РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 360 263** (13) **C2**

(51) МПК
G01S 5/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2006130799/09, 27.01.2005**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.01.2005

(30) Конвенционный приоритет:
07.09.2004 US 10/936,177

(43) Дата публикации заявки: **20.03.2008**

(45) Опубликовано: **27.06.2009** Бюл. № **18**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 6018312 A, 25.01.2000. RU 2144210 C1, 10.01.2000. RU 2178953 C2, 27.01.2002. US 5640431 A, 17.06.1997.**

(85) Дата перевода заявки PCT на национальную фазу: **28.08.2006**

(86) Заявка PCT:
US 2005/003540 (27.01.2005)

(87) Публикация PCT:
WO 2005/074153 (11.08.2005)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(72) Автор(ы):
КРЭСНЕР Норман Ф. (US)

(73) Патентообладатель(и):
КВЭЛКОММ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

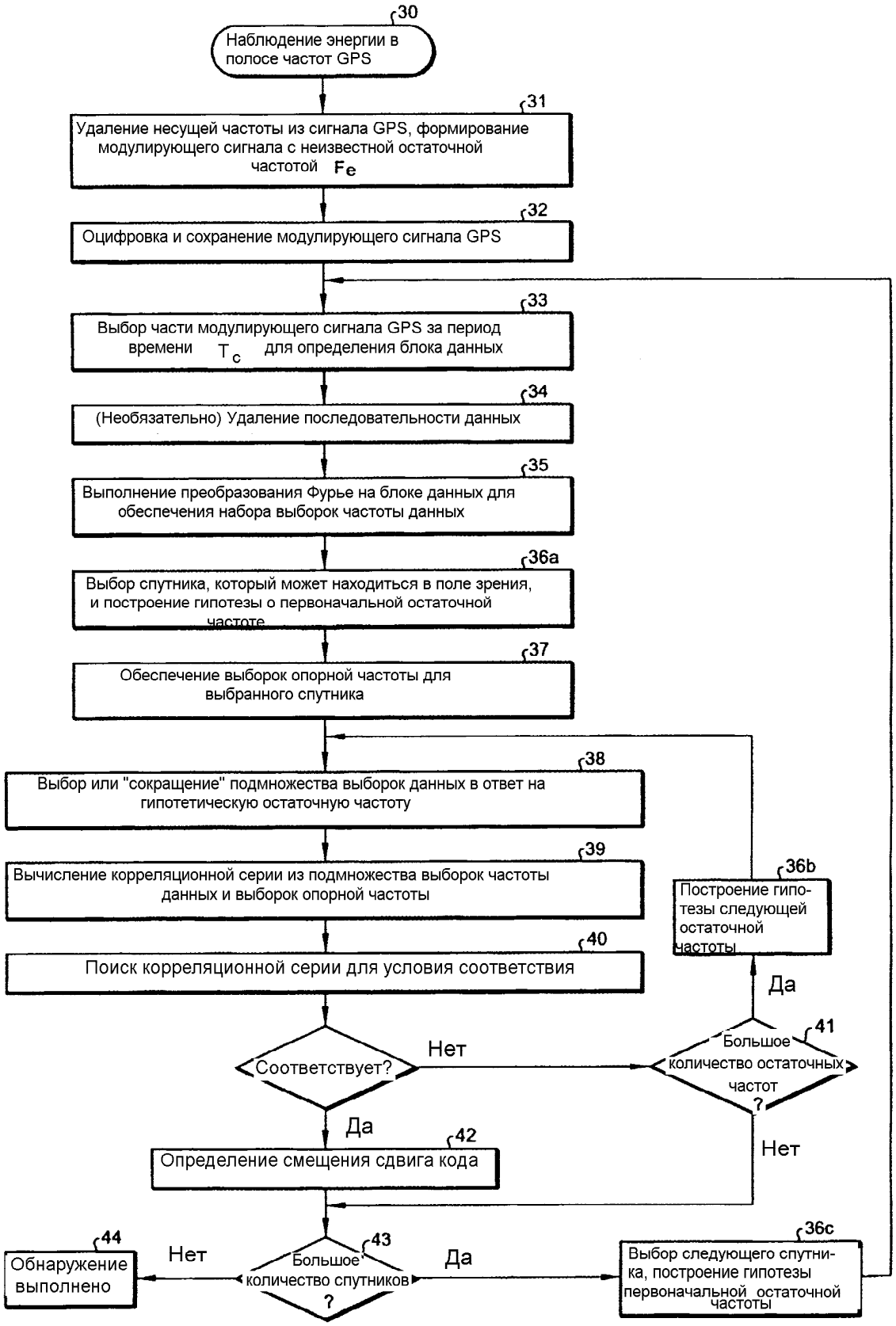
RU 2360263 C2

(54) УСТРОЙСТВО И СПОСОБЫ СКОРОСТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ GPS

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам и устройству для установления местоположения приемника при помощи радиосигналов GPS. В изобретении используются сигналы передатчиков GPS, которые включают в себя уникальную периодически повторяющуюся шумоподобную (PN) последовательность. Изобретение особенно полезно в несинхронизированных системах, например, A-GPS, используемой в системах GSM и UMTS мобильного телефона. Принятый сигнал сохраняется в приемнике за, по меньшей мере, два периода повторения PN последовательности. Выполняют операции быстрого преобразования Фурье (FFT), получают выборки частоты данных, которые сокращают в ответ на гипотетическую остаточную частоту. Это сокращает число последующих требуемых вычислений и время обработки. Корреляционные серии определяются из сокращенных выборок и выборок опорной частоты, соответствующей гипотетическому передатчику. Если соответствие было найдено, то определяется смещение сдвига кода. В противном случае

процесс повторяется с другой гипотетической остаточной частотой. Множество подобно полученных корреляционных серий могут быть некогерентно объединены. 3 н. и 22 з.п. ф-лы, 11 ил.



ФИГ.3

RU 2360263 C2

RU 2360263 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 360 263** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
G01S 5/06 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2006130799/09, 27.01.2005**

(24) Effective date for property rights:
27.01.2005

(30) Priority:
07.09.2004 US 10/936,177

(43) Application published: **20.03.2008**

(45) Date of publication: **27.06.2009 Bull. 18**

(85) Commencement of national phase: **28.08.2006**

(86) PCT application:
US 2005/003540 (27.01.2005)

(87) PCT publication:
WO 2005/074153 (11.08.2005)

Mail address:
129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595

(72) Inventor(s):
KREhSNER Norman F. (US)

(73) Proprietor(s):
KVEhLKOMM INKORPOREJTED (US)

RU 2360263 C2

(54) DEVICE AND METHOD OF HIGH-SPEED DETECTION OF GPS SIGNALS

(57) Abstract:

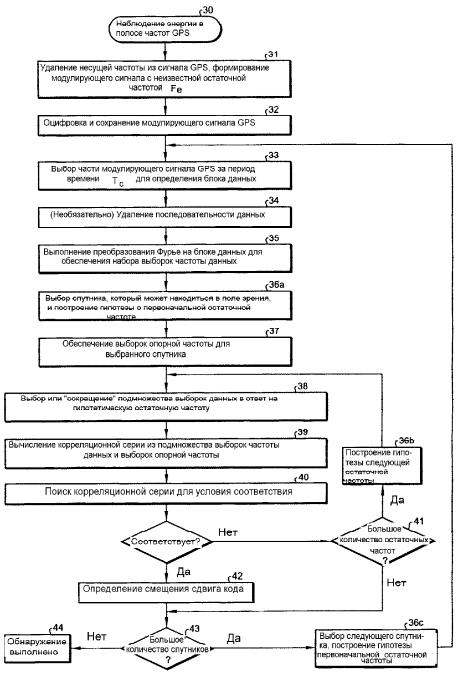
FIELD: radar-location.

SUBSTANCE: invention relates to methods and a device for establishing location of a receiver using GPS signals. The invention employs signals of GPS transmitters, which comprise a unique periodically recurring pseudonoise (PN) sequence. The invention is especially useful in non-synchronised systems, for example A-GPS, used in GSM and UMTS systems for mobile telephones. A received signal is stored in a receiver for at least two repetition periods of the PN sequence. A fast Fourier transformation operation is done (FFT), and frequency samples of data are obtained, which are curtailed in response to a hypothetical residual frequency. This cuts the number of the next required calculations and processing time. Correlation series are determined from the curtailed samples and reference frequency samples of the corresponding hypothetical transmission. If conformity is detected, the displacement of code shift is determined. Otherwise the process is repeated with another hypothetical residual frequency. Several similar obtained correlation series can be joined incoherently.

EFFECT: device and method of detecting GPS signals.

25 cl, 13 dwg

RU 2360263 C2



ФИГ.3

RU 2360263 C2

RU 2360263 C2

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящая заявка относится к устройству и способам вычисления местоположения мобильного устройства при помощи радиосигналов, например, систем GPS.

Уровень техники

Устройства определения местоположения становятся все более и более популярными. Это способствует развитию скоростных высокочувствительных способов обнаружения сигналов, используемых для определения местоположения.

Технологии определения местоположения обычно используют для определения положения радиосигналы, одновременно передающиеся из известных местоположений. В системах GPS эти сигналы одновременно передаются с нескольких спутников за известное время и на предопределенной частоте. На земле приемник GPS обнаруживает сигнал от каждого спутника в пределах его поля зрения. Времена прибытия сигналов, наряду с точным местоположением в поле зрения спутников, и точное время сигналов, передающихся от каждого спутника, используются для определения местоположения приемника GPS с помощью вычисления трилатерации.

Обнаружение сигналов со спутников GPS может быть затруднено из-за множества факторов. Например, сигналы GPS передают с относительно малой мощностью и с большого расстояния. Во время прохождения сигналов GPS с земной орбиты на приемник их изначально малая мощность сильно уменьшается, предоставляя чрезвычайно слабый сигнал приемнику. Уровни принимаемого сигнала могут быть дополнительно ослаблены посредством эффектов затенения зданиями, например, во время приема в помещении или приема в условиях городской застройки.

Существуют две основные функции приемника GPS: (1) вычисление псевдодальностей до различных спутников GPS и (2) вычисление местоположения приемника GPS, используя эти псевдодальности, спутниковую синхронизацию и эфемеридные данные (о местоположении). Псевдодальности относятся к временам задержки (или эквивалентно расстояниям) между спутниками и приемником GPS, измеренным по смещению часов местного времени. В обычных автономных приемниках GPS, эфемериды спутников и время передачи данных извлекаются из сигнала GPS после того, как он был обнаружен и отслежен. Сбор этой информации обычно занимает относительно долгое время (от 30 секунд до нескольких минут) и должен быть выполнен с хорошим уровнем принимаемого сигнала для достижения низких коэффициентов ошибок.

Фактически все известные приемники GPS используют способы корреляции или их математические эквиваленты для вычисления псевдодальностей. Эти способы корреляции выполняются в реальном масштабе времени, зачастую при помощи аппаратных корреляторов. Сигналы GPS содержат сигналы с высокой скоростью повторения, которые модулированы в соответствии со специальными последовательностями или «кодами», называемыми псевдослучайными (PN) последовательностями. Коды, доступные для гражданских приложений, называют кодами C/A и используются для обеспечения скорости бинарного опрокидывания фазы или «скорости передачи элементов сигнала», равной 1,023 МГц, и периода повторения 1023 элементов сигнала за период кода, равный 1 мс. Псевдослучайные последовательности в системе GPS принадлежат семейству, известному как «Золотые коды». Каждый спутник GPS передает сигнал с уникальным Золотым кодом.

Для краткости, в нижеследующем обсуждении мы можем использовать терминологию - сигнал «содержит псевдослучайную последовательность» (или код), посредством которой мы подразумеваем, что он содержит колебательный сигнал,

который модулирован в соответствии с псевдослучайной последовательностью или кодом. Длина кадра псевдослучайной последовательности представляет собой количество символов последовательности до ее повторения. Под длительностью (во времени) псевдослучайной последовательности мы подразумеваем, что длительность колебательного сигнала модулирована в соответствии с псевдослучайной последовательностью. Подобным образом, когда мы говорим «скорость передачи кадров псевдослучайной последовательности», мы подразумеваем скорость повторения колебательного сигнала, модулированного в соответствии с псевдослучайной последовательностью. Из контекста должно быть понятно, относится ли термин «псевдослучайная последовательность» к последовательности чисел или колебательному сигналу, модулированному согласно такой последовательности чисел.

После того, как сигнал был принят от определенного спутника GPS, вслед за процессом преобразования с понижением частоты до основной полосы, сигнал коррелируется с опорным сигналом. Например, простой корреляционный приемник умножает принятый сигнал на локально сформированный опорный сигнал, содержащий сохраненный повтор соответствующего Золотого кода, содержащийся в его локальной памяти, а затем интегрирует (например, выполняет фильтрацию нижних частот) результат для того, чтобы получить индикацию присутствия сигнала.

Процесс простой индивидуальной корреляции может привести к одному числу (возможно комплексному). Однако во многих, представляющих интерес, случаях вычисляется множество таких чисел в соответствии с разными опорными последовательностями (например, версии с задержкой), последовательно или параллельно, посредством выполнения подобных операций. Такой набор чисел упоминается в настоящем описании как «корреляционная серия». Конечный результат объединения одной или нескольких последовательных корреляционных серий называется «конечная корреляционная серия».

Посредством последовательной регулировки относительной синхронизации этой сохраненной реплики, относящейся к принятому сигналу, и отслеживая за возникновением высокой мощности в полученной конечной корреляционной серии, простой приемник может определить время задержки между принятым сигналом и часами местного времени. Это время заержки, взятое по модулю периода кода, равного одной миллисекунде, называют «сдвигом кода». К сожалению, процесс обнаружения корреляции требует больших затрат времени, в особенности, если принимаемые сигналы слабы. Для улучшения времени обнаружения большинство обычных приемников GPS используют разнообразные корреляторы (обычно до 12), которые позволяют параллельно производить поиск корреляционных пиков.

Некоторые приемники GPS используют способы быстрого преобразования Фурье (FFT) для определения доплеровской частоты принимаемого сигнала GPS. Эти приемники используют обычные операции корреляции для сужения спектра сигнала GPS и предоставляют узкополосный сигнал с шириной спектра, обычно находящейся в диапазоне от 10 до 30 КГц. Затем полученный узкополосный сигнал анализируется с помощью Фурье-анализа, используя алгоритмы быстрого преобразования Фурье (FFT) для определения несущей частоты. Определение такой несущей одновременно обеспечивает индикацию того, что локальная опорная PN откорректирована с правильным сдвигом кода принимаемого сигнала и обеспечивает точное измерение несущей частоты. Затем эта частота может быть использована в последующей операции отслеживания приемников.

Например, один способ определения местоположения использует алгоритм быстрого преобразования Фурье (FFT) для вычисления псевдодальности в местоположении централизованной обработки данных, а не в мобильном блоке. Согласно этому способу снимок данных собирается посредством приемника GPS, а затем передается по каналу передачи данных на удаленный приемник, в котором он подвергается обработке быстрым преобразованием Фурье (FFT) для вычисления конечной корреляционной серии. Однако для выполнения набора корреляций обычно вычисляется только единственное прямое и обратное быстрое преобразование Фурье (соответствующее четырем периодам (интервалам) PN).

Другой метод использует способы быстрого преобразования Фурье для обнаружения сигналов GPS и включает в себя оцифровку, сохранение и обработку длинного блока необработанных данных. Например, данные, соответствующие одному вторичному интервалу, могут быть оцифрованы, а затем локально обработаны, используя способ обработки сигналов, основанный на быстром преобразовании Фурье (FFT), для обнаружения сигналов GPS, присутствующих в этом захваченном блоке данных. В этом способе выполняется множество операций быстрого преобразования Фурье (FFT), каждое формирование корреляционной серии и результаты подвергаются и когерентной и некогерентной операциям по обработке для формирования конечной корреляционной серии.

К сожаению, метод обнаружения сигнала GPS в таких системах становится менее эффективным при выполнении длительного когерентного интегрирования, например, превышающего период одного бита данных (например, 20 кадров GPS, который равен 20 миллисекундам). Потеря эффективности является особенно большой, когда неточность несущей частоты GPS является большой. Кроме того, в широко распространенных радиоприемных системах GPS когерентное интегрирование за периоды, превышающие один бит данных, требует, чтобы приемнику GPS априори была известна последовательность битов. Поэтому когерентное интегрирование обычно выполняется за периоды, превышающие один бит данных, посредством передачи такой информации от сервера к мобильной станции. Этот общий метод был стандартизирован в нескольких стандартах сотовой связи, включая IS-95, CDMA2000, GSM и UMTS.

Другие предшествующие методы когерентной обработки могут быть применимы, когда (1) требуется длительное когерентное интегрирование, (2) требуется поиск по широкому диапазону доплеровской частоты (3), должен быть выполнен поиск сдвига кода по всем 1023 элементам сигнала каждого сигнала GPS, который будет обработан. Однако такие предшествующие методы, имеют множество ограничений и помех. Например, эти алгоритмы могут требовать обработки данных в виде двумерного массива, а также ограничивать величину, по которой может быть эффективно выполнен поиск доплеровского сдвига по частоте.

Раскрытие изобретения

Описаны способ и устройство для приема и обработки одного или нескольких сигналов, передающихся от множества передатчиков на предопределенных частотах. Каждый из передающихся сигналов включает в себя колебательный сигнал, закодированный согласно периодически повторяющейся последовательности, которая уникально идентифицирует передатчик, который отослал каждый соответствующий сигнал. Принимаемые сигналы используются в определении местоположения приемника. Передатчики могут включать в себя множество спутников GPS, которые передают сигналы GPS на частоте GPS, каждый спутник GPS, передающий

колебательный сигнал, закодированный согласно уникальной периодически повторяющейся последовательности. Смещение сдвига кода сигнала находится в приемнике, и при использовании этой информации от нескольких передатчиков может быть установлено местоположение приемника с помощью алгоритмов GPS.

Более высокая чувствительность и более высокая скорость обработки могут быть достигнуты посредством выполнения операций быстрого преобразования Фурье (FFT) на данных наблюдения; совместно с операциями быстрого преобразования Фурье (FFT) используются специальные операции сокращения, основанные на гипотетической остаточной ошибке по частоте для сокращения общего количества вычислений и, следовательно, сокращения времени обработки.

В частности, в приемнике сигнал регистрируется и оцифровывается на предопределенной частоте за предопределенный период времени, соответствующий, по меньшей мере, двум повторам периодически повторяющихся последовательностей (двум кадрам). Один из множества передатчиков является гипотетическим и обеспечивается набор выборок опорной частоты, соответствующий гипотетическому передатчику. Первое подмножество оцифрованных данных выбирается из длительности, по меньшей мере, равной двум кадрам, таким образом, определяя блок данных. Затем из этого блока вычисляется набор выборок частоты данных, например, посредством использования методик преобразования Фурье.

