существующих приемников дополнительно ограничивает широкое применение псевдоспутников.

Известно несколько методов, позволяющих значительно упростить инфраструктурную сложность развертывания системы позиционирования на базе 20 псевдоспутников. Один из таких методов описан, например, в патенте [4]. Согласно данному методу передатчики работают асинхронно, а присутствующий в системе дополнительный приемник, осуществляющий калибровку сигналов передатчиков, предназначен для выработки поправок к эфемеридам передатчиков, которые затем учитываются в пользовательских приемниках во время решения навигационной задачи. 25 Достоинством данного метода является значительное удешевление системы. Среди недостатков метода можно отметить все те же проблемы с ограниченным динамическим диапазоном сигнала передатчиков, и как следствие, с ограниченной зоной действия системы. Кроме того, из-за многолучевости в дополнительном стационарном приемнике невозможно точно рассчитать поправки к сигналу, излучаемому асинхронными 30 передатчиками. Совместно с проблемой многолучевости, проявляющейся в пользовательском навигационном приемнике, последнее обстоятельство приводит к серьезному ухудшению качества навигации. Еще одним недостатком является несовместимость с существующими приемниками. Инфраструктурная сложность хотя и уменьшается по сравнению с предыдущим методом, но остается достаточно высокой, так как необходимо обеспечить оперативную доставку эфемеридных поправок 35 пользовательским приемникам. Дополнительным недостатком метода является пониженная точность позиционирования, связанная с задержками передачи поправок в пользовательские приемники. Также необходимость постоянного уточнения поправок посредством их передачи по мобильной или иной другой сети приводит к 40 дополнительному трафику и энергопотреблению пользовательского приемника.

Известен другой метод, еще более упрощающий инфраструктуру системы навигации внутри помещений. При этом попыток синхронизировать или калибровать асинхронные передатчики не предпринимается вовсе. Данный принцип лег в основу GPS-подобных маяков IMES (Indoor Messaging System), стандартизированных в рамках интерфейсного 45 документа QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) - навигационной системы, разработанной авиационно-космическим агентством Японии JAXA [5]. В интерфейсном документе указаны два патента [6,7], описывающие базовые принципы построения данной и аналогичных ей систем локального позиционирования внутри помещений. В указанных

патентах, а также в их аналогах, например [8], описывается система, состоящая как минимум из одного передатчика, излучающего сигнал в полосе, используемой спутниковой навигационной системой, при этом в качестве коротких эфемерид передатчик сообщает свои координаты. Система не предполагает использования передатчиков для вычисления навигации в дальномерном или фазовом режиме. Другим серьезным отличием этих передатчиков от псевдоспутников является передача альтернативной позиционирующей информации. По сути, передатчик IMES является не псевдоспутником, а маяком, передающим Cell-ID. Предполагается, что аппаратная часть традиционных навигационных приемников, изначально рассчитанная на прием только сигнала GPS, тем не менее, может принимать и сигнал QZSS/IMES, так как с т.з. модуляции перечисленные сигналы аналогичны. Достоинством описываемого подхода является наименьшая инфраструктурная сложность размещения передатчиков, а также совместимость с аппаратным дизайном приемников, разработанных до появления стандарта IMES. Очевидным недостатком системы является резкое ухудшение точности позиционирования, так как точность определения позиции фактически равна зоне действия передатчика IMES. Другим недостатком системы IMES является наполнение полосы GPS сигналом, коррелированным с уровнем до -21 дБ с традиционными сигналами спутников GPS. Как следствие, стандартные приемники воспринимают кросскорреляционные наводки сигналов IMES как сигнал с настоящих навигационных спутников. Говоря шире, сигнал IMES может восприниматься существующими приемниками как помеха, имитирующая спутниковые сигналы.

Известен ряд методов локального позиционирования, описывающих систему, принципиально отличную и несовместимую с принципами, используемыми в навигационных приемниках. Данные методы, такие как навигация по традиционным точкам доступа Wi-Fi, по базовым станциям сотовой связи, по передатчикам радио и телевизионного вещания и т.д., обеспечивают точность позиционирования, сопоставимую или более худшую, чем точность навигации по IMES. Основным достоинством данных методов является отсутствие дополнительных усилий для развертывания системы позиционирования. При использовании данных методов предполагается, что базовые станции и/или точки доступа Wi-Fi уже присутствуют в необходимом количестве для навигации внутри зданий. Этот факт может привести к тому, что навигация будет носить негарантированный, случайный характер. Следует отдельно подчеркнуть недостаток навигации по прерывистым сигналам, либо по сигналам, сканируемым неодновременно (типичный пример такой навигации - позиционирование по точкам доступа Wi-Fi по принципу "fingerprinting"), заключающийся в трудности или невозможности выполнять навигацию позиционируемого объекта в движении.

Актуальность гарантированной высокоточной навигации в зданиях (indoor) побуждает индустрию добавлять поддержку локального позиционирования в коммуникационные стандарты, изначально не ориентированные на решение навигационных задач. Наиболее серьезным образом локальное позиционирование поддержано в стандарте IEEE 802.15.4 [9], а также в стандарте ISO на RTLS (Real-Time Locating Systems) [10]. Одно из несомненных достоинств стандарта IEEE 802.15.4 - использование специального вида модуляции - UWB (Ultra-Wide Band) с шириной полосы 499.2 МГц. Использование сверхширокой полосы сигнала позволяет увеличить разрешающую способность измерения расстояния до 1.2 м, что при навигации дальномерным методом теоретически позволяет достичь точности 0.6 м даже в условиях многолучевости (при наличии прямого луча). Стандартом предусматривается как измерение псевдодальностей (по измерениям

времени прихода сигнала в одном направлении), так и определение полноценных дальностей до позиционирующих приемопередатчиков (измерение суммарной задержки распространения сигнала в обоих направлениях). Недостатками данной технологии являются эксплуатационные ограничения, накладываемые стандартом IEEE 802.15.4 (в первую очередь, ограниченная зона действия передатчика - до 10 м), и большая дополнительная работа, необходимая для поддержки приемником навигации по UWB, являющейся в стандарте IEEE 802.15.4 опциональной. Кроме того, точность позиционирования в реальных приемниках может существенно ухудшиться из-за проблематичной процедуры самокалибровки передатчиков при измерении абсолютных дальностей ([9], глава ЕЛ.6) и из-за проблем постоянной временной калибровки при использовании традиционного метода навигации, основанного на вычислении псевдодальностей до позиционирующих приемопередатчиков. Следует также отметить технологические проблемы, связанные со сверхширокой полосой сигнала, что делает проблематичным применение данного стандарта в портативных устройствах.

Известны методы повышения точности спутниковой и псевдоспутниковой навигации как вне, так и внутри помещений за счет дополнительного усложнения инфраструктуры. Основным методом повышения точности навигации до сантиметрового уровня является метод Real Time Kinematic или RTK ([1], глава 8.4. "Carrier-Based Techniques"). В ряде реализаций RTK помимо удорожания инфраструктуры повышается стоимость и пользовательского приемника (требуется двухчастотный прием GPS сигнала в диапазонах L1 и L2). Кроме того, эффективность RTK напрямую связана с возможностью первичного (приблизительного) определения местоположения приемника, которое затем уточняется. Основу RTK составляет фазовый метод определения координат, а также фазовое сопровождение и коррекция псевдодальностей спутников. Навигация с использованием фазового метода сопровождения описана, например, в патенте [11]. В указанном патенте описывается подвижная платформа, выделяющая из сигнала GPS различные измерительные данные и производящая подстройку одних типов данных по другим типам данных. Предлагается, например, подстройка задержки сигнала спутника (delay) в ответ на изменение фазы и так далее. Фазовое сопровождение позволяет позиционировать приемник с сантиметровой точностью относительно стартовой точки, с которой началось движение. Другим достоинством фазового метода навигации является существенно лучшая точность в условиях многолучевого распространения сигнала. В то же время определение точных координат стартовой точки фазовым методом является нетривиальной задачей, так как фаза сигнала без применения специальных методов разрешения фазовой неоднозначности позволяет определить лишь дробную часть числа длин волн, укладываемых в определяемой приемником псевдодальности до передатчика. Специфика применения метода RTK в псевдоспутниках комплексно рассмотрена в [12]. В этой работе приводится ряд предложений, как решать проблему фазовой неоднозначности RTK (определения целого количества длин волн в псевдодальностях), предлагаются различные алгоритмы самокалибровки. Безусловным достоинством метода RTK в известных его реализациях является повышение точности навигации до сантиметрового уровня и относительно высокая защита от многолучевости (при сильном прямом луче). Основным недостатком известных методик реализации RTK является отмеченное выше совокупное удорожание системы позиционирования, а также проблема определения стартовой позиции.

Известен метод позиционирования на основе фазовых измерений по принципу интерферометра, представляющий собой один из вариантов реализации принципа триангуляции. Данный метод также является одним из вариантов реализации

определения угла прихода сигнала (в англоязычной литературе - Angle of Arrival (AoA), а также Direction Finding). Пример реализации подобного метода изложен в патенте [13]. В патенте описывается система из двух и более базовых станций с массивом антенн, принимающих сигнал мобильного передатчика и вычисляющих направляющий угол на основе разности фаз несущей этого сигнала, полученных на выходе каждой из антенн. Согласно предлагаемому патентом методу фазовые измерения дополнительно взвешиваются при помощи линейных и нелинейных функций, а прием сигнала мобильного передатчика обеспечивается за счет специального протокола или набора сообщений, передаваемых мобильным передатчиком базовым станциям. Определение местоположения приемника в плане осуществляется путем нахождения точки пересечения лучей, соответствующих направлению сигнала с мобильного устройства, определенному каждой базовой станцией. Преимуществом данного метода является отсутствие проблемы фазовой неоднозначности благодаря малому расстоянию между антенными элементами (рекомендуется расставлять антенные элементы с шагом в полдлины волны). Недостатком метода является возрастание ошибки позиционирования по мере удаления позиционируемого объекта от массива антенн, а также необходимость постоянного излучения сигнала позиционируемым объектом.

Известен способ позиционирования на основе фазовых измерений по принципу Direction Finding, согласно которому для определения направления на объект используется несколько антенн передатчиков и одна антенна в навигационном приемнике. В отличие от предыдущего метода позиция приемника определяется через углы излучения (УИ) позиционирующих передающих устройств. Данный метод в англоязычной литературе имеет аббревиатуру AoD (Angle of Departure). Метод определения координат объекта по углам излучения (УИ) с двух и более передатчиков хорошо известен в авиации (используется в курсовых радиомаяках). Определение УИ возможно разными способами, среди которых для локального позиционирования наиболее точным и устойчивым к многолучевости, является метод на основе измерения разности фаз сигналов, приходящих с антенных элементов передатчика. Это означает, что сигналы с различных антенных элементов передатчика определенным образом разделяются в приемнике. В случае частотного разделения сигналов (английский термин Frequency Division Multiple Access (FDMA)) измерение разности фаз принимаемых сигналов может быть осложнено нелинейностью фазовой характеристики приемника. При разделении сигналов по времени (английский термин Time Division Multiple Access (TDMA)) измеряемая разность фаз может быть искажена нестабильностью доплеровского смещения, причина которой - перемещение объекта с ускорением, а также шум источника опорного колебания (например, Temperature Compensated crystal Oscillator (ТСХО)). При кодовом разделении сигнала (CDMA) возможны сильные перекрестные помехи (near/far problem), также способные существенно сказаться на фазовых измерениях. Преимуществом данного метода является пассивный режим работы позиционируемого навигационного устройства, так как все сигналы излучаются радиомаяками, а не самим устройством. Недостатком метода, как и в предыдущем случае, является деградация точности позиционирования, пропорциональная удалению от маяков, а также пониженная надежность в движении. Другим серьезным недостатком метода является его неработоспособность при слабом прямом сигнале радиомаяка и сильном отраженном сигнале.

Известны метод и система позиционирования в здании по принципу измерения УИ, позволяющие уменьшить количество многоантенных передающих маяков вплоть до одного устройства. Данные метод и система описаны в патенте [14]. Согласно патенту

в системе присутствуют передатчики, каждый из которых передает индивидуальный сигнал и подключен к отдельной антенне, а также приемник, способный различить сигналы передатчиков и использующий дополнительные ограничения на систему (например, определенное вертикальное расположение приемника) для вычисления
5 позиции. Благодаря дополнительным ограничениям описанный метод и реализующая его система теоретически способны определить не только угловые координаты объекта относительно каждого из маяков, но и расстояние до маяка. Система, таким образом, позволяет определять координаты объекта даже по одному маяку. Преимуществом
10 данного метода является сокращение количества радиомаяков. Недостатком системы является невозможность гарантировать соблюдение дополнительных ограничений - в первую очередь определенной высоты расположения навигационного приемника, который может быть в мобильном телефоне. При несоблюдении налагаемых на систему ограничений (условий) точность позиционирования объектов ухудшается пропорционально отступлению от априорно предполагаемых условий. Другим
15 серьезным недостатком описанных угломерных систем навигации, ориентированных на фазовый метод измерений, является, как и в предыдущем случае, их неработоспособность при слабом прямом сигнале радиомаяка и сильном отраженном сигнале.

