

М. В.ВАСИЛЬЕВ, Н. В.МИХАЙЛОВ, С. С. ПОСПЕЛОВ, В. В. ЧИСТЯКОВ,
Н. В. ВАСИЛЬЕВА

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХБЫСТРОГО ПЕРВОГО НАВИГАЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ МАССОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Представлен метод получения сверхбыстрого навигационного определения по сигналам спутниковых радионавигационных систем, который позволяет существенно сократить время до вычисления первых координат потребителя при наличии априорной информации об эфемеридах навигационных спутников и хорошей начальной оценки положения спутникового радионавигационного приемника и поправки его часов. Для получения хорошей начальной оценки координат потребителя предлагается использовать доплеровские измерения сдвига частоты. Приведена оценка времени получения первого навигационного определения в зависимости от мощности принимаемого сигнала.

Введение

Одной из важнейших характеристик навигационных приемников спутниковых радионавигационных систем (СРНС) является время до получения первого определения координат после включения питания. В зависимости от начальных условий обычно отмечают время горячего, теплого и холодного старта. Для первого из них требуется наличие априорной информации об эфемеридах, альманахах, хорошей начальной оценке положения потребителя и поправки его часов. По сравнению с горячим стартом при теплом старте отсутствуют эфемериды, а при холодном старте априорной информации вообще нет. При всех типах стартов обнаружение сильных сигналов в современных радионавигационных приемниках происходит очень быстро и уже в течение первой секунды после старта могут быть получены 1-миллисекундные псевдодальности, а еще через одну-две секунды – 20-миллисекундные дальности. Однако классический способ определения координат потребителя по сигналам СРНС предполагает использование

Васильев Михаил Васильевич. Кандидат физико-математических наук, директор по навигации Представительства компании «Уайт Дварф Лимитед» (Санкт-Петербург).

Михайлов Николай Викторович. Кандидат физико-математических наук, Глава Представительства компании «Уайт Дварф Лимитед». Действительный член Академии навигации и управления движением.

Поспелов Сергей Сергеевич, ведущий инженер Представительства компании «Уайт Дварф Лимитед».

Чистяков Валерий Валентинович, ведущий инженер Представительства компании «Уайт Дварф Лимитед».

Васильева Наталья Валентиновна. Кандидат технических наук, инженер ОАО «ВНИИРА» (С.-Петербург).

Статья по докладу на XVII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам.

только полных псевдодальностей. Получение полных псевдодальностей и декодирование эфемеридной информации может занимать 6–30 с в системе GPS и 2–30 с в системе ГЛОНАСС. В условиях, неблагоприятных для приема сигналов навигационных спутников, например в районах плотной городской застройки, в горах или лесистой местности, этот период может быть существенно больше. В настоящее время практически все навигационные приемники, используемые в мобильных телефонах, носимых навигационных устройствах и пр., имеют время горячего старта, равное 1-2 с, что предполагает разрешение в той или иной форме целочисленных неоднозначностей в 1-миллисекундных или 20-миллисекундных псевдо-дальностях. Однако известные методы разрешения неоднозначностей неполных псевдодальностей имеют целый ряд недостатков, которые сводятся либо к чрезмерной алгоритмической сложности, либо к большому объему требуемых вычислений. Предлагаемый метод является своего рода компромиссом между сложностью алгоритма разрешения неоднозначностей и требуемыми для решения этой задачи вычислительными ресурсами, что и определяет его актуальность.