Первая остаточная частота является гипотетической, а затем выборки частоты данных сокращаются, в зависимости от гипотетической первой остаточной частоты, для обеспечения периодически разнесенного первого подмножества выборок частоты данных. Затем обрабатывается первое подмножество выборок частоты данных и выборок опорной частоты (обычно с умножением и процедурой обратного быстрого преобразования Фурье (FFT)) для обеспечения первой серии данных корреляции.

Затем эта процедура может быть повторена на дополнительных блоках данных (обычно непрерывных), и множество подобно найденных корреляционных серий могут быть совместно обнаружены и добавлены для формирования конечной корреляционной серии. Затем в этой последней серии выполняют поиск для идентификации соответствия сигнала, обычно посредством поиска сильного пика в конечной корреляционной серии. Если соответствующий сигнал найден, то смещение сдвига кода определяется из конечной серии данных корреляции; однако, если соответствующий сигнал не найден, то другая остаточная частота может быть гипотетической, а затем процесс повторяется, обычно используя аналогичные наборы выборок частоты данных и выборок опорной частоты, для поиска соответствия сигнала. Подобная обработка выполняется до нахождения соответствия сигнала или до того, пока не будут выдвинуты гипотезы об остаточных частотах без соответствия гипотезы о том, что сигнал от гипотетического передатчика не может быть обнаружен.

Как правило, существует множество передатчиков, которые могут находиться в поле зрения приемника, и этот процесс может быть повторен для каждого из этих передатчиков для идентификации сигналов и, если возможно, определения смещения сдвига кода от каждого передатчика.

Могут быть выполнены множество других вариантов осуществления. В одном варианте осуществления этап сокращения дополнительно содержит этап выбора подмножества выборок частоты данных, причем подмножество включает в себя множество выборок, имеющих индексы, размещенные с интервалами относительно друг друга посредством целого числа K, причем K представляет собой число кадров

последовательности PN в блоке данных.

Следует отметить, что в данном документе мы иногда используем терминологию «последовательность PN» или «кадр PN» для F(t), повторяющегося набора кадров последовательности PN, что не является строго правильным, поскольку последовательность PN фактически является последовательностью чисел, которая используется для формирования модулирующего сигнала несущей, таким образом образуя колебательный сигнал F(t). Однако из контекста должно быть ясно, используется ли «последовательность PN» для обозначения того, что колебательный сигнал модулирован посредством последовательности PN F(t) или непосредственно последовательности.

В другом варианте осуществления способ дополнительно содержит этап умножения подмножества выборок частоты данных на набор выборок опорной частоты для формирования набора взвешенных выборок частоты.

Выборки опорной частоты получают с помощью любого подходящего способа, например, приемник может выполнить операцию дискретного преобразования Фурье (DFT) за один или несколько периодов периодически повторяющихся последовательностей для определения выборок опорной частоты, причем выборки опорной частоты могут быть предварительно вычислены для каждого передатчика и сохранены в приемнике, или же выборки опорной частоты могут быть загружены с описанного в данном документе сервера, например, PDE.

Этап выполнения операции корреляции может включать в себя этап выполнения обратного дискретного преобразования Фурье с набором взвешенных выборок частоты для формирования серии данных корреляции.

Каждый блок данных может иметь размер, который соответствует целому числу повторов периодически повторяющихся последовательностей, равному 2 или более, например, 5, 10, 20 или более. Блок данных в некоторых вариантах осуществления может иметь размер, находящийся в пределах диапазона приблизительно 5-20 повторов периодически повторяющихся последовательностей. В других вариантах осуществления блок данных может иметь размер порядка 100 таких повторов.

Вышеупомянутый способ может быть осуществлен в подходящих аппаратных средствах, и/или программном обеспечении в приемнике, и/или на одном или нескольких серверах в беспроводной сети. Например, некоторые функции могут быть осуществлены в приемнике, а некоторые функции могут быть осуществлены в логическом объекте определения местоположения (PDE).

Раскрытые в данном документе устройство и способ особенно полезны для вспомогательных систем GPS («A-GPS»), в которых не синхронизирована система связи, обеспечивающая вспомогательной информацией приемник GPS, как в случае со стандартами сотовой связи GSM и UMTS. Несмотря на то, что в синхронизированных системах связи, например, стандарта CDMA2000, требования, наложенные на поиск сдвига кода, очень ослаблены, все еще существует выгода от использования обсуждаемых здесь улучшенных алгоритмов.

Краткое описание чертежей

Далее сделана ссылка на сопроводительные чертежи, на которых изображено следующее:

Фиг.1 - перспективный вид системы связи и определения местоположения, которая включает в себя спутники, испускающие сигналы GPS, которые принимаются приемником GPS в мобильной станции, которые взаимодействуют с множеством базовых станций;

Фиг.2 - блок-схема одного варианта осуществления мобильной станции, включающей в себя приемник GPS и сотовую систему связи;

Фиг.3 - блок-схема, которая иллюстрирует описанный в данном документе процесс когерентного интегрирования;

Фиг.4 - блок-схема, которая иллюстрирует структуру и компоненты колебательного сигнала теоретического сигнала GPS;

Фиг.5 - диаграмма, которая изображает спектр мощности в качестве функции частоты сигнала GPS (Золотой код #1 в этом примере), повторенной 20 раз, и с остаточной несущей частотой f_e=0;

Фиг.6 - диаграмма, подобная изображенной на Фиг.5, изображающей спектр мощности в качестве функции частоты сигнала GPS (Золотой код #1 в этом примере), повторенной 20 раз, но с остаточной несущей частотой, приблизительно равной 4,5 кГц;

Фиг.7 - диаграмма одного примера результатов операции по фильтрации соответствия, изображающая амплитуду в качестве функции частоты;

Фиг.8A, 8B и 8C - набор диаграмм, сравнивающих результаты операций по согласованной фильтрации для отличия гипотез доплеровской частоты;

Фиг.9 - диаграмма, которая изображает набор частоты данных, который представляет частотный спектр, типичный для фактических данных; и

Фиг.10 - таблица, которая изображает подмножества выборок частоты данных, соответствующие смещениям гипотетической частоты, иллюстрирующие способ, как определяются подмножества для частотной селекции гипотетической остаточной частоты.

Фиг.11 - блок-схема, которая иллюстрирует обработку, включающую в себя объединение результатов множества процессов когерентного интегрирования.

На различных фигурах одинаковые ссылочные номера обозначают одинаковые или аналогичные части.

Осуществление изобретения

Фиг.1 иллюстрирует среду GPS, которая включает в себя множество спутников 11 GPS (SV). Несмотря на то, что среда GPS уже описана, система, описанная в данном документе, может быть осуществлена в любой системе определения местоположения (позиционирования). Спутники 11 испускают сигналы 12 GPS, которые принимаются множеством наземных базовых станций 10, которые являются частью сети связи, и мобильной станцией (MS) 14, взаимодействующей с базовыми станциями. Мобильная станция 14 (MS) включают в себя приемник GPS и систему двухсторонней связи для связи с базовыми станциями, используя сигналы 20 двухсторонней связи. Приемник GPS может быть осуществлен в широком разнообразии вариантов осуществления мобильных (станций) (исключая сотовые телефоны), которые сообщаются с одной или несколькими базовыми станциями. Пользователь 13, владеющий мобильной станцией (MS) 14, которая может быть помещена в широкое разнообразие сред, может быть неподвижным или находиться в движении.

Спутники 11 GPS (SV) включают в себя группу спутников, передающих сигналы, которые используются для определения местоположения приемника GPS. Спутники синхронизируются для отсылки радиосигналов 12, фазированных ко времени GPS. Эти сигналы формируются на предопределенной частоте и в предопределенном формате. В текущем осуществлении GPS каждый спутник (SV) передает гражданский тип сигнала GPS на полосе частот L1 (на 1575,42 МГц), отформатированный в соответствии со стандартами GPS. При обнаружении сигналов GPS посредством

обычного приемника GPS в мобильной станции (MS) система GPS вычисляет псевдодальности для каждого из спутников GPS, из которых может быть вычислено местоположение мобильной станции (MS).

Псевдодальность определяется как: $c\cdot(T_{user}-T_{sv})+cT_{bias}$, где c - скорость света, T_{user} - время GPS, когда сигнал был принят от данного спутника (SV), T_{sv} - время GPS, когда спутник передал сигнал, а T_{bias} - ошибка в часах местного времени пользователя, обычно присутствующих в приемнике GPS. Иногда псевдодальность определяется с пропуском константы «c». В общем случае приемник должен решить четыре неизвестные: X, Y, Z (координаты антенны приемника) и T_{bias}. Решение этих четырех неизвестных обычно требует измерений от четырех других спутников (SV); однако, при определенных обстоятельствах, это ограничение может быть ослаблено. Например, если доступна точная оценка высоты, то количество необходимых спутников (SV) может быть сокращено с четырех до трех. В процессе работы A-GPS T_{sv} не обязательно доступен приемнику, и вместо обработки истинных псевдодальностей приемник полагается прежде всего на сдвиги кода. В текущем осуществлении GPS сдвиги кода имеют погрешности измерения времени, равные одной миллисекунде, так как коды PN повторяются каждую миллисекунду. Иногда могут быть установлены границы бита данных, таким образом производя только погрешности измерения времени, равные 20 миллисекундам.

Базовые станции 10 содержат любую коллекцию базовых станций, используемых в качестве части сети связи, которая сообщается с мобильной станцией (MS) 14, используя радиосигналы 20. Базовые станции связаны с инфраструктурой сотовой сети 15, которая предоставляет услуги связи с множеством других сетей связи, таких как телефонная система (сеть) 16 общего пользования, вычислительные сети 17, например, Интернет, логический объект 18 определения местоположения (PDE) и разнообразие других систем связи, которые совместно показаны в блоке 17a. Опорный приемник GPS (или приемники) 19, который может находиться внутри или около базовых станций 10, или в любом другом подходящем местоположении, сообщается с PDE 18 для обеспечения полезной информацией в определении местоположения, например, информацией о местоположении спутника (SV) (эфемериды).

Наземная инфраструктура сотовой сети 15 обычно предоставляет услуги связи, которые позволяют пользователю сотового телефона соединяться с другим телефоном по телефонной системе 16 общего пользования. Однако базовые станции также могут быть использованы для соединения с другими устройствами и/или для других целей связи, например, для Интернет-подключения с портативным «карманным» компьютером (PDA). Например, базовые станции 10 могут быть частью сети связи GSM, однако они также могут быть использованы в других типах сетей связи синхронной (например, CDMA2000) или асинхронной передачи.

Фиг.2 - блок-схема одного варианта осуществления мобильного устройства 14, соединенного с системой связи и определения местоположения. Система 22 двухсторонней связи, например сотовая система связи, связана с антенной 21, которая обменивается информацией, используя сигналы 20 сотовой связи. Сотовая система 22 связи может включать в себя подходящие устройства, например, модем 23, аппаратные средства и программное обеспечение для сообщения с и/или сигналами 20 обнаружения от базовых станций и обработки переданной или принятой информации.

Система 27 определения местоположения GPS в мобильной станции (MS) соединена с антенной 28 GPS для приема сигналов 12 GPS, которые передаются на идеальной

частоте GPS или близкой к ней. Система 27 GPS содержит приемник 29 GPS, который включает в себя схему смещения частоты и аналого-цифровой преобразователь, часы GPS, логику управления для управления желаемыми функциями приемника GPS, и подходящие аппаратные и программные средства для приема и обработки сигналов GPS и для выполнения вычислений, необходимых для определения местоположения, использующих подходящий алгоритм определения местоположения. В иллюстрированном варианте осуществления, в системе определения местоположения аналого-цифровой преобразователь соединен с буферной памятью, а буферная память соединена со схемой дискретного преобразования Фурье (DFT) для обеспечения и сохранения данных в течение операции дискретного преобразования Фурье (DFT). В некоторых осуществлениях A-GPS конечные вычисления определения местоположения (например, широта и долгота) могут быть выполнены на удаленном сервере, на основании сдвигов кода и другой информации, отосланной с приемника GPS на удаленный сервер. Некоторые примеры систем GPS раскрыты в Патентах США № 5841396, 6002363 и 6421002.

Часы GPS предназначены для поддержки точного времени GPS, однако, так как зачастую точное время не доступно до установления местоположения, это является установившейся практикой для поддержки времени в программном обеспечении часов GPS посредством его гипотетического значения и неточности, связанной с этим значением. Может быть отмечено, что после установления точного местоположения GPS время GPS зачастую будет точно известно (в пределах неточности, равной нескольким десяткам наносекунд в текущих осуществлениях GPS). Однако, после завершения конечного вычисления определения местоположения на удаленном сервере, это точное время может быть доступным только на сервере.

Система 25 управления мобильным устройством соединена и с системой 22 двухсторонней связи и с системой 27 определения местоположения. Система 25 управления мобильным устройством включает в себя любую соответствующую структуру, например, один или несколько микропроцессоров, память, другие аппаратные средства, встроенное программное обеспечение и программное обеспечение для обеспечения соответствующими функциями управления соединенной с ними системы. Описанные в данном документе этапы обработки могут быть осуществлены любым подходящим способом.

Система 25 управления соединена с пользовательским интерфейсом 26, коорый включает в себя любые подходящие компоненты для интерфейсного взаимодействия с пользователем, например, вспомогательную клавиатуру, микрофон/динамик для услуг (служб) речевой связи, и дисплей, например, жидкокристаллический дисплей с задней подсветкой. Система 25 управления мобильным устройством и пользовательский интерфейс 26 соединены с системой 27 определения местоположения и обеспечивают подходящими функциями ввода-вывода приемник GPS и систему двухсторонней связи, например, управлением пользовательского ввода и представлением результатов.

Далее, со ссылкой на Фиг.3 и другие фигуры, описан пример способа когерентной обработки. Фиг.3 - блок-схема, которая изображает серию этапов, выполняемых в мобильной станции для обработки принимаемого сигнала GPS для идентификации того, действительно ли он соответствует гипотезе, которая выбирает код GPS и смещение несущей частоты. Алгоритм может исследовать все возможные смещения сдвига кода (например, 1023 смещения) для попытки найти соответствие смещения сдвига кода для выбранного кода GPS. Затем алгоритм когерентной обработки

повторяется для каждого кода GPS, который может находиться в поле зрения мобильной станции. Дополнительная некогерентная обработка может быть добавлена к алгоритму, изображенному на Фиг.3, для дополнительного улучшения чувствительности. Для простоты, эта добавленная сложность обсуждается позже со ссылкой на Фиг.11.

На Фиг.3, на этапе 30 обозначена операция для наблюдения сигнала GPS. По существу, приемник принимает электромагнитную энергию с несущей частотой, близкой к несущей частоте GPS, с гипотезой о том, что сигналы GPS присутствуют и являются обнаружимыми. Сигнал GPS (если они присутствуют) наблюдаются в течение времени, по меньшей мере, периода T_c, периода времени, за который блок данных берется для когерентной обработки (T_c также может упоминаться как «период блока данных» или время когерентного интегрирования (обработки) сигнала).

При отсутствии помех функциональная форма сигнала GPS s(t) теоретически может быть представлена в любое время t следующим образом:

$$s(t)=Ad(t)P(t)\exp(j2\pi ft+\phi) \quad (A1)$$

где A - амплитуда сигнала, d(t) - последовательность данных, имеющая относительно низкую скорость передачи (например, 50 бод), которая модулирует несущую (например, посредством двухпозиционной фазовой манипуляции), P(t) - колебательный сигнал, состоящий из набора повторения кадров последовательности PN F(t), f - несущая частота (которая является идеально равной f_0), а ϕ - фаза несущей. Например, если скорость передачи (например, элементов сигнала) равна 1,023 МГц, F(t) имеет длину, равную 1023 элементам сигнала, о, следовательно, скорость передачи кадров PN должна быть равна 1 кГц, а P(t) иметь длину, равную K□1023 элементам сигнала.

Может быть отмечено, что уравнение (A1) - сложное представление несущей, которое может быть полезно при использовании выборочных методов квадратуры для обработки сигнала, разумеется, что могут использоваться и другие представления в качестве соответствующих. В реальной окружающей обстановке должно быть признано, что различные параметры могут не быть полностью постоянны, но для объяснительных целей мы предполагаем, что амплитуда сигнала и различные скорости модуляции являются приблизительно постоянными.

Фиг.4 - диаграмма, которая представляет структуру идеального сигнала GPS, описанного в уравнении (A1). Сигнал GPS формируется из серии кадров PN, отмеченных ссылочным номером 45, каждый из которых включает в себя колебательный сигнал F(t) 46, который двухфазно модулирован, согласно специфической шумоподобной (или «PN») последовательности и несущей частоте 47. Индивидуальный повтор F(t) называется «кадром PN». Каждый кадр PN имеет предопределенный период T_r. Под ссылочным номером 48 изображены данные перехода последовательности данных d(t), встречающиеся в начале одного из иллюстрированных кадров PN, однако в связи с тем, что последовательность данных d(t) имеет относительно низкую скорость передачи, данные 48 перехода встречаются только один раз в 20 кадров PN (для кодов C/A американской GPS) и поэтому данные перехода могут встречаться или не встречаться в начале произвольно выбранного кадра PN.

Каждый спутник GPS (SV) передает уникальный колебательный сигнал F(t) кадра PN, отмеченный ссылочной позицией 46, который является серией элементов сигнала, передающихся на предопределенной скорости. Колебательные сигналы PN

отличаются от друг друга по специфической последовательности PN, используемой для двухпозиционной фазовой манипуляции несущей. Например, эти последовательности могут быть выбраны из набора Золотых кодов в колебательных сигналах C/A американской системы GPS.

В одном примере скорость передачи элементов сигнала равна 1,023 МГц и, следовательно, скорость передачи кадров PN равна приблизительно 1 кГц. Колебательный сигнал F(t) повторяется непрерывно, например, первый код от первого спутника SV_1 многократно передает уникальную последовательность $F_1(t)$, SV_2 многократно передает уникальную последовательность PN $F_2(t)$ и т.д. Приемник GPS запрограммирован с уникальными последовательностями PN для всех спутников GPS, которые могут находиться в поле зрения. Эти последовательности PN могут быть использованы в алгоритме для идентификации конкретного спутника, в частности, когда спутниковый сигнал принят в приемнике GPS, последовательность PN используется для идентификации спутника, который передал принятый сигнал. Однако первоначально приемнику GPS не известен фактический момент принятого сдвига кода, который, как описано выше, может находиться в пределах всего кадра PN (например, период, равный одной миллисекунде или 1023 элементам сигнала). Кроме того, приемнику не известно, является ли сигнал GPS, связанный с конкретным кодом PN, обнаружимым, так как он может быть ослаблен посредством различных преград и/или, возможно, фактом не нахождения конкретного спутника SV в поле зрения. Следовательно, приемник должен производить последовательный или параллельный поиск по диапазону момента неопределенности в попытке обнаружить гипотетический сигнал и синхронизировать момент принимаемого кадра GPS с моментом локально сформированного опорного кадра.