Анализ известных на сегодняшний день методик позиционирования внутри
20 помещений показывает, что позиционирование с помощью псевдоспутников, передающих непрерывный шумоподобный сигнал, теоретически позволяет достичь наилучшей точности, причем как в статике, так и в динамике, но для достижения надежной метровой и субметровой точности в помещении с большим количеством
25 радиоотражающих и радионепроницаемых объектов требуется разместить большое количество маяков. В то же время, размещение большого количества маяков помимо ценового фактора ведет к сильным кросскорреляционным помехам, свойственным C/A коду GPS. Также установка большого количества маяков в помещении неизбежно
30 сказывается на точности определения местоположения и при использовании альтернативных способов позиционирования. Наличие в зоне видимости приемника большого количества передающих маяков ведет к ухудшению качества навигации, связанному с неизбежными взаимными помехами, создаваемыми излучаемым маяками сигналом.

Известен ряд методов, направленных на снижение кросскорреляционных помех, создаваемых сигналами, идентичными или аналогичными сигналу C/A GPS. В патенте
35 [15] предлагается моделировать помеху, создаваемую шумоподобным сигналом, сформированным на основе одного псевдослучайного кода, сигналу, сформированному на основе другого псевдослучайного кода, затем вычитать предсказанное значение помехи из результатов корреляции входного сигнала со вторым кодом. Достоинством
40 данного метода является снижение кросскорреляционного воздействия друг на друга сигналов, разделяемых по принципу CDMA, и, как следствие, частичное решение "near/far problem". Основным недостатком метода применительно к навигации по сильному сигналу псевдоспутников является необходимость отслеживать все "вычитаемые" сигналы псевдоспутников, число которых может превысить имеющееся в приемнике количество каналов сопровождения.

Известен метод, понижающий взаимные кросскорреляционные помехи шумоподобных сигналов за счет увеличения длины кодовой последовательности и
одновременно частотной полосы, занимаемой навигационным сигналом. Примером
45 такого метода является P-код GPS. Данный метод можно считать наиболее

перспективным для реализации новых систем навигации по псевдоспутникам внутри помещений, однако применительно к существующим гражданским навигационным приемникам использовать данный метод невозможно, так как в них P-код GPS не поддерживается. Другим примером реализации такого метода является сигнал E1 Galileo, длина кода которого в четыре раза превышает длину C/A-кода GPS. Достоинством и одновременно недостатком решения кросскорреляционной проблемы в сигнале E1 является снижение коэффициента кросскорреляции между навигационными сигналами на 6 дБ, но эту величину нельзя считать достаточной для навигации в помещениях с использованием большого количества маяков.

Известен метод, понижающий взаимные кросскорреляционные помехи шумоподобных сигналов за счет излучения указанных сигналов по принципу TDMA. Данный метод описан в патенте [16]. Более развернутое описание метода и реализующей его системы приведено в патенте [17]. Основной идеей данного метода является попеременное излучение навигационных сигналов, по аналогии с временными слотами TDMA. Как и в других описанных выше системах позиционирования на базе псевдоспутников, система согласно патенту [17] включает в себя мобильный терминал, способный принимать сигнал псевдоспутников и содержащий базу данных с информацией о расположении входящих в систему псевдоспутников. По аналогии с радиолокацией такой режим излучения называют импульсным режимом. Достоинством данного метода и системы является решение кросскорреляционной проблемы на уровне сигнально-кодовой конструкции. Недостатками данного метода и системы являются: необходимость большого количества временных слотов для разделения соответствующего количества сигналов псевдоспутников, энергетические потери для каждого из разделяемых сигналов, пропорциональные их скважности, ухудшение фазового сопровождения по прерывистым сигналам, особенно проявляющееся в движении.

Анализ известных на сегодняшний день методов позиционирования внутри зданий показывает отсутствие среди них высокоточного, надежного и одновременно малозатратного решения, легко интегрируемого в существующие продукты.

Метод и реализующая его система, описанные в патенте [17], наиболее близки к предлагаемому и выбраны в качестве прототипа.

Раскрытие изобретения

Задачей настоящего изобретения является предложение способа точного и надежного позиционирования внутри зданий, предусматривающего размещение внутри зданий специальных передающих устройств (маяков) и не требующего серьезных изменений спутниковых навигационных приемников или иных компонентов, содержащихся в мобильных устройствах, таких как, например, смартфон, а также системы для осуществления данного способа. Второй составной частью решаемой задачи является минимизация затрат на развертывание инфраструктуры в крупных помещениях, таких как аэропорт, торговый комплекс или офисный центр, а также исключение помех существующим навигационным приемникам. Важной особенностью решаемой задачи является повышение защищенности от кросскорреляционных помех между шумоподобными сигналами, передаваемыми на одной и той же несущей частоте, и обеспечение совместимости с существующими навигационными приемниками.

Для решения поставленной задачи в известном способе позиционирования, заключающемся в синхронизированном излучении стационарными передатчиками навигационных шумоподобных сигналов на одной или нескольких несущих частотах, их приеме мобильным терминалом и последующем расчете позиции мобильного

терминала, в качестве навигационных шумоподобных сигналов используют М-последовательность, начало которой для разных сигналов, передаваемых на одной и той же несущей частоте, сдвигают по времени на разную величину, отличающуюся на два или более элемента М-последовательности.

5 Для решения поставленной задачи сигнал передатчиков помимо мобильного терминала принимают в стационарных приемниках с известным местоположением, где из принятого сигнала выделяют информацию о фактическом сдвиге начала М-последовательности, сдвиге частоты и фазы несущей в излучаемом каждым передатчиком сигнале относительно других передатчиков. Затем сообщают выделенную
10 информацию передатчикам. В передатчиках сравнивают требуемую и фактическую информацию о сдвиге начала М-последовательности, сдвиге частоты и фазы несущей относительно других передатчиков. На основе полученной разницы корректируют начало М-последовательности, частоту и фазу несущей в передаваемом сигнале и обеспечивают, таким образом, идентичность требуемых и фактических сдвигов.

15 Для решения поставленной задачи перед расчетом позиции мобильного терминала в его память загружают информацию об ожидаемых сдвигах М-последовательностей в сигналах всех передатчиков. На основе указанной информации выбирают подлежащие сопровождению сигналы передатчиков, среди которых присутствуют сигналы, передаваемые на одной и той же несущей частоте, принимают сигналы выбранных
20 передатчиков, вычисляют фактический сдвиг начала М-последовательности, значения частоты и фазы несущей, сравнивают фактический сдвиг с ожидаемым, вычисляют несовпадение фактических и ожидаемых сдвигов. Затем на основании вычисленных ошибок определяют углы излучения сигналов, передаваемых передатчиками, работающих на одной и той же частоте, а также псевдодальности до этих передатчиков.

25 Возможны различные варианты реализации изложенного способа, а также их комбинация. В одном из вариантов данного способа предлагается использовать М-последовательность, идентичную псевдослучайному дальномерному коду сигнала стандартной точности ГЛОНАСС с периодом 1 мс и скоростью передачи символов 511 кбит/с, при этом цифровую информацию, содержащуюся в навигационном сигнале,
30 передают со скоростью 1000/N бит/с, где N - целое число, больше 3. Такой сигнал в дальнейшем называется ГЛОНАСС-подобным.

Еще в одном варианте данного способа несущую частоту передатчиков определяют по формуле:

$$F_{\text{carrier}} = F_0 + K_L \cdot dF_L + K_{\text{SubL}} \cdot dF_{\text{SubL}}$$

35 где F_0 - базовая несущая частота диапазона L1 системы ГЛОНАСС, равная 1602 МГц, K_L - литер частоты, dF_L - частотный интервал ГЛОНАСС, равный 562.5 кГц, K_{SubL} - индекс дополнительной поднесущей, принимающий значение 0, ± 1 , ± 2 , dF_{SubL} - интервал между дополнительными поднесущими в кГц, равный K/N или $K/(N-2)$, где K - целое
40 число, удовлетворяющее соотношению: $N < K < 2 \cdot N$.

В другом варианте данного способа навигационные сигналы передают на свободных литерных частотах спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС, не занятых сигналами спутников.

В следующем варианте данного способа граница бита передаваемой в навигационном
45 сигнале передатчика цифровой информации не совпадает с началом М-последовательности.

Еще в одном варианте данного способа границы бита в навигационном сигнале, передаваемом несколькими передатчиками, совпадают по времени.

В другом варианте данного способа каждому передатчику ставят в соответствие зону синхронизации с определенным рангом, при этом начало М-последовательности, фазу несущей и значение несущей частоты передатчиков с более низким рангом синхронизации корректируют в соответствии с началом М-последовательности, фазы несущей и значением несущей частоты передатчиков с более высоким рангом синхронизации.

Кроме того, в одном из вариантов данного способа излучаемый передатчиками сигнал содержит дополнительную цифровую информацию, предназначенную для обеспечения взаимной синхронизации передатчиков.

Еще в одном варианте данного способа сигнал, содержащий дополнительную цифровую информацию, передают на несущей частоте и модулируют псевдослучайным кодом, не совпадающими с несущей частотой и псевдослучайным кодом излучаемого передатчиком ГЛОНАСС-подобного навигационного сигнала, при этом сигнал, содержащий дополнительную цифровую информацию, передают синхронизированным с ГЛОНАСС-подобным навигационным сигналом.

В системе позиционирования мобильного терминала внутри зданий на основе ГЛОНАСС-подобного сигнала, реализующей данный способ, по сравнению с известной системой, содержащей несколько стационарных передатчиков навигационных шумоподобных сигналов с заранее известным местоположением, соединенных с соответствующими антеннами, а также мобильный терминал с неизвестным местоположением, способный принимать спутниковый навигационный сигнал и определять на основании принятого сигнала свое местоположение, внесены следующие изменения и дополнения. Стационарные передатчики шумоподобных сигналов способны излучать сигнал стандартной точности ГЛОНАСС, а мобильный терминал способен принимать сигнал стандартной точности ГЛОНАСС. Система также содержит один или несколько стационарных приемников с известным местоположением, способных принимать указанный сигнал, соединенных с соответствующими антеннами, причем число стационарных приемников меньше числа стационарных передатчиков.

Стационарные передатчики и приемники вместе с соответствующими антеннами объединены в устройства, называемые маяками, при этом в одном маяке содержится один приемник, один или несколько передатчиков, тактовый генератор и коммуникационный модуль. При этом выход коммуникационного модуля соединен с первым входом приемника и первым входом всех передатчиков, расположенных в маяке, выход приемника соединен со вторым входом всех расположенных в маяке передатчиков, выход тактового генератора соединен с третьим входом всех передатчиков, расположенных в маяке, и со вторым входом приемника.

Каждый содержащийся в системе маяк является автономным устройством, все перечисленные компоненты которого (передатчики, приемник, коммуникационный модуль и тактовый генератор) размещаются внутри радиопрозрачного корпуса маяка, выступающего в роли единой несущей конструкции для всех компонентов маяка, при этом антенны передатчиков и приемника размещаются на определенном расстоянии друг относительно друга.

Кроме того, в одном варианте данная система включает сервер с доступной для мобильного терминала базой данных, содержащей координаты маяков, устанавливаемые сдвиги начала М-последовательности, фазы несущей и значения несущей частоты сигналов передатчиков, а также зоны синхронизации и схему взаимодействия между ведущими и ведомыми передатчиками.

В другом варианте системы соединение приемника и передатчиков маяка

осуществляется через специальный преобразователь интерфейса, имеющий один вход и один или несколько выходов по числу содержащихся в маяке передатчиков.

Преобразователь интерфейса также может содержать преобразователь данных, предназначенный для выделения из информации с выхода приемника порций данных, предназначенных отдельному передатчику, модифицирующий данную порцию данных и передающий ее в соответствующий выход преобразователя интерфейса.

В одном варианте реализации данной системы антенны стационарного приемника и каждого стационарного передатчика, содержащегося в одном маяке, располагаются относительно друг друга на расстоянии не менее четверти длины волны, при этом в базу данных в качестве местоположения стационарных передатчиков и стационарного приемника заносятся координаты антенн стационарных передатчиков и стационарного приемника.

В следующем варианте реализации данной системы компоненты стационарных передатчиков и стационарного приемника за исключением антенн располагаются произвольным образом. В том числе указанные компоненты могут объединяться в одну микросхему.

Еще в одном варианте реализации данной системы стационарные приемники реализуются в усеченном виде, и способны только сопровождать сигнал стандартной точности ГЛОНАСС в диапазоне L1. При этом стационарные приемники и стационарные передатчики не способны работать на некоторых несущих частотах, отведенных под сигнал спутников ГЛОНАСС.

Еще в одном варианте реализации данной системы стационарные передатчики шумоподобных сигналов способны излучать сигнал стандартной точности ГЛОНАСС в диапазоне L1, соответствующем частотному диапазону 1595...1609 МГц, а мобильный терминал способен принимать сигнал стандартной точности ГЛОНАСС в диапазоне L1, соответствующем частотному диапазону 1595...1609 МГц.

