

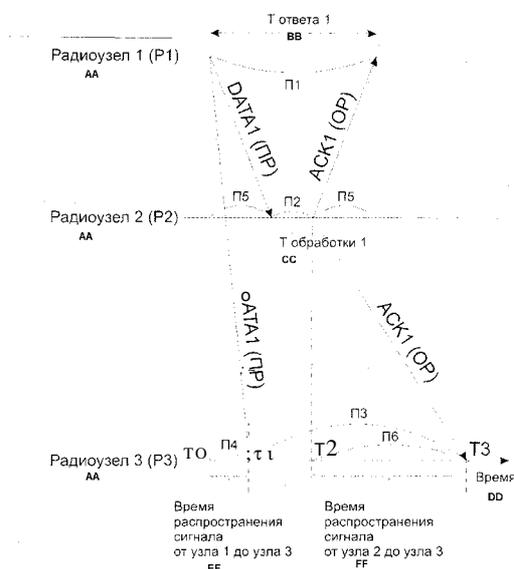


- (51) Международная патентная классификация :  
**G01S 11/02** (2010.01)
- (21) Номер международной заявки : PCT/RU2012/000404
- (22) Дата международной подачи :  
21 мая 2012 (21.05.2012)
- (25) Язык подачи : Русский
- (26) Язык публикации : Русский
- (30) Данные о приоритете :  
2011120814 24 мая 2011 (24.05.2011) RU
- (71) Заявитель (для всех указанных государств, кроме US):  
ЭРТЭЛ - СЕРВИС ЛИМИТЕД (**RTL - SERVICE LIMITED**) [CY/CY]; Арх. Макариу III, 69 ТЛАИС  
ТАУЭР, 3-рд флю, Флэт/Оффис 301 П.С. 1070,  
Никосия, 1070, Nicosia (CY).
- (72) Изобретатели ;и
- (73) Изобретатели /Заявители (только для US): ГОРДЕЕВ,  
Денис Евгеньевич (**GORDEYEV, Dennis Eugenievich**)
- (74) Агент : МИХАЙЛОВ, Алексей Викторович  
(**MIKHAILOV, Alexey Victorovich**); ул. Конёнкова, 23-  
211, Москва, 127560, Moscow (RU).
- (81) Указанные государства (если не указано иначе, для  
каждого вида национальной охраны): АЕ, АG, АL, АM,  
АO, АТ, АU, АZ, ВA, ВВ, ВG, ВH, ВR, ВW, ВY, ВZ,  
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,  
HR, HU, ш, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,

[продолжение на следующей странице]

(54) Title: METHOD AND MEANS FOR LOCATING A RADIO CENTRE

(54) Название изобретения : СПОСОБ ЛОКАЦИИ РАДИОУЗЛА И СРЕДСТВА ЛОКАЦИИ РАДИОУЗЛА



Фиг. 4

AA Radio centre  
BB Time of response  
CC Time of processing  
DD Time  
EE Signal propagation time from centre 1 to centre 3  
FF Signal propagation time from centre 2 to centre 3

(57) Abstract: The group of inventions relates to wireless radio communication and, more precisely, to devices and methods for determining the position of (locating) a radio centre. A method is proposed for determining the distance between a radio centre (P2) and two other radio centres (P1, P3), wherein the time taken for a radio signal to be propagated therebetween (п4) is known or can be calculated on the basis of known data, in which method a direct radio signal (пP) is transmitted by P1, the direct signal is received by P2 and P3, a response radio signal (OP) is transmitted by P2 upon reception of the direct signal, and the response signal is received by P1 and P3, wherein the delay (п2) between reception of the direct signal and transmission of the response signal is determined by P2, the delay (ш) between transmission of the direct signal and reception of the response signal is determined by P1, and the delay (п3) between reception of the direct signal and the response signal is determined by P3, after which the delay (п5) of the propagation of the direct signal and/or the response signal between P1 and P2 is determined taking into account п2, and the delay (п6) of the propagation of the response signal between P2 and P3 is determined taking into account п5, п2, п3 and п4, and the distance between P1 and P2 and between P2 and P3 respectively is calculated. The technical result is an increase in measurement accuracy and a simplification of the calculations.

(57) Реферат :

[продолжение на следующей странице]



OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG,

Опубликована :

— без отчёта о международном поиске и с повторной публикацией по получении отчёта (правило 48.2(g))

Настоящая группа изобретений относится к беспроводной радиосвязи, а точнее, к устройствам и к способам для определения местоположения (локации) радиоузла. Предложен способ определения расстояния между радиоузлом (P2) и двумя другими радиоузлами (P1, P3), время распространения радиосигнала между которыми (П4) известно или может быть вычислено по известным данным, в котором посредством P1 передают прямой радиосигнал (ПР), посредством P2 и P3 принимают ПР, посредством P2 после приема ПР передают ответный радиосигнал (ОР), посредством P1 и P3 принимают ОР, при этом посредством P2 определяют задержку (П2) между приемом ПР и передачей ОР, посредством P1 определяют задержку (Ш) между передачей ПР и приемом ОР, посредством P3 определяют задержку (П3) между приемом ПР и ОР, после чего с учетом П2 определяют задержку (П5) распространения ПР и/или ОР между P1 и P2, а с учетом П5, П2, П3 и П4 определяют задержку (П6) распространения ОР между P2 и P3 и вычисляют расстояние между P1 и P2 и между P2 и P3, соответственно. Технический результат - повышение точности измерений, упрощение вычислений.

СПОСОБ ЛОКАЦИИ РАДИОУЗЛА И СРЕДСТВА ЛОКАЦИИ РАДИОУЗЛА

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ , К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящая группа изобретений относится к беспроводной радиосвязи и, а точнее , к устройствам и к способам для определения местоположения (локации ) радиоузла относительно других радиоузлов .