В реальных условиях эксплуатации GPS приемник GPS одновременно принимает множество сигналов, подобных теоретическому сигналу, определенному в уравнении (A1), каждый из которых имеет уникальную последовательность PN F(t). Например, в типичной ситуации приемник GPS обычно принимает 8-12 сигналов от множества находящихся в поле зрения спутников в любое время и различные параметры, отличающиеся друг от друга из-за различных длин пути, направления прибытия и, например, сдвиги доплеровской частоты. В иллюстративных целях сначала обсуждается обработка одного из сигналов теоретической формы уравнения (A1), сопровождаемая демонстрацией того, как могут быть использованы описанные в данном документе алгоритмы обработки для обработки множества сигналов, каждый из которых имеет теоретическую форму уравнения (A1).

Когда сигналы GPS достигают приемника, они зачастую сильно искажаются посредством аддитивного шума, и возможно также искажаются посредством другого шума или помех. Кроме того, может казаться, что несущая частота и скорость передачи элементов сигнала немного сдвинуты от ее первоначального значения, прежде всего посредством доплеровских эффектов. Таким образом, несущая частота может быть незначительно сдвинута, как наблюдается посредством приемника в мобильной станции (MS), из-за движения спутника (SV) и мобильной станции (MS), и, поэтому, когда приемник принимает сигнал, фактически принятая несущая частота может изменяться от ее идеальной предопределенной несущей частоты f_0 посредством величины, названной «остаточной частотой». Кроме того, ошибки в гетеродине мобильной станции (MS) также заставляют несущую частоту изменяться от ее идеальной частоты.

Возвращаясь снова к Фиг.3, на этапе 31 несущая частота «удаляется» из

сигнала GPS посредством подходящей схемы смещения частоты, оставляя остаточную частоту f_e. Для удаления несущей частоты обычно сигнал GPS сначала преобразовывают в промежуточную частоту (IF) посредством преобразователя частоты, затем обрабатывают для сокращения оставшегося компонента IF для приблизительного обнуления посредством любой подходящей аналоговой или цифровой методики. Например, частота IF может быть приблизительно удалена посредством другого преобразователя частоты или после преобразования GPS в цифровой сигнал в аналого-цифровом преобразователе могут быть использованы смешанные методики цифровой обработки. В некоторых осуществлениях схема преобразования частоты может обеспечить конечную частоту, имеющую малоизвестное смещение частоты плюс вышеупомянутую остаточную частоту. Так как это малоизвестное смещение частоты является известной постоянной, последующая обработка нужна только для определения остаточной частоты. Для простоты, в нижеследующем обсуждении мы предполагаем, что это малоизвестное смещение равно нулю. Однако обсуждаемые в данном документе способы и устройство одинаково применимы к случаю, в котором такое известное смещение является отличным от нуля.

Как правило, остаточная частота возникает прежде всего из-за доплеровских эффектов. Кроме того, сам приемник может ввести небольшой сдвиг частоты в течение обработки сигнала. Сумма этих двух ошибок от идеальной несущей частоты может быть представлена посредством определенного максимального допустимого отклонения (Δf). Поэтому фактическая принятая несущая частота обычно находится в пределах диапазона $f_0 \pm \Delta f$. Остаточная частота f_e, которая равна частоте, оставшейся после попытки приемника сократить первоначальную несущую к нулю, обычно находится в диапазоне от нескольких сотен герц до нескольких килогерц, несмотря на то, что остаточная частота может быть большей или меньшей в любом конкретном наборе обстоятельств.

В системах A-GPS прогнозируемое исправление по доплеровской частоте для всех сигналов GPS передается (от одного к другому) от PDE на приемник GPS, а список спутников GPS, которые могут находиться в поле зрения, также посылают приемнику для того, чтобы приемник GPS мог более эффективно производить поиск спутниковых сигналов. Прогнозируемый поток данных можно также обеспечить посредством PDE.

В своей памяти приемник сохраняет коды PN (или их представление, например дискретное преобразование Фурье этих кодов), соответствующие всем спутникам GPS, которые могут находиться в его поле зрения.

На этапе 32 обрабатываемый сигнал GPS оцифровывается (то есть выбирается) за предопределенный период времени в аналого-цифровом преобразователе (если он не был предварительно преобраован), а затем сохраняется в буферной памяти в приемнике GPS. Не существует теоретического ограничения в размере набора данных или скорости выборки данных, хотя иногда выгодно, чтобы скорость выборки была кратной числу 1,024 МГц и чтобы размер набора данных был кратным числу 1024. Поэтому сигнал уравнения (A2) предположительно является выбранным (дискретизированным) сигналом, где скорость выборки может быть установлена равной 1,024 или 2,048 МГц, так, для того чтобы 1024 или 2048 выборок произошли за период кадра PN, равный одной миллисекунде. Из-за ошибок, вызванных доплеровским смещением, эта скорость выборки не совсем равна скорости передачи элементов сигнала или двойной скорости передачи элементов сигнала. Одной причиной для выбора этой скорости выборки является то, что, если выборка

выполняется на 1024 или 2048 МГц, то получающееся число выборок за период кадра, равный одной миллисекунде, является квадратичной мощностью, что является удобным для эффективной обработки быстрого преобразования Фурье (FFT). Таким образом, один кадр данных является кратным 1024 выборкам и имеет удобный размер для эффективного быстрого преобразования Фурье (FFT), а полный размер набора данных (для когерентной обработки) также является кратным 1024 и второй степени этой длины. Это ограничение, однако, не является существенным, так как существуют эффективные алгоритмы для случая, когда число выборок на кадр не является кратным второй степени.

На этапе 33 блок данных для когерентной обработки определяется посредством выбора части сохраненных цифровых данных за предопределенный период T_c когерентной обработки. Период времени, за который данные объединяются для когерентной обработки, обычно выбирается для того, чтобы включить в себя большое, целое число кадров PN (например, 20 кадров PN). Однако блок когерентной обработки не должен быть выбран слишком длинным, так как стабильность остаточной несущей частоты f_c и другие эффекты многолучевого распространения (и, возможно, другие факторы) за долгие периоды времени могут ограничить или предотвратить повышение эффективности. Как обсуждается, может быть выгодно выбрать T_c точным числом, кратным одному периоду T_r кадра PN.

На Фиг.4 сигнал GPS наблюдается за время T_c, которое определяет блок данных, например, первый блок данных 49a или второй блок данных 49b, а время T_c выбирается так, чтобы блок данных имел целое число кадров PN 45. В связи с тем, что фактический блок данных принимается без предварительной осведомленности о начале кадра PN, то начало и конец блока данных могут быть расположены где угодно в пределах границ кадра PN. Например, посредством совпадения блок данных может продлеваться с начала первого кадра PN до конца последнего кадра PN, как показано ссылочным номером 49a (смещение сдвига кода равно нулю), но более вероятно, что блок данных будет продлеваться произвольно с, приблизительно, середины первого кадра PN до приблизительно середины кадра, следующего за последним целым кадром PN (как показано ссылочным номером 49b), так, чтобы смещение сдвига кода не было равно нулю. Как будет объясняться со ссылкой на изображенные на Фиг.3 этапы 39-42, например, смещение сдвига кода может быть определено, используя операцию по согласованной фильтрации.

На Фиг.3, на этапе 34 последовательность данных опционально удаляется. После удаления последовательности данных d(t) и преобразования теоретического сигнала уравнения (A1) к частоте, близкой к групповому спектру, оставшийся сигнал $S_b(t)$, игнорирующий шум и помехи, имеет форму:

$S_b(t)=AP(t)\exp(j2\square f_e t+\square)$ (A2)

где f_e - остаточная частота после преобразования несущей частоты в близкий групповой спектр.

Несмотря на необязательную возможность, удаление последовательностей данных d(t) перед обработкой может быть полезно. Для помощи в удалении последовательности данных в некоторых системах A-GPS прогнозируемые последовательности данных d(t) отсылают (например, с сервера) на приемник GPS совместно с несколькими приблизительными временами прибытия сигналов GPS. В этих случаях приемник GPS может удалить последовательность данных d(t) и, следовательно, удалить псевдослучайные инверсии полярности, которые могут

происходить каждые двадцать миллисекунд в сигнале уравнения (A1) из-за последовательности данных d(t). Посредством удаления случайных инверсий полярности (то есть посредством удаления d(t)), время когерентного интегрирования может быть увеличено до более длинных интервалов времени, чем один период бита данных, например, больше чем 100 миллисекунд. Увеличение времени когерентного интегрирования может увеличить чувствительность процесса обнаружения GPS. Как было обозначено ранее, некоторые будущие режимы GPS могут содержать сообщающие компоненты, не содержащие данных. В этих ситуациях период когерентного интегрирования не ограничивается периодом бита данных.

На Фиг.3 несущая частота была приблизительно удалена для обеспечения сигнала $S_b(t)$ уравнения (A2) с остаточной частотой f_e, а период блока T_c был выбран строго кратным периоду T_r кадра PN. Другими словами, $T_c=KT_r$, где К - число кадров за период блока. Например, T_c мог бы быть равен 100 миллисекундам, если K=100, а T_r=1 мс.

На этапе 35 блок данных когерентно обрабатывается, используя процесс преобразоваия Фурье. Этот этап можно назвать процессом «прямого преобразования». Например, быстрое преобразование Фурье (например, FFT или DFT) сигнала $S_b(t)$, выбранного за период времени T_c, может быть выполнено следующим образом:

$y(f)=FFT(S_b(t)$ от t=0 к $t=T_c)$ (A3)

Процесс прямого преобразования может быть выполнен разными способами. Один широко известный способ - прореживание по времени, другой способ - прореживание по частоте. В качестве соответствующих или полезных могут быть использованы другие быстрые алгоритмы, например z-преобразования паразитной частотной модуляции несущей или преобразования теоретических чисел.

Быстрое преобразование Фурье (FFT) произвольного сигнала (например, изображенное на Фиг.9 и обсуждаемое со ссылкой на эту фигуру) включает в себя серию выборок частоты данных, разнесенную по частоте посредством обратной величины длительности обрабатываемого блока данных. Например, если длительность (T_c) блока равна 20 миллисекунд, то выборки частоты расположены с интервалами посредством 50 Гц. Если длительность блока равна 80 миллисекунд, то выборки частоты расположены с интервалом посредством 12,5 Гц. Каждая выборка частоты данных может быть идентифицирована посредством ее частоты в Гц или, более удобно, посредством ее индекса (показателя) частоты. В частности, каждая выборка частоты данных дискретного преобразования Фурье (DFT) может быть определена с целым числом (индексом частоты), которое может, например, начинаться с нулевого индекса для нулевой частоты. Для N-точечного быстрого преобразования Фурье (FFT) индекс частоты N/2 соответствует частоте в Гц половины скорости выборки, то есть S/2. Выборки частоты с индексами N/2+1, N/2+2 и т.д. соответствуют частотам в Гц, равным $-S/2+l/T_c$, $-S/2+2/T_c$ и т.д., то есть они представляют данные, соответствующие отрицательным частотам. Если мы переупорядочиваем выборки данных посредством селекции выборки с индексами N/2, N/2+1, N/2+2... N-1,0,1,2..., N/2-1, тогда данные частоты комбинируются в порядке возрастания (в Гц), начиная с самой отрицательной частоты и заканчивая самой высокой частотой. Это переупорядочение используется, например, на Фиг.5 и 6. В сущности, индексы частоты считают циклическими для того, чтобы индекс m был эквивалентен m+N и m-N. Следовательно, индекс N/2+m эквивалентен индексу -N/2+m.

Фиг.5 - диаграмма частотного спектра теоретического бесшумного сигнала GPS, близкого к нулевой частоте (0) с вышеупомянутым переупорядочением. На Фиг.5 изображено быстрое преобразование Фурье (FFT) с появлением характеристик из-за периодического повторения последовательности PN, которая повторяется каждую миллисекунду для кода C/A американской GPS. Изображенное бесшумное быстрое преобразование Фурье (FFT) включает в сея подмножество выборок частоты данных (спектральных линий) 51 с мощной энергией, разнесенной посредством множества промежуточных выборок (не показаны) со слабой энергией. Такой спектр иногда называют спектром «гребенчатой структуры» и разнесение между последовательными мощными выборками - индексом частоты, кратным K.

В частности, изображенный на Фиг.5 спектр гребенчатой структуры - величина против частотной диаграммы спектра мощности, соответствующего Золотому коду GPS #1, повторенному 20 раз, выбранному в течение 20 миллисекунд и с остаточной несущей частотой f_c=0, нормализованной посредством наибольшей линии амплитуды (на 209 кГц, которые не показаны на графике). В этом примере серия спектральных линий с мощной энергией расположена врозь примерно до 1000 Гц (1кГц). Линия на 0.0 Гц 51a имеет амплитуду приблизительно -38db, линия на 1,0 кГц 51b имеет амплитуду приблизительно -11db, линия на 2,0 кГц 51c имеет амплитуду приблизительно -13db. Между каждой парой мощных спектральных линий присутствуют девятнадцать промежуточных линий с энергией, которая является слишком слабой в амплитуде, чтобы быть представленной на логарифмической диаграмме, изображенной на Фиг.5. Например, на этапе 51a спектральные линии присутствуют на частоте 0 Гц и 1000 герц. Спектральные линии присутствуют и на частоте 50 Гц, 100 Гц..., вплоть до 950 Гц, но имеют такую слабую энергию, что они не отображены на фигуре. Подобный анализ существует для каждой мощной пары спектральных линий. Разнесение мощных спектральных линий гребенчатой структуры, измеряемое в Гц, является равным скорости (f_r) передачи кадров. Измеренный в частоте индекс различия - это индекс K, то есть число кадров в когерентном блоке данных.

В то время как Фиг.5 изображает теоретический результат без присутствия шума, быстрое преобразование Фурье (FFT) фактического принятого сигнала, например, изображенного на Фиг.9, показало бы такой шум, что спектральные линии не были бы заметны непосредственно. В примере, изображенном на Фиг.5, средний уровень шума быстрого преобразования Фурье (FFT), которое изображено ссылочным номером 52, обычно превышает амплитуду даже самых мощных спектральных линий.

На Фиг.9, которая изображает диаграмму, иллюстрирующую частотный спектр быстрого преобразования Фурье (FFT) типичных фактических данных, включающий в себя множество выборок частоты данных, которые в общих чертах показаны ссылочным номером 90, которые совместно называют «набором частоты данных». Набор частоты данных продолжается до наибольшего индекса частоты (который соответствует частоте в Гц S-1/T_c). Разнесение частот между каждой из выборок частоты данных равняется обратной величине длительности блока (о есть обратной величине периода времени выборки 1/T_c), в связи с этим при использовании первоначального упорядочения быстрого преобразования Фурье (FFT) наибольший индекс частоты равняется STC-1.

В отличие от Фиг.5 каждая из выборок 90 частоты данных, изображенных на Фиг.9, включает в себя шум, в связи с этим большое количество энергии находится в каждом

индексе частоты, в отличие от теоретического спектра GPS, изображенного на Фиг.5, в котором только периодические спектральные линии (в индексе частоты K) имеют большое количество энергии. Другими словами, из-за шума амплитуда спектральных линий, связанных с принимаемым сигналом GPS, будет ниже шумового уровня и поэтому не будет непосредственно заметна. Как заявлено иначе, в быстром преобразовании Фурье (FFT) фактических данных средний уровень шума энергии может быть аналогичным во всех частотных линиях, и поэтому спектр гребенчатой структуры, изображенный на Фиг.5, не будет заметен и останется неизвестным до последующей обработки.

Возвращаясь к Фиг.3, на этапе 36a создаются первоначальные гипотезы для начала алгоритма. Должно быть отмечено, что приемник GPS одновременно принимает множество сигналов, подобных определенному в уравнении (A1) теоретическому сигналу, каждый из которых имеет уникальную последовательность PN F(t), и поэтому каждый обеспечивает уникальное быстрое преобразование Фурье (FFT) этой последовательности PN. Например, в типичной ситуации, приемник GPS обычно в любое время принимает 8-12 сигналов от множества спутников, находящихся в поле зрения, но многие из тех сигналов могут быть слишком слабыми для обнаружения. Поэтому существует неопределенность (неточность), относительно которой спутники обеспечивают подлежащий приему сигнал, и, кроме того, даже если обнаружимо смещение сдвига кода любого подлежащего приему сигнала, которое определяет время прибытия, априори является неизвестным.

На этапе 36a выбирается или «предполагается» определенный спутник, который может находиться в поле зрения. Выбор любого конкретного спутника может быть случайным или может быть основан на любой подходящей информации, такой как хронология (история) или список, обеспеченный посредством PDE. Как будет обсуждаться ниже, код PN для выбранного спутника проверяется по множеству гипотез частоты (в диапазоне, обычно определяемом приемником), по меньшей мере, пока соответствие не будет найдено или все гипотезы не будут исчерпаны, а затем на этапе 36c выбирается следующий спутник и соответствующий код PN проверяется по множеству гипотез частоты и так далее, пока все спутники-кандидаты не будут выбраны или пока сигналы от достаточного количества спутников, не будут найдены для завершения установления местоположения.

Также на этапе 36a строится начальная гипотеза относительно остаточной частоты. Если достаточная информация доступна приемнику GPS (например, было установлено предшествующее местоположение или доступны оцененные исправления по доплеровской частоте), то может быть построена эта начальная гипотеза и последующие гипотезы на основании этой информации. Если информация не доступна, то может быть сделана лучшая гипотеза и начат поиск.

На Фиг.3, на этапе 37, выполняется преобразование Фурье кода GPS, соответствующего гипотетическому спутнику. Этот код, который может быть локально сформирован или заранее вычислен и сохранен, иногда называют «опорным» кодом. Эти коды GPS широко известны, и они подходят для предварительного вычисления и сохранения значений для каждого кода GPS в приемнике GPS. Затем эти коды GPS могут быть обработаны преобразованием Фурье или до или после сохранения в приемнике GPS. Например, преобразование Фурье (например, быстрое преобразование Фурье (FFT) или дискретное преобразование Фурье (DFT)) может быть выполнено на наборе контрольных данных, состоящем из повторений K последовательности PN F(t), обозначенном P(t), следующим образом:

$B(f)=FFT(P(t))$ от $t=0$ до $t=KT_r=T_c$) (A4)

Результатом будет спектр гребенчатой структуры, включающий в себя серию равномерно-раздельных линий подобно примеру, изображенному на Фиг.5, который можно назвать «выборками опорной частоты». Только каждый К-я выборка частоты B(f) является отличной от нуля, этот факт сокращает необходимое сохранение после того, как отличные от нуля значения будут нуждаться в сохранении.