Актуальность проблемы и известные подходы к ее решению

Навигационные приемники СРНС принимают радиосигналы навигационных спутников, производят измерения параметров этих сигналов – псевдодальности и доплеровского сдвига частоты. Терминологически вместо доплеровского сдвига частоты часто используют понятие псевдоскорости, отличающееся от первого лишь постоянным коэффициентом. Измерение псевдодальности производится путем определения фазы принимаемой поднесущей радиосигнала, представляющей собой псевдослучайную последовательность (или PRN-код – от английского PseudoRandom Noise), наложенную на несущее колебание радиочастоты с помощью фазовой манипуляции. В СРНС GPS [1], например, в качестве такой дальномерной поднесущей использованы коды Голда с периодом 1 мс и частотой следования символов кода, равной 1,023 МГц. В СРНС ГЛОНАСС [2] в качестве дальномерной поднесущей используется последовательность максимальной длины (М-последовательность) также с периодом 1 мс, но с частотой следования символов кода, равной 511 кГц.

Кроме этого, в сигналах СРНС с борта космических аппаратов (КА) передается служебная информация о местоположении КА и о частоте опорного генератора и шкале времени КА (эфемеридная информация). Служебная информация в сигналах передается с помощью фазовой манипуляции с частотой следования битов данных, например, в СРНС GPS и ГЛОНАСС с частотой, равной 50 Гц (бит в секунду). Смысловые слова служебной информации упорядочены в некоторых регулярно повторяемых форматах данных.

В СРНС GPS формат данных – это «слова» (word – длительность 0,6 с, «суб-фреймы» (sub-frame – 10 слов), длительность 6 с, «фреймы» (frame) – длительность 30 с, «суперфрейм» (super-frame) – длительность 12,5 мин. Первое слово каждого субфрейма содержит HOW (Handover Word), включающее в себя TOW (Time of Week – время внутри недели), позволяющее

определить в приемнике время с точностью, необходимой для привязки к нему измерений псевдодальности и доплеровского сдвига частоты. Первый, второй и третий субфреймы каждого фрейма содержат эфемеридную информацию.

В СРНС ГЛОНАСС регулярно повторяемый формат данных включает в себя строки (длительность 2 с), кадры (длительность 30 с) и суперкадр (длительность 2,5 мин). Эфемеридная информация размещается в четырех первых строках каждого кадра данных СРНС ГЛОНАСС. В строке размещаются несколько параметров эфемеридной информации. Информация о времени содержится в параметре t_k , расположенном в первой строке каждого кадра.

Прием служебной информации в приемнике СРНС начинается с установления синхронизации с границами битов данных. Действительно, синхронизация с PRN-кодом определяет время прихода сигнала внутри периода этого кода (обычно 1 мс), но не дает знания границ битов данных, имеющих длительность 20 мс, соответствующую скорости передачи данных 50 бит/с. После достижения битовой синхронизации приемник приступает к приему битов данных, проверке правильности приема с помощью содержащихся в составе данных проверочных разрядов помехоустойчивого кодирования и далее к выделению (декодированию) элементов сообщения (в GPS: слов, субфреймов, фреймов, суперфрейма).

Космические аппараты СРНС имеют высоту орбит около 20000 км над поверхностью Земли. Соответственно, типичное время распространения сигналов составляет примерно от 60 до 80 мс. Таким образом, полная (однозначная) псевдодальность должна измеряться в пределах до 80 мс. После синхронизации с PRN-кодом в результате обнаружения сигнала СРНС и установления слежения за фазой PRN-кода в приемнике получают неполные (неоднозначные) измерения псевдодальности по модулю 1 мс. Это означает, что измеренная псевдодальность является точной в своей одномиллисекундной части, но не содержит неизвестного целого числа одномиллисекундных интервалов, которые необходимо добавить к неполной псевдодальности для ее полного представления. Таким образом, после начального этапа синхронизации с сигналами СРНС (GPS, ГЛОНАСС) доступными в приемнике являются одномиллисекундные псевдодальности.

Достижение синхронизации с битами данных служебной информации, передаваемой в сигналах СРНС (GPS, ГЛОНАСС), позволяет расширить интервал однозначного представления измеряемых псевдодальностей до 20 мс. В этом случае говорят о доступности в приемнике 20-миллисекундных псевдодальностей.