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Известны спутниковые системы глобальной навигации (GNSS), например , GPS и ГЛОНАСС . Принцип расчета локации основан на измерении задержки распространения короткого радиоимпульса от посылки его радиоузлу с заранее известным местоположением (РЗИМ ), до приёма его радиоузлом . Зная время распространения радиосигнала (далее - «TOF», от англ . «Time of Flight» [время полета ]), можно рассчитать расстояние между ними . Для определения трехмерного положения мобильного объекта требуется 4 РЗИМ . Недостаток спутниковых систем глобальной навигации состоит в том , что радиосигналы спутников настолько слабы , что невозможно точное определения координат в помещениях , следовательно , такие системы нельзя использовать для стороннего контроля перемещений радиоузла .

Известны способы навигации , в которых для увеличения точности систем глобальной спутниковой навигации используют дополнительные наземные РЗИМ (Assisted GPS (A-GPS), см. Goran M . et al. Geolocation and Assisted GPS, Computer, 2001, 2:123-5). Это позволяет частично устранить проблему локации радиоузлов , расположенных внутри помещений .

Общий недостаток всех систем глобального позиционирования состоит в высокой стоимости оборудования , обеспечивающего точную синхронизацию всех РЗИМ по времени .

Известны способы локации радиоузлов посредством наземных РЗИМ, не требующие точной синхронизации РЗИМ по времени. В частности, большой популярностью в настоящее время пользуются способы, основанные на измерении мощности входного радиосигнала (сокращенно - «RSSI», от англ. «Received Signal Strength Indication», см., например, статью Zhang Jianwu, Zhang Lu, Research on distance measurement based on RSSI of ZigBee. Computing, Communication, Control, and Management, 2009, 3(8-9):210-2). Недостатки способов, основанных на измерении RSSI, связаны с тем, что на измеренную мощность входного радиосигнала сильно влияют условия распространения и способ детектирования радиоволн, в частности анизотропия антенн по направлению радиосигнала, наличие и характер радиопомех (не обязательно в том же частотном диапазоне), особенности рельефа местности, изменение взаимного расположения объектов в зоне локации в процессе измерений (особенно внутри помещений), колебания напряжения питания, изменение атмосферных условий в процессе измерений, покачивания антенн и т.д. (см статью Elnahrawy E., Xiaoyan Li, Martin R.P., The Limits of Localization Using Signal Strength: A Comparative Study. IEEE SECON, October 2004). Действие этих факторов выражается в непредсказуемых флуктуациях мощности радиосигнала (см. там же).

Известны способы локации радиоузла посредством наземных РЗИМ, не требующие их точной синхронизации по времени, основанные на точном измерении времени распространения радиосигнала между, по меньшей мере, тремя наземными РЗИМ и радиоузлом (методы, основанные на измерении TOF).

В частности, широко известен способ измерения расстояний методом RTT (от англ. «Roundtrip Time»), в котором измеряют время (в том числе TOF) распространения радиосигнала от одного радиоузла к другому и в обратном направлении (см. статью Гоголев А., Екимов Д., Екимов К., Мощевикин А., Федоров А., Цыкунов И. «Точность

определения расстояний с помощью технологии nanoLoc» Беспроводные технологии , 2008, 2:48-51). Для этого , как показано на фиг.1, радиоузел 1 передает радиоузлу 2 первый радиосигнал , содержащий запрос на измерение (пакет «DATA»), и фиксирует время передачи ; после приема первого радиосигнала радиоузел 2 немедленно передает радиоузлу 1 второй радиосигнал (пакет «ACK ») и, наконец , радиоузел 1 фиксирует время приема второго радиосигнала . Считая время обработки радиосигналов обоими радиоузлами одинаковым , время распространения радиосигнала  $t_p$  обычно вычисляют по формуле :

$$t_p = (T_{\text{ответа1}} - T_{\text{обработки1}})/2$$

где :

$T_{\text{ответа1}}$  - время , измеренное радиоузлом 1, с момента передачи первого радиосигнала до момента приема второго радиосигнала ,

$T_{\text{обработки1}}$  - время , измеренное радиоузлом 2 с момента приема первого радиосигнала до момента передачи второго радиосигнала . Расстояние между радиоузлами вычисляют по известной скорости распространения радиосигнала .

Недостаток этого способа состоит в том , что точность измерений снижается в связи с невозможностью компенсации разности скорости хода часов (clock drift) в упомянутых радиоузлах (см. вышеупомянутую статью Гоголев А.).

Для устранения этого недостатка в опубликованной заявке на патент США № 2009/00253439 вышеупомянутый сеанс определения RTT проводят дважды , вначале , как показано на фиг.2, сеанс измерения инициирует радиоузел 1, а затем - радиоузел 2, после чего рассчитывают усредненное значение времени распространения радиосигнала . Такой способ получил название симметричного двухстороннего двухступенчатого измерения расстояний (SDS-TWR от англ. «Symmetric Double Sided Two Way Ranging», более подробно , см. вышеупомянутую статью Гоголев А. и др.).

Недостаток этого способа, препятствующий достижению нижеупомянутого технического результата, состоит в том, что для локации мобильного радиозла необходимо измерить расстояние, по меньшей мере, до трех РЗИМ, для чего требуется произвести, по меньшей мере, три сеанса измерений.