Для решения поставленной задачи по сравнению с известной системой позиционирования изменен принцип временной синхронизации сигналов: вместо системы с перемежением сигналов на основе TDMA в качестве навигационных шумоподобных сигналов используется непрерывный или квазинепрерывный шумоподобный сигнал на основе M-последовательности, начало которой для разных сигналов, передаваемых на одной и той же несущей частоте, сдвинуто по задержке на разную величину. В частности может применяться M-последовательность, используемая в сигнале стандартной точности ГЛОНАСС. Установление конкретного сдвига M-последовательности в передатчике маяка осуществляется путем ввода указанного сдвига через вход маяка в коммуникационный модуль, откуда величина сдвига поступает на первый вход передатчиков маяка. На первый вход содержащихся в маяке передатчиков и приемника также поступает информация о требуемом сдвиге значения несущей частоты передатчиков маяка. Эта информация также передается в маяк через вход коммуникационного модуля. Работа стационарного приемника и передатчиков каждого маяка синхронизируется единым тактовым генератором маяка.

В дальнейшем изложении рассматриваются передатчики, сигнал которых основан на M-последовательности ГЛОНАСС. Передатчики ГЛОНАСС-подобного сигнала для краткости именуются IGLONS-передатчиками, излучаемый ими сигнал - IGLONS-сигналом, а собираемые на основе нескольких IGLONS-передатчиков и стационарного IGLONS-приемника модули - IGLONS-маяками. Аббревиатура IGLONS означает Indoor Geo LOcation Navigation System.

Далее будет рассмотрено, каким образом за счет указанных выше отличительных

признаков достигается улучшение навигационных характеристик.

Особенностью предлагаемого решения является использование специальных IGLONS-маяков, излучающих сигнал с принципом модуляции, идентичным принципу модуляции сигнала стандартной точности ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1.

5 Позиционироваться может произвольное количество пользовательских навигационных приемников (в частном случае - один навигационный приемник, называемый далее мобильным терминалом), способных принимать гражданский навигационный сигнал стандартной точности ГЛОНАСС L1 и адаптированных для работы с сигналами маяков. Для навигационных приемников, неадаптированных к работе с IGLONS-маяками,
10 IGLONS-сигнал является прозрачным. Это значит, что IGLONS-сигнал не приводит к нахождению традиционными приемниками ГЛОНАСС ложных навигационных спутников, предотвращает длительное сопровождение ложных спутников, исключает их использование в навигационном решении.

Позиционирование по предлагаемому IGLONS-сигналу может осуществляться в
15 различных режимах. В основном режиме предполагается наличие нескольких маяков, в каждом из которых установлено несколько передатчиков. Также возможен режим позиционирования по одному маяку с несколькими передатчиками. В случае позиционирования по двум и более маякам передатчики являются синхронизированными.

20 Согласно предлагаемому решению IGLONS-передатчики излучают два типа сигнала: один, именуемый далее S1, - максимально совместим с существующими приемниками ГЛОНАСС, другой, опциональный, именуемый далее S2, - несовместим со стандартом ГЛОНАСС. Сигнал S2 предусмотрен для дополнительного обмена данными между маяками. Каждый активный передатчик передает одновременно оба сигнала, при этом
25 сигналы разных передатчиков синхронизированы. Синхронизированы между собой и сигналы S1 и S2.

Помимо сигналов S1 и S2 передатчиками может излучаться шумовой сигнал S3 на ближайших к частоте S1 несущих частотах ГЛОНАСС из диапазона литер (-7..6). Сигнал S3 предназначен для гарантированного предотвращения принятия IGLONS-сигнала
30 за спутник ГЛОНАСС существующими навигационными приемниками, не приспособленными к приему сигнала S1.

Согласно предлагаемому решению пользовательские приемники определяют свое местоположение на основе сигнала S1. Навигационные измерения осуществляются в дальномерном режиме, в режиме фазового сопровождения, а также путем определения
35 угла излучения сигнала позиционирующими маяками.

Предлагаемое решение обладает улучшенными навигационными характеристиками за счет следующих нововведений: используется частотное и кодово-позиционное разделение сигналов, одновременно поддерживается позиционирование дальномерным методом и методом на основе определения углов излучения (УИ), определение угла
40 излучения может быть усовершенствовано с помощью переключаемых массивов антенн передатчиков. Предлагаемый способ и система обеспечивают максимальную совместимость навигационного сигнала S1 с сигналами традиционных спутников ГЛОНАСС, не оказывая в то же время заметного воздействия на неадаптированные к приему IGLONS- сигнала пользовательские приемники.

45 Предлагаемое в рамках изобретения новое кодово-позиционное разделение каналов уменьшает пиковую кросскоррелированность сигналов S1 передатчиков до уровня - 54 дБ, что на 30 дБ ниже пиковой кросскоррелированности сигналов C/A кода GPS, причем сигнал S1 каждого из передатчиков может быть демодулирован с помощью

традиционного коррелятора кода стандартной точности ГЛОНАСС. При этом на одной несущей частоте может излучаться около ста ортогональных сигналов. Предлагаемое новое кодово-позиционное разделение каналов позволяет использовать сигнал S1, принцип модуляции которого подобен принципу модуляции сигнала стандартной точности ГЛОНАСС, для определения угла излучения сигналов S1 передатчиками позиционирующего маяка, причем угол излучения определяется на основе разности фаз несущих этих сигналов.

Использование такого параметра, как УИ сигналов S1, позволяет разрешить фазовую неоднозначность и производить высокоточные угловые измерения, используя минимальное количество каналов приемника.

Для предотвращения кросскорреляционных воздействий сигнала S1 на неадаптированные навигационные приемники ГЛОНАСС в структуру сигнала S1 могут быть введены специальные модификации: несущие сигнала S1 вынесены за пределы спутникового диапазона ГЛОНАСС L1, занимающего частотные литеры от минус 7 до плюс 6, изменена структура информационного бита, спектр сигнала ограничен формирующим фильтром.

В основе навигационного сигнала передатчиков IGLONS-сигнала S1 лежит M-последовательность из 511 элементов (чипов), идентичная сигналу стандартной точности спутников ГЛОНАСС. Разделение каналов (сигналов разных передатчиков) реализуется при помощи разнесения несущих частот и/или моментов начала эпохи каждого передатчика. Благодаря уникальным автокорреляционным свойствам M-последовательности, на основе которой формируется код стандартной точности ГЛОНАСС, а также благодаря эффективному относительному смещению несущих частот, минимизирующему наложение друг на друга линейчатых спектров IGLONS-сигналов для разных несущих с учетом предполагаемого когерентного накопления в приемнике, достигаемая в рамках системы взаимная кросскоррелированность IGLONS-сигналов составляет при типичном использовании системы не более минус 54 дБ. При этом количество сигналов с взаимной кросскоррелированностью, не превышающей минус 54 дБ, составляет несколько сотен. Существование столь большого количества почти ортогональных сигналов позволяет реализовать на их основе высококачественную навигацию с использованием большого количества маяков, обеспечить навигационное покрытие в крупных помещениях, в значительной степени решить проблему "near/far" и таким образом упростить конфигурацию системы.

Автокорреляционная функция (АКФ) псевдослучайного кода стандартной точности ГЛОНАСС приведена на фиг.1. В отличие от автокорреляционной функции кодов Голда, лежащих в основе C/A-кода GPS, автокорреляционная функция M-последовательности, используемой при формировании сигнала стандартной точности ГЛОНАСС, содержит единственный максимум, соответствующий нулевому временному сдвигу автокорреляции. При временном сдвиге более чем на один чип (фиг.2) автокорреляционная функция постоянна и равна 1/511 или - 54 дБ относительно максимума АКФ. Сказанное означает, что стандартный дискриминатор по задержке с разнесением корреляторов Early и Late на полчипа относительно позиции Prompt практически не чувствителен к другому сигналу, представляющему собой ту же M-последовательность, передаваемую на той же несущей частоте, но сдвинутую во времени вперед или назад на полтора и более чипа.

На фиг.2 представлен фрагмент автокорреляционной функции M-последовательности сигнала стандартной точности ГЛОНАСС в районе главного лепестка (он же - единственный максимум автокорреляционной функции). Если спектр сигнала ГЛОНАСС

не ограничен, ширина автокорреляционного пика равна удвоенной длительности чипа, при этом корреляционный пик имеет правильную треугольную форму. Неограниченный спектр спутникового сигнала ГЛОНАСС имеет боковые спектральные лепестки, приводящие к серьезному значению коэффициента кросскорреляции сигналов, передаваемых на соседних частотах. Максимальная кросскоррелированность между сигналами, передаваемыми на соседних частотах, равна -26.6 дБ, а при разнесении несущих частот на два межлитерных интервала -34.1 дБ. Для снижения коррелированности сигнала, передаваемого на соседних частотах, в IGLONS-передатчиках может быть использован формирующий фильтр. Пример импульсной характеристики такого фильтра представлен на фиг.3. Присутствие формирующего фильтра в передатчике и (опционально) аналогичного (согласованного) фильтра в приемнике увеличивает ширину автокорреляционного пика (область влияния мешающих боковых лепестков АКФ) на удвоенную длину фильтра. Таким образом, дискриминатор контура сопровождения сигнала по дальности с получиповым разнесением корреляторов становится чувствительным к сигналу другого IGLONS-передатчика при временном сдвиге на полтора чипа плюс длину формирующего фильтра, то есть на $1.5 + T_{FIR}$, где T_{FIR} - длина импульсной характеристики фильтра, выраженная в чипах. В рамках предлагаемой системы длина формирующего фильтра передатчика равна четырем чипам ($T_{FIR}=4$). Таким образом, временное разнесение начала M-последовательности между сигналами IGLONS-передатчиков должно быть не меньше 5.5 чипов.

Дополнительным фактором, влияющим на минимально допустимое временное разнесение начальных фаз M-последовательностей (стартовых позиций эпох) в IGLONS-сигналах является физическая удаленность друг от друга передатчиков, пересчитанная во время прохождения сигнала от одного передатчика до другого - $T_{Tx1, Tx2}$. В спутниковой навигации $T_{Tx1, Tx2}$ в зависимости от взаимного расположения спутников может достигать нескольких десятков миллисекунд. В том же диапазоне колеблется и разница между временем прохождения сигнала с разных спутников до антенны пользовательского приемника. Указанные факторы приводят к принципиальной невозможности кодово-позиционного разделения сигналов спутников. В предлагаемой системе локального позиционирования предполагается создание локального навигационного поля, измеряемого сотнями метров или единицами километров. При этом взаимное расположение передатчиков, а, следовательно, и время распространения сигнала между ними фиксировано. Поэтому разность хода сигнала передатчиков до приемника предсказуема. Очевидно, что разность хода будет всегда меньше $T_{Tx1, Tx2}$. В худшем случае $T_{Tx1, Tx2}$ такой системы будет равно отношению протяженности навигационного поля в его наибольшем геометрическом размере к расстоянию, на которое распространяется радиосигнал за время одного чипа:

$$T_{Tx1, Tx2max} = S_{max} / 600, [\text{чип}]$$

где S_{max} - наиболее протяженное измерение навигационного поля [м].

Итоговая формула для вычисления относительного смещения начала эпох соседних передатчиков имеет вид:

$$T_{StartMLS}(i, i-1) = \text{ceil}(1.5 + T_{FIR} + T_{i, i-1} + C_T), [\text{чип}] \quad (1)$$

где ceil - функция округления до ближайшего превосходящего целого числа,

C_T - дополнительная резервная область дискриминатора, меньшая, чем один чип,

i - номер передатчика.

При обеспечении навигационного покрытия в относительно небольших помещениях $T_{i,i-1}$ невелико. Соответственно $T_{\text{StanMLS}}=6$. Максимальное количество одновременно передаваемых на одной частоте сигналов $S1$ равно $511/T_{\text{StartMLS}} - 1=84$.

Информационные биты, передаваемые в сигнале $S1$, образуются из N копий в M -последовательности, каждая из которых, будучи преобразованная в двухпозиционный фазоманипулированный сигнал, умножается на $+1$ или -1 в соответствии со значением передаваемого информационного бита и дополнительно умножается на $+1$ или -1 в соответствии с бинарным шаблоном из N элементов, обеспечивающим дополнительное кодирование. Время передачи одного информационного бита, таким образом, равно N миллисекунд, а скорость передачи информационных данных равна $1000/N$ бит/с. Длительность информационного бита в чипах равна $N \cdot 511$. Передаваемое в каждый момент времени значение чипа может быть вычислено по формуле:

$$X_{\text{chip}} = \text{PRN}(t \bmod 511) \cdot \text{BitPattern}(t \div 511) \cdot \text{Info}, \quad (2)$$

где PRN - псевдослучайный код в виде M -последовательности из 511 элементов в соответствии со спецификацией ГЛОНАСС,

BitPattern - специальная последовательность из N элементов,

Info - информационный бит с учетом возможного дополнительного кодирования,

t - время относительно начала передачи текущего информационного бита, выраженное в чипах,

\bmod - операция целочисленного деления, возвращающая остаток от деления,

\div - операция целочисленного деления, возвращающая целую часть результата.

Для удобства вычисления все компоненты вышеприведенной формулы представлены значениями $+1$ или -1 в соответствии с двухпозиционной фазовой модуляцией.

Аналогичная операция может быть выполнена над бинарными данными 0 и 1 путем замены умножения логическими элементами «исключающее ИЛИ» (XOR).