Полные псевдодальности измеряются в приемнике СРНС после приема временной информации (TOW в GPS или t_k в ГЛОНАСС) из состава служебной информации хотя бы одного из КА СРНС.

Для достижения битовой синхронизации и приема временной информации, обеспечивающих измерение полных псевдодальностей, должно быть затрачено некоторое время, зависящее от особенностей построения приемника СРНС и условий приема сигналов. Ориентировочно, затраты времени для достижения битовой синхронизации могут составлять от долей секунды до единиц секунд. Временная информация (TOW в GPS или t_k в Глонасс)

имеют период повторяемости, равный 30 с. С учетом случайности момента начала приема и, как правило, наличия в приемнике дополнительных проверок достоверности приема данных ориентировочно можно говорить о затратах от 10 до 40 с на прием временной информации даже в условиях затрудненного распространения сигналов СРНС (сильные сигналы).

На рис. 1 представлена обобщенная временная диаграмма работы приемника СРНС, характеризующая составляющие времени до получения первого определения координат, которое мы будем в соответствии с международной традицией называть TTFF, от английского Time-to-First Fix.

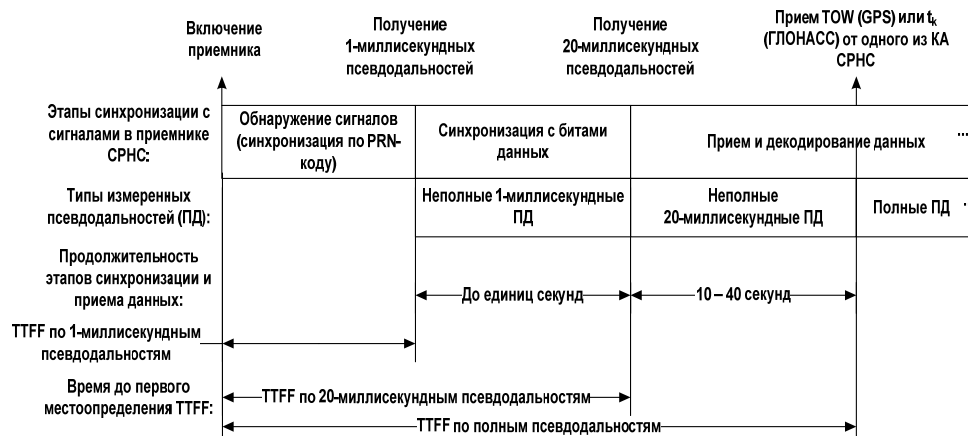


Рис. 1. Обобщенная временная диаграмма работы приемника СРНС

В условиях затрудненного распространения сигналов СРНС, например, в помещении или среди плотной городской застройки, снижение отношения сигнал/шум может приводить к дальнейшему многократному росту затрат времени на получение измерений полных псевдодальностей, или, даже, к невозможности получения таковых.

В то же время зачастую неполные псевдодальности могут измеряться приемником и по слабым сигналам, а эфемеридная информация о положении КА СРНС может быть доступна из альтернативных источников. Например, в приемник СРНС, предназначенный для отслеживания перемещения грузов, эфемеридная информация может быть заранее записана на все время предстоящей экспедиции. Другим примером может служить получающая все большее распространение практика долговременного прогноза эфемерид (на несколько суток) внутри приемника СРНС [3].

Таким образом, задача местоопределения в приемнике СРНС по неполным псевдодальностям является чрезвычайно актуальной для современных навигационных приемников, используемых, например, в мобильных телефонах и носимых навигационных устройствах.