Известны способы локации мобильного радиозла, не требующие проведения многочисленных сеансов измерений, в которых локацию мобильного радиозла определяют посредством измерения малой разницы во времени получения одного радиосигнала разными РЗИМ (TDOA, от англ. «Time Difference of Arrival»; см. статью Gustafsson F. and Gunnarsson F., Positioning Using Time-Difference of Arrival Measurements, Department of Electrical Engineering, Linkoping University, SE-581 83 Linkoping, Sweden). Зная время передачи радиосигнала радиозлом и время его (сигнала) приема РЗИМ, и считая скорость хода часов РЗИМ одинаковой, можно измерить точную разность между задержками получения радиосигнала разными РЗИМ. В двумерном случае локации мобильного радиозла методом РЗИМ определенному значению разности во времени получения радиосигнала двумя РЗИМ с известным местоположением соответствует нахождение мобильного объекта в одной из точек гиперболы. Местоположение радиозла может быть установлено (см. там же) путем решения систем нелинейных гиперболических уравнений как показано на фиг.3. Теоретически для определения местоположения радиозла требуется меньше радиосигналов, чем в случае RTT.

Недостаток TDOA состоит в нелинейности системы уравнений используемых для определения местоположения (см. статью Ju-Yong Do et al. Robustness of TOA and TDOA Positioning under Suboptimal Conditions. 2007), и в сильной зависимости производительности и надежности метода от количества мобильных узлов, условий приёма радиосигнала и его переотражений.

## РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В заявленной группе изобретений решается задача сбережения радиозфира в системах для определения местоположения мобильного радиопузла по измерению задержки между прямым и ответным радиосигналами (методом RTT). Это позволяет освободить радиоканал для передачи полезной информации .

Технический результат состоит в повышении точности измерений , и в том , что для определения расстояния между радиопузлами не требуется решение систем нелинейных уравнений , что позволяет упростить конструкцию вычислительных устройств , в частности , микроконтроллеров , алгоритмы для определения местоположения мобильного радиопузла и за меньшее количество тактов (т.е. быстрее ) вычислять местоположение мобильного объекта на цифровой аппаратной базе общего назначения .

В отличие от метода TDOA, точность предлагаемого способа может быть повышена за счет накопления отсчетов в течение периодов измерения (наиболее достоверным считается наименьший из отсчетов , соответствующий радиосигналу , претерпевшему наименьшее количество переотражений ).

Кроме того , в отличие от метода TDOA, радиопузлы могут осуществлять предлагаемый способ попеременно с небольшими интервалами , что позволяет нивелировать эффект разности в скорости хода часов .

Поставленная задача решена благодаря тому , что в способе определения расстояния между радиопузлом (P2) и двумя другими радиопузлами (P1, P3), время распространения радиосигнала между которыми (P4) известно или может быть вычислено по известным данным , посредством P1 передают прямой радиосигнал (PR), посредством P2 и P3 принимают PR, посредством P2 после приема PR передают ответный радиосигнал (OR), посредством P1 и P3 принимают OR, при этом

посредством P2 определяют задержку (П2) между приемом ПР и передачей ОР, посредством P1 определяют задержку (Ш) между передачей ПР и приемом ОР, посредством P3 определяют задержку (П3) между приемом ПР и ОР, после чего с учетом П2 определяют задержку (П5) распространения ПР и/или ОР между P1 и P2, а с учетом П5, П2, П3 и П4 определяют задержку (П6) распространения ОР между P2 и P3, и вычисляют расстояние между P1 и P2 и между P2 и P3, соответственно.

Следует понимать, что указания «прямой», «ответный», «Ш», «П2», «П3», «П4», «П5», «П6», «P1», «P2», «P3», «ОР», «ПР» являются лишь условными обозначениями и/или сокращениями для соответствующих технических признаков, и применяются лишь для краткости изложения и/или для индивидуализации разных, но одинаково называемых элементов.

В одной из частных форм осуществления способа P2 и P3 связаны между собой и с вычислительными средствами в единую информационную сеть посредством проводного канала передачи данных.

Как будет очевидно специалисту, точное измерение малых временных интервалов, например, между приемом ПР и передачей ОР может быть обеспечено при размещении средств измерения (часов) в том радиоузле (в данном случае, в P2), который осуществляет засечку моментов, временная задержка между которыми измеряется, при этом, предпочтительно, чтобы интервалы между событиями отсчитывались посредством одного и того же генератора частоты. Отсчеты задержек, определенные таким образом могут быть переданы по каналам связи и обработаны за пределами радиоузла.

В еще одной частной форме осуществления после приема ОР способ повторяют с той лишь разницей, что соответствующие функции вместо P2 выполняет P3, и наоборот, причем вычисленные расстояния между P1 и P2 и между P2 и P3 усредняют с

соответствующими расстояниями, полученными на предшествующей итерации способа.

В другой частной форме осуществления П4 определяют по задержке между прямым и ответным радиосигналами (методом RTT) или методом симметричного двухстороннего двухступенчатого измерения расстояний (SDS-TWR).

В одной частной форме осуществления значение П5 уточняют по методу симметричного двухстороннего двухступенчатого измерения расстояний.

В еще одной частной форме осуществления П2 определяют до инициирования обмена прямыми и ответными радиосигналами.

В другой частной форме осуществления дополнительно измеряют расстояние между P2 и радиоузлом (P4), при этом время распространения радиосигнала между P4 и P1 известно или может быть вычислено по известным данным.

Вышеуказанная задача также решена благодаря тому, что для определения местоположения радиоузла (P2), после осуществления любого из вариантов осуществления вышеописанного способа, его (способ) повторяют с заменой одного из P1 или P3 еще одним другим радиоузлом P4, время распространения радиосигнала между которым и одним из оных известно или может быть вычислено по известным данным.