Однако, вероятно, будет более эффективно предварительно вычислить преобразование Фурье повторяемой последовательности P(t), а затем сохранить только отличные от нуля обработанные с помощью преобразования Фурье значения для каждого кода GPS, чтобы позволить быстрое использование всякий раз по требованию. Легко заметить, что эти отличные от нуля значения могут быть получены из преобразования Фурье F(t), а не P(t), этот факт может сократить нагрузку вычисления. Обычно достаточно вычислить быстрое преобразование Фурье (FFT) только одного повторения F(t), а не повторений К, как было обозначено в уравнении (A4), так как быстрое преобразование Фурье (FFT) повторяемой последовательности может быть получено из этого укороченного быстрого преобразования Фурье (FFT). К тому же контрольный код GPS, как обычно предполагают, имеет смещение сдвига кода нуля и смещение несущей частоты нуля и, следовательно, должен быть сосредоточен на 0,0 Гц и должен быть похож на графическое описание Фиг.5, а не Фиг.6.

Тонкость в вышеупомянутом вычислении касается факта того, что код PN американской GPS имеет длину, равную 1023, а предпочтительный размер быстрого преобразования Фурье (FFT) является мощностью двух, обычно или 1024, или 2048 в этом обсуждении. Если предварительное вычисление быстрого преобразования Фурье (FFT) выполнено, то соответствующая процедура для создания быстрого преобразования Фурье (FFT) соответствующего размера, соответствующая скорости выборки, равной 1,023 МГц, должна выполнить 1023 точечное быстрое преобразование Фурье (FFT) опорной и добавленной дополнительной выборки нулевой величины между индексами 512 и 513. Подобным образом соответствующая процедура для создания быстрого преобразования Фурье (FFT) соответствующего размера, соответствующая скорости выборки, равной 2,046 МГц, должна выполнить 2046 точечное быстрое преобразование Фурье (FFT) опорной PN (выбранной до двух выборок на элемент сигнала) и добавить две дополнительные выборки нулевой величины между индексами 1024 и 1025. Эти процедуры являются методами интерполяции, выполняемые в частотной области, и являются более эффективными при вычислении, чем выполнение эквивалентного способа повторной выборки во временной области. В любом случае быстрое преобразование Фурье (FFT) повторяемой контрольной последовательности может быть вычислено посредством простой вставки соответствующего числа выборок нулевой величины между каждой из выборок опорной частоты, соответствующих быстрому преобразованию Фурье (FFT) одного кадра PN.

В блоке 35 при первоначальном вычислении выборки частоты данных в процессе быстрого преобразования Фурье (FFT) остаточная частота неизвестна. Для точного и эффективного обнаружения сигнала GPS эта неизвестная остаточная частота должна быть найдена. Для определения остаточной частоты может быть использован процесс «проб и ошибок», в котором серия остаточных частот является гипотетической, выполнены вычисления для каждой гипотезы и анализированы результаты для поиска соответствия. Должно быть признано, что число гипотез может быть увеличено

больше, а время обработки увеличивается с числом проверяемых гипотез.

На этапе 38 выбирается подмножество обеспеченных на этапе 37 выборок частоты данных, то есть «сокращается» в ответ на остаточную гипотетическую частоту. Как показано и обсуждается со ссылкой на Фиг.5, идеальный сигнал GPS P(t) имеет спектр гребенчатой структуры с периодическим разносом частот (частоным интервалом) f_r, который является интервалом частоты быстрого преобразования Фурье (FFT), умноженным на число выборок в блоке, то есть $(1/T_c)\square K=f_r$. Поскольку этот спектр гребенчатой структуры имеет выборки, отличные от нуля, которые занимают только часть фактических выборок частоты данных, возможно сокращение в сложности и требованиях времени на поиск частоты. Как было предварительно отмечено, разнос частот F_r, выраженный в Гц, равен скорости передачи кадров PN. Выраженный в индексах разнос частот равен числу повторяемых кадров PN (K) в блоке данных.

Например, ссылаясь снова на Фиг.9, если K=20, то выборки частоты данных, соответствующие остаточной гипотетической частоте, могут быть выбраны посредством выбора специфической группы спектральных линий, такой как 92a или 92b. Впоследствии P(t) имеет спектр гребенчатой структуры, что делает групповой узкополосный бесшумный принимаемый сигнал $s_b(t)$ (см. уравнение A2), в связи с тем, что он содержит версию смещенной частоты P(t). Однако фактические линии гребенчатой структуры s_b не расположены в точных однотипных множествах 1 кГц, но смещены посредством остаточной частоты (см. Фиг.6), которая должна быть определена.

Если частота выборки равна 1,024 МГц, размер блока равен 20 мс, и в блоке присутствуют 20 последовательностей PN, то присутствуют только 1024 линии дискретного преобразования Фурье (DFT) P(t) с заметной энергией, так как интервал смежных линий гребенчатой структуры принимаемого сигнала равен 1 кГц. Это разнесение гребенчатой структуры ограничивает подмножество только 1024 линиями частоты данных, и поэтому соответственно в последующей обработке может использоваться сокращенный размер обратного быстрого обратного преобразования Фурье (FFT).

В другом примере, если частота выборки равна 2,048 МГц, то присутствуют 2048 линии гребенчатой структуры отличного от нуля значения, вновь с интервалом частоты гребенчатой структуры, равным 1,0 кГц, но теперь энергия распространяется по большей полосе пропускания в 2,048 МГц. Нет необходимости для выборки на скорости, которая является кратной частотному разнесению (например, 1,0 кГц), и при этом не является необходимостью, чтобы скорость выборки являлась мощностью двух раз 1,0 кГц, спектр гребенчатой структуры для $S_b(t)$ остается. Однако желательно, чтобы полный период T_c выборки был кратным одной миллисекунде для достижения истинной периодической свертки. Даже это требование может быть освобождено от, как обсуждается ниже, вероятной некоторой эффективности или снижения скорости.

Фиг.6, которая подобна Фиг.5, представляет собой диаграмму спектра мощности примера спутника GPS (код #1), повторенного 20 раз, но с остаточной несущей частотой, равной приблизительно 1,5 кГц (то есть f_e=1,5 кГц), и со спектром, нормализованным посредством наибольшей линии амплитуды (происходящим на 209 кГц). Сравнение Фиг.5 и 6 показывает наличие спектра гребенчатой структуры в обоих случаях, а также показывает, что спектр, изображенный на Фиг.6, просто смещен по отношению к спектру, изображенному на Фиг.5, посредством остаточной

частоты f_c, которая в этом примере равна приблизительно 1500 Гц. Следовательно, гипотеза 1500 Гц (в этом примере истинное смещение несущей частоты) приведет к надлежащему выбору набора линий частоты, содержащего энергию сигнала. Кроме того, акцентировано, что, даже если спектр сигнала GPS появляется подобно Фиг.6, он может быть затенен посредством шума, подобного изображенному на Фиг.9, который появляется в каждой выборке частоты (не только в выборках гребенчатой структуры). Но шумы, которые происходят между выборками частоты гребенчатой структуры сигнала GPS, являются несоответствующими для обнаружения сигнала GPS, так как они содержат малое количество энергии сигнала GPS. Соответственно, в целях обнаружения сигнала GPS мы должны использовать только информацию о частоте в местоположениях линий гребенчатой структуры. Как будет подробно обсуждаться ниже, каждая гипотеза частоты предписывает, чтобы был обработан другой набор возможных частот гребенчатой структуры, фактически эти различные наборы возможных частот гребенчатой структуры являются всего лишь циркулярно смещенными версиями друг друга.

Терминология «сокращение» обозначает факт того, что мы выбираем только каждую К-ю выборку из данных частоты. В предшествующем примере, где T_c был равен 20 кадрам PN, К был равен 20, то есть нам нужно выбрать только каждую 20-ю выборку данных быстрого преобразования Фурье (FFT) для использования в последующей обработке. Более широко, К является числом повторений кода PN в когерентно обрабатываемом блоке данных. Такое сокращение приводит к сокращению количества последующей обработки.

Далее будет сделана ссылка на Фиг.9 и 10. Фиг.9 - пример типичных выборок частоты данных, включающих в себя шум, который затеняет сигнал GPS; Фиг.10 - таблица, которая показывает подмножества выборок частоты данных, соответствующие положительным смещениям гипотетической частоты (для простоты объяснения), иллюстрирующим выбор каждой К-й выборки, для определения подмножества для выбора частоты остаточной гипотетической частоты. Для построения гипотезы нулевого смещения частоты мы переносим выбор к первому подмножеству 92a, которое включает в себя каждую К-ю выборку, начинающуюся с нулевого индекса частоты (A_0, A_K...), которое показано ссылочным номером 92a на Фиг.9 и 10 и соответствует строке 0, изображенной на Фиг.10. Для гипотезы дного индекса смещения частоты выбирается второе подмножество 92b, включающее в себя каждую К-ю выборку, но смещенное посредством одного индекса частоты (A_1, A_{K+1}...), который соответствует строке 1, изображенной на Фиг.10. Для гипотезы второго индекса смещения частоты выбирается третье подмножество 92c, включающее в себя каждую К-ю выборку смещения на втором индексе частоты (A_2, A_{K+2}...). Для гипотезы каждого последующего смещения частоты этот процесс, иногда называемый круговым вращением, продолжается с помощью преобразования выбранных выборок частоты данных посредством целого числа. Число смещений частоты вполне может превышать К (соответственно большее, чем скорость передачи кадров).

Набор данных частоты считается циклическим, то есть частота К является аналогичной, например, K-N и K+N. Таким образом, видно, что несколько последних выборок данных определенной строки фактически могут соответствовать первым выборкам данных первой строки. Например, в строке 92c, если К равна 2, последний индекс строки 92c будет выглядеть так: N-K+2-N=-K+2=0, а последний индекс

строки 92-d будет выглядеть так: N-K+3-N=-K+3=l. Таким образом, в этом примере последний элемент строк 92c и 92-d будет выглядеть так: A_0 и A_1 соответственно.

Подобным образом гипотеза об отрицательном смещении частоты (не показано в таблице) выдвигается посредством выбора изначальных «отрицательных частот». В качестве примера гипотеза наименьшей отрицательной частоты соответствует выбираемым данным A_1, A_{K-1}, A_{2K-1}, A_{3K-1},..., A_{N-K-1}, которые является идентичными A_{N-1}, A_{K-1}, A_{2K-1} A_{3K-1},..., A_{N-K-1}. Таким образом, первая выборка этого массива фактически является последней из выборок частоты FFT. Может быть удобным переупорядочить массив, начиная с 2, для увеличения по частоте большинства данных частоты.

На Фиг.10 столбцы определяют индекс частоты «гребенчатой структуры», то есть индекс сокращенных массивов, содержащих только элементы N/K. Каждая строка определяет значения в индексах гипотетической частоты гребенчатой структуры. Несомненно, гребенчатые структуры, начинающиеся с отрицательных смещений частоты, являются допустимыми и имеют строки, как обозначено выше.

Таким образом, информация, применимая для идентификации присутствия сигнала GPS, по существу содержится в пределах спектральных линий, которые смещены друг от друга посредством постоянной величины (1 кГц в этом примере) и смещены посредством остаточной частоты. Поэтому, после гипотезы остаточной частоты, может быть выбран набор спектральных линий (гребенчатой структуры), соответствующий тому смещению частоты, из FFT и остальных игнорируемых для последующих целей вычислеия согласованной фильтрации, соответствующих остаточной гипотетической частоте. Это сокращенное число спектральных линий может сократить количество последующих требуемых вычислений и, таким образом, сократить время обработки для каждой остаточной гипотетической частоты. Например, если используется скорость выборки S, вместо выполнения обратного быстрого преобразования Фурье (FFT) размера ST_C, как было бы иначе необходимо в операции согласованной фильтрации на этапе 39, должно быть выполнено только обратное быстрое преобразование Фурье (FFT) размера S/l кГц. Таким образом, если мы предполагаем, что T_c=128 мс, нам, возможно, обычно придется выполнять обратное быстрое преобразование Фурье (FFT) размера 128 1024, если скорость выборки была равна 1,024 МГц. Теперь, используя в своих интересах разреженность спектра (то есть факт того, что сигнал GPS имеет спектр гребенчатой структуры), мы должны вычислить только обратное быстрое преобразование Фурье (FFT) размера 1,024 МГц/1кГц (то есть 1024), экономия при обработке сильно повышает коэффициент 128 (более точно: 1,7 128). Кроме того, экономия при обработке улучшают общее время T_c когерентной обработки. Поэтому может быть замечено, что сокращение размера быстрого преобразования Фурье (FFT) связано с числом повторений последовательности PN F(t), то есть коэффициент сокращения размера быстрого преобразования Фурье (FFT) улучшен с большим числом когерентно объединенных кадров PN.

На этапе 39 выполняется операция для формирования корреляционной серии из подмножества выборок частоты данных и выборок опорной частоты (например, код GPS). Для достижения этой цели, на основании быстрого преобразования Фурье (FFT), операция согласованной фильтрации может быть выполнена следующим образом:

умножив выбранное подмножество частот данных на комплексно-сопряженное

число из FFT кода GPS (A5) и

выполнив обратное быстрое преобразование Фурье (FFT) результата уравнения A5 и выполнив операции обнаружения на этом получившемся наборе данных (A6).

Результатом будет циклическая свертка $S_b(t)$ и P(t), которая обеспечит надлежащую информацию корреляции, предполагая, что длительность $S_b(t)$ является целым числом кадров PN. Эта основная процедура требует обработки длинных наборов данных длительности T_c, то есть эта процедура требует выполнения большого размера прямого быстрого преобразования Фурье (FFT). Однако существуют эффективные способы выполнения такого большого быстрого преобразования Фурье (FFT), а также являются широко известными. Выгоды вычислений возникают от необходимости выполнения только небольшого размера обратного быстрого преобразования Фурье (FFT) благодаря процедуре сокращения. Так как многие обратные быстрые преобразования Фурье (FFT) могут нуждаться в выполнении, соответствуя многим гипотезам частоты, может быть реализована экономия при вычислении. Далее это будет математически демонстрироваться в более позднем обсуждении.

В целях объяснения, способ этапов 33-39 соответствует обработке одного блока данных когерентным способом, который является типом корреляции, которую в данном документе называют «когерентная корреляция» или «когерентная обработка». Для улучшения чувствительности результаты корреляции от множества процессов когерентной корреляции могут быть обнаружены и объединены по числу (например, от 2 до 2000 блоков, типично от 5 до 200 блоков) соседних интервалов времени для обеспечения результатов корреляции. Этот процесс называют «некогерентной корреляцией», и позже он обсуждается более подробно со ссылкой на Фиг.11.

На этапе 40, изображенном на Фиг.3, результаты корреляции (серия) анализируются для определения того, было ли найдено соответствие. Эта операция может быть выполнена в любом множестве подходящих алгоритмов, аналогичных описанным ниже.

Фиг.7 - графический пример результатов операции корреляции, выполняемой на этапе 39, изображающий амплитуду в качестве функции гипотетического сдвига кода. Результаты операции согласованной фильтрации или операции корреляции, выполняемой на этапе 39, называют «корреляционной серией». Как обсуждается ниже, множество корреляционных серий может быть объединено (когерентно и/или некогерентно) для обеспечения улучшенной эффективности. Эту комбинированную серию называют «конечной корреляционной серией», так как эта серия чисел может быть исследована для определения условия соответствия. Как показано на Фиг.7, изображенный результат является серией линий 70, соответствующих различным кодовым фазам, расположенным через равные интервалы, типично соответствующим одному элементу сигнала или половине элемента сигнала. Для определения того, действительно ли было найдено соответствие, может использоваться любой подходящий тип алгоритма поиска нахождения пика. Например, можно рассмотреть величину каждой линии. Например, если величина линии для конкретного гипотетического сдвига кода является наибольшей из всех линий и его амплитуда соответствует или превышает предопределенную пороговую величину, то может быть сделано предположение о том, что соответствие было найдено. Изображенная на Фиг.7 линия 72 кажется наибольшей, поэтому, если порог обнаружения (например, показанный ссылочным номером 74) является предопределенным порогом, то сдвиг кода линии 72 (то есть позиция 18 сдвига кода) предполагается для указания

соответствия. Могут быть использованы другие алгоритмы, аналогичные тем, которые определяют все пики, находящиеся выше заданного порога, и затем сохраняют все такие пики как потенциальные соответствия.

На Фиг.3, после этапа 40, если соответствие не было идентифицировано, то процесс переходит на этап 41. На этапе 41, если найдено большее количество остаточных частот, то на этапе 36b строится другая гипотеза, и этапы 37-40 повторяются. Однако если большее количество остаточных частот не найдено, то процесс переходит с этапа 41 на обсуждаемый ниже этап 43, на котором определяется, существует ли большее количество спутников для поиска. Если на этапе 40 было найдено соответствие, то процесс переходит на этап 42, на котором определяется смещение сдвига кода.

Как обсуждается выше, например, со ссылкой на Фиг.4, при выборе блока данных сдвиг кода не известен, то есть начало и конец периода кадра PN еще не установлены. В частности, несмотря на то, что блок данных имеет целое число кадров PN 45, исходная позиция блока данных является неизвестной и поэтому начало и конец блока данных могут находиться где угодно в пределах кадра PN. Например, блок данных может, посредством совпадения, продолжаться с начала первого кадра PN до конца последнего кадра PN, как показано с помощью ссылочного номера 49a (смещение сдвига кода равно 0), но более вероятно, что блок данных будет продолжаться от произвольно выбранной точки в пределах первого кадра PN, как показано с помощью ссылочного номера 49b, до той же самой точки в пределах кадра после последнего целого кадра PN (смещение сдвига кода не равно 0).

На этапе 42, после положительного результата поиска (то есть после того, как на этапе 40 было найдено соответствие), смещение сдвига кода определяется из результатов операции согласованной фильтрации, выполненной на этапе 39. В частности, перед операцией согласованной фильтрации известно число возможных смещений кода. В примере, раскрытом в данном документе на Фиг.7, число возможных смещений кода находится в диапазоне от 0 до 1023 (в общей сложности 1024 возможных сдвигов кода, если используется 1024-точечное быстрое преобразование Фурье (FFT)), и это число смещения сдвига кода перешагивает через интервал, равный одной миллисекунде. После операции согласованной фильтрации линия 72 (которая идентифицирует существование соответствия) также указывает смещение сдвига кода в качестве числа этапов от нуля. В примере, изображенном на Фиг.7, смещение сдвига кода находится в местоположении 18 сдвига кода, которое в этом примере сдвигается, приблизительно на 18/1024 миллисекунды. Это смещение фазы относится к фазе локально сформированных часов приемника GPS. Во многих случаях эта точность смещения фазы улучшена посредством процедуры интерполяции, которая комбинирует уровень в указанном сдвиге кода с уровнями в его окрестностях.