Для обеспечения максимальной совместимости с аппаратной частью существующих навигационных приемников ГЛОНАСС битовый шаблон BitPattern может быть определен, как повторенная N раз единица или как объединение двух знакопостоянных последовательностей:

$$\text{BitPattern}(i) = \forall i \in 1..N \quad (3)$$

или

$$\text{BitPattern}(i) = \begin{cases} +1, i = 1.. \frac{N}{2} \\ -1, i = \frac{N}{2} + 1..N \end{cases} \quad (4)$$

Наличие длительных знакопостоянных последовательностей в битовом шаблоне, дополнительно преобразующем исходный псевдослучайный код, позволяет применять к сигналу $S1$ операцию циклической свертки. Применимость операции циклической свертки означает, что передача двух сигналов, образованных одним псевдослучайным кодом (в частности, M -последовательностью), отличающихся друг от друга только моментами начала псевдослучайного кода, эквивалентна передаче двух сигналов, образованных разными псевдослучайными кодами, при условии, что второй псевдослучайный код представляет собой циклически сдвинутый первый псевдослучайный код. Разница в передаче двух означенных сигналов проявляется только в момент нарушения правила цикличности, то есть в момент изменения знака передаваемой M -последовательности. В первом случае смена знака M -

последовательности происходит в каждом сигнале с соответствующей относительной задержкой. Во втором случае смена знака в обоих сигналах происходит одновременно. Построение системы по второму принципу энергетически более выгодно и удобно при демодуляции сигнала в приемнике, однако может быть нереализуемо в силу имеющихся в навигационном приемнике конструктивных ограничений. Реализация системы по первому принципу ведет к невозможности обработки приемником эпох, приходящихся на границу знакопостоянных участков битового шаблона BitPattern. Для снижения энергетических потерь при реализации системы по первому принципу величину N следует делать по возможности большей. В рамках предлагаемого решения величина $N > 4$.

Следует также отметить, что сокращение знакопостоянных участков в шаблоне BitPattern, а также его дополнительная рандомизация (применение нескольких шаблонов с разной последовательностью плюс/минус единиц) дополнительно снижает коэффициент кросскорреляции сигнала S1 и спутникового сигнала ГЛОНАСС при их когерентном накоплении приемником. В рамках предлагаемого изобретения предусматривается использование разных битовых шаблонов BitPattern. Примеры битовых шаблонов были приведены выше в формулах (3) и (4). Возможны и другие разновидности битовых шаблонов. Принципы, в соответствии с которыми выбирается тот или иной шаблон BitPattern, а также одновременность или задержанность приложения шаблона BitPattern к разным сигналам выходят за рамки данного изобретения.

Для уменьшения кросскорреляционных помех в предлагаемом изобретении помимо кодово-позиционного разделения сигналов S1 предусмотрено частотное разделение. Предлагается использование как минимум двух частот, не входящих в спутниковый диапазон (литеры -7..+6). Такими частотами могут быть, например, частоты с литерами +8 и +9 или -9 и -10. Помимо разнесения несущих сигнала S1 на целое число межлитерных интервалов, определенных стандартом ГЛОНАСС как 562.5 кГц, предлагаемым изобретением предусмотрена дополнительная отстройка несущих частот сигнала S1 на $K_{SubL} \cdot K/N$ кГц или $K_{SubL} \cdot K/(N-2)$ кГц, где N - длина шаблона BitPattern, а K - целое число, причем $N < K < 2 \cdot N$, $K_{SubL} = 0, \pm 1$ или ± 2 . Несущая частота каждого IGLONS-передатчика может быть определена следующей формулой:

$$F_{carrier} = F_0 + K_L \cdot dF_L + K_{SubL} \cdot dF_{SubL}, \quad (5)$$

где F_0 - центральная частота диапазона L1 ГЛОНАСС. $F_0 = 1602000$ кГц,
 K_L - литер частоты,
 dF_L - межлитерный интервал ГЛОНАСС, равный 562,5 кГц,
 K_{SubL} - индекс дополнительной поднесущей,
 dF_{SubL} - интервал между дополнительными поднесущими, равный K/N в кГц.

Предлагаемое разделение каналов по частоте позволяет эффективно ортогонализировать сигналы S1 при когерентном накоплении длиной кратной N или N-2. Комбинирование различных K_L и K_{SubL} дает 10 возможных значений несущей частоты сигнала S1. С учетом указанных выше 84-х вариантов сдвига M-последовательности совокупная емкость системы составляет 840 каналов с уникально низкой степенью кросскоррелированности.

Для выполнения описанного выше кодово-позиционного и частотного разделения сигналов в настоящем изобретении предусмотрена процедура синхронизации передатчиков. Синхронизация происходит иерархически: передатчики, относящиеся к зоне синхронизации с большим номером, синхронизируются передатчиками, относящимися к зоне синхронизации с меньшим номером. Для синхронизации по другим

передатчикам и (опционально) для калибровки собственных передатчиков в каждом IGLONS-маяке присутствует приемник, способный сопровождать опорный сигнал, являющийся для данного маяка синхронизирующим. Передатчики, относящиеся к смежным зонам синхронизации, работают на разных литеррах (параметр K_L таких передатчиков не совпадает). В то же время, несущие частоты, на которых работают передатчики в пределах одного маяка, всегда идентичны. Благодаря синхронизации обеспечивается прецизионное соблюдение разности несущих $F_{carrier}$ между синхронизирующим и синхронизируемыми передатчиками, а также временное разнесение начал M-последовательности $T_{StartMLS}$, а для передатчиков, установленных в одном маяке, - согласование фаз излучаемых сигналов.

Следует отметить, что при временной синхронизации $T_{StartMLS}$ могут не учитываться время распространения сигнала между синхронизирующим и синхронизируемым маяком, фазовые искажения, связанные с разделением сигналов по частоте, а также искажения, связанные с многолучевым распространением сигнала синхронизирующего передатчика.

В рамках предлагаемого изобретения допускается менее точная синхронизация временной информации, передаваемой IGLONS-передатчиками для последующих дальномерных измерений в навигационном приемнике, нежели требуется в традиционных системах на основе псевдоспутников. Менее жесткие требования к временной синхронизации связаны с одновременной реализацией в предлагаемом способе двух методов позиционирования: позиционирования на основе дальномерного метода и метода позиционирования на основе измерений углов излучения, менее подверженных воздействию многолучевости.

Возможность одновременно передавать несколько пеленгующих сигналов с небольшим коэффициентом корреляции позволяет реализовать систему определения углов излучения этих сигналов в системе координат IGLONS-маяка на основе простых геометрических соотношений. В то же время, ограниченное количество передатчиков в рамках одной системы, ненулевая кросскоррелированность излучаемых ими сигналов, а также ограниченное количество каналов сопровождения в навигационных приемниках ГЛОНАСС требуют минимизации числа одновременно излучаемых сигналов.

Настоящим изобретением предлагается реализация системы из IGLONS-маяков, обеспечивающая определение трехмерного угла излучения сигнала на основе минимального количества одновременно излучаемых сигналов $S1$. Мобильный терминал принимает эти сигналы, и на основе измерения разности фаз определяет направление на источник излучения. Определение угла излучения сигнала возможно как в статике, так и при умеренной динамике мобильного терминала. Также обеспечивается непрерывность слежения за фазой несущей одного из установленных в маяке передатчиков.

Оптимальной реализацией IGLONS-маяка считается конструкция, состоящая из нескольких передатчиков N_{tx} , нескольких подключаемых к передатчикам антенн N_{ant} , причем $N_{ant} \geq N_{tx}$, и одного приемника (в случае $N_{ant} = N_{tx}$ перенаправления сигнала с одной антенны на другую не происходит). При этом некоторые антенны передатчиков разнесены друг относительно друга на расстояние, соизмеримое с половиной длины волны сигнала ГЛОНАСС L1, другие разнесены на большее расстояние. Каждая передающая антенна подключена к одному из передатчиков. В каждый момент времени на одну из подключенных к передатчику антенн подается сигнал, на остальные антенны сигнал не поступает. Соответственно, в каждый момент времени сигнал излучается

только N_{tx} антеннами, а $N_{ant}-N_{tx}$ антенн сигнал не излучают. Сигналы передатчиков модулируются согласно описанному выше кодово-позиционному разделению. Очевидно, что $T_{i,i-1}$ для таких передатчиков пренебрежимо мало. Сдвиг начала M-последовательности для каждого из передатчиков будет исчисляться по формуле:

$$T_{startMLs}(i) = T_{startMLs}(1) + \text{ceil}(1.5 + T_{FIR} + C_T) \cdot (i-1), \quad (6)$$

где $i=1 \dots N_{tx}$.

При указанном выше $T_{FIR}=4$ получаем выражение:

$$T_{StartMLs}(i) = T_{StartMLs}(1) + 6 \cdot (i-1). \quad (7)$$

Согласно предлагаемому решению IGLONS-маяки могут содержать разное количество передатчиков. Целесообразное количество от одного до пяти ($N_{tx}=1 \dots 5$). При этом в системе должен присутствовать хотя бы один маяк, имеющий в своем составе не менее двух передатчиков. Наиболее целесообразным представляется значение три передатчика ($N_{tx}=3$). При реализации системы на базе IGLONS-маяков с тремя передатчиками на каждой из несущих в зоне общей видимости может одновременно работать $84/3=28$ IGLONS-маяков. При использовании 10 несущих частот количество одновременно работающих маяков в зоне общей видимости становится равным 280.

Следует отметить, что на базе описанных IGLONS-маяков возможна реализация компактного варианта системы с одним маяком, содержащим несколько стационарных передатчиков. При реализации системы подобным образом навигация дальномерным методом не производится.

Синхронизация сдвигов начала M-последовательности, сдвигов фазы несущей и сдвигов несущей частоты передатчика обеспечивается за счет предложенных конструктивных особенностей IGLONS-маяка: наличия стационарного приемника, общего тактового генератора, коммуникационного модуля и единой несущей конструкции, фиксирующей расположение антенн передатчиков и приемника, каковой, в конечном счете, является корпус маяка.

Важно отметить, что размещение антенн передатчика и антенны приемника маяка в едином радиопрозрачном корпусе позволяет упростить определение позиции антенн при размещении маяков внутри зданий. Жесткая фиксация антенн, закладываемая на этапе разработки конструкции маяка и обеспечиваемая за счет единого корпуса изделия, имеет особое значение для обеспечения навигации по углам излучения маяков, требующей позиционирования фазовых центров антенн с миллиметровой (в крайнем случае, с сантиметровой) точностью. При этом учитываются как геометрические координаты фазовых центров антенн, так и согласованная ориентация антенн друг относительно друга. Последнее обстоятельство связано с вариативностью фазового центра антенн в зависимости от направления излучения сигнала и с традиционными методами компенсации вариативности фазовых центров антенн в угломерных измерениях. Качественная синхронизация сдвигов фазы несущей сигнала, излучаемого передатчиками маяка, также является непременным условием для обеспечения навигации на основе угломерных измерений. Указанная синхронизация обеспечивается наличием в маяке единого тактового генератора и согласованным конфигурированием приемника и передатчиков маяка через коммуникационный модуль. Наличие в маяке коммуникационного модуля решает задачу удаленного конфигурирования приемника и передатчиков устройства с помощью переносного пульта. Удаленное конфигурирование маяка упрощает эксплуатацию маяков после их установки в неудобных для оператора местах, например, под потолком помещения.

Предложенный кодово-временной способ разделения навигационных сигналов обеспечивает максимальную совместимость с существующими коммерческими приемниками ГЛОНАСС. Одновременное применение дальномерных, фазовых и угломерных принципов позиционирования позволяет на базе предложенного способа и реализующей его системы обеспечить точное и надежное позиционирование навигационного приемника (мобильного терминала) внутри помещений, допускающее размещение внутри помещений большого количества позиционирующих передающих устройств, не требует серьезных изменений спутниковых навигационных приемников, понижает инфраструктурные издержки, при этом не создает помех существующим навигационным приемникам и не препятствует приему сигналов спутников ГЛОНАСС.

Краткое описание чертежей

На фиг.1 представлена автокорреляционная функция (АКФ) псевдослучайного кода стандартной точности ГЛОНАСС.

На фиг.2 представлен фрагмент автокорреляционной функции М-последовательности кода стандартной точности ГЛОНАСС в районе главного лепестка.

На фиг.3 приведен пример импульсной характеристики формирующего фильтра ГЛОНАСС-подобного сигнала.

На фиг.4 представлен пример предлагаемой системы, содержащий три IGLONS-маяка (470, 472, 474), мобильный терминал 460 с навигационной антенной 461, расположенной в неизвестной позиции 462, сервер 463, канал связи для доступа к серверу 464. IGLONS-маяк 470 включает в себя передатчик 401 с антенной 402, расположенной в позиции 403 и излучающей сигнал 404, передатчик 405 с антенной 406, расположенной в позиции 407 и излучающей сигнал 408, передатчик 409 с антенной 410, расположенной в позиции 411 и излучающей сигнал 412, приемник 413 с антенной 414, расположенной в позиции 415, преобразователь интерфейса 416, соединяющий выход приемника с входами передатчиков, предназначенными для ввода фазочастотной синхронизации, тактовый генератор 417, радиопрозрачный корпус 418, коммуникационный модуль 419. IGLONS-маяк 472 включает в себя передатчик 421 с антенной 422, расположенной в позиции 423 и излучающей сигнал 424, передатчик 425 с антенной 426, расположенной в позиции 427 и излучающей сигнал 428, передатчик 429 с антенной 430, расположенной в позиции 431 и излучающей сигнал 432, приемник 433 с антенной 434, расположенной в позиции 435, преобразователь интерфейса 436, соединяющий выход приемника с входами передатчиков, предназначенными для ввода фазочастотной синхронизации, тактовый генератор 437, радиопрозрачный корпус 438, коммуникационный модуль 439. IGLONS-маяк 474 включает в себя передатчик 441 с антенной 442, расположенной в позиции 443 и излучающей сигнал 444, передатчик 445 с антенной 446, расположенной в позиции 447 и излучающей сигнал 448, передатчик 449 с антенной 450, расположенной в позиции 451 и излучающей сигнал 452, приемник 453 с антенной 454, расположенной в позиции 455, преобразователь интерфейса 456, соединяющий выход приемника с входами передатчиков, предназначенными для ввода фазочастотной синхронизации, тактовый генератор 457, радиопрозрачный корпус 458, коммуникационный модуль 459.