Вышеуказанная задача решена благодаря тому, что система для определения расстояния между радиоузлом с неизвестным местоположением P2 и, по меньшей мере, двумя радиоузлами (P1, P3), время распространения радиосигнала между которыми (P4) известно или может быть вычислено по известным данным, в котором P1, P2 и P3 выполнены с возможностью точного измерения промежутков времени между приемом и/или передачей радиосигналов, в которой P1 выполнен с возможностью определения задержки (Ш) между передачей прямого радиосигнала (ПР) и приемом ответного

радиосигнала (ОР), Р3 выполнен с возможностью определения задержки (П3) между приемом ПР и ОР, Р2 выполнен с возможностью определения задержки (П2) между приемом ПР и передачей ОР, либо с возможностью поддержания предварительно заданного значения П2, в которой Р1 и Р3 объединены между собой посредством канала передачи данных в единое информационное пространство с обработчиком задержек, выполненным с возможностью вычисления задержки (П5) распространения ПР и/или ОР между Р1 и Р2, и (с возможностью ) вычисления задержки (П6) распространения ОР между Р2 и Р3 с учетом П5, П2, П3 и П4.

В частной форме выполнения системы обработчик задержек скомпонован в одной интегральной схеме.

В одной частной форме выполнения системы обработчик задержек выполнен на основе, по меньшей мере, одного универсального процессора, ASIC-процессора, DSP-процессора, программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) и/или электронного аналогового вычислительного устройства.

В еще одной частной форме выполнения системы упомянутый канал передачи данных представляет собой проводной канал передачи данных.

В другой частной форме выполнения системы упомянутый канал передачи данных представляет собой беспроводной канал передачи данных.

Следует понимать, что объектам вышеописанной группы изобретений могут быть присущи все или только некоторые из признаков вышеупомянутых частных вариантов осуществления или выполнения, при условии, что они не исключают друг друга, и при том такие комбинации признаков также включены в настоящее раскрытие.

Среднему специалисту из описания аналогов и из уровня техники должны быть понятны функции и допустимые варианты выполнения, соединения и расположения вышеупомянутых функциональных элементов, например, должно быть понятно, что

вычислительные средства могут быть реализованы на основе операционных усилителей, либо на основе программно-аппаратного комплекса, например, ЭВМ общего назначения, снабженной программными средствами, обеспечивающими обработку данных.

Если какие-то конструктивные элементы и другие признаки, которые, как известно среднему специалисту, необходимы для реализации назначения заявленных изобретений, но специально не упомянуты в формуле изобретения и не раскрыты в описании, то они являются имманентно присущими, а их конкретные варианты выполнения хорошо известны из аналогов и из уровня техники.

Заявленная группа изобретений может быть использована для измерения расстояний и определения местоположения (как в реальном времени, так и по восстанавливаемым данным) мобильных радиоузлов относительно других радиоузлов.

Для лучшего понимания идей изобретения ниже приводятся иллюстрирующие чертежи, показывающие некоторые частные варианты выполнения элементов изобретений или осуществления способа. Однако, несмотря на то, что в настоящем документе изобретение описывают со ссылкой на позиции элементов, показанных на чертежах, не следует приписывать их особенности соответствующим элементам, на которые ссылаются в тексте.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ФИГУР ЧЕРТЕЖЕЙ

На фиг.1 показана временная диаграмма, иллюстрирующая принцип измерения расстояния методом RTT.

На фиг.2 показана временная диаграмма, иллюстрирующая измерение расстояний методом SDS-TWR.

На фиг.3 показана схема, иллюстрирующая определение местоположения методом TDOA.

На фиг. 4 показана временная диаграмма, иллюстрирующая измерение расстояний изобретенным способом.

На фиг. 5 показана диаграмма, иллюстрирующая возможность использования существующей аппаратуры для измерения расстояний методом SDS-TWR в изобретенном способе.

#### ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Нижеследующее описание частных вариантов воплощения даются только для наглядной иллюстрации изобретательской идеи. Ничто в настоящем разделе описания не должно быть истолковано как ограничение объема притязаний. Должно быть понятно, что средний специалист, знакомый с идеями настоящего изобретения, может использовать его главные отличительные особенности и внести эквивалентные замены с достижением поставленной задачи и без отклонения от духа и области настоящего изобретения.

Как показано на фиг. 4, в соответствии с предлагаемым способом, желая определить расстояние от P2 до P1 и P3 (т.е. R12 и R23) при заранее известном расстоянии R13 между P1 и P3 (оно может быть измерено методом RTT или любым другим методом) P1 передает прямой радиосигнал (PR, или «DATA1» на фиг. 4) в пока не известный момент времени T0 (по часам P3), а P2 с задержкой на время обработки (П2) в момент времени T2 (по часам P3) передает ответный радиосигнал (ОР, «АСК 1» на фиг. 4), при этом P3 получает PR с задержкой П4 (период T1-T0 на фиг. 4), P1 принимает радиосигнал ОР и определяет задержку П1 между передачей PR и приемом ОР (Тответа 1 на фиг. 4), а P3 принимает ОР и определяет задержку П3 (период T3-T1 на фиг. 4) между приемом радиосигналов PR и ОР.

Зная Ш (Тответа 1) и П2 (Тобработки 1, которое P2 сообщает P1), время П5 распространения радиосигнала между P1 и P2 определяют по формуле:

$$П5 = (П1 - П2)/2$$

Расстояние R12 между первым и вторым РУ с учетом скорости распространения радиосигнала с находят по формуле :

$$R12 = П5 \cdot c,$$

Зная П3 и R13, расстояние между Р2 и Р3 можно определить по формуле :

$$R23 = [(П3 + П4) - (П2 + П5)] \cdot c$$

где :

П4 (соответствует периоду T1-T0 на фиг.4) - время распространения радиосигнала от Р1 к Р3, которое может быть вычислено по известному расстоянию R13 от Р1 до Р3 и известной скорости распространения радиосигнала ;

П3 + П4 (соответствует периоду T3-T0 на фиг.4) - период между передачей ПР с Р1 и приемом ОР на Р3;

П2 + П5 (соответствует периоду T2-T0 на фиг.4) - период между передачей ПР с Р1 и передачей ОР с Р2;

(П3 + П4) - (П2 + П5) (соответствует периоду T3-T2 на фиг.4) - период между передачей ОР с Р2 и его приемом на Р3;

Таким образом, согласно способу по изобретению за один акт обмена радиосигналами ПР и ОР, т.е. в одном цикле измерения по методу RTT определяют сразу два расстояния между Р2 и двумя другими радиоузлами (Р1 и Р3), время распространения радиосигнала между которыми может быть вычислено на основе имеющихся данных. То есть, как и в методе TDOA в способе по изобретению используют информацию о времени распространении радиосигнала от Р2 до Р1 и Р3, но расстояние между узлами вычисляют непосредственно, без решения систем нелинейных уравнений, только за счет использования информации о П2, П4 и П5.