На этапе 43 принимается решение относительно того, действительно ли сигналы от дополнительных спутников являются доступными для поиска. Это решение принимается в соответствии с любыми подходящими критериями. Например, если сигналы от достаточного количества спутников уже найдены для установления местоположения или если список спутников, возможно находящихся в поле зрения, был исчерпан, то может быть принято решение о прекращении поиска и поэтому, как обозначено на этапе 44, выполняется операция обнаружения. Однако если выполняется поиск сигналов из большего количества спутников, то на этапе 36c выбирается следующий спутник, предполагается начальная остаточная частота и

этапы 37-42 выполняются с новыми гипотезами.

При использовании сведений о неоднократном повторе последовательности PN F(t) в когерентной обработке блока данных, как обсуждается в данном документе, было признано, что более простая процедура обратного быстрого преобразования Фурье (FFT) возможна в качестве части целой процедуры согласованной фильтрации, которая сокращает время вычисления. Если требуется найти только одну гипотезу доплеровского сдвига частоты, то улучшение времени обработки может быть не особенно существенно. Однако в связи с тем, что операции поиска обычно выполняются по большому количеству гипотез доплеровского сдвига частоты (например, поиск по ±500 Гц не является исключительным), то это преимущество экономии при обработке, как описано в данном документе, сразу становится существенным. Одной причиной для экономии при обработке является то, что каждая гипотеза доплеровского сдвига частоты требует выполнения отдельного обратного быстрого преобразования Фурье (FFT); однако в обсуждаемом здесь способе размер обратного быстрого преобразования Фурье (FFT) не зависит от размера когерентного блока частоты вследствие того, что требуется только обработка выборок частоты в гипотетических местоположениях частоты гребенчатой структуры. Число таких выборок частоты, как может быть легко замечено, равняется числу выборок частоты данных по одному кадру PN. В вышеупомянутом примере с размером обрабатываемого блока, равным 128 миллисекундам, требуемые размеры обратного быстрого преобразования Фурье (FFT) требуется сократить посредством показателя 128, приводя к увеличенной скорости обработки посредством показателя, большего 128. Несмотря на то, что должно быть выполнено большое прямое быстрое преобразование Фурье (FFT), как на этапе 35, эта большая операция должна быть выполнена только один раз на найденный код GPS, а в некоторых случаях одно прямое быстрое преобразование Фурье (FFT) может быть совместно использовано для множества гипотетических кодов GPS.

Как правило, для поиска по большому диапазону доплеровского сдвига частоты последовательно выдвигается соответствующее большое количество гипотез доплеровского сдвига частоты и выполняются одно за другим, что таким образом требует выполнения большого количества обратного быстрого преобразования Фурье (FFT). Например, для поиска по диапазону остаточных несущих частот fe=±2 кГц, со временем когерентного интегрирования, равным 128 миллисекундам, требуется множество гипотез доплеровского сдвига частоты, то есть должно быть выполнено множество обратных быстрых преобразований Фурье (FFT), равное, по меньшей мере, 512 (4000 кГц×128 мс). В предшествующем примере размеры обратного быстрого преобразования Фурье (FFT) должны только быть равными 1024 точкам, а не 131072, что приводит к экономии времени вычисления посредством показателя, приблизительно равного 218 (следует заметить, что время обработки быстрого преобразования Фурье (FFT) является пропорциональным N log(N), где N - размер преобразования). Например, при использовании доступной в настоящее время технологии 1024-точечное быстрое преобразование Фурье (FFT) может быть выполнено за 0,5 миллисекунды, используя дешевые интегральные схемы DSP, таким образом, получающееся общее время обработки для всего набора обратного быстрого преобразования Фурье (FFT) равняется менее 0,26 секунды; тогда как, если не использовать в своих интересах разреженность данных, то время обработки будет равно приблизительно 1 минуте. Кроме того, так как существует необходимость поиска по множеству гипотетических кодов GPS PN, время обработки, требуемое на

обычную обработку быстрого преобразования Фурье (FFT), может стать непрактичным, тогда как с раскрытым способом оно с легкостью становится практичным.

Поиск по различным гипотезам доплеровского сдвига частоты упрощен посредством распознавания, что смежные спектральные линии быстрого преобразования Фурье (FFT) отделены друг от друга посредством предопределенного числа, которое в этом примере равно $1/T_c$ Гц (например, если T_c=128 мс, то $1/T_c$=1/128 мс=7,813 Гц). Поэтому для данного кода PN нет необходимости снова выполнять прямое быстрое преобразование Фурье (FFT) для каждой частоты. Для изменения гипотезы частоты мы должны только сдвинуть быстрое преобразование Фурье s_b посредством одного индекса местоположения (значение индекса определяется в качестве соответствующего выполнения обнаружения сигнала, применяемого без ненужного усилия). Пусть у равняется быстрому преобразованию Фурье (FFT) s_b. В примере, где скорость выборки равна 1,024 МГц, а T=128 мс, если гипотеза частоты равна нулю, тогда мы обрабатываем выборки y, пронумерованные 0, 128, 256,..., и т.д. Если гипотеза остаточной частоты - 7,813 Гц, тогда мы обрабатываем выборки, пронумерованные 1, 129, 257 и т.д. Если гипотеза остаточной частоты - -7,813 Гц, тогда мы обрабатываем выборки 131071, 127, 255 и т.д. (Следует отметить, что индекс 131071 эквивалентен -1, так как спектр является периодическим с периодом 131071.) Сокращенный обработанный блок для каждого случая умножается на комплексно сопряженное число из отличных от нуля выборок быстрого преобразования Фурье (FFT) опорного сигнала GPS. Результат является обратно преобразованным для обеспечения выхода согласованной фильтрации, представляющего один кадр PN.

Пиковая величина (или квадратичная величина), найденная выше порога, в этом выходе является представлением присутствия и времени прибытия принимаемого сигнала GPS, имеющего число сигнала GPS и доплеровскую частоту, соответствующую используемой в последовательности обработки. Как обсуждается ниже, в некотором случае мы могли бы желать сдвинуть быстрое преобразование Фурье (FFT) посредством части числа индекса. Это может быть сделано посредством использования способов интерполяции частоты, как обсуждается ниже, а не посредством простого циклического сдвига или сдвига набора частоты.

На Фиг.8A, 8B и 8C изображен пример результатов выполнения операций согласованной фильтрации, соответственно для каждой из трех гипотетических частот (f_h -50Hz, f_h, f_h +50Hz) для случая, когда T_c=20 миллисекундам (и, следовательно, спектральные линии прямого быстрого преобразования Фурье (FFT) разделены посредством 50 Гц). На Фиг.8B гипотетическая частота является истинной частотой, и можно видеть, что обнаруженные сильные пики 82 приводят к одному определенному смещению сдвига кода (индекс 18). На Фиг.8A и 8C соответственно гипотетические частоты находятся ниже и выше истинной частоты на 50 Гц; поэтому в этих случаях можно видеть, что сильный пик в местоположении 18 индекса больше не присутствует (как показано ссылочными номерами 81 и 83) и что любые другие пики не находятся выше порога обнаружения. Может быть отмечено, что для простоты иллюстрации, графики, изображенные на Фиг.8A, 8B и 8C, показывают только индексы сдвига кода до 30, тогда как при использовании 1024-точечного быстрого пробразования Фурье (FFT) индекс фактически располагался бы в диапазоне от 0 до 1023.

Способ, изображенный на Фиг.3, соответствует обработке одного блока данных когерентным способом, который является типом корреляции, которую называют в данном документе «когерентная корреляция». Однако на практике когерентная корреляция может не привести к достаточной чувствительности для обнаружения слабого сигнала GPS и измерения его сдвига кода. Для улучшения чувствительности могут быть обнаружены и объединены выходы корреляции от множества процессов когерентной корреляции (то есть корреляционная серия), процедура, которую называют «некогерентной корреляцией» или «некогерентной обработкой» В частности, процессы когерентного интегрирования на вышеупомянутых этапах 33-39 могут быть повторены для одного или нескольких дополнительных смежных интервалов времени (обычно в диапазоне 5-200 блоков), а затем результаты обнаруживаются (например, вычисляется их величина или квадрат их величины) и объединяются.

Эта модификация может быть понята более точно при помощи Фиг.11. Фиг.11 - модификация Фиг.3, в которой комбинация множества корреляционных серий выполняется до поиска состояния соответствия. Нумерация блоков, изображенных на Фиг.11, подобна нумерации, изображенной на Фиг.3, за исключением добавления впереди цифры «1». Например, верхний блок «наблюдение за энергией в полосе GPS», изображенный на двух чертежах, обозначен 30 и 130. Фиг.11 содержит дополнительную обработку, связанную с накоплением постобнаружения множества корреляционных серий. Таким образом, главное добавление - это петля (цепь) обратной связи от выхода блока 147 к входу 138, которая выполняет итерации с множеством блоков данных. На этапе 146 выполняется объединение множества корреляционных серий.

При рассмотрении Фиг.11 мы видим, что на этапе 133 мы имеем выбранные данные, соответствующие множеству блоков длины T_c, по сравнению с отдельным блоком на этапе 33. Затем на этапе 134 мы выполняем быстрые преобразования Фурье (FFT) каждого из индивидуальных блоков данных. Затем эти данные обычно сохраняются в буфере для последующего использования. Этапы 136a и 137 являются аналогичными этапам 36a и 37. Затем этапы 138 и 139 используют алгоритм сокращения в качестве части вычисления корреляционной серии из выборок опорной частоты (соответствующей данному спутнику (SV) и остаточной частоте) и выборок частоты данного блока данных. Это подобно этапам 38 и 39. Тем не менее, на этапе 146 мы объединяем получающуюся корреляционную серию с подобно выполненной на предыдущем блоке данных. Обычно эта объединение осуществляется посредством выполнения операции обаружения типа величины или квадратичной величины на корреляционной серии, а затем добавления результата к подобно выполненному на предшествующих блоках. В некоторых случаях объединение может быть простым добавлением или другим когерентным объединением. Последние случаи являются соответствующими, если вычислительные ресурсы ограничивают способность выполнения когерентной обработки на больших наборах данных.

На этапе 147 процесс ответвляется вправо для повторения обработки 138, 139 и 146 на следующем блоке данных, если все блоки данных были обработаны, то в этот момент поток обработки переходит на этап 140. Когда процесс обработки переходит на этап 140, он имеет все желательные комбинированные корреляционные серии для определения состояния соответствия. Комбинированную корреляционную серию на этом моменте называют «конечной корреляционной серией». Конечная корреляционная серия исследуется на условие соответствия, обычно пик находится

выше порога обнаружения, и соответствующее смещение сдвига кода находится способом, подобным разъясненному для Фиг.3.

В вышеупомянутом отмечено, что повторение операций 138, 139 и 146 выполняется на последовательных блоках данных, но гипотетический спутник (SV), выборки опорной частоты и остаточной частоты являются аналогичными для каждого повторения. Если на этапе 140 соответствие не найдено, то на этапе 136b выбирается новая остаточная частота (если набор не был полностью найден), и обработка 138, 139, 146 заново начинается с первого блока данных (на этапе 145 повторно инициализируется номер блока). После того как на этапе 135 он имеет предварительно вычисленные быстрые преобразования Фурье (FFT) на всех блоках данных, нет больше необходимости делать прямые быстрые преобразования Фурье (FFT), изменяя следующую гипотетическую остаточную частоту. Таким образом, выборки частоты для каждого из блоков данных сохраняются в буфере и могут быть многократно использованы для каждой из последующих гипотез остаточной частоты.

После того как соответствие было найдено или после того как все остаточные частоты были исчерпаны, процесс обработки переходит на этап 143, где если должно быть исследовано большее количество спутников (SV), то он выбирает следующий спутник (SV) и начальную частоту на этапе 136c, а затем переходит на этап 133. В некоторых случаях, подобных тем, когда последовательность данных не присутствует, он может альтернативно перейти в этом моменте на этап 136a и повторно использовать выборки частоты данных из этапа 135, которые уже были вычислены посредством предшествующих операций быстрого преобразования Фурье (FFT).

Следующее описание является одним разъяснением операции одного раскрытого в данном документе способа.

Сначала рассмотрим путь, которым выполняется операция обратного быстрого преобразования Фурье (FFT). Первоначально выбранные данные времени могут быть представлены как x(n): n=0, 1,2,..., что является стенографией для выборок данных x(0), x(T_s), x($2T_s$),..., где T_s - выборка периода времени. Дискретное преобразование Фурье («DFT») этих выбранных данных обозначено как y(0,1,2,...). Дискретное преобразование Фурье (DFT) этих данных фактически обозначает выборки частоты на частотах 0, 1/(NT_S), 2/(NT_s),..., m/(NT_s),..., где m - номер выборки. Дискретное преобразование Фурье (DFT) y(m) определяется для каждой m посредством:

$$y(m)=\sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi nm/N},\ m = 0, 1, \ldots, N - 1 \qquad (B1)$$

Частоты дискретного преобразования Фурье (DFT), соответствующие m>N/2, фактически являются отрицательными частотами, так как посредством круговой симметрии частота, соответствующая индексу m (то есть частота m/(NT_s)), является эквивалентной одной передаче, соответствующей индексу m-N (то есть частоте (m-N)/(NT_s)). Теперь, для целей данного объяснения, предполагается: 1) что период кадра GPS соответствует R выборкам входных данных, 2) по вышесказанному, любые спутниковые данные были удалены, 3) размер N блока соответствует K кадрам, то есть N=KR и 4) любые доплеровские эффекты на модуляции сигнала являются незначительными. Эти гипотезы позволяют алгоритму быстрого преобразования Фурье (FFT) выполнять периодическую свертку.

Мы интересуемся только обнаружением R выборок из операции фильтрации соответствия, так как операция согласованной фильтрации, по существу, является циклической сверткой данных сигнала с периодически повторяющимся опорным сигналом, как было обозначено ранее. Следовательно, результат согласованной фильтрации также будет периодическим с периодом R. При этих обстоятельствах мы можем обеспечить выход согласованной фильтрации посредством операции на y(m) из уравнения (B1) известным способом:

$$z(r)=\sum_{m=0}^{N-1} y(m)\,g^{*}(m)\,e^{j2\pi mr/N} \qquad \text{(B2)}$$

где g - быстрое преобразование Фурье FFT опорного сигнала GPS PN [выбранного на скорости, аналогичной x(n)], повторенное K раз, звездочка представляет комплексно сопряженное число, а r - переменная времени выхода, которое требуется только в диапазоне [0, 1,..., R-l]. В уравнении (B2) мы строим гипотезу о том, что остаточная несущая частота сигнала y(m) равна нулю. Как было обозначено ранее, в связи с тем, что последовательность PN является периодичностью каждого кадра, то есть, каждых R выборок, функциональный r (m) имеет значения, отличные от нуля, каждый N/R=(KR/R)=выборки K (в частоте). Например, если N соответствует 20 кадрам{фреймам} данных GPS, то только каждый 20-й образец FFT (начинающийся с первого) является отличным от нуля. Соответственно, продукт в пределах суммирования уравнения (B2) является отличным от нуля только для каждого 20-го образца, и, следовательно, мы можем написать (B2) как:

$$z(r)=\sum_{m=0}^{N/K-1} y(mK)\,g^{*}(mK)\,e^{j2\pi mrK/N}=\sum_{m=0}^{N/K-1} y(mK)\,g^{*}(mK)\,e^{j2\pi mr/(N/K)}$$

$$=\sum_{m=0}^{R-1} y(mK)\,g^{*}(mK)\,e^{j2\pi mr/R}$$

for r=0, 1, .. , R-1. (B3)

Последнее суммирование представляет собой R-точечное обратное дискретное преобразование Фурье (DFT). Следовательно, это показывает, что обратное дискретное преобразование Фурье (DFT) требуется для возможности выполнения операции согласованной фильтрации, используя только R-выборочный алгоритм быстрого преобразования Фурье (FFT), который сокращает время обработки и требуемые объемы и конфигурации памяти. Кроме того, до тех пор, пока будут выполнены вышеупомянутые условия, требуется только R-точечное обратное дискретное преобразование Фурье (DFT), независимо от того, сколько K кадров PN данных обрабатывается. Следует отметить, что уравнение (B3) математически идентично тому, которое было бы получено, если полное N-точечное обратное быстрое преобразование Фурье (FFT) было бы выполнено, как в уравнении (B2). Также следует отметить, что уравнение (B3) очевидно показывает выбор каждой K-й точки из быстрого преобразования Фурье (FFT) y для выполнения обратного быстрого преобразования Фурье (FFT). Оно является основой для процедуры «сокращения», то есть выбора подмножества точек для выполнения обратного быстрого преобразования Фурье (FFT). Уравнение (B3) определяет, действительно ли ошибка гипотетической остаточной несущей частоты является верной. Однако этот процесс только производит индикацию строгого обнаружения, когда ошибка остаточной несущей частоты является маленькой по сравнению с $1/T_c$.

Вышеупомянутое уравнение (B3) соответствует обработке преобразованных выборок данных, предполагая, что доплеровский сдвиг остаточной несущей равен нулю. Это производит сильный корреляционный пик только тогда, когда остаточная частота находится близко к нулю. Для изменения этого предположения доплеровский сдвиг частоты, как предполагают, равен $d/(NT_s)$, где d - целое число, и уравнение (B3) изменяется следующим образом:

$$z(r) = \sum_{m=0}^{R-1} y([mK - d]_{\mathrm{mod}\,N})\ \ g^*(mK)\, e^{j2\pi mr/R} \qquad (B4)$$

где $[]_{\mathrm{mod}\ N}$ - величина в скобках по модулю N. По существу, мы имеем частоту, сдвигающую входной сигнал так, чтобы он имел близкую к нулю (то есть намного меньше, чем $1/T_c$) остаточную частоту, предполагая, что наша гипотеза доплеровского сдвига частоты верна. Уравнение (B4) использует в своих интересах циклическую сущность y. Следует отметить, что данная модификация является простым смещением частоты y посредством d спектральных линий и непосредственно осуществляется с помощью индексации последовательности y (циклическим способом), начиная с d местоположений относительно первого элемента y. Этот способ устраняет ограничения предшествующего уровня техники, рассмотренного в разделе «уровень техники», который в противном случае фактически ограничивает поиск по диапазону, большему чем приблизительно от -500 до 500 Гц. Единственным ограничением на гипотезу доплеровского сдвига d частоты является имплицитное ограничение, касающееся протяжения y из-за временных доплеровских эффектов (то есть доплеровский эффект на модуляции сигнала). Это ограничение может быть устранено, как обсуждается ниже.