Излучаемые IGLONS-маяком 470 сигналы 404, 408, 412 приходят в мобильный терминал 460 в виде совокупного сигнала 465. Излучаемые IGLONS-маяком 472 сигналы 424, 428, 432 приходят в мобильный терминал 460 в виде совокупного сигнала 466.

Излучаемые IGLONS-маяком 474 сигналы 444, 448, 452 приходят в мобильный терминал 460 в виде совокупного сигнала 467.

На фиг.5 проиллюстрирован принцип определения угла излучения IGLONS-передатчиков, содержащий две антенны (501 и 502), их идеализированные фазовые

центры (503 и 504), двумерная система координат 505, в рамках которой производится позиционирование, мобильный терминал 506, угол излучения 507, обозначенный β , расстояние между фазовыми центрами антенн 508 (d), разность хода 509 (a).

5 На фиг.6 представлено предлагаемое способом распределение временных сдвигов начала M-последовательности ГЛОНАСС-подобных сигналов, излучаемых на одной несущей передатчиками T_{x_1} , T_{x_2} , T_{x_3} , $T_{x_{S-1}}$, T_{x_S} .

10 На фиг.7 предлагаемый способ одновременного позиционирования на основе дальномерного метода, фазового метода и метода по углам излучения проиллюстрирован на примере системы из трех IGLONS-маяков, содержащей IGLONS-маяк 705 с местоположением 706, маяк 707 с местоположением 708, маяк 709 с местоположением 710, мобильный терминал 701 с неизвестной позицией 702. Вычисление местоположения маяка в системе координат 704 осуществляется на основе псевдодальностей 720, 721, 722 (дальномерный метод позиционирования), интегрируемого вектора скорости 703 (фазовый метод позиционирования), углов
15 излучения 714, 715, 716, 717, 718, 719 (позиционирование на основе определения углов излучения). Для наглядности углы 714, 716, 718 отображены относительно проекций маяков 711, 712, 713 на горизонтальную плоскость, в которой находится позиционируемый мобильный терминал.

Осуществление изобретения

20 Заявляемый способ позиционирования внутри зданий и реализующая его система выполнены следующим образом.

Система содержит несколько стационарно расположенных передатчиков навигационных шумоподобных сигналов с заранее известным местоположением, способных работать на одной из нескольких несущих частот, соединенных с
25 соответствующими антеннами, а также мобильный терминал с неизвестным местоположением, содержащий базу данных с местоположением стационарных передатчиков, способный принимать спутниковый навигационный сигнал и определять на основании принятого сигнала свое местоположение, при этом стационарные передатчики шумоподобных сигналов способны излучать сигнал на основе M-последовательности, в частности M-последовательности, применяемой в сигнале
30 стандартной точности ГЛОНАСС в диапазоне L1, а мобильный терминал способен принимать сигнал передатчиков, в частности сигнал стандартной точности ГЛОНАСС в диапазоне L1. Система также содержит один или несколько стационарно расположенных приемников с заранее известным местоположением, соединенных с
35 соответствующими антеннами, способных принимать указанный вид сигнала, причем число стационарных приемников меньше числа стационарных передатчиков. Стационарные передатчики и стационарные приемники вместе с соответствующими антеннами объединены в устройства, называемые маяками, при этом каждый маяк содержит один стационарный приемник и один или несколько стационарных
40 передатчиков. В каждом маяке содержится тактовый генератор и коммуникационный модуль. При этом выход коммуникационного модуля соединен с первым входом всех передатчиков, расположенных в маяке, и с первым входом расположенного в маяке приемника, выход приемника соединен со вторым входом всех расположенных в маяке передатчиков, выход тактового генератора соединен с третьим входом всех
45 передатчиков, расположенных в маяке, и со вторым входом приемника, а вход коммуникационного модуля является входом маяка. Каждый содержащийся в системе маяк является автономным устройством, все перечисленные компоненты которого (стационарные передатчики, стационарный приемник, коммуникационный модуль и

тактовый генератор) размещаются внутри радиопрозрачного корпуса маяка.

Содержащийся в каждом маяке коммуникационный модуль предназначен для обеспечения единого внешнего интерфейса и согласованного конфигурирования стационарных передатчиков и стационарного приемника. Коммуникационный модуль может поддерживать как проводной, так и беспроводной режим ввода данных. При этом каждый содержащийся в системе маяк имеет вход, являющийся также входом коммуникационного модуля, предназначенный для ввода конфигурационных параметров, включающих в себя требуемый сдвиг начала М-последовательности для каждого содержащегося внутри маяка передатчика, сдвиг значения несущей частоты для всех содержащихся внутри маяка передатчиков, параметры синхронизирующего передатчика.

Выход стационарного приемника может быть соединен со стационарными передатчиками различным образом. Одним из вариантов реализации такого соединения является преобразователь интерфейса, содержащий один вход и один или несколько выходов. Число выходов преобразователя интерфейса при этом равно числу содержащихся в маяке передатчиков. В данной реализации каждый передатчик соединяется вторым входом с одним из выходов преобразователя интерфейса. Так, если в маяке содержится три стационарных передатчика, то в преобразователе интерфейса между приемником и передатчиками насчитывается три выхода и один вход, при этом первый выход преобразователя интерфейса соединяется со вторым входом первого передатчика, второй выход соединяется со вторым входом второго передатчика, третий выход соединяется со вторым входом третьего передатчика. Преобразователь интерфейса также может содержать преобразователь данных, реализующий несколько функций: сортировку данных с выхода приемника, выделение из данных приемника отдельных фрагментов, необходимых для синхронизации только определенного передатчика маяка, модификацию данных, перераспределение потока данных на входы передатчиков таким образом, что каждый передатчик получает только требуемые для его синхронизации данные. При этом модификация данных может выражаться как в изменении формата данных, так и в пересчете данных одного типа в данные другого типа.

В рамках предлагаемой системы антенны стационарного приемника и каждого стационарного передатчика, содержащегося в одном маяке, располагаются относительно друг друга на определенном расстоянии. Таковым расстоянием может быть четверть длины волны или более. При этом в базу данных местоположения передатчиков и стационарного приемника заносятся координаты антенн передатчиков и стационарного приемника. Остальные компоненты передатчиков и приемника могут располагаться произвольным образом, в том числе объединяться в одну микросхему.

Предлагаемая система также может содержать сервер с доступной для мобильного терминала базой данных, содержащей координаты приемников, координаты передатчиков, устанавливаемые сдвиги начала М-последовательности, фазы несущей и значения несущей частоты сигналов передатчиков, а также зоны синхронизации передатчиков.

В рамках предлагаемой системы стационарные приемники не предназначены для определения своего местоположения. В силу этого они могут осуществлять только сопровождение сигналов ГЛОНАСС в диапазоне L1. Другой существенной особенностью предлагаемой системы является то, что стационарные передатчики и стационарные приемники могут не работать на некоторых (в том числе на всех) несущих частотах, отведенных под сигнал спутников ГЛОНАСС. При этом стационарные

передатчики, стационарные приемники и мобильный терминал могут соответственно передавать и принимать сигнал на литерной несущей частоте, не используемой для передачи спутникового сигнала ГЛОНАСС.

5 Коммуникационный модуль допускает как беспроводной способ ввода данных, например, с помощью пульта дистанционного управления, так и способ задания конфигурации через специальный разъем, такой как, например, UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Выход коммуникационного модуля представляет собой цифровой интерфейс с подключенными к нему одной или несколькими линиями связи, обеспечивающими выбор адресуемого устройства (такими устройствами являются приемник и содержащиеся в маяке передатчики) и позволяющими передать выбранному устройству необходимую цифровую информацию. В коммуникационном модуле также может быть реализована маршрутизация конфигурационных данных, обеспечивающая передачу вводимых данных только тому устройству или тем устройствам, которым эти данные предназначены.

15 Стационарный передатчик в общем случае является устройством, конструктивно сходным с псевдоспутниками. Поэтому реализация передатчика возможна на той же элементной базе, которая используется в псевдоспутниках. При этом в передатчиках используется сторонний тактовый генератор и сторонний управляющий интерфейс. Передатчики также могут не иметь собственного корпуса. Первый вход стационарного передатчика представляет собой интерфейс, совместимый с интерфейсом выхода коммуникационного модуля. При этом число линий связи, подводимых к первому входу стационарного передатчика, может не совпадать с числом линий связи, присоединенных к выходному интерфейсу коммуникационного модуля. Второй вход стационарного передатчика представляет собой интерфейс, совместимый с выходом приемника или с выходом преобразователя интерфейса. Третий вход стационарного передатчика является стандартным для подключения тактового генератора.

20 Стационарный приемник в общем случае представляет собой радиочастотный модуль (RFFE), преобразующий аналоговый сигнал в цифровой, а также цифровой модуль, содержащий механизм поиска и сопровождения IGLONS-сигналов. К входу радиочастотного модуля присоединена приемная антенна. Первый вход стационарного приемника представляет собой интерфейс, совместимый с интерфейсом выхода коммуникационного модуля. При этом число линий связи, подводимых к первому входу стационарного приемника, может не совпадать с числом линий связи, присоединенных к выходному интерфейсу коммуникационного модуля. Второй вход стационарного приемника является стандартным для подключения тактового генератора. Приемник может быть реализован на доступных СВЧ и цифровых компонентах.

30 В качестве тактового генератора, подключаемого к входам стационарных передатчиков и стационарного приемника, может использоваться ТСХО либо ОСХО (Oven-Controlled Crystal Oscillator).

40 Под мобильным терминалом в рамках системы понимается любое портативное устройство, содержащее навигационный приемник. Таковым может быть мобильный телефон, смартфон, ноутбук, планшетный компьютер или специализированное оборудование.

В одном из примеров реализации коммуникационный модуль, стационарные передатчики, стационарный приемник и преобразователь интерфейса могут быть выполнены на основе дискретных элементов, таких как процессор, память, FPGA (Field Programmable Gate Array) и других доступных на рынке цифровых радиокomпонентов. В другом примере реализации коммуникационный модуль, цифровая часть приемника,

цифровая часть передатчиков, а также преобразователь интерфейса могут быть объединены в одну микросхему. В третьем варианте реализации в микросхему также помещаются радиочастотные компоненты передатчиков и приемника.

Сервер, содержащий базу данных для последующей загрузки в мобильный терминал, может взаимодействовать с мобильным терминалом через сеть Internet с помощью любого доступного внутри здания беспроводного коммуникационного протокола. При этом в мобильном терминале содержится стандартный навигационный приемник ГЛОНАСС в диапазоне L1, в программную прошивку которого внесены изменения, необходимые для приема ГЛОНАСС-подобного сигнала (IGLONS-сигналов). Согласно предлагаемому решению к мобильному терминалу могут предъявляться дополнительные требования: мобильный терминал должен принимать сигнал на несущих частотах с литерами, не используемыми для передачи спутникового сигнала, при этом на несущих частотах с указанными литерами должно быть возможно сопровождение сразу нескольких сигналов ГЛОНАСС на одной и той же несущей частоте. В качестве примера можно рассмотреть систему с передатчиками и приемниками (стационарными в рамках маяков, а также приемником в мобильном терминале), способными работать с литерами несущих частот плюс 8 и плюс 9. В качестве другого примера можно рассмотреть систему, способную работать с литерами несущих частот от минус 12 до плюс 12, соответствующими расширенному литерному диапазону ГЛОНАСС согласно некоторым рекомендациям GBAS (Ground-Based Augmentation System) и SBAS (Satellite-Based Augmentation System). Последний литерный диапазон соответствует полосе частот 1595...1609 МГц.

На фиг.4 представлен пример системы позиционирования внутри зданий на основе ГЛОНАСС-подобного сигнала. Система содержит три IGLONS-маяка (470 472 и 474). Каждый маяк содержит три стационарных передатчика (401, 405, 409 в маяке 470; 421, 425, 429 в маяке 472; 441, 445, 449 в маяке 474), один стационарный приемник (413, 433, 453), тактовые генератор (417, 437, 457). Помимо этого каждый маяк содержит четыре разнесенные антенны (в маяке 470 это антенны 402, 406, 411, 414 с идеализированными фазовыми центрами в позициях 403, 407, 410 и 415 соответственно, в маяке 472 это антенны 422, 426, 431, 434 с позициями 423, 427, 430 и 435, в маяке 474 это антенны 442, 446, 451, 454 с позициями 443, 447, 450 и 455), а также коммуникационный модуль (419, 439, 459). Все перечисленные компоненты заключены в корпус (418, 438, 458). В системе также присутствует мобильный терминал 460 с навигационной антенной 461, идеализированный фазовый центр которой расположен в позиции 462, а также сервер 463 и канал связи для доступа к серверу 464. В качестве мобильного терминала в данном примере рассматривается мобильный телефон, а в качестве канала доступа к серверу коммуникационный стандарт Wi-Fi или поддерживаемый в данном регионе стандарт мобильной связи, например, GSM или LTE.