Как будет понятно специалисту в данной области техники РЗ должен быть включен в режиме прослушивания среды передачи (promiscuous mode), чтобы регистрировать радиосигналы ПР и ОР, предназначенных не для него. При этом чем меньше промежутки времени между ПР и ОР, тем меньше влияние неточности хода часов РЗ и погрешность измерений.

#### ПРИМЕР

Изобретенный способ апробировали с использованием трансиверов nanoLOC (производитель Nanotron Technologies GmbH), предназначенных для измерения расстояний методом SDS-TWR. Для этого процедуру измерения расстояния между Р2 и РЗ модифицировали, в связи с тем, что трансиверы nanoLOC РЗ могут засечь момент приема ПР («DATA1» на фиг. 5), но, так как засечка момента приема ОР («ACK 1» на фиг. 5) технически невозможна, вместо этого засекали момент приема РЗ второго прямого радиосигнала (ПР2, «DATA2» на фиг. 5), который Р2 передает Р1 в цикле измерения по методу SDS-TWR. Это возможно благодаря тому, что момент начала передачи сигналов в трансиверах nanoLOC привязан к началу длительных периодов (тайм-слотов), которые задаются низкочастотным генератором (см. фиг. 5, где моменты возможного начала передачи сигнала отмечены на осях жирными засечками). Благодаря стабильности генераторов радиоузлов 2 и 3 смещение моментов регистрации сигналов ОР и ПР2 (т.е. «ACK 1» и «DATA2» на фиг. 5) на РЗ одинаковое, т.е.  $Dt1=Dt2$ .

На фиг. 5 моменты времени  $T0-T5$  отнесены к часам РЗ и означают следующее:

$T0$  - момент передачи ПР радиоузлом 2;

$T1$  - момент приема ПР;

$T2$  - момент передачи с Р2 сигнала ОР;

$T3$  - момент приема сигнала ОР;

$T4$  - момент передачи с Р2 сигнала ПР2;

$T_5$  - момент приема сигнала ПР2;

$T_1 - T_0$  - время распространения радиосигнала между Р1 и Р3;

$T_3 - T_2$  - время распространения радиосигнала между Р2 и Р3;

$T_5 - T_4$  - время распространения радиосигнала между Р2 и Р3 ( $T_5 - T_4 = T_3 - T_2$ );

$Dt_1$  и  $Dt_2$  - времена с начала очередного тайм-слота до момента приема ОР и ПР2 соответственно ( $Dt_1 = Dt_2$ );

Как показано на фиг. 5 Р3 засекает время между приемом одного из сигналов цикла RTT, от одного из Р1 или Р2 и приемом еще одного сигнала от другого из них.

Расстояние между Р2 и Р3 рассчитывают по формуле :

$$R_{23} = [(T_5 - p \cdot T_{\text{тайм-слота}} - T_1 + R_{13}/C) - (T_{0\text{ответа}1} + T_{0\text{обработки}1})/2] \cdot c,$$

где :

$T_{\text{тайм-слота}}$  - заранее известная длительность тайм-слота ;

$p$  - число тайм-слотов , прошедшее с момента передачи ОР до момента передачи ПР2. Значение  $p \cdot T_{\text{тайм-слота}}$  может быть либо измерено радиоузлом 2, либо рассчитано радиоузлом 3 в случае , если длительность тайм-слота , умноженная на скорость распространения радиоволны , превышает ограничение по длине для данного вида измерения расстояний радио методом .

Таким образом , для трансиверов nanoLOC общая схема метода сводится к засечке на Р3 момента приема ПР (т.е. первого радиосигнала в цикле измерений по методу RTT) и регистрации момента приема любого радиосигнала от Р2 (либо до цикла измерения расстояний , либо после ) при условии , что скорость хода часов Р2 и Р3 мало отличаются .

При точности измерения периодов времени порядка 1 нс расстояния могут быть измерены с точностью примерно 0,3 метра . Такого уровня точности можно добиться с помощью коррелометров , срабатывающих в момент принятия первых  $p$  битов кадра и

определяющих границы битов . При задержке сигналов в соседних циклах RTT не более 10 мс точность на уровне 0,3 м обеспечивается при рассинхронизации хода часов не более 1 не.

Изменения и модификации описанной группы изобретений , а также дополнительные применения принципов изобретения , очевидные для специалистов в данной области техники , также входят в объем изобретения .

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ определения расстояния между радиоузлом (P2) и двумя другими радиоузлами (P1, P3), время распространения радиосигнала между которыми (П4) известно или может быть вычислено по известным данным, в котором посредством P1 передают прямой радиосигнал (ПР), посредством P2 и P3 принимают ПР, посредством P2 после приема ПР передают ответный радиосигнал (ОР), посредством P1 и P3 принимают ОР, при этом посредством P2 определяют задержку (П2) между приемом ПР и передачей ОР, посредством P1 определяют задержку (Ш) между передачей ПР и приемом ОР, посредством P3 определяют задержку (П3) между приемом ПР и ОР, после чего с учетом П2 определяют задержку (П5) распространения ПР и/или ОР между P1 и P2, а с учетом П5, П2, П3 и П4 определяют задержку (П6) распространения ОР между P2 и P3 и вычисляют расстояние между P1 и P2 и между P2 и P3, соответственно.