Одним подходящим аспектом уравнения (B4) является то, что для обработки другого кода GPS может не быть необходимостью выполнять другое прямое преобразование. При некоторых обстоятельствах соответствующий для «g» код GPS (например, соответствующий Золотой Код) может быть заменен в вышеупомянутом, а ранее преобразованные данные могут продолжать использоваться. Это может быть сделано, если информация о спутниковых данных (сообщение) присутствует в более чем одном одновременно принятом сигнале GPS существенно подобно. Это условие позволит параллельное удаление передач данных на одновременно принятых сигналах. Это возможно, если будут выполнены два условия: (A) дифференциальные диапазоны от спутников являются довольно маленькими (например, в пределах 300 км) и (B) информация данных о сообщении является аналогичной между передачами SV. Пункт (B) часто происходит, например, при передаче спутникового альманаха. Кроме того, пункт B может быть не существенен, если времена когерентного интегрирования равны меньше 20 миллисекунд. В режимах GPS, которые не содержат данные, например, предложенные для будущего выполнения, условие (B) не применяется, и эта модификация может быть более широко использована.

В предыдущем разъяснении подразумевалось, что эффекты доплеровских сдвигов частоты (в том числе доплеровский эффект, вызванный опорным гетеродином приемника) главным образом оказывают влияние на несущую частоту. Однако если время NT_S когерентного интегрирования становится достаточно большим, то невозможно игнорировать доплеровские эффекты после модуляции сигнала (то есть после последовательности PN P(t)). Для настоящих целей этот доплеровский эффект

модуляции или эффект «доплеровского сдвига времени» прежде всего изменяет скорость модуляции, фактически «расширяя» или «сжимая» колебательный сигнал относительно опорного сигнала, сформированного в приемнике GPS.

Например, для обработки кода C/A для стандартной службы определения местоположения (гражданской службы) на GPS отношение несущей частоты к скорости модуляции элемента сигнала приблизительно равно 1575,42e6/1,023e6=1540. Следовательно, доплеровский сдвиг частоты, приблизительно равный 5000 Гц на несущей, приводит к доплеровскому сдвигу частоты, приблизительно равному 5000/1540=3,25 Гц на модуляции. Для когерентной обработки относительно коротких блоков данных (например, 20 миллисекунд) такое время доплеровского сдвига частоты может быть несущественным. Но при обработке длинных блоков данных эффект может ухудшить чувствительность системы посредством сокращения величины соответствующего выхода пика фильтрации. В качестве эмпирического правила, если доплеровский сдвиг частоты модуляции (в том числе эффекты гетеродина) равен p герц, а общий размер N блока соответствует T_c секунд, то без дополнительной обработки количество pT_c должно удерживаться меньше 1/2 для сокращения вредных эффектов.

Рассмотрим вышеупомянутый случай, в котором доплеровский сдвиг частоты на 10 000 Гц на несущей приводит к доплеровскому сдвигу частоты на 7,143 Гц на модуляции PN. Если размер когерентного блока приблизительно равен 100 миллисекундам, то pT_c=0,7143, и будет заметно некоторое ухудшение в производительности системы. Кроме того, время выхода пика из согласованной фильтрации замещается посредством $pT_c/2$ элементов сигнала, относительно случая с нулевым доплеровским сдвигом частоты. Таким образом, ясно, что большой диапазон поиска доплеровского сдвига частоты и большое время когерентного интегрирования приводят к потерям доплеровских эффектов по времени, если оставлены неисправленными. В частности, эта проблема усиливается в двух важных ситуациях:

(1) Большие различия между доплеровскими сдвигами частоты из одного сигнала GPS спутника до другого, как наблюдается посредством приемника GPS. Этот элемент уже обсуждался выше.

(2) Эффективный доплеровский сдвиг частоты из-за частоты ошибок GPS гетеродина относительно ее идеальной частоты.

Что касается элемента (2), то гетеродин GPS может отличаться от идеальной частоты GPS. Например, иногда приемник GPS может получать частоту его гетеродина из синхронизированного сотового телефона и, следовательно, достигать низкого коэффициента ошибок. Однако в некоторых ситуациях это невозможно. Даже хорошие термостабилизированные кварцевые генераторы могут иметь ошибки по частоте на частоте GPS (1575,42 МГц) более чем ±3000 Гц. Несмотря на то, что такие ошибки по частоте не являются истинными доплеровскими сдвигами, они создают сдвиги и несущей и модуляции в приемнике GPS, подобные доплеровским сдвигам частоты, наблюдаемым от двигающейся платформы. Такие ошибки по частоте являются обычными для всех приемников GPS и поэтому затрагивают все сигналы GPS, которые были обработаны до некоторой степени. Однако эти ошибки частоты могут приводить к ухудшению производительности, в частности, для размеров длинных когерентных блоков.

Одним способом, справляющимся с вышеупомянутой проблемой, является повторная выборка последовательности входных данных по скорости, соразмерной с

гипотезой доплеровского сдвига частоты GPS SV (спутниковое транспортное средство) и/или из-за ошибок гетеродина. Посредством повторной выборки сигнала, используя способы цифровой обработки сигналов, входной сигнал может в действительности быть растянут или сжат так, чтобы целое число кадров PN данных GPS снова находилось в пределах блока когерентной обработки. Без такой повторной выборки число таких кадров в когерентном блоке больше не будет являться целым числом, но будет приблизительным посредством количества, которое может быть размером в несколько выборок, что может привести к серьезному ухудшению пикового сигнала, сформированного посредством операции согласованной фильтрации.

Однако повторная выборка во временной области может требовать того к повторной выборке и выполнение большого прямого быстрого преобразования Фурье (FFT) для частотной области и для данного SV. Диапазон, такой как $|pT_c|$ является меньшим, чем приблизительно 1/2, как было обозначено ранее. К сожалению, это требование выполнения множества прямых быстрых преобразований Фурье (FFT) может привести и к увеличению требуемых системных объемов и конфигураций памяти, и к увеличению времени обработки.

Однако вышеупомянутые недостатки устранены, и, в частности, потребность в выполнении дополнительных прямых быстрых преобразований Фурье (FFT) может быть устранена посредством выполнения функции повторной выборки в частотной области. Другими словами, функция повторной выборки может быть выполнена на преобразованном сигнале y, а не во временной области. Этот подход избегает потребности в выполнении дополнительных прямых быстрых преобразований Фурье (FFT); однако в зависимости от выполнения может быть необходимо некоторое дополнительное сохранение.

Основной принцип позади повторной выборки частотной области можно объяснить из отношения преобразования Фурье:

$$x(at) \longleftrightarrow \frac{1}{|a|} y(f/a) \qquad \text{(B5)}$$

где x - время колебательный сигнал, y - преобразование Фурье x и a - сдвиг шкалы или растяжение. Таким образом, может быть выполнено растяжение в любой области.

Растяжение или сжатие включают в себя повторную выборку выборок частоты, процесс, который овлекает способы частичной повторной выборки. Из уравнения (B5) мы видим, что если выборки частоты называются y(m) и, таким образом, эти выборки первоначально обеспечиваются на частотах $m=[0, 1, 2,...]/(NT_s)$, то эти выборки заменяются посредством выборок, вычисленных на частотах m/a; то есть посредством выборок, вычисленных на частотах $m=[0, 1, 2,...]/(aNT_s)$-[0, 1/a, 2/a,...].

Этот последний результат исправлен только для положительных частот, так как мы должны гарантировать, что выборки данных расположены симметрично приблизительно 0 Гц. Если мы переупорядочиваем первоначальный набор в порядке: -N/2-1,-N/2,..., -1,0,1..., N/2-1, n/2, то повторно выбранный набор повторно выбирается на частотах:

$$[(-N/2-1)/a, (-N/2)/a, ..., -2/a, -1/a, 0, 1/a, 2/a, ..., (N/2)/a]/(NT_s) \qquad \text{(B6)}$$

то есть, если мы используем первоначальный порядок, набор повторно выбирается на частотах:

m/a: для m=0, 1, 2, …, N/2 (B7)

N+(m-N)/a: для m=N/2+l, N/2+2,.., N-l (B8)

где мы отмечаем круговую природу частоты, вследствие индекс частоты m является подобным m+N или m-N.

Повторная выборка уравнения (B6) или (B7) требует вычисления частотной характеристики на частотах, которые находятся «между» нормальными дискретными частотами, вычисленными посредством дискретного преобразования Фурье (DFT). Но это относительно просто сделать, например, с интерполятором «sinc». Так как входные данные ограничены по времени, мы можем вычислить (сложную) частотную характеристику на частоте □ |□ | <0,5 Гц, относительно ряда спектральных линий, через процедуру свертки. Например, для вычисления спектральной характеристики на частоте $y(m_0+\square)$, где m_0 - целое число, мы формируем результат:

$$\sum_m y(m_{\bmod N})\mathrm{sinc}(m_0+\varepsilon-m) \qquad \text{(B9)}$$

где m - диапазоны по всем возможным значениям (то есть от m-N/2+1 до m+N/2).

Простое приближение к этому вычислению требует только два или три значения m. Оценка потери из-за двучленного вычисления уравнения (B9) указывает на то, что такая потеря в чувствительности не превышает 1 децибела, если □ располагается в диапазоне от -0,5 до 0,5 Гц. Для большинства представляющих интерес доплеровских сдвигов частоты модуляции растяжение, определяемое уравнением (B5), может рассматриваться как постоянное для относительно большого количества последовательных выборок частоты. Следовательно, процедура интерполяции уравнения (B9) может использовать аналогичные значения для весовых коэффициентов sinc, чтобы определить большое количество последовательных повторно выбранных спектральных значений.

Таким образом, описанный выше способ повторной выборки позволяет использовать алгоритм, в котором данные частоты y разбиты на серию меньших блоков, например, размер каждого блока равен 1024, и каждый блок повторно выбирается, используя процедуру интерполяции с фиксированным набором коэффициентов. До обработки блока коэффициенты или вычисляются, или отыскиваются в таблице. Эта процедура может существенно сократить бремя обработки для операции повторной выборки. Например, при использовании процедуры двухточечной интерполяции, подобной уравнению (B9), процедура повторной выборки требует только четыре действия умножения и два действия сложения для вычисления каждого интерполированного значения (игнорируя вышеупомянутый поиск по таблице). Этот способ может быть сравнен с, например, восемью «бабочками» на выборку данных, необходимыми для вычисления быстрого преобразования Фурье (FFT) на размере блока, равном 64 Кб. Эти «бабочки» требуют 32 действия умножения и 48 действий сложения, вычисление увеличивается посредством показателя, приблизительно равного 16, относительно интерполяции в частотной области. Следовательно, повторная выборка частотной области, как полагают, является намного более практичной и эффективной, чем повторная выборка временной области.

Повторная выборка используется для компенсации доплеровского сдвига частоты модуляции при любой обработке больших диапазонов доплеровских сдвигов частоты и/или обработке сигналов от различных спутников (SV). В таких случаях может использоваться аналогичный набор преобразованных с помощью преобразования

Фурье данных, и поэтому не нужно иметь дело с первоначальными данными времени. Как было обозначено ранее, однако, обработка различных SV с аналогичным набором преобразованных с помощью преобразования Фурье данных может быть ограничена ситуациями, в которых сообщения спутниковых данных являются подобными, чтобы позволить его удаление до начальной когерентной обработки. В любом случае это используется для сохранения первоначального набора преобразованных с помощью преобразования Фурье данных даже после выполнения операции повторной выборки, когда требуются вторичные и дополнительные повторные выборки. Если первоначальный набор преобразованных с помощью преобразования Фурье данных не доступен, необходимо выполнить повторную выборку на повторно выбранном наборе, подход, который мог привести к совокупным ошибкам, если точная повторная выборка не должна быть выполнена.

Операция сокращения определяется в качестве выбора подмножества данных частоты из прямого быстрого преобразования Фурье (FFT) из-за разреженности спектра, связанной с повторенным сигналом PN, то есть форма линии гребенчатой стуктуры. Когда требуется спектральная интерполяция, как обсуждается выше, мы создаем вместо простого выбора подмножество посредством интерполяции между выборками частоты. Однако размер созданного таким образом подмножества подобен случаю, в котором сделан простой выбор. Таким образом, он типично равен числу выборок сигнала на каждый кадр PN. Например, в предшествующих примерах он был равен 1024 или 2048 выборкам, соответствуя скоростям выборок, равным 1,024 или 2,048 МГц. Размеры обратного быстрого преобразования Фурье (FFT) также соответственно являются этими размерами. Следовательно, определение «сокращение» распространяется на формирование подмножества выборок частоты через процедуру интерполяции, так же как прямой выбор подмножества выборок частоты.

Подобным способом может быть использована процедура интерполяции, когда она желает изменить последовательные гипотезы частоты посредством увеличений, которые являются меньшими, чем интервал между линиями быстрого преобразования Фурье (FFT); например, может быть желателен прирост половины интервала между линиями. К тому же определение сокращения распространяется на формирование подмножества выборок частоты через процедуру интерполяции, в которой гипотеза частоты изменена посредством части интервала между линиями быстрого преобразования Фурье (FFT).

Специалистами в данной области техники будет оценено, ввиду этой идеи, те альтернативные варианты осуществления которые могут быть легко осуществлены.

Например, в предшествующем обсуждении, как иллюстрируется, например, посредством Фиг.2 или Фиг.3, присутствует операция смещения начальной частоты, чтобы сместить частоту сигнала к частоте, близкой к нулевой. Это может быть сделано с обычными гетеродинами и преобразователями частоты, способом, известным в данном уровне техники. Также это может быть сделано посредством фильтрации поступающей энергии RF около полосы частот GPS, а затем прямого выбора этой фильтрованной энергии по скорости, соразмерной с пропускной способностью фильтра. Широко известно, что этот подход может привести к эффективному смещению частоты. Следовательно, терминология «смещение частоты» относится к этим способам прямой выборки RF, а также к обычным способам смещения частоты. Кроме того, несмотря на то, что на Фиг.3 подразумевается, что несущая частота удаляется до преобразования в цифровую форму, оставляя

остаточную частоту f_e, часто удаляется только большая часть несущей частоты и что сигнал является частотой, смещенной к низкой IF частоте, скажем $f_{IF}+f_e$, до оцифровки. После операции оцифровки IF частота f_{IF} типично существенно удалется посредством способов цифровой обработки сигналов. Тогда результат обработки следует, как показано на этапе 33, изображенном на Фиг.3. Такие изменения начальной предварительной обработки сигнала должны быть очевидными специалистам в данной области техники.

Формула изобретения

1. Способ обработки сигнала, который был передан на предопределенной несущей частоте от одного из множества передатчиков и включает в себя колебательный сигнал, модулированный согласно шумоподобной (PN) последовательности, которая идентифицирует упомянутый передатчик, содержащий этапы, на которых:

принимают электромагнитный сигнал в пределах упомянутой несущей частоты и оцифровывают упомянутый сигнал за предопределенный промежуток времени;

выдвигают гипотезу о том, что сигнал связан с одним из упомянутых передатчиков и с его несущей частотой;

обеспечивают набор выборок опорной частоты, соответствующий упомянутому гипотетическому сигналу;

выдвигают гипотезу о первой остаточной частоте упомянутого гипотетического сигнала;

выбирают из упомянутой оцифрованной энергии первое подмножество данных длины, равной, по меньшей мере, двум повторениям упомянутой повторяющейся последовательности PN;

вычисляют первый набор выборок частоты данных, используя упомянутое первое подмножество данных;

сокращают упомянутый первый набор выборок частоты данных, используя упомянутую гипотетическую первую остаточную частоту, чтобы произвести первое подмножество упомянутых выборок частоты данных;

вычисляют конечную корреляционную серию, используя в качестве входных данных, по меньшей мере, корреляционную серию из упомянутого первого подмножества выборок частоты данных и упомянутые выборки опорной частоты, чтобы произвести индикацию того, существует ли условие соответствия между упомянутым передающимся сигналом и упомянутым гипотетическим сигналом.

2. Способ по п.1, дополнительно содержащий этапы, на которых выбирают из упомянутого оцифрованного сигнала второе подмножество данных длины, по меньшей мере, равной двум повторениям упомянутой последовательности PN;

вычисляют второй набор выборок частоты данных, используя упомянутое второе подмножество данных;

сокращают упомянутый второй набор выборок частоты данных, зависимый от упомянутой гипотетической первой остаточной частоты, для обеспечения подмножества упомянутого второго набора выборок частоты данных;

причем упомянутый этап вычисления содержит вычисление конечной корреляционной серии, используя в качестве входных данных, по меньшей мере, упомянутую корреляционную серию, вычисленную из упомянутого первого подмножества выборок частоты данных и упомянутых выборок опорной частоты, корреляционную серию, вычисленную из упомянутого второго подмножества выборок частоты данных, и упомянутых выборок опорной частоты, чтобы

произвести упомянутую индикацию того, существует ли условие соответствия между упомянутым передающимся сигналом и упомянутым гипотетическим сигналом.

3. Способ по п.2, в котором упомянутый этап вычисления содержит, по меньшей мере, этап, на котором обнаруживают и объединяют упомянутую первую и упомянутую вторую корреляционные серии.

4. Способ по п.1, в котором упомянутый этап сокращения дополнительно содержит этап, на котором выбирают из упомянутого первого подмножества выборок частоты данных множество выборок, содержащих индексы, разнесенные с интервалами относительно друг друга посредством целого числа К, причем К представляет собой число последовательностей PN в упомянутом первом наборе данных, при этом каждая из выборок частоты данных идентифицирована при помощи целого числа.

5. Способ по п.1, в котором упомянутое подмножество содержит множество выборок частоты данных, разделенных интервалами, определяемыми скоростью повторения упомянутой последовательности PN.

6. Способ по п.1, в котором упомянутый этап сокращения включает в себя этап, на котором интерполируют между упомянутым первым набором выборок частоты данных.

7. Способ по п.1, в котором упомянутый этап обеспечения выборок опорной частоты включает в себя этап, на котором выполняют операции дискретного преобразования Фурье (DFT) на упомянутой последовательности PN.

8. Способ по п.1, в котором упомянутый этап вычисления включает в себя этап, на котором упомянутое первое подмножество упомянутых выборок частоты данных умножают на упомянутый набор выборок опорной частоты для формирования набора взвешенных выборок частоты.

9. Способ по п.8, в котором упомянутый этап вычисления включает в себя этап, на котором выполняют обратное дискретное преобразование Фурье (DFT) на упомянутом наборе взвешенных выборок частоты, чтобы произвести упомянутую первую корреляционную серию.

10. Способ по п.1, в котором упомянутое множество передатчиков содержат множество спутников GPS, которые передают сигналы GPS на предопределенной несущей частоте, причем каждый спутник GPS передает уникальную последовательность PN.

11. Способ по п.1, в котором производится поиск упомянутой конечной корреляционной серии для идентификации присутствия сигнала GPS, и если присутствие сигнала GPS идентифицировано, то определяют смещение кода PN, и определяют время прибытия сгнала GPS в упомянутом приемнике.

12. Способ по п.1 дополнительно содержащий этапы, на которых:

выдвигают гипотезу о второй остаточной частоте;

сокращают упомянутый первый набор выборок частоты данных в зависимости от упомянутой гипотетической второй остаточной частоты для обеспечения третьего подмножества выборок частоты данных;

вычисляют третью корреляционную серию из упомянутого третьего подмножества выборок частоты данных и упомянутых выборок опорной частоты;

вычисляют вторую конечную корреляционную серию, содержащую, по меньшей мере, упомянутую третью корреляционную серию;

проверяют вторую конечную корреляционную серию для определения того, выполняется ли условие соответствия между упомянутым передающимся сигналом и упомянутым гипотетическим сигналом.