Известен способ решения данной задачи, описанный в патенте США No 7535414 [4], который предполагает, что перед вычислением координат навигационного приемника производится разрешение неопределенностей в неполных псевдодальностях путем их включения в вектор оцениваемых па-

раметров, причем для начальной оценки координат навигационного приемника и величины неопределенности в псевдодальности специально выбранного опорного спутника используются измерения псевдоскорости. Фиксация целочисленных неопределенностей псевдодальностей происходит только при достижении определенной точности их вычисления. К недостаткам данного способа можно отнести высокую вычислительную сложность, необходимость образования дополнительных комбинаций измерений – разностей псевдодальностей, большую размерность матриц, участвующих в вычислениях, и большую вероятность того, что для разрешения неопределенности в неполных псевдодальностях потребуется более одного набора одномоментных измерений, что может привести к увеличению времени до получения первого определения координат приемника СРНС. Все это приводит к существенному усложнению данного способа по сравнению с классическим способом определения координат приемника СРНС по полным псевдодальностям.

В качестве альтернативы методу, описанному выше, патент США No 6417801 [5] предлагает разрешение неопределенностей в неполных псевдодальностях путем добавления в вектор оцениваемых параметров поправки ко времени измерения, перебор всех допустимых целочисленных комбинаций неоднозначностей и выбор нужной из них по критерию минимальности остаточных невязок. Однако данный метод, несмотря на простоту реализации вычислений, также имеет существенные недостатки. Это либо необходимость получения информации о достаточно точных начальных координатах приемника СРНС, например от станции мобильной связи, что требует усложнения приемника СРНС за счет необходимости реализации канала приема этих данных, либо необходимость длительного перебора с целью нахождения такого набора начальных координат, при котором данный метод позволяет решить задачу определения координат приемника СРНС. Такой перебор включает в себя вычисление модельных псевдодальностей по некоторой сетке возможных начальных приближений к истинным координатам приемника СРНС, что является наиболее ресурсоемким процессом в определении координат в приемнике по сигналам СРНС.

Описание метода

Классический метод определения координат потребителя по сигналам СРНС предполагает наличие измерений полных псевдодальностей и эфемерид навигационных спутников, а также синхронизацию шкалы навигационного приемника со шкалой СРНС с точностью порядка 10 мс. Знание хорошего начального приближения для координат потребителя при классическом подходе не требуется. В случае определения координат спутника по неполным псевдодальностям появляется дополнительное требование точности знания начального приближения для координат потребителя. Действительно, задача разрешения 1- или 20-миллисекундных неоднозначностей псевдодальностей становится тривиальной при следующих начальных приближениях:

- 1) имеется полный набор эфемерид для видимых навигационных спутников;

- 2) смещение бортовой шкалы времени потребителя относительно шкалы времени СРНС не превосходит нескольких секунд;
- 3) начальное приближение для координат потребителя имеет ошибку не более, чем несколько километров.

Первое условие может быть выполнено путем сохранения всех принятых из навигационного сигнала бортовых эфемерид спутников в долговременной памяти приемника или получения эфемерид с использованием интернет-канала, либо автономного прогноза эфемерид, производимого непосредственно в аппаратуре потребителя. Второе условие может быть обеспечено использованием внешнего источника, например интернет-канала, либо применением в аппаратуре потребителя часов, идущих непрерывно за счет автономного источника питания. Такие часы обычно накапливают погрешность не более чем в 1-2 с за сутки. Хорошее начальное приближение для координат потребителя может быть достигнуто сохранением в долговременной памяти приемника положения потребителя, вычисленного в последнем сеансе навигационных определений, или использованием координат ближайшей базовой станции сотовой связи для мобильных телефонов.

Далеко не все навигационные устройства имеют канал для получения внешней поддержки горячего старта, далеко не все провайдеры мобильной связи обеспечивают такую поддержку, и очень часто внешняя поддержка оказывается экономически обременительной или невыгодной. Отсюда следует требование полной автономности для предлагаемого алгоритма. Далее будем считать, что эфемеридная поддержка осуществляется путем автономного прогноза эфемерид в аппаратуре потребителя, временная поддержка достигается применением непрерывно идущих за счет автономного источника питания часов, а начальная оценка координат потребителя считывается из долговременной памяти приемника. Отличительными чертами разработанного для таких условий способа первого навигационного решения являются:

- 1) использование измерений псевдоскорости для уточнения произвольного начального приближения координат потребителя с типичной результирующей ошибкой порядка нескольких километров;
- 2) добавление в вектор оцениваемых параметров поправки ко времени измерений;
- 3) целочисленный перебор невязок неполных псевдодальностей взятых по модулю интервала неоднозначности (1 или 20 мс) и выбор нужных из них по критерию минимальности поправок к координатам потребителя.