Заявляемый способ заключается в том, что в стационарно расположенных передатчиках навигационных шумоподобных сигналов излучают M-последовательность, начало которой для разных сигналов, передаваемых на одной и той же несущей частоте, сдвигают по задержке на разную величину, отличающуюся друг от друга на длительность двух или более элементов M-последовательности. При этом M-последовательность может сдвигаться как обычным образом, так и циклически. В первом случае сдвиг M-последовательности равносителен более раннему или более позднему излучению сигнала. Во втором случае сдвиг M-последовательности на различную величину эквивалентен формированию шумоподобных кодов по принципу синхронного CDMA. Передача шумоподобных кодов в этом случае считается

начинающейся одновременно. Прием сигналов с кодовым разделением на основе циклически сдвинутой М-последовательности также осуществляют стандартным для приема CDMA-сигналов образом.

5 В одной из реализаций заявляемого способа сигнал передатчиков также принимают в стационарных приемниках с известным местоположением, из принятого сигнала выделяют информацию о фактическом сдвиге начала М-последовательности, фазы несущей и значения несущей частоты в излучаемом передатчиками сигнале относительно начала М-последовательности, фазы несущей и значения несущей частоты сигнала других передатчиков, сообщают выделенную информацию передатчикам, в передатчиках 10 сравнивают требуемую и фактическую информацию о сдвиге начала М-последовательности, фазы несущей и значения несущей частоты относительно других передатчиков, корректируют на основе полученной разницы начало М-последовательности, фазу несущей и значение несущей частоты в передаваемом сигнале и обеспечивают, таким образом, идентичность требуемых и фактических сдвигов.

15 В дополнение перед расчетом позиции мобильного терминала в его память могут загружать информацию об ожидаемом сдвиге М-последовательности, фазы несущей и значения несущей частоты в сигналах передатчиков.

В навигационном сигнале может передаваться цифровая информация. При этом цифровую информацию передают со скоростью $1000/N$ бит/с, где N - целое число, 20 большее чем 3. Число N также характеризует количество эпох, приходящихся на один бит цифровой информации. Следует отметить, что в спутниковом сигнале стандартной точности ГЛОНАСС цифровая информация передается со скоростью 50 бит/сек (укороченные в два раза биты преамбулы передаются со скоростью 100 бит/сек). Таким образом, скорость передачи цифровой информации в излучаемом стационарными 25 передатчиками ГЛОНАСС-подобном сигнале (IGLONS-сигнале) отличается от скорости передачи цифровой информации в сигнале спутников ГЛОНАСС. При этом в рамках одной эпохи сигнал стационарных передатчиков и сигнал спутников ГЛОНАСС могут быть полностью идентичны: М-последовательность излучаемого стационарными передатчиками ГЛОНАСС-подобного сигнала идентична псевдослучайному 30 дальномерному коду сигнала стандартной точности ГЛОНАСС с периодом 1 мс и скоростью передачи символов 511 кбит/с.

Несущая частота передатчиков может быть вычислена по формуле (5). При этом навигационные сигналы могут передаваться на литерных частотах спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС, не занятых сигналами спутников.

35 Как уже было отмечено, граница бита передаваемой в навигационном сигнале передатчика цифровой информации может не совпадать с началом М-последовательности. В частности, если границы бита в навигационном сигнале, передаваемом несколькими передатчиками, совпадают по времени, кодовое разделение сигналов становится эквивалентным синхронному CDMA. Возможны и иные принципы 40 синхронизации границ бита. При этом закон синхронизации границ бита передатчиков может быть конфигурируемым. Важно отметить, что при любом принципе синхронизации границ бита передатчиков, закон синхронизации границ бита передатчиков входит в список параметров системы, сообщаемых (либо априори известных) мобильному терминалу.

45 В одной из реализаций заявляемого способа каждому передатчику ставят в соответствие зону синхронизации с определенным рангом, при этом начало М-последовательности, фазу несущей и значение несущей частоты передатчиков с более низким рангом синхронизации корректируют в соответствии с началом М-

последовательности, фазы несущей и значением несущей частоты передатчиков с более высоким рангом синхронизации.

В заявляемом способе излучаемый передатчиками сигнал может содержать дополнительную цифровую информацию, предназначенную для обеспечения взаимной синхронизации передатчиков. При этом сигнал, содержащий дополнительную цифровую информацию, могут передавать на несущей частоте и модулировать псевдослучайным кодом, не совпадающими с несущей частотой и псевдослучайным кодом излучаемого передатчиком ГЛОНАСС-подобного навигационного сигнала. При этом сигнал, содержащий дополнительную цифровую информацию, передают синхронизированным с ГЛОНАСС-подобным навигационным сигналом.

Согласно предлагаемому решению алгоритм позиционирования мобильного терминала на основе ГЛОНАСС-подобных сигналов может быть сведен к следующей последовательности действий:

1) вычисляют корреляционную характеристику между входным сигналом и M-последовательностью кода стандартной точности ГЛОНАСС. Корреляционную характеристику вычисляют для всех предусмотренных литерных частот, с учетом максимально возможного разнесения поднесущих, а также с учетом неточности ТСХО маяков и навигационного приемника (мобильного терминала);

2) выбирают один или несколько наборов (T_{startMLS} , F_{carrier}), соответствующих максимумам совокупной корреляционной характеристики;

3) для выбранного одно или нескольких максимумов производят сопровождение и декодирование предполагаемого сигнала S1. При отсутствии в сигнале преамбулы и других признаков целостности сигнала S1 сопровождение прекращают;

4) из сигнала S1 выделяют информацию о системе и о сопровождаемом передатчике (например, ID системы и ID передатчика);

5) формируют запрос к базе данных, в ответ на который навигационному приемнику сообщают точные координаты всех передатчиков, а также параметры, в соответствии с которыми передатчики формируют сигнал S1 (в параметры могут входить передаваемые в сигнале S1 биты цифровой информации, T_{startMLS} , F_{carrier} , график переключения антенн, зона синхронизации и т.д.);

б) начинают сопровождение X других передатчиков. X лимитирован количеством каналов ГЛОНАСС в навигационном приемнике. При выборе X передатчиков учитывают их расположение относительно первого найденного передатчика, а также другие факторы. Важно отметить, что поиск других передатчиков на данном этапе не требуется, так как их несущие и позиции начала эпохи синхронизированы с уже сопровождаемым сигналом первого найденного передатчика;

7) выполняют навигацию на основе дальномерных измерений;

8) выполняют навигацию путем измерения углов излучения;

9) выполняют навигацию на основе фазового сопровождения относительно ранее найденных координат приемника;

10) выполняют оценку достоверности полученных результатов навигации, на основе которой вырабатывается окончательное решение навигационной задачи.

Принцип определения угла излучения IGLONS-передатчиков проиллюстрирован на фиг.5 на примере двух излучающих антенн передатчиков (501 и 502). Между расстояниями, которые проходят радиоволны в направлении мобильного терминала 506, существует разность хода, которую в предположении плоского волнового фронта можно выразить как

$$a = d \cos(\beta), \quad (8)$$

где a - разность хода (509),

d - расстояние между фазовыми центрами антенн (508),

5 β - угол излучения в направлении на мобильный терминал (507).

Принимая сигналы передатчиков (501 и 502), в мобильном терминале измеряют разность фаз сигналов, которая связана с разностью хода соотношением

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} a, \quad (9)$$

10

где $\Delta\varphi$ - разность фаз,

λ - длина волны сигнала.

Из (8) и (9) в мобильном терминале определяют угол излучения как

$$15 \quad \beta = \arccos\left(\frac{\Delta\varphi \cdot \lambda}{2\pi \cdot d}\right) \quad (10)$$

Для определения окончательного местоположения приемника в трехмерном пространстве необходимо большее количество передающих антенн и наличие как минимум двух разнесенных маяков.

20

Перед началом работы координаты стационарных приемников и передатчиков маяков, параметры работы передатчиков, зоны синхронизации и взаимосвязи между синхронизирующими и синхронизируемыми маяками заносятся в базу данных, которая затем загружается в память мобильных терминалов для последующего использования в навигации. База данных может храниться на доступном публичном сервере или ином другом ресурсе.

25

Для установления взаимосвязей между зонами синхронизации каждой зоне присваивается определенный ранг, в соответствии с которым по передатчикам, отнесенным к зоне синхронизации с более высоким рангом, синхронизируют передатчики, отнесенные к зоне синхронизации с более низким рангом. В соответствии со сложившейся практикой нумерация рангов может быть обратна их "более высокому" или "более низкому" статусу. Предлагается наиболее высокий ранг обозначать номером 1, более низкий относительно самого высокого ранга обозначать номером 2 и так далее. Согласно предлагаемому способу в системе может быть один и только один маяк, передатчики которого имеют ранг синхронизации $Rang=1$. Другим фактором, влияющим на формирование зон синхронизации, является условие: передатчики с рангами синхронизации, отличающимися друг от друга на единицу, не могут работать на одной литерной частоте. Третьим фактором при определении зон синхронизации является условие: все передатчики внутри одного маяка (взаимодействующие с одним стационарным приемником) работают на одной несущей частоте и относятся к одной зоне синхронизации.

40

Приведенные выше правила можно проиллюстрировать на примере уже рассмотренной системы, изображенной на фиг.4. Система содержит три IGLONS-маяка, в каждом из которых установлено три передатчика. При этом маяк 472 работает на литерной частоте F1, а маяки 470 и 474 на литерной частоте F2. Согласно описанным выше правилам опорным синхронизирующим маяком с рангом 1 в такой системе может быть только маяк 472. Маяки 470 и 474 соответственно относятся к зоне синхронизации с рангом 2. В качестве ведущего передатчика для синхронизации второй зоны может быть выбран любой из трех передатчиков маяка 472. Не исключен и вариант синхронизации части передатчиков второй зоны передатчиком 421, части передатчиком

45

425 и части передатчиком 429, то есть всеми имеющимися в маяке 472 передатчиками. При этом конфигурация, согласно которой передатчики внутри одного маяка синхронизируются разными передатчиками из зоны с более высоким рангом, не допускается. Для обеспечения максимальной синхронности системы количество зон синхронизации и выбранных в каждой из них передатчиков-мастеров, должно быть минимальным.

Например, может быть использован следующий алгоритм размещения маяков и определения зон синхронизации:

1. Определить местоположение IGLONS-маяка, олицетворяющего собой зону синхронизации первого ранга, приступить к размещению маяков для новой зоны синхронизации с рангом $Rang=2$;

2. Разместить маяки новой зоны синхронизации таким образом, чтобы они могли синхронизироваться по передатчикам маяков из зоны синхронизации со смежным более высоким рангом ($Rang-1$);

3. Для каждого маяка из новой зоны синхронизации определить синхронизирующий его маяк-мастер из зоны синхронизации со смежным более высоким рангом ($Rang-1$), причем количество маяков-мастеров в зоне с более высоким рангом должно быть минимальным;

4. При невозможности синхронизировать очередной маяк в новой зоне синхронизации по передатчикам из смежной зоны синхронизации с более высоким рангом ($Rang-1$) завершить формирование новой зоны с рангом $Rang$, объявить новой зону синхронизации с рангом $Rang=Rang+1$, после чего перейти к пункту 2. Возможный алгоритм определения параметров сигналов, излучаемых маяками, выглядит следующим образом:

1. Для передатчика мастера первой зоны синхронизации установить несущую частоту $F=F1$, сдвиг начала M -последовательности $T=0$. Для остальных передатчиков установить ту же несущую частоту и смежные сдвиги M -последовательности.

2. Для всех передатчиков зоны синхронизации с рангом $Rang=2$ установить $F=F2$, сдвиги M -последовательности распределить в диапазоне $0 \dots T_{end2}$ в соответствии с правилом минимально достаточного интервала между смежными сдвигами $T_{StartMLS}$, где T_{end2} - максимальный сдвиг начала M -последовательности на данном этапе, такой, что $0 < T_{end2} < 511$.

3. Для всех передатчиков $Rang=3$ установить $F=F1$, сдвиги M -последовательности распределить в диапазоне $T_{begin1} \dots T_{end1}$ в соответствии с правилом минимально достаточного интервала между смежными сдвигами $T_{stanMLS}$, где T_{begin1} - максимальный сдвиг начала M -последовательности в зоне синхронизации первого ранга, T_{end1} - максимальный сдвиг начала M -последовательности в зоне синхронизации данного ранга, такой, что $T_{begin1} < T_{end1} < 511$.

4. Для передатчиков из остальных зон синхронизации установить для случая четного $Rang$ $F=F2$, начала сдвигов M -последовательности $T_{begin2} < T < T_{end2}$, где T_{begin2} равен T_{end2} для зоны синхронизации с $Rang=Rang-2$, а для случая нечетного $Rang$ установить $F=F1$, начала сдвигов M -последовательности $T_{begin} < T < T_{end1}$, где T_{begin1} равен T_{end1} для зоны синхронизации с $Rang=Rang-2$.