13. Способ по п.12, в котором упомянутый блок данных имеет размер, находящийся в пределах диапазона от 5 до 20 повторений упомянутой последовательности PN.

14. Способ по п.11, дополнительно содержащий этап, на котором используют время прибытия информации для определения местоположения упомянутого приемника.

15. Способ обработки сигнала, который был передан от одного из множества передатчиков и содержащий колебательный сигнал, модулированный посредством повторения последовательности PN, содержащий этапы, на которых:

выдвигают гипотезу о том, что сигнал связан с одним из упомянутых передатчиков и с его несущей частотой;

извлекают подмножество данных длины, по меньшей мере, равной двум повторениям упомянутого повторения последовательности PN из электромагнитного сигнала, принятого в пределах несущей частоты упомянутого сигнала, который будет обработан;

сокращают набор выборок частоты данных, вычисленных из упомянутого подмножества данных, в ответ на упомянутую гипотетическую несущую частоту для формирования подмножества упомянутых выборок частоты данных; и

вычисляют конечную корреляционную серию, используя в качестве входных данных, по меньшей мере, корреляционную серию, определенную из упомянутого подмножества выборок частоты данных и выборок опорной частоты, соответствующих упомянутому гипотетическому сигналу;

исследуют упомянутую конечную корреляционную серию для определения того, существует ли условие соответствия между упомянутым передающимся сигналом и упомянутым гипотетическим сигналом.

16. Мобильная станция, которая включает в себя систему определения местоположения, которая принимает сигнал, передающийся на предопределенной несущей частоте от одного из множества передатчиков, упомянутый передающийся сигнал включает в себя периодически повторяющуюся последовательность, что однозначно определяет передатчик, который послал сигнал, указанная мобильная станция включает в себя:

средство для наблюдения и оцифровки электромагнитного сигнала на предопределенной несущей частоте за предопределенный интервал времени,

средство для выдвижения гипотезы об одном из упомянутого множества передатчиков и обеспечения набора выборок опорной частоты, соответствующих гипотетическому сигналу, передающемуся от упомянутого гипотетического передатчика;

средство для выдвижения гипотезы об остаточной частоте;

средство для выбора первой части упомянутого оцифрованного электромагнитного сигнала длиной, по меньшей мере, равной двум повторениям упомянутых периодически повторяющихся последовательностей, таким образом определяющее блок данных;

средство, которое в ответ на упомянутый блок данных, вычисляет ряд выборок частоты данных;

средство для сокращения упомянутых выборок частоты данных в ответ на упомянутую гипотетическую остаточную частоту для обеспечения периодически разнесенного подмножества упомянутых выборок частоты данных;

средство для вычисления первой корреляционной серии из упомянутого

подмножества упомянутых выборок частоты данных и упомянутых выборок опорной частоты;

средство для вычисления конечной корреляционной серии, содержащей, по меньшей мере, упомянутую первую корреляционную серию; и

средство для поиска упомянутой конечной корреляционной серии для идентификации того, происходит ли состояние соответствия сигнала между упомянутым гипотетическим сигналом и упомянутым принимаемым сигналом, и если состояние соответствия найдено между упомянутым гипотетическим сигналом и упомянутым принимаемым сигналом, то определяют информацию синхронизации.

17. Мобильная станция по п.16, в которой упомянутое периодически разнесенное подмножество содержит множество выборок, имеющих разнесенные индексы относительно друг друга посредством целого числа К, причем К является числом повторений упомянутой периодически повторяющейся последовательности в упомянутом первом наборе данных, при этом каждая из выборок частоты данных идентифицирована при помощи целого числа.

18. Мобильная станция по п.16, в которой упомянутое периодически разнесенное подмножество содержит множество выборок, имеющих смежные выборки, разнесенные относительно друг друга в герцах на интервалы, определяемые скоростью повторения упомянутой периодически повторяющейся последовательности.

19. Мобильная станция по п.16, в которой упомянутое средство сокращения включает в себя средство для интерполяции между упомянутыми выборками частоты данных.

20. Мобильная станция по п.16, в которой упомянутая мобильная станция содержит память для сохранения упомянутых выборок опорной частоты.

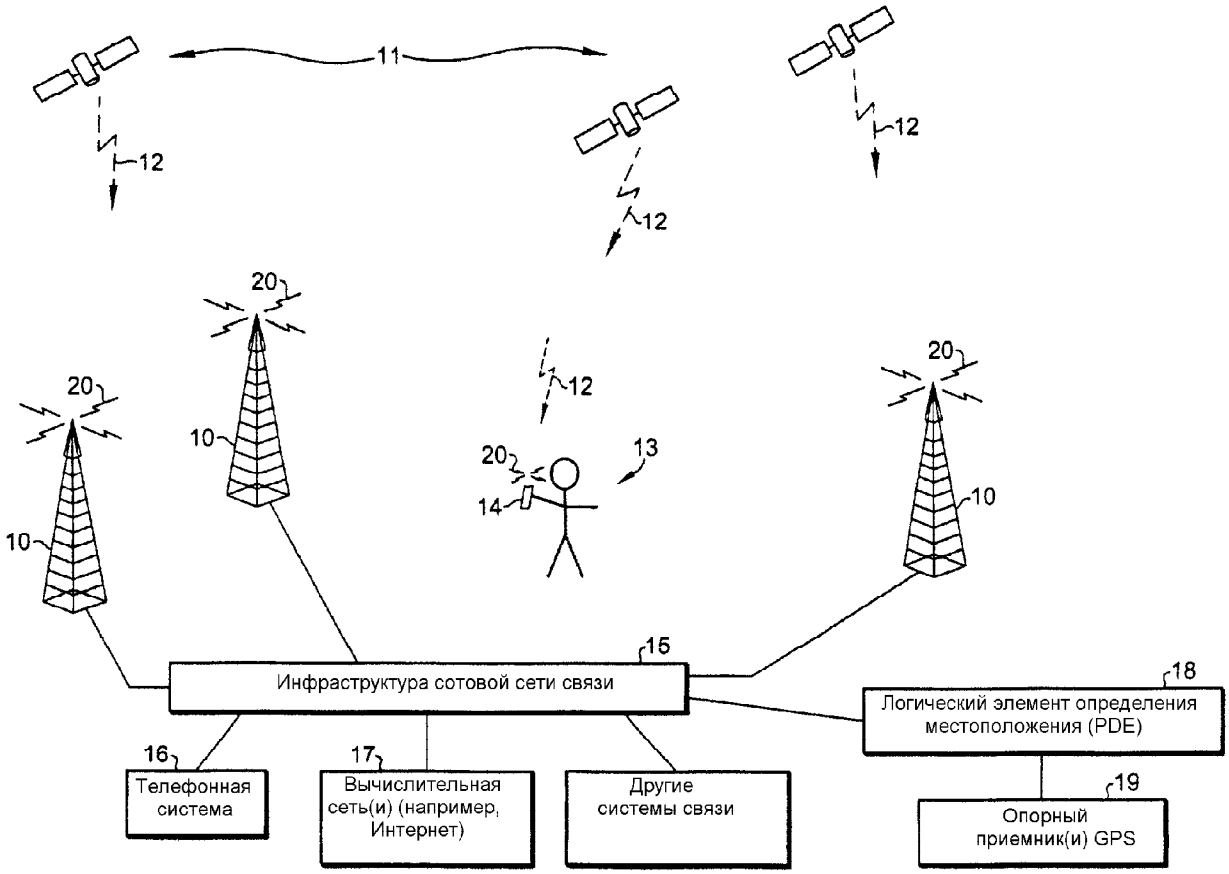
21. Мобильная станция по п.16, в которой упомянутое средство для вычисления конечной корреляционной серии включает в себя средство для некогерентного объединения упомянутой первой корреляционной серии со второй корреляционной серией, вычисленной из второй части упомянутого оцифрованного электромагнитного сигнала, отличной от упомянутой первой части.

22. Мобильная станция по п.16, в которой упомянутый этап вычисления первой корреляционной серии включает в себя средство для умножения упомянутого первого подмножества упомянутых выборок частоты данных с упомянутым набором выборок опорной частоты для формирования набора взвешенных выборок частоты и средство для выполнения обратного дискретного преобразования Фурье (DFT) на упомянутом наборе взвешенных выборок частоты для формирования упомянутой первой корреляционной серии.

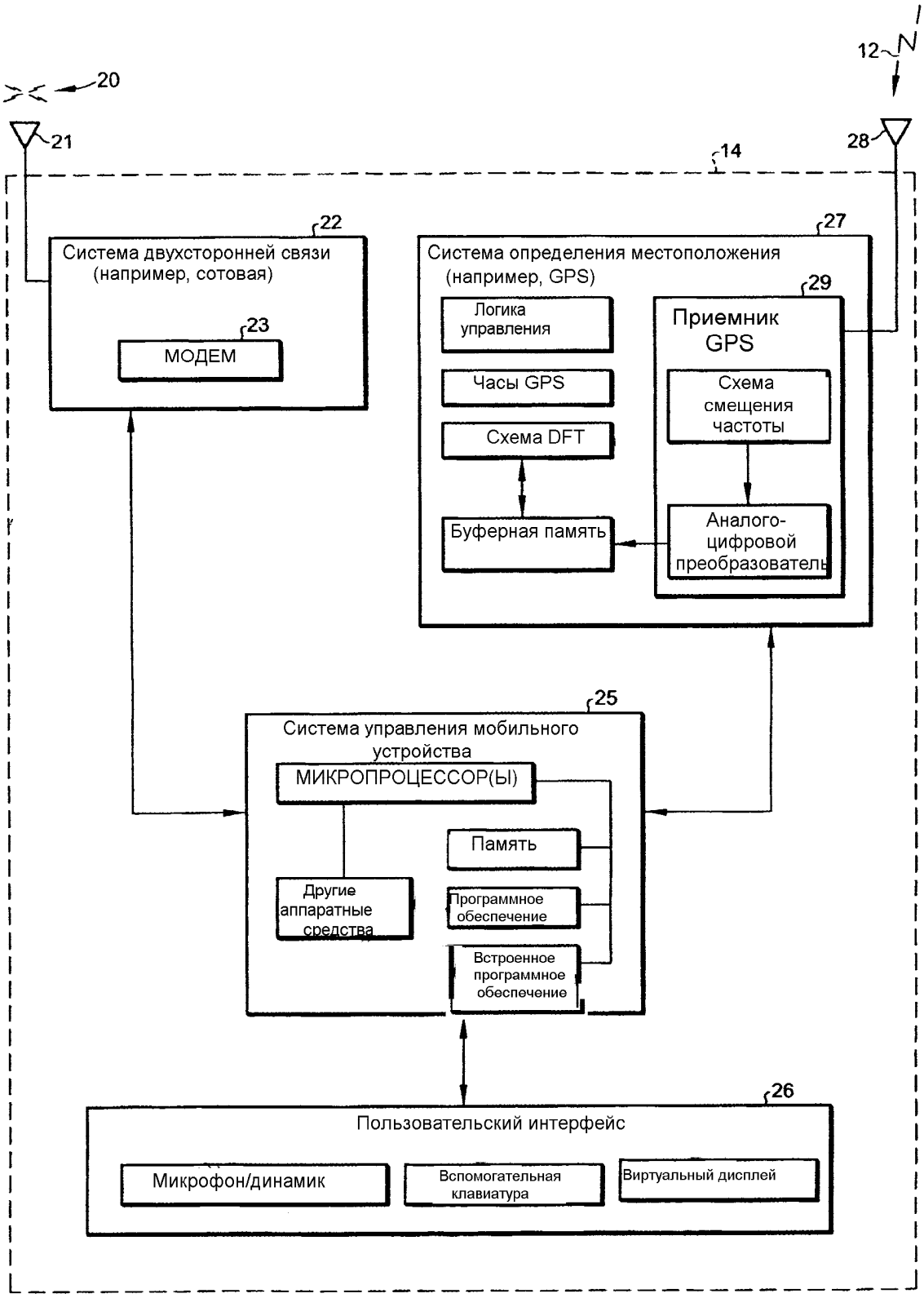
23. Мобильная станция по п.16, в которой упомянутое множество передатчиков содержат множество спутников GPS, которые передают сигналы GPS на предопределенной несущей частоте, причем каждый спутник GPS передает уникальные периодически повторяющиеся последовательности.

24. Мобильная станция по п.16, в которой упомянутый блок данных имеет размер, который соответствует целому числу повторений упомянутых периодически повторяющихся последовательностей.

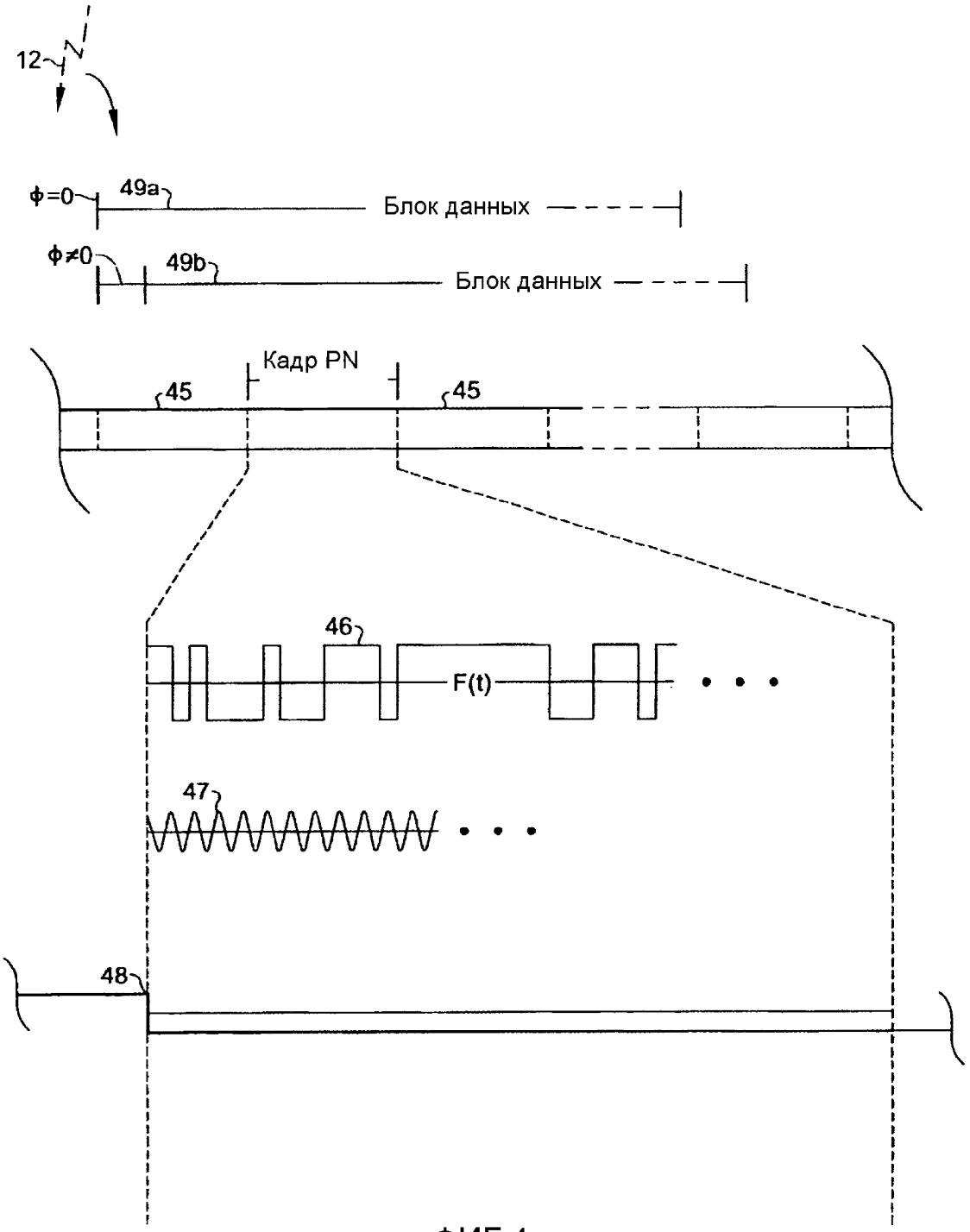
25. Способ по п.16, дополнительно содержащий систему определения местоположения GPS для использования упомянутой информации синхронизации для определения местоположения упомянутой мобильной станции.