Способ реализуется на основе нескольких отдельных блоков, которые являются простым дополнением к классическому методу навигационных определений и легко в него встраиваются. Применение измерений псевдоскорости позволяет резко уменьшить ошибку начальных координат потребителя и либо сразу получить решение задачи, либо ограничиться минимальным перебором целочисленных значений неоднозначностей неполных псевдодальностей. Начальная оценка координат потребителя может быть уточнена по измерениям псевдоскоростей с использованием следующего вектора поправок Δ_D :

$$\Delta_D = \left[\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta T, \Delta \left(\frac{dx}{dt} \right), \Delta \left(\frac{dy}{dt} \right), \Delta \left(\frac{dz}{dt} \right), \Delta F \right], \quad (1)$$

где $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – поправки к начальным координатам; $\Delta \left(\frac{dx}{dt} \right), \Delta \left(\frac{dy}{dt} \right), \Delta \left(\frac{dz}{dt} \right)$ – поправки к начальным скоростям; ΔF – поправка к частоте опорного генератора; t – время; ΔT – поправка ко времени измерений.

Уравнения для вычисления Δ_D могут быть представлены в виде

$$G \cdot \Delta_D = \Delta \dot{R}, \quad (2)$$

где $\Delta \dot{R}$ – вектор разностей измеренных псевдоскоростей и их модельных значений, имеющий размерность L ; G – матрица производных по уточняемым параметрам, L строк которой имеют вид

$$\left[\frac{\partial \dot{R}_i}{\partial x}, \frac{\partial \dot{R}_i}{\partial y}, \frac{\partial \dot{R}_i}{\partial z}, \frac{\partial \dot{R}_i}{\partial t}, \frac{\partial \dot{R}_i}{\partial \dot{x}}, \frac{\partial \dot{R}_i}{\partial \dot{y}}, \frac{\partial \dot{R}_i}{\partial \dot{z}}, 1 \right];$$

R_i – модельное расстояние до i -го КА; $i = 1, \dots, L$; L – количество измерений псевдоскорости; x, y, z – начальные координаты.

Поправки Δ_D добавляются к начальным координатам в ходе нескольких итераций, которые прерываются, когда Δ_D становятся достаточно малы. Оценка ошибки δ определения начальных координат по измерениям псевдоскоростей обычно существенно меньше 150 км.

Для перехода к вычислению положения потребителя по неполным псевдодальностям необходимо определиться с общим для всех них модулем неоднозначности N . Действительно для проведения первого определения координат потребителя может иметься произвольная смесь из полных 20-миллисекундных и 1-миллисекундных псевдодальностей. Будем считать, что модуль неоднозначности N (миллисекунд) вычисляется из оценки ошибки δ координат следующим образом: $N=1$ для $\delta < 150$ км и $N=20$ для $150 \leq \delta < 3000$ км. Для определения координат потребителя выбираем M псевдодальностей с модулем неоднозначности большим или равным N . Для этих M псевдодальностей вычисляем их невязки $\Delta R_j (j = 1, \dots, M)$, которые равны разности псевдодальностей и их вычисленных модельных значений по модулю N мс. Поскольку оценка ошибки δ координат меньше $N/2 \cdot c$ км (c – скорость света, $N/2 \cdot c$ равно 150 км при $N=1$ и 3000 км при $N=20$), отклонения ΔR_j от их среднего значения должны быть менее $N/2$ миллисекунд. Если какая-либо из ΔR_j оказывается больше, чем $N/2$ миллисекунд, то из этой невязки вычитается N миллисекунд. Если какая-либо из ΔR_j оказывается меньше, чем $-N/2$ миллисекунд, то к этой невязке добавляется N миллисекунд.