5. При выходе T_{end1} или T_{end2} из диапазона $0 \dots 511$ сместить значение $F1$ или $F2$ на другую поднесущую (изменить K_{SubL}) и объявить T_{begin1} или T_{begin2} равными нулю. При наличии более двух литерных несущих изменить также и номер литерной несущей

частоты, перейдя на частоту $F=F3$.

Принцип распределения начала сдвигов М-последовательности пояснен на фиг.6. Пусть начало М-последовательности одного из передатчиков (передатчика Tx_1) равно T_1 , причем $T_1=0$. Тогда сдвиг начала М-последовательности другого передатчика (передатчика Tx_2) будет равен $T_2=T_1+T_{StartMLS}(2,1)$. Сдвиг начала М-последовательности третьего передатчика (передатчика Tx_3) будет равен $T_3=T_2+T_{StartMLS}(3,2)$ и так далее. Всего на данной несущей частоте можно расположить S начал М-последовательности. Сдвиг начала М-последовательности передатчика S+1 превысил бы величину 511, что недопустимо и соответственно является критерием максимального значения S.

После определения параметров сигналов, излучаемых маяками, параметры сообщаются передатчикам через специально предусмотренный для этого интерфейс коммуникационного модуля (419, 439, 459 на фиг.4). Например, для системы, изображенной на фиг.4, в базу данных возможно занесение следующей характеризующей приемники и передатчики информации.

Фаза несущей сигнала 404 равна фазе несущей сигнала 408 и равна фазе несущей сигнала 412. Фаза несущей сигнала 424 равна фазе несущей сигнала 428 и равна фазе несущей сигнала 432. Фаза несущей сигнала 444 равна фазе несущей сигнала 448 и равна фазе несущей сигнала 452.

Несущая частота сигналов 404, 408, 412, 444, 448, 452 равна F2. Несущая частота сигналов 424, 428, 432 равна F1.

Сдвиг начала М-последовательности сигнала 404 равен 0, сигнала 408 равен 6, сигнала 412 равен 12, сигнала 444 равен 18, сигнала 448 равен 24, сигнала 452 равен 30. Сдвиг начала М-последовательности сигналов 424, 428 и 432 эквивалентен сдвигам начала М-последовательности сигналов 404, 408 и 412.

Передатчики 401, 405, 409 синхронизируются по сигналу 432 передатчика 429 через приемник 413. Передатчики 441, 445, 449 синхронизируются по сигналу 432 передатчика 429 через приемник 453. Передатчики 421, 425, 429 не синхронизируются сторонним сигналом.

Местоположения 403, 407, 410, 415, 423, 427, 430, 435, 443, 447, 450, 455 идеализированных фазовых центров антенн 402, 406, 411, 414, 422, 426, 431, 434, 442, 446, 451, 454 заносятся в базу в виде трехмерных координат относительно выбранной системы отсчета, привязанной к плану помещения.

В процессе работы системы приемник 413 отслеживает фактический сдвиг начала М-последовательности, фактический сдвиг фазы несущей и фактическую несущую частоту сигнала 432 относительно начала М-последовательности, сдвига фазы несущей и несущей частоту сигналов 404, 408 и 412. Полученные результаты сообщаются передатчикам 401, 405 и 409 через преобразователь интерфейса 416. При этом в рамках преобразователя интерфейса 416 данные приемника 413 могут дополнительно обрабатываться и дополняться иными данными, получаемыми от сторонних источников. В передатчиках 401, 405 и 409 фактический сдвиг начала М-последовательности, фазы несущей и значения несущей частоты сравнивают с требуемыми (с данными, установленными через коммуникационный модуль во время конфигурирования системы) и в случае расхождения корректируют излучаемый ими сигнал. Аналогичным образом взаимодействуют передатчики и приемник маяков 472 и 474.

Отображенные на фиг.4 передатчики могут также излучать сигнал S2, содержащий дополнительную цифровую информацию. Цифровая информация, передаваемая в сигнале S2, принимается приемниками 413, 433, 453 и сообщается подключенным к ним

передатчиками через преобразователи интерфейса 416,436,456.

Важно отметить, что передатчики и приемник внутри каждого IGLONS-маяка тактируются одним источником опорного колебания, в качестве которого может использоваться ТСХО или ОСХО (Oven-Controlled Crystal Oscillator).

- 5 В процессе работы системы мобильный терминал 460 обнаруживает и затем принимает сигналы нескольких или всех девяти стационарных передатчиков, отслеживает фактические сдвиги начала М-последовательности принимаемых сигналов передатчиков, а также их фазы несущей и значения несущей частоты, сравнивает фактические сдвиги с ожидаемыми и затем на основании полученных разниц решает навигационную задачу.
- 10 Перед обнаружением первого из девяти присутствующих в системе сигналов передатчиков либо после одного мобильным терминалом загружается база данных с информацией обо всех параметрах сигналов передатчиков, о местоположении передатчиков и приемников и о схеме синхронизации передатчиков. В рамках загружаемой базы данных мобильный терминал получает необходимую информацию
- 15 для определения ожидаемых сдвигов начала М-последовательности сигналов передатчиков, сдвигов их фаз несущей и сдвигов значений их несущих частот. Исходя из полученных таким образом знаний, мобильным терминалом принимается решение о целесообразности сопровождать те или иные доступные сигналы передатчиков, а также о возможности определения углов излучения передатчиков. На основе принятого
- 20 решения, а также имея в своем распоряжении разницу между ожидаемыми и фактическими сдвигами различных параметров сигнала передатчиков, мобильный терминал определяет углы излучения передатчиков, псевдодальности передатчиков, изменения псевдодальностей передатчиков, определяет степень достоверности перечисленных измерений, использует полученные измерения в качестве входных
- 25 данных для навигационной задачи и в процессе решения навигационной задачи определяет текущую позицию мобильного терминала.

Для определения достоверности измеренных углов излучения передатчиков может быть применен следующий алгоритм:

1. Если взаимное расположение передатчиков IGLONS-маяка и приемника,

30 определенное в результате решения навигационной задачи, соответствует критерию достоверности (например, расстояние между передатчиками маяка и мобильным терминалом меньше определенного предела), то достоверность угломерных измерений считается высокой, иначе низкой.
2. Если взаимное расположение передатчиков маяка по отношению к вычисленному

35 направлению на приемник соответствует критерию достоверности (например, расстояние между передатчиками в проекции, перпендикулярной направлению на мобильный терминал, не превышает сверху и снизу определенных ограничений), то достоверность угломерных измерений считается высокой, иначе низкой.
3. Если новая позиция мобильного терминала, полученная в результате угловых

40 измерений не сместилась на значительное расстояние относительно полученной аналогичным образом предыдущей позиции, то достоверность угломерных измерений считается высокой, иначе низкой.
4. Если результаты позиционирования по угломерным измерениям принципиально

45 отличаются от результатов позиционирования на основе дальномерных измерений, то достоверность угломерных измерений считается низкой, иначе высокой.
5. Если все четыре перечисленные выше критерия достоверности показали высокий

уровень достоверности угломерных измерений, итоговая достоверность угломерных измерений считается высокой, иначе низкой.

Принцип одновременного позиционирования на основе дальномерного метода, метода на базе фазовых измерений и измерений углов излучения сигнала передатчиков проиллюстрирован на фиг.7. В процессе позиционирования мобильный терминал 701 определяет свое местоположение 702 и мгновенный вектор скорости 703 на основании псевдодальностей 720, 721, 722, углов излучения 714, 715, 716, 717, 718, 719, а также предыдущего вектора скорости и предыдущей определенной позиции. Перечисленные измерения выполняются в процессе обработки сигналов маяков 705, 707, 709.

Входящие в систему мобильный терминал, IGLONS-маяки и сервер могут быть реализованы на известных электронных компонентах.

Источники информации

1. "Understanding GPS: Principles and Applications", Second Edition. Elliott D. Kaplan, Christopher Hegarty, 2005.
2. US 5646630. Network of Equivalent Ground Transmitters.
3. US 0015198 A1. Pseudolite-based Precise Positioning System with Synchronized Pseudolites.
4. US 7342538 B2. Asynchronous Local Position Determination and Method.
5. Quasi-Zenith Satellite System. Interface Specification for QZSS (IS-QZSS). VI.4.
6. JP 4296302 B.
7. JP 4461235 B.
8. US 7948437 B2. Positional information providing system, positional information providing apparatus and transmitter.
9. IEEE Std 802.15.4tm-2011. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs).
10. ISO/IEC 24730-2. Information technology - real-time locating systems (RTLS) - part 2: 2.4 GHz air interface protocol.
11. US 4894662. Method and System for Determining Position on a Moving Platform, such as a Ship, Using Signals from GPS Satellites.
12. "Self-Calibrating Pseudolite Arrays: Theory and Experiment". Edward Alan LeMaster.
13. US 4728959. Direction Finding Localization system.
14. US 2010/0259450 A1. Indoor Position System and Method.
15. US 6282231 B1. Strong Signal Cancellation to Enhance Processing of Weak Spread Spectrum Signal.
16. US 6160837. Method of Avoiding Near-Far Interference Problem in an Array of Navigation Signal Beacons Having Selected CDMA or GPS-like Navigation Signals.
17. WO 99/48233. Pseudolite-Augmented GPS for Locating Wireless Telephones.

Формула изобретения

1. Способ позиционирования мобильного терминала внутри здания, заключающийся в синхронизированном излучении стационарными передатчиками навигационных шумоподобных сигналов на одной или нескольких несущих частотах, приеме навигационных сигналов мобильным терминалом и затем расчете позиции мобильного терминала, отличающийся тем, что в качестве навигационных шумоподобных сигналов используют M-последовательность, начало которой для разных сигналов, передаваемых на одной и той же несущей частоте, сдвигают во времени на различные величины, отличающиеся друг от друга на длительность двух или более элементов M-последовательности.

2. Способ в соответствии с п.1, отличающийся тем, что M-последовательность сдвигают циклическим образом.

3. Способ в соответствии с п.2, отличающийся тем, что в процессе приема указанных

сигналов используют кодовое разделение сигнала, при этом разделяемые коды получают на основе циклически сдвинутой М-последовательности.

4. Способ в соответствии с п.3, отличающийся тем, что помимо мобильного терминала сигналы передатчиков принимают одним или несколькими приемниками с известным местоположением, из суммы сигналов выделяют информацию о величине фактического сдвига начала М-последовательности, о частоте и фазе несущей в излучаемом передатчиками сигнале относительно начала М-последовательности, частоты и фазы несущей сигналов других передатчиков, сообщают выделенную информацию передатчикам, в передатчиках сравнивают требуемую и фактическую информацию о сдвиге начала М-последовательности, частоты и фазы несущей относительно других передатчиков, корректируют на основе полученной разницы начало М-последовательности, частоту и фазу несущей в передаваемом сигнале и обеспечивают, таким образом, идентичность требуемых и фактических сдвигов.

5. Способ в соответствии с п.4, отличающийся тем, что перед расчетом позиции мобильного терминала в его память загружают информацию об ожидаемом сдвиге М-последовательности, частоте и фазе несущей в сигналах передатчиков, на основе указанной информации выбирают подлежащие сопровождению сигналы передатчиков, среди которых присутствуют сигналы, передаваемые на одной и той же несущей частоте, принимают сигналы выбранных передатчиков, вычисляют фактический сдвиг начала М-последовательности, частоты и фазы несущей сигналов передатчиков, сравнивают фактический сдвиг с ожидаемым, вычисляют несовпадение фактических и ожидаемых сдвигов, затем на основании вычисленных несовпадений определяют углы излучения сигналов, передаваемых передатчиками, настроенными на одну и ту же несущую частоту, а также псевдодальности до всех передатчиков.

6. Способ в соответствии с п.5, отличающийся тем, что М-последовательность, используемая при формировании навигационного сигнала, идентична псевдослучайному дальномерному коду сигнала стандартной точности ГЛОНАСС с периодом 1 мс и скоростью передачи символов 511 кбит/с, при этом цифровую информацию, содержащуюся в навигационном сигнале, передают со скоростью $1000/N$ бит/с, где N - целое число, большее, чем 3.

7. Способ в соответствии с п.6, отличающийся тем, что несущую частоту передатчиков определяют по формуле: $F_{\text{carrier}}=F_0+KL \cdot dFL+K_{\text{SubL}} \cdot dF_{\text{SubL}}$, где F_0 - базовая несущая частота диапазона L1 ГЛОНАСС, равная 1602 МГц, KL - номер литеры, dFL - межлитерный интервал ГЛОНАСС, равный 562.5 кГц, K_{SubL} - индекс дополнительной поднесущей, принимающий значение 0, ± 1 , ± 2 , dF_{SubL} - интервал между дополнительными поднесущими, равный K/N кГц или $K/(N-2)$ кГц, где K - целое число, удовлетворяющее соотношению: $N < K < 2 \cdot N$.

8. Способ в соответствии с п.7, отличающийся тем, что навигационные сигналы передают на литерных частотах спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС, не занятых сигналами спутников.

9. Способ в соответствии с п.8, отличающийся тем, что граница бита передаваемой в навигационном сигнале передатчика цифровой информации не совпадает с началом М-последовательности.

10. Способ в соответствии с п.9, отличающийся тем, что границы бита в навигационном сигнале, передаваемом несколькими передатчиками, совпадают по времени.