11
12
12
12
12
20
20
20
20
10
10
10
13
14
15
Инфраструктура сотовой сети связи
16
Телефонная система
17
Вычислительная сеть(и) (например, Интернет)
Другие системы связи
18
Логический элемент определения местоположения (PDE)
19
Опорный приемник(и) GPS

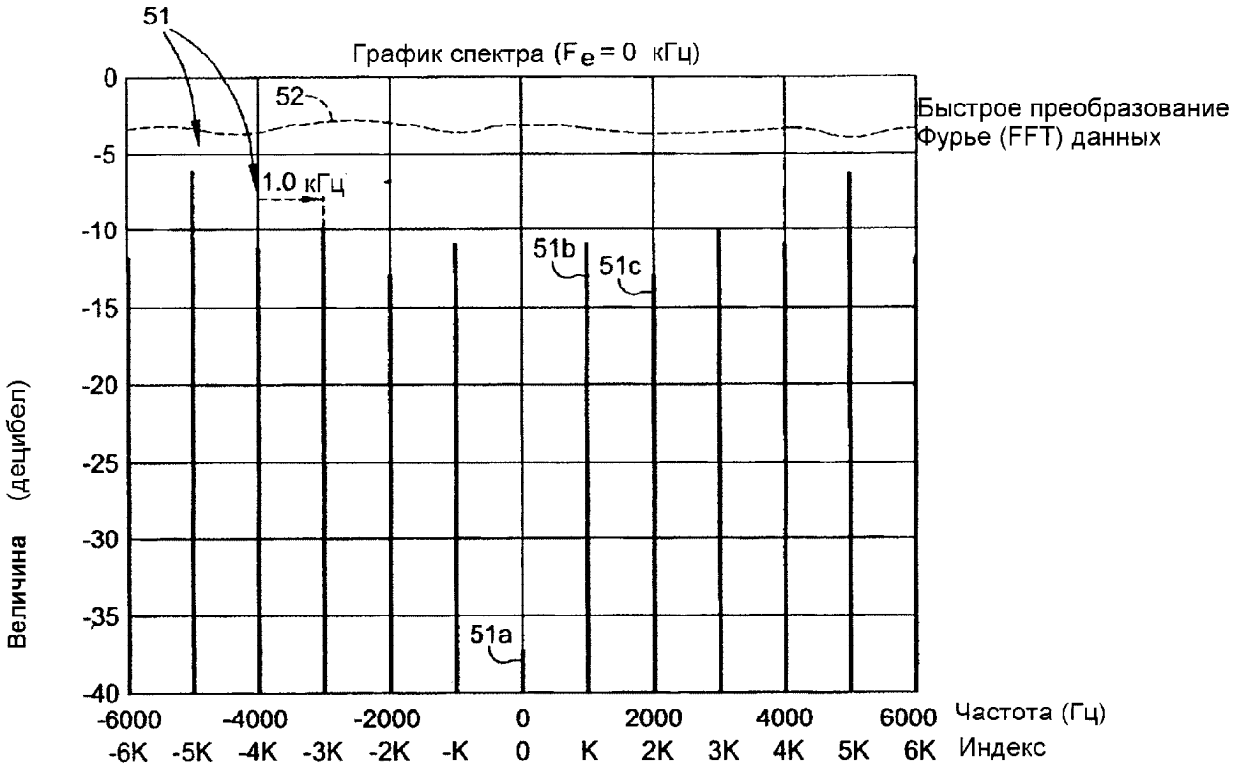
ФИГ.1


12
N
20
21
28
14
22
Система двухсторонней связи (например, сотовая)
23
МОДЕМ
27
Система определения местоположения (например, GPS)
29
Логика управления
Часы GPS
Схема DFT
Буферная память
Приемник GPS
Схема смещения частоты
Аналого-цифровой преобразователь
25
Система управления мобильного устройства
МИКРОПРОЦЕССОР(Ы)
Память
Другие аппаратные средства
Программное обеспечение
Встроенное программное обеспечение
26
Пользовательский интерфейс
Микрофон/динамик
Вспомогательная клавиатура
Виртуальный дисплей

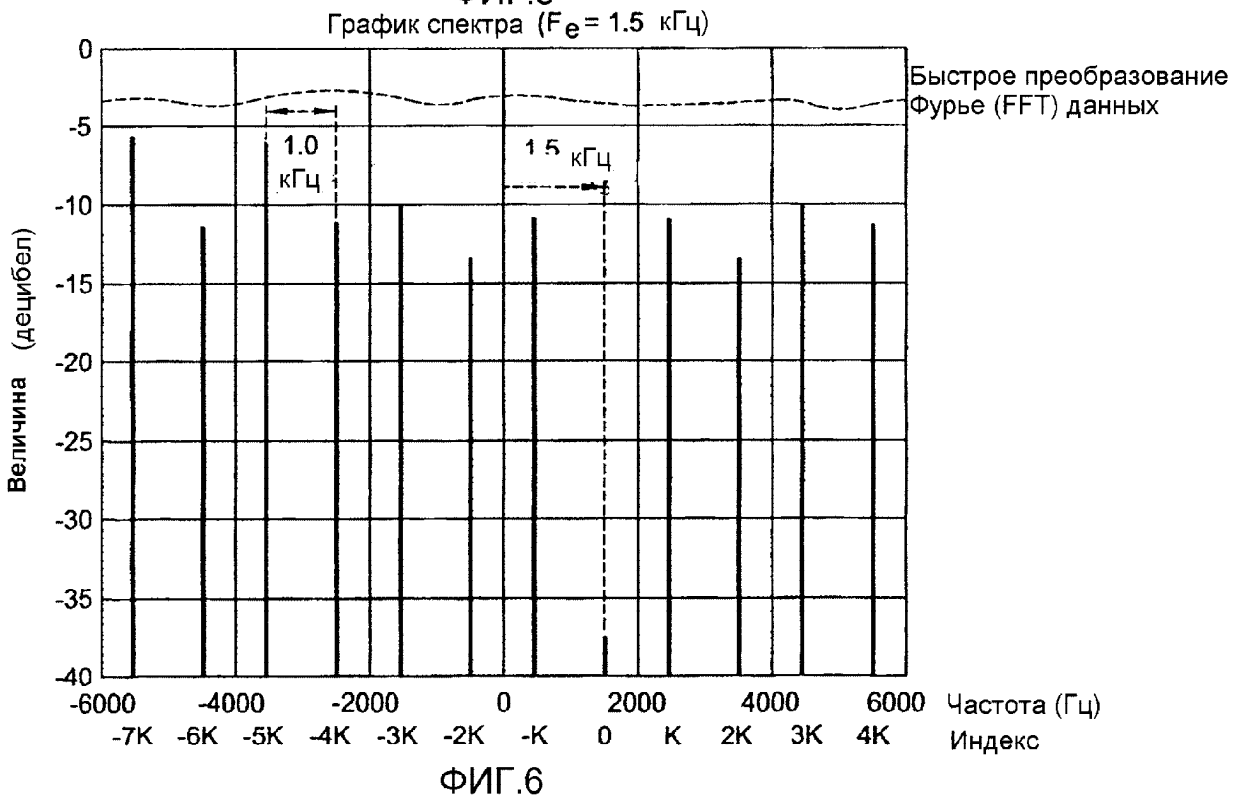
ФИГ.2


12
ϕ=0
49a
Блок данных
ϕ≠0
49b
Блок данных
Кадр PN
45
45
46
F(t)
47
48

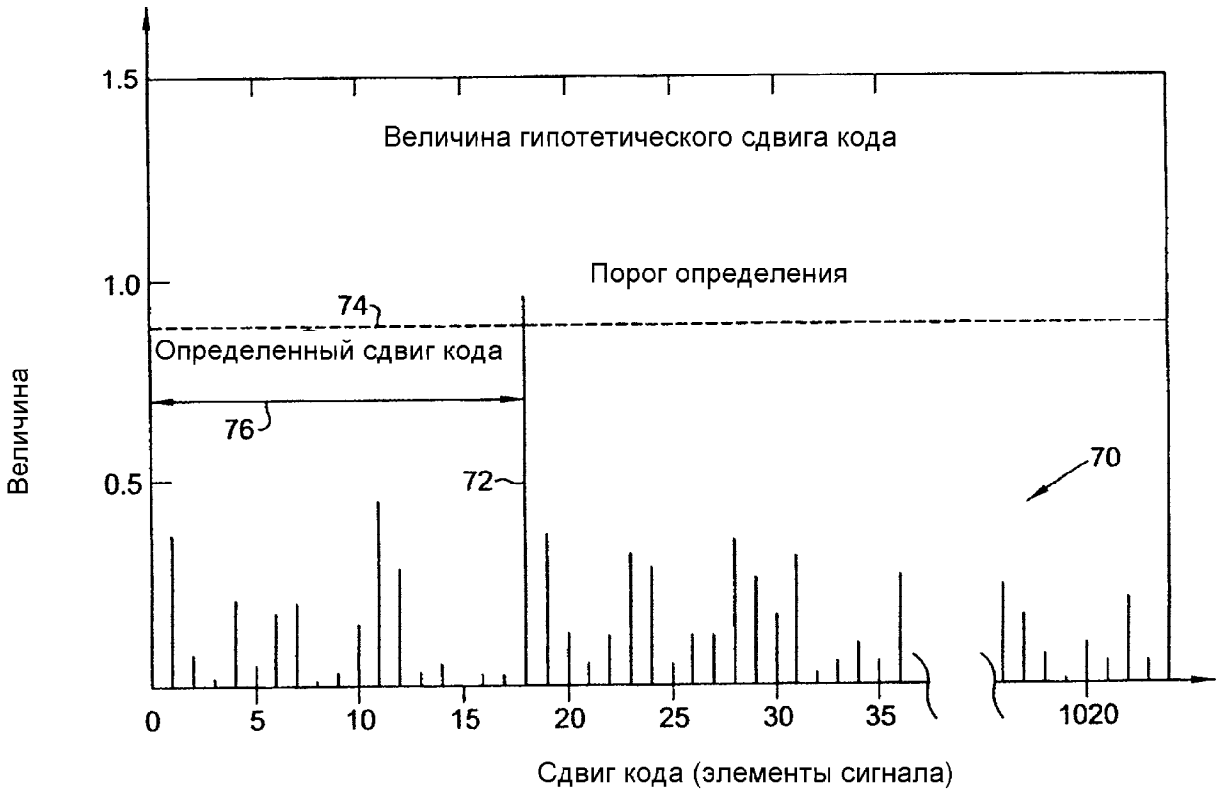
ФИГ.4


51
График спектра (F_e = 0 кГц)
52
Быстрое преобразование Фурье (FFT) данных
1.0 кГц
51b
51c
51a
Величина (децибел)
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-6000 -4000 -2000 0 2000 4000 6000
Частота (Гц)
-6K -5K -4K -3K -2K -K 0 K 2K 3K 4K 5K 6K
Индекс

ФИГ.5


График спектра (F_e = 1.5 кГц)
Быстрое преобразование Фурье (FFT) данных
1.0 кГц
1.5 кГц
Величина (децибел)
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-6000 -4000 -2000 0 2000 4000 6000
Частота (Гц)
-7K -6K -5K -4K -3K -2K -K 0 K 2K 3K 4K
Индекс

ФИГ.6

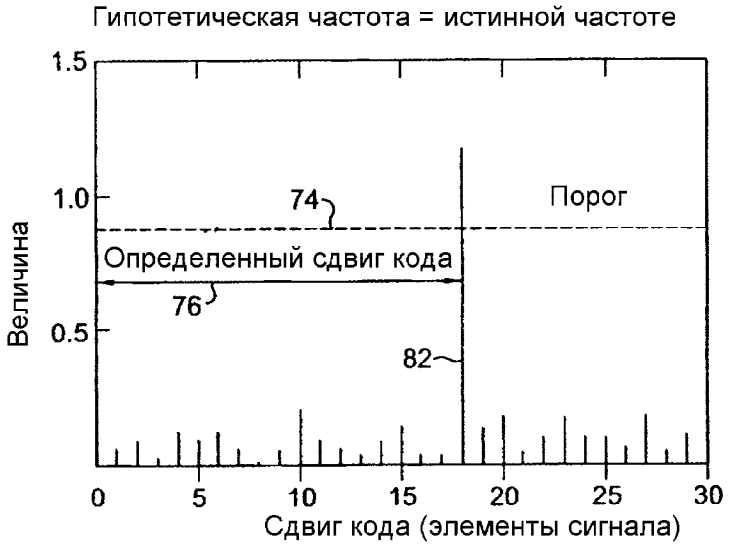


ФИГ.7

Гипотетическая частота = истинная частота + 50 Гц



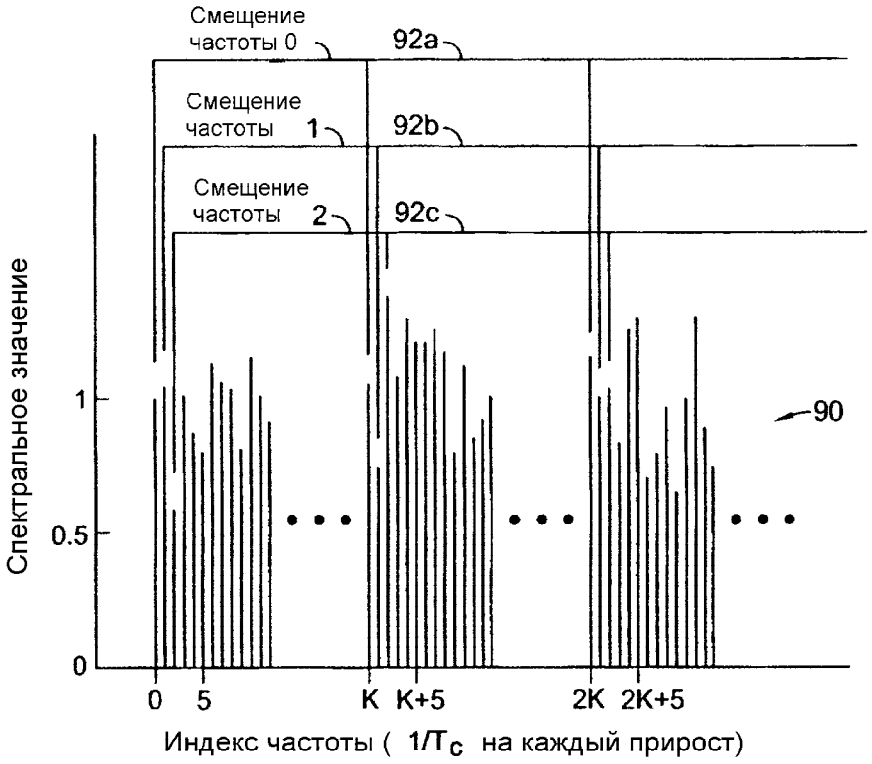
ФИГ.8А


Гипотетическая частота = истинной частоте
1.5
1.0
0.5
Величина
74
Порог
Определенный сдвиг кода
76
82
0
5
10
15
20
25
30
Сдвиг кода (элементы сигнала)

ФИГ.8B


Гипотетическая частота = истинная частота + 50 Гц
1.5
1.0
0.5
Величина
74
Порог
83
0
5
10
15
20
25
30
Сдвиг кода (элементы сигнала)

ФИГ.8C



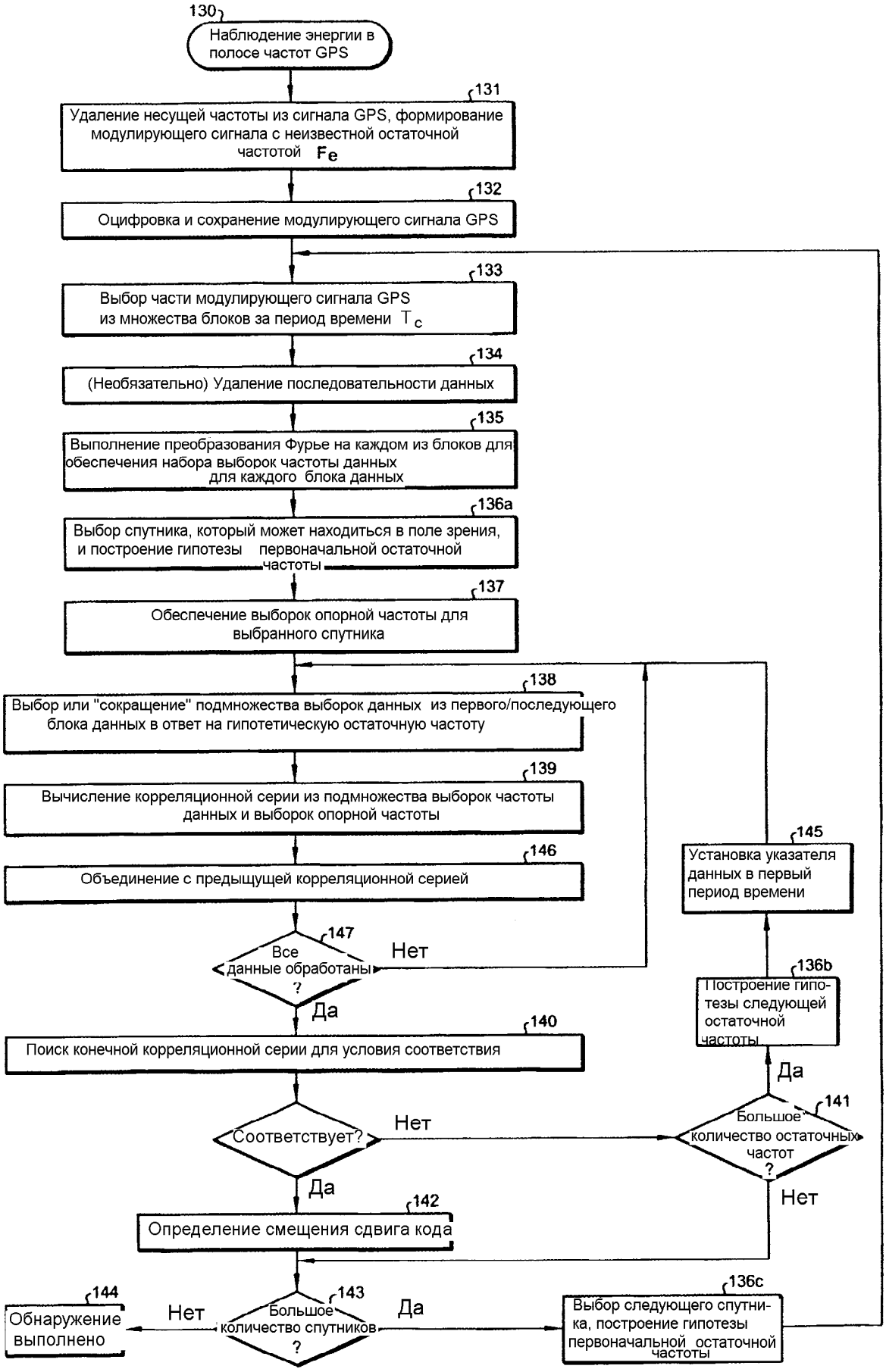
ФИГ.9

Номер частоты гребенчатой структуры

Подмножества: гипотетические смещения частот		0	1	2	3	• • •	MAX
92a	0:	A_0	A_K	A_{2K}	A_{3K}	• • •	A_{N-K}
92b	1:	A_1	A_{K+1}	A_{2K+1}	A_{3K+1}	• • •	A_{N-K+1}
92c	2:	A_2	A_{K+2}	A_{2K+2}	A_{3K+2}	• • •	A_{N-K+2}
92d	3:	A_3	A_{K+3}	A_{2K+3}	A_{3K+3}	• • •	A_{N-K+3}
• • •							

Таблица, изображающая круговое вращение

ФИГ.10


130
Наблюдение энергии в полосе частот GPS
131
Удаление несущей частоты из сигнала GPS, формирование модулирующего сигнала с неизвестной остаточной частотой Fe
132
Оцифровка и сохранение модулирующего сигнала GPS
133
Выбор части модулирующего сигнала GPS из множества блоков за период времени Tc
134
(Необязательно) Удаление последовательности данных
135
Выполнение преобразования Фурье на каждом из блоков для обеспечения набора выборок частоты данных для каждого блока данных
136a
Выбор спутника, который может находиться в поле зрения, и построение гипотезы первоначальной остаточной частоты
137
Обеспечение выборок опорной частоты для выбранного спутника
138
Выбор или "сокращение" подмножества выборок данных из первого/последующего блока данных в ответ на гипотетическую остаточную частоту
139
Вычисление корреляционной серии из подмножества выборок частоты данных и выборок опорной частоты
146
Объединение с предыщущей корреляционной серией
147
Все данные обработаны ?
Нет
Да
140
Поиск конечной корреляционной серии для условия соответствия
Соответствует?
Нет
Да
142
Определение смещения сдвига кода
143
Большое количество спутников ?
Нет
Да
144
Обнаружение выполнено
136c
Выбор следующего спутника, построение гипотезы первоначальной остаточной частоты
141
Большое количество остаточных частот ?
Да
Нет
136b
Построение гипотезы следующей остаточной частоты
145
Установка указателя данных в первый период времени

ФИГ.11