Так как любая из невязок может иметь неоднозначность равную $\pm N$ миллисекунд, то весь возможный набор $\Delta R_j, \Delta R_j + N, \Delta R_j - N$ будет использоваться при последующей обработке. Вычисление координат приемника по

измерениям псевдодальностей производится с использованием вектора поправок

$\Delta_p = (\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t, \Delta T)$. Система уравнений для нахождения поправок Δ_p может быть представлена в виде:

$$H \cdot \Delta_p = \Delta R, \quad (3)$$

где H – матрица производных по уточняемым параметрам, M строк которой имеют вид

$$\left[\frac{\partial R_j}{\partial x}, \frac{\partial R_j}{\partial y}, \frac{\partial R_j}{\partial z}, 1, \frac{dR_j}{dt} \right]; \quad j = 1, \dots, M;$$

Δt – поправка к шкале времени приемника СРНС.

Для решения данной системы уравнений используется итерационный процесс, причем во время первой итерации, вычисляются все возможные вектора поправок Δ_p для всех комбинаций невязок $\Delta R_j, \Delta R_j + N, \Delta R_j - N$ псевдодальностей. Минимальная из поправок Δ_p , выбранная из множества $\Delta R_j, \Delta R_j + N, \Delta R_j - N$ невязок псевдодальностей является искомой и служит для введения поправок Δ_p к координатам и шкале времени потребителя. Во время всех остальных итераций, кроме первой, вектор поправок Δ_p вычисляется из вектора невязок ΔR , пока поправки Δ_p не станут достаточно малы, чтобы обеспечить требуемую точность вычисления координат. Например, можно потребовать, чтобы поправки к координатам были меньше 0,1 м.

Поскольку вместо классического способа перебора по всем возможным наборам координат потребителя с минимизацией остаточных невязок измерений псевдодальностей используется критерий минимальности поправок к фиксированным начальным координатам потребителя, даже на низкопроизводительных процессорах, типичных для аппаратуры массового применения, и в режиме фоновой задачи удается разрешить неоднозначности псевдодальностей и получить навигационное решение за время, существенно меньшее 1 с. Экспериментальные замеры времени до первого определения координат с использованием предлагаемого способа приведены в следующем разделе.

Апробация метода

Предложенный метод был реализован в приемнике СРНС, который и использовался в дальнейших тестах. Для апробации метода проводились эксперименты с использованием реального сигнала и сигнала от многоканального симулятора для системы GPS. Для воссоздания ситуации горячего старта в приемник СРНС засылались эфемериды для всех навигационных спутников, сигналы которых являлись доступными на данный момент времени исходя из критерия их видимости.

Кроме того, часы приемника СРНС устанавливались так, чтобы их погрешность не превышала 2 с. Начальное положение потребителя выбиралось так, чтобы его отклонение от истинных координат было не более 150 км в

плановых координатах и 500 м в высоте. Измерялись и фиксировались следующие времена:

- время от включения приемника СРНС до получения первых координат потребителя;
- время от получения измерений псевдодальности и псевдоскорости до получения первых координат потребителя.

Второе время остается практически постоянным, составляет для используемой аппаратуры потребителя 0,2-0,4 с и зависит в общем случае только от типа процессора и его загруженности, поскольку задача вычисления координат потребителя обычно является фоновой.

Ниже приведены графики результатов 20 замеров времени до первого определения координат потребителя, выполненных во время экспериментов с многоканальным симулятором для отношений сигнал/шум 40,36,32 и 28 дБ (рис. 2).