11. Способ в соответствии с п.10, отличающийся тем, что каждому передатчику ставят в соответствие зону синхронизации с определенным рангом, при этом начало

М-последовательности, фазу несущей и значение несущей частоты передатчиков с более низким рангом синхронизации корректируют в соответствии с началом М-последовательности, фазы несущей и значением несущей частоты передатчиков с более высоким рангом синхронизации.

5 12. Способ в соответствии с п.11, отличающийся тем, что излучаемый передатчиками сигнал содержит дополнительную цифровую информацию, предназначенную для обеспечения взаимной синхронизации передатчиков.

10 13. Способ в соответствии с п.12, отличающийся тем, что сигнал, содержащий дополнительную цифровую информацию, передают на несущей частоте и модулируют псевдослучайным кодом, несовпадающими с несущей частотой и псевдослучайным кодом излучаемого передатчиком навигационного сигнала, при этом сигнал, содержащий дополнительную цифровую информацию, передают синхронизированным с навигационным сигналом.

15 14. Система позиционирования мобильного терминала внутри зданий, содержащая несколько стационарных передатчиков навигационных шумоподобных сигналов с известным местоположением, соединенных с соответствующими антеннами, а также мобильный терминал с неизвестным местоположением, содержащий базу данных с местоположением этих передатчиков, способный принимать спутниковый навигационный сигнал и определять на основании принятого сигнала свое
20 местоположение, отличающаяся тем, что стационарные передатчики шумоподобных сигналов способны излучать сигнал стандартной точности ГЛОНАСС, а мобильный терминал способен принимать сигнал стандартной точности ГЛОНАСС, при этом система также содержит один или несколько стационарных приемников с заранее известным местоположением, соединенных с соответствующими антеннами, способных
25 принимать сигнал стандартной точности ГЛОНАСС, тем, что число стационарных приемников меньше числа стационарных передатчиков, тем, что стационарные передатчики и стационарные приемники вместе с соответствующими антеннами объединены в устройства, называемые маяками, при этом в каждом маяке содержится один стационарный приемник, один или несколько стационарных передатчиков,
30 тактовый генератор и коммуникационный модуль, при этом выход коммуникационного модуля соединен с первым входом приемника и первым входом всех передатчиков, расположенных в маяке, выход приемника соединен со вторым входом всех расположенных в маяке передатчиков, выход тактового генератора соединен с третьим входом всех передатчиков, расположенных в маяке, и со вторым входом приемника,
35 а вход коммуникационного модуля является входом маяка, при этом стационарные передатчики, стационарный приемник, тактовый генератор и коммуникационный модуль каждого маяка расположены внутри радиопрозрачного корпуса маяка.

15. Система по п.14, отличающаяся тем, что выход приемника соединен со вторым входом всех расположенных в маяке передатчиков через преобразователь интерфейса, содержащий один вход и один или несколько выходов, при этом количество выходов
40 стыка равно количеству содержащихся в маяке передатчиков, вход преобразователя интерфейса присоединен к выходу передатчика, а каждый выход преобразователя интерфейса присоединен ко второму входу одного из передатчиков.

16. Система по п.15, отличающаяся тем, что в преобразователе интерфейса содержится преобразователь данных, отличающаяся тем, что преобразователь данных выделяет
45 из выходных данных приемника информацию, предназначенную одному из содержащихся в маяке передатчиков, и передает ее на второй вход соответствующего передатчика, при этом передаваемая информация модифицируется.

17. Система по п.16, отличающаяся тем, что антенны стационарного приемника и каждого стационарного передатчика, содержащиеся в одном маяке, располагаются относительно друг друга на расстоянии не менее четверти длины волны, при этом в базу данных в качестве местоположения стационарных передатчиков и стационарного приемника заносятся координаты антенн стационарных передатчиков и стационарного приемника.

18. Система по п.17, отличающаяся тем, что компоненты стационарных передатчиков и стационарного приемника за исключением антенн расположены в одной микросхеме.

19. Система по п.17, отличающаяся тем, что содержит сервер с доступной для мобильного терминала базой данных, содержащей координаты стационарных приемников, координаты стационарных передатчиков, устанавливаемые сдвиги начала М-последовательности, значения частоты и фазы несущей сигналов передатчиков, а также зоны синхронизации передатчиков.

15

20

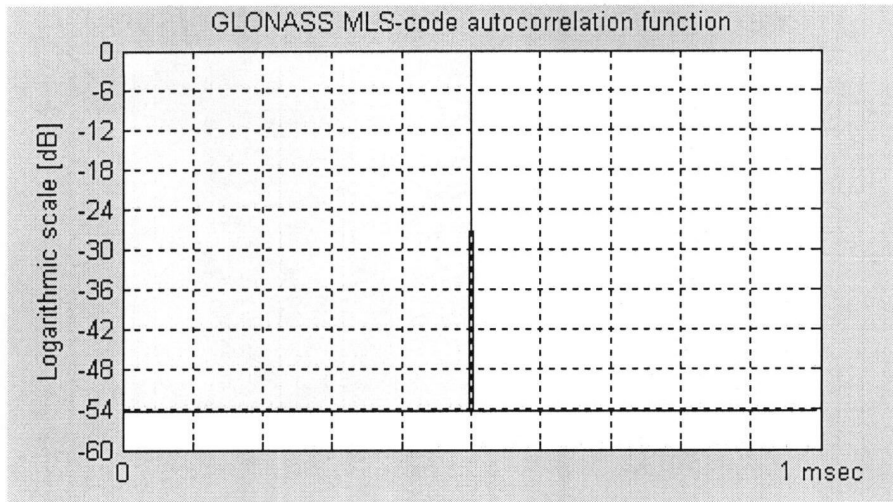
25

30

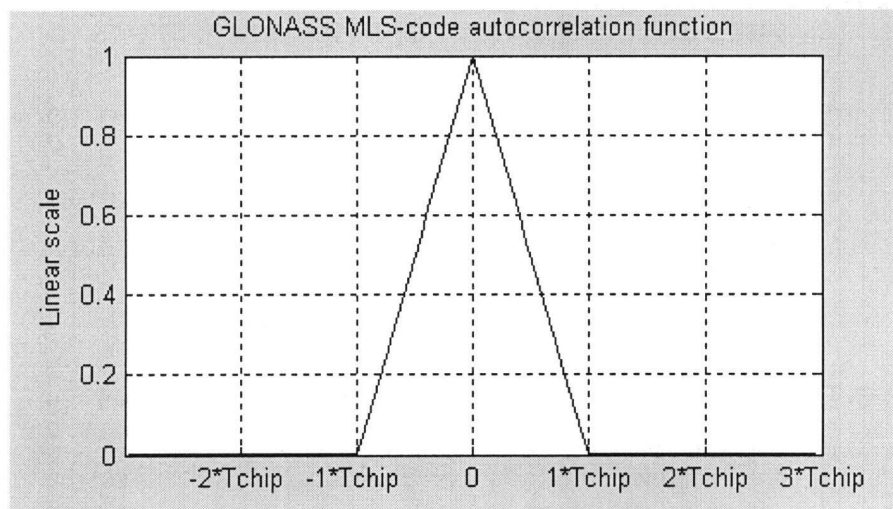
35

40

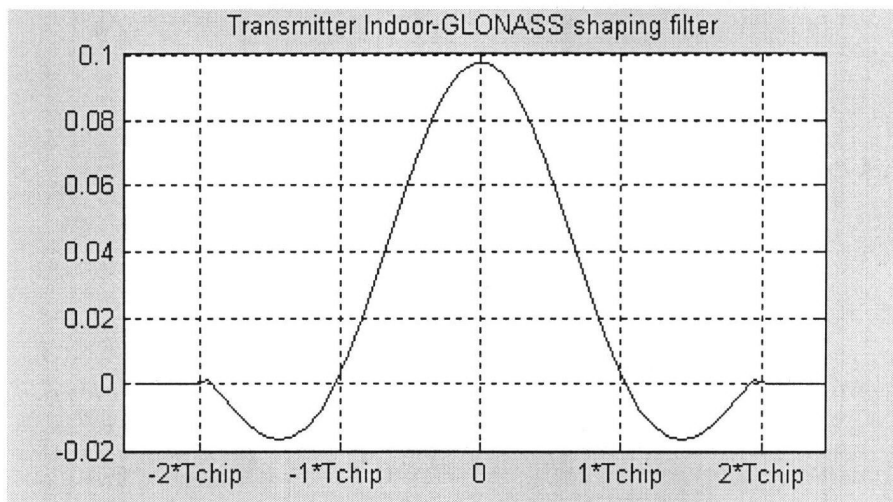
45



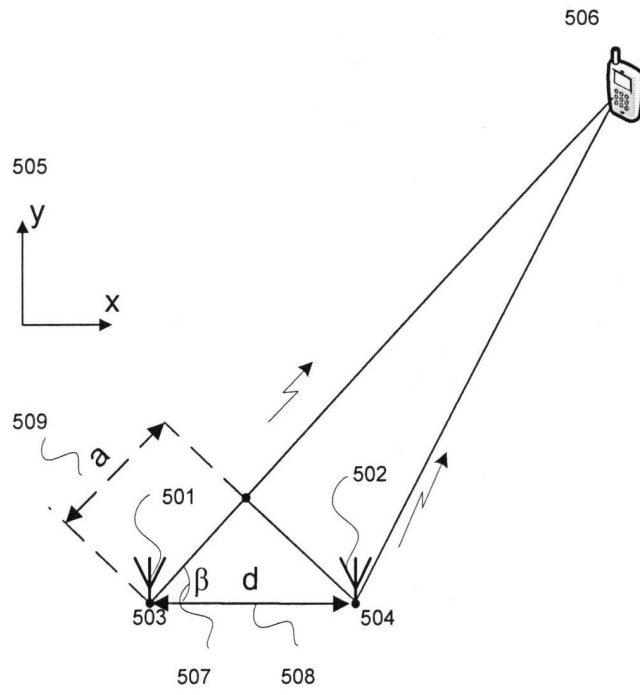
Фиг. 1



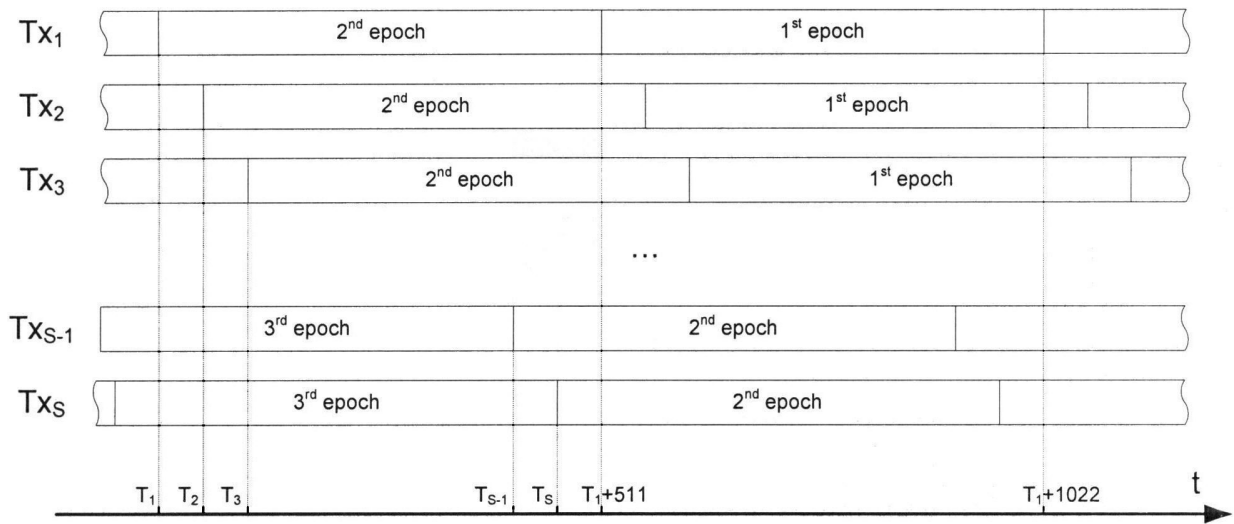
Фиг. 2



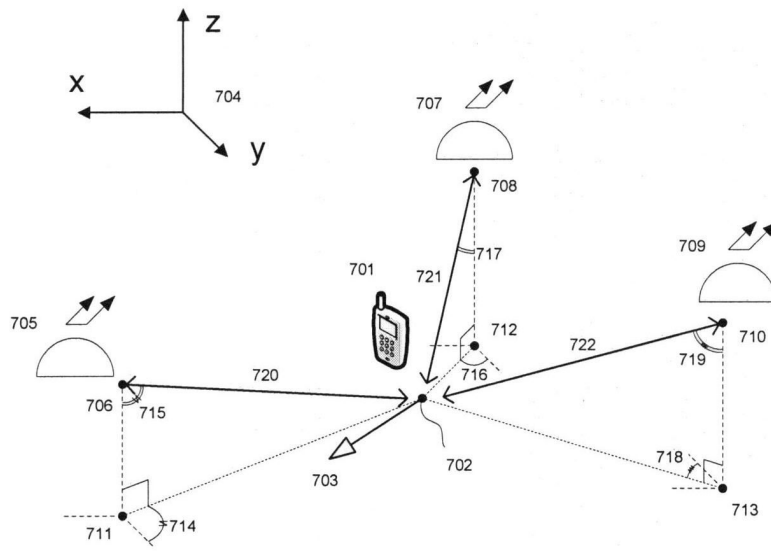
Фиг. 3



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7