2. Способ по п.1, в котором P2 и P3 связаны между собой и с вычислительными средствами в единую информационную сеть посредством проводного канала передачи данных.

3. Способ по п.1, в котором после приема ОР способ повторяют с той лишь разницей, что соответствующие функции вместо P2 выполняет P3, и наоборот, причем вычисленные расстояния между P1 и P2 и между P2 и P3 усредняют с соответствующими расстояниями, полученными на предшествующей итерации способа.

4. Способ по п.1, в котором П4 определяют по задержке между прямым и ответным радиосигналами (методом RTT) или методом симметричного двухстороннего двухступенчатого измерения расстояний (SDS-TWR).

5. Способ по п.1, в котором значение П5 уточняют по методу симметричного двухстороннего двухступенчатого измерения расстояний .
6. Способ по п.1, в котором П2 определяют до инициирования обмена прямыми и ответными радиосигналами .
7. Способ по п.1, в котором дополнительно измеряют расстояние между P2 и радиоузлом (P4), при этом время распространения радиосигнала между P4 и P1 известно или может быть вычислено по известным данным .
8. Применение способа по любому из п.п.1-7 для определения местоположения радиоузла (P2), в котором после осуществления способа , его повторяют с заменой одного из P1 или P3 еще одним другим радиоузлом P4, время распространения радиосигнала между которым и одним из оных известно или может быть вычислено по известным данным .
9. Система для определения расстояния между радиоузлом с неизвестным местоположением P2 и двумя радиоузлами (P1, P3), время распространения радиосигнала между которыми (П4) известно или может быть вычислено по известным данным , в котором P1, P2 и P3 выполнены с возможностью точного измерения промежутков времени между приемом и/или передачей радиосигналов , в которой P1 выполнен с возможностью определения задержки (Ш ) между передачей прямого радиосигнала (ПР) и приемом ответного радиосигнала (ОР), P3 выполнен с возможностью определения задержки (П3) между приемом ПР и ОР, P2 выполнен с возможностью определения задержки (П2) между приемом ПР и передачей ОР, либо с возможностью поддержания предварительно заданного значения П2, в которой P1 и P3 объединены между собой посредством канала передачи данных в единое информационное пространство с обработчиком задержек , выполненным с возможностью вычисления задержки (П5) распространения ПР и/или ОР между P1 и

P2, и (с возможностью ) вычисления задержки (Пб) распространения ОР между P2 и P3 с учетом П5, П2, П3 и П4.

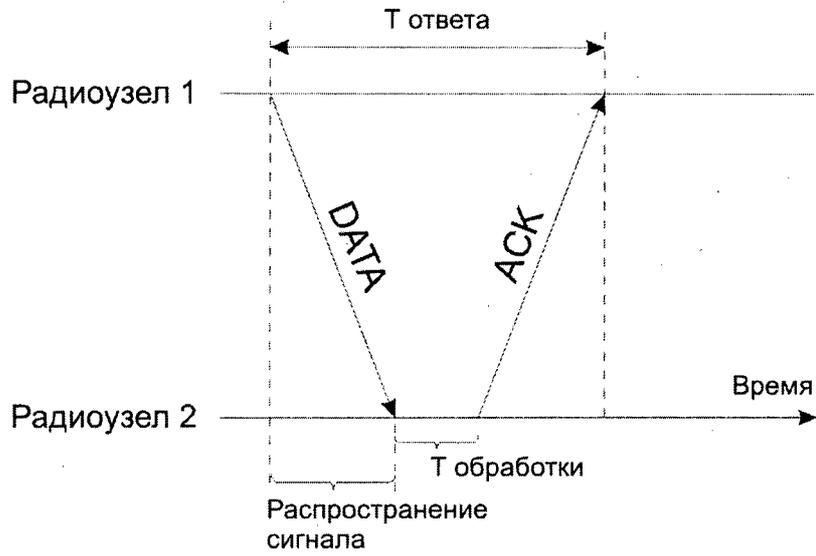
10. Система по п.9, в которой , обработчик задержек сконпонован в одной интегральной схеме .

11. Система по п.9, в которой обработчик задержек выполнен на основе , по меньшей мере , одного универсального процессора , ASIC-процессора , DSP-процессора , программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС ) и/или электронного аналогового вычислительного устройства .

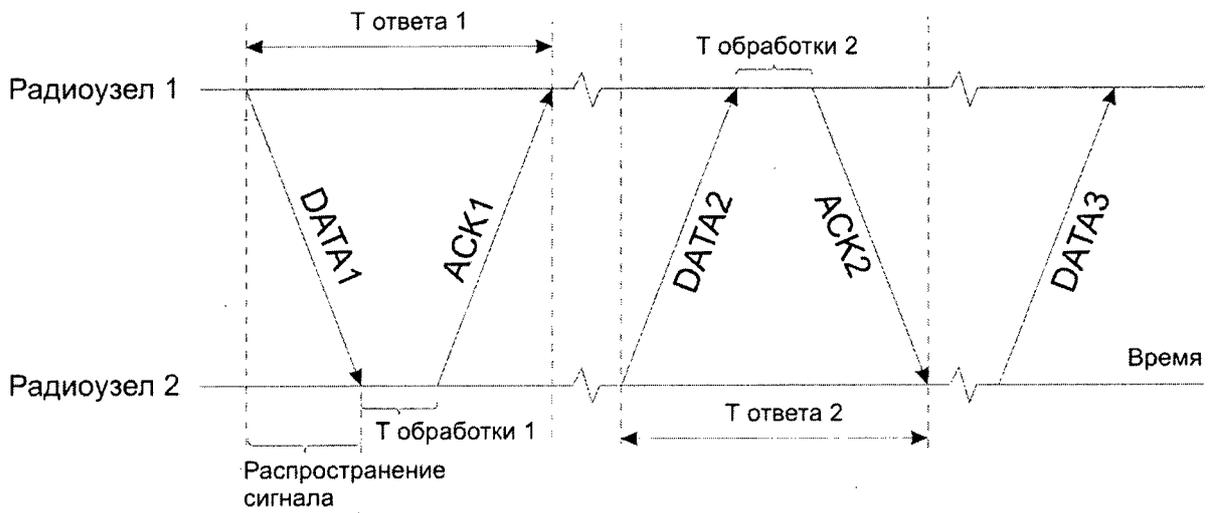
12. Система по п.9, в которой упомянутый канал передачи данных представляет собой проводной канал передачи данных .