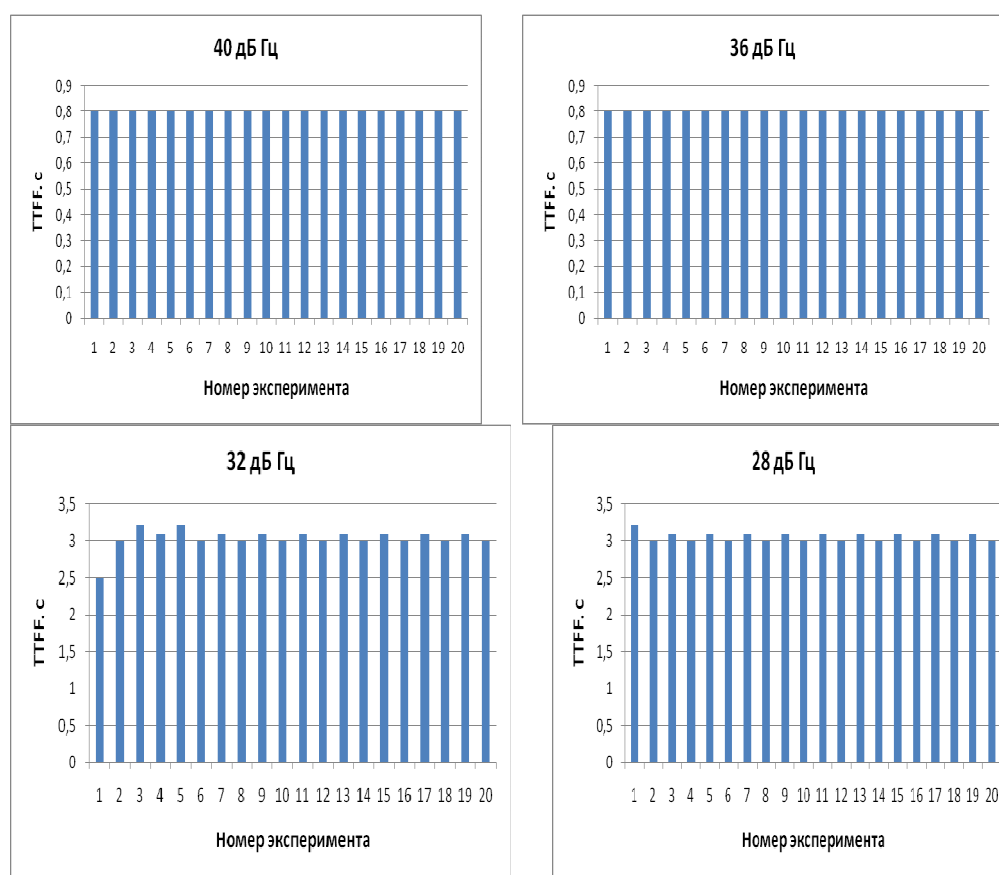


Рис. 2. Время до первого определения координат потребителя при использовании многоканального симулятора системы GPS

Т а б л и ц а 1

Статистические характеристики TTF при использовании симулятора системы GPS

Отноше- ние сиг- нал/шум, дБ	Средний TTFF,с	СКО, с	Мини- мальный TTFF,с	Макси- мальный TTFF,с
40	0,8	0,0	0,8	0,8
36	0,8	0,0	0,8	0,8
32	3,04	0,14	2,5	3,2
28	3,06	0,06	3,0	3,1

Аналогичные эксперименты, но уже с использованием реального сигнала системы GPS, были проведены для средних отношений сигнал/шум, равных 40 и 30 дБ (рис. 3). Приведенные ниже графики результатов 20 замеров времени до первого определения координат потребителя по реальному сигналу GPS не показывают существенных отличий от экспериментов, выполненных с использованием многоканального симулятора.