13. Система по п.9, в которой упомянутый канал передачи данных представляет собой беспроводной канал передачи данных .

1/4

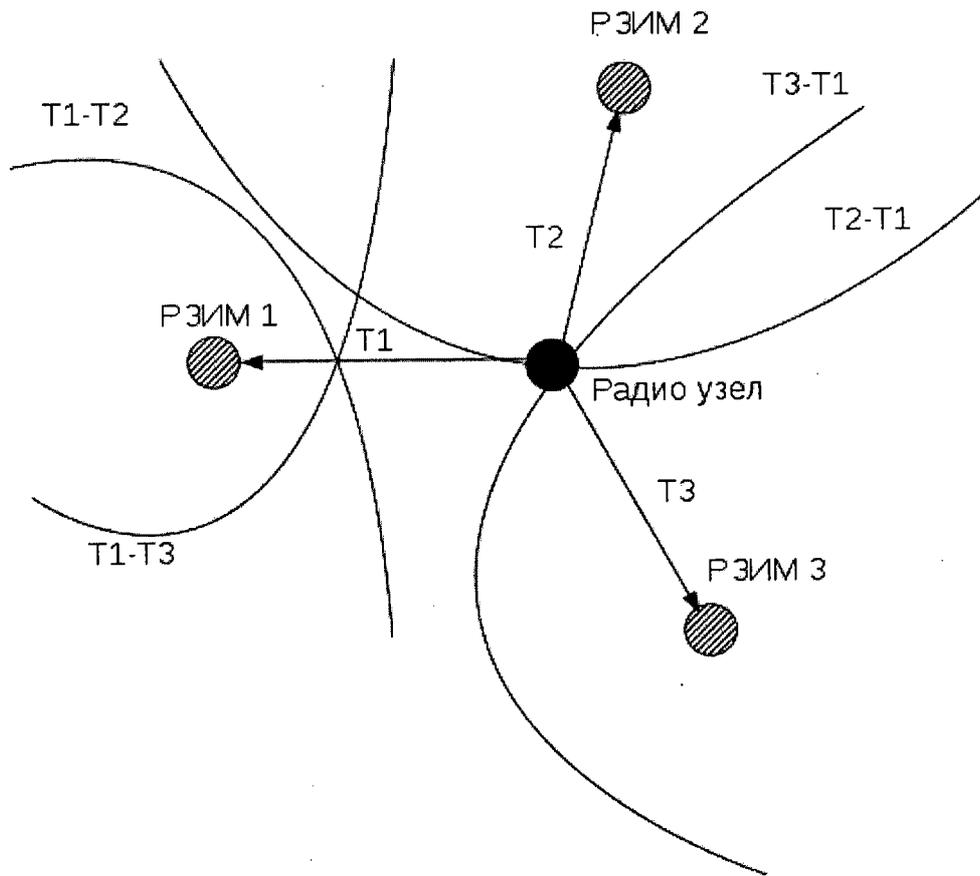


Фиг.1



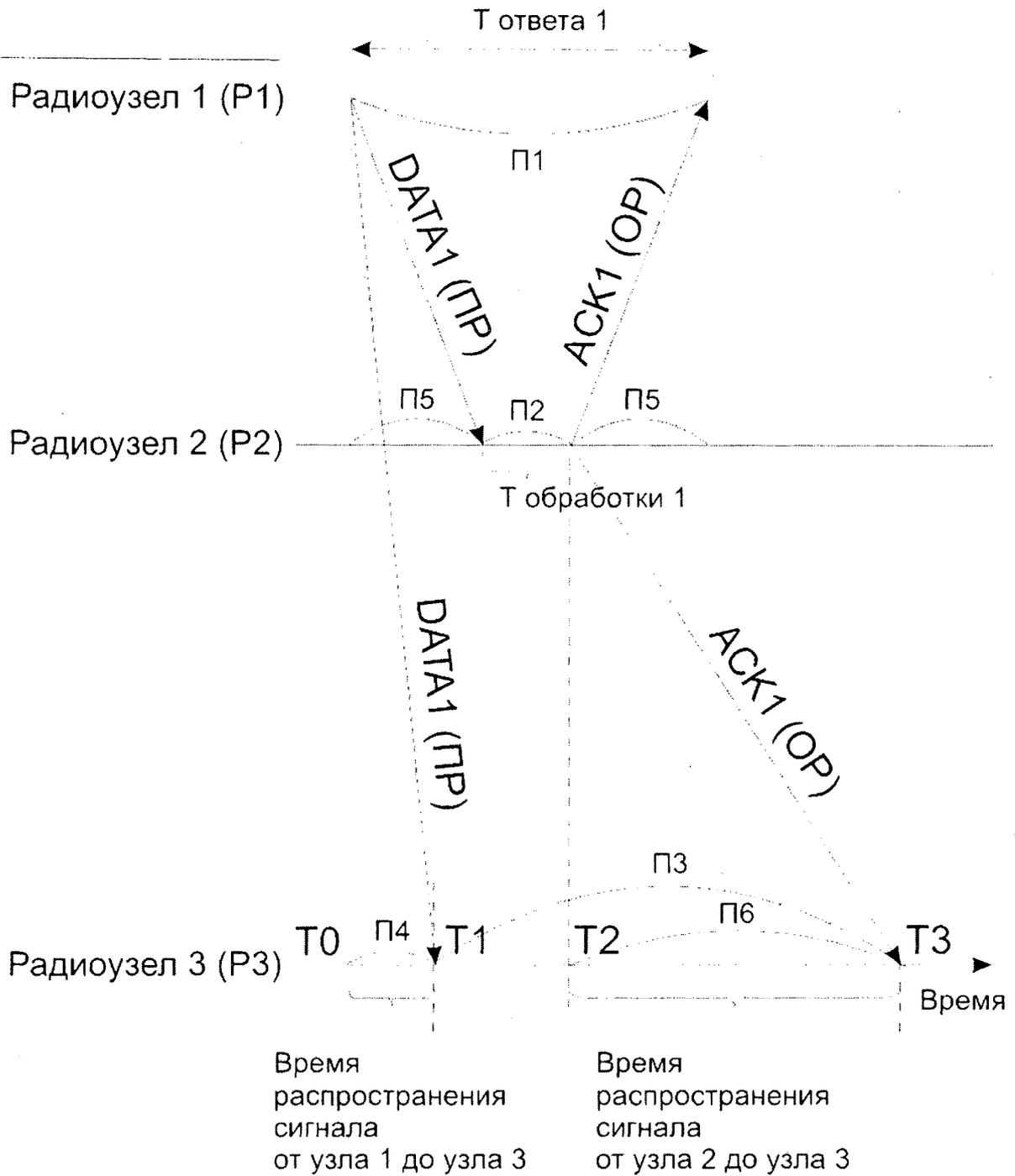
Фиг.2

2/4



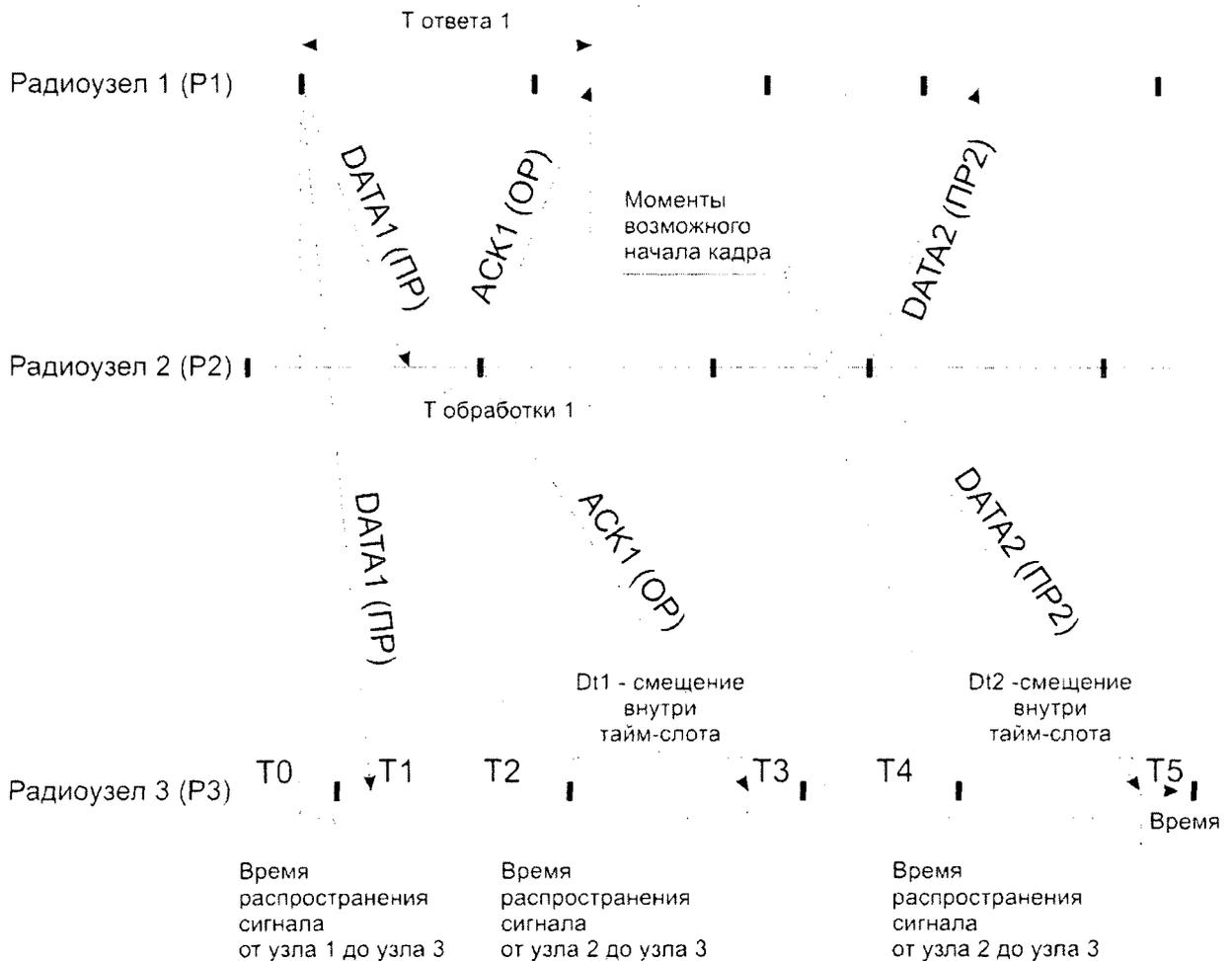
Фиг.3

3/4



Фиг.4

4/4



Фиг.5