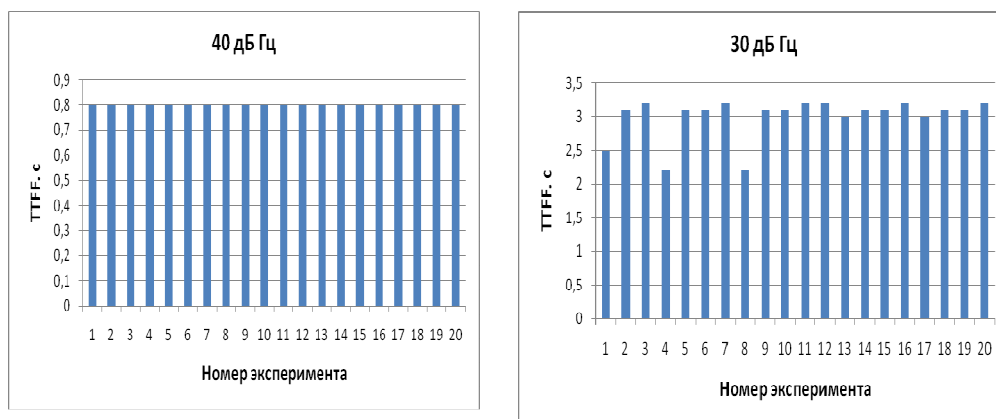


Рис. 3. Время до первого определения координат потребителя при использовании реального сигнала системы GPS

Т а б л и ц а 2

Статистические характеристики TTFF при использовании реального сигнала системы GPS

Отношение сигнал/шум, дБ	Средний TTFF,с	СКО, с	Минимальный TTFF,с	Максимальный TTFF,с
40	0.8	0.0	0.8	0.8
30	3.0	0.3	2.2	3.2

Видно, что при уменьшении отношения сигнал/шум появляется стохастическая составляющая в TTFF. Эта составляющая обусловлена тем, что с уменьшением отношения сигнал/шум начинает играть роль стохастическая составляющая интервалов времени до получения первых неполных измерений псевдодалности. Следовательно, стохастическая составляющая в TTFF

не определяется используемым алгоритмом вычисления координат потребителя по неполным псевдодальностям. Это справедливо как для сценария с многоканальным симулятором, так и для тестов, построенных на использовании реального сигнала GPS.

Отметим, что стандартное требование точности знания априорных координат потребителя (не хуже 150 км по плановым координатам и 500 м по высоте) при использовании неполных псевдодальностей не является обязательным при применении описанного выше метода. Даже при полном отсутствии априорных данных о координатах потребителя эти данные могут быть получены из измерений псевдоскоростей с достаточной для разрешения неоднозначностей псевдодальномерных измерений точностью. Данные экспериментов, приведенных выше для иллюстрации типичного поведения времени до первого навигационного определения в зависимости от отношения сигнал/шум принимаемого сигнала, воспроизводятся и на гораздо больших по объему выборках, что подтверждает эффективность метода для решения задачи быстрого старта приемника СРНС по измерениям неполных псевдодальностей как в условиях открытого неба (сильный сигнал), так и в условиях городских каньонов (слабый сигнал).

Выводы

Предложен метод, который позволяет при горячем старте навигационного приемника массового применения получать первое навигационное определение по неполным псевдодальностям за времена порядка нескольких секунд.

Показана работоспособность метода в условиях типичных для горячего старта навигационного приемника при использовании реального сигнала и сигнала многоканального симулятора системы GPS.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/icd200/>
2. <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/i/glonass/ICD-2002r.pdf>
3. Михайлов Н.В. Метод автономного долгосрочного прогноза эфемерид СРНС для радионавигационных приемников массового применения / М.В.Васильев, Н.В.Михайлов, Н.В.Васильева // XVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб.:ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009.
4. Han S. Navigation Positioning without Timing Information // US Patent No 7535414, May 19, 2009
5. Van Diggelen F. Method and Apparatus for Time-Free Processing of GPS Signals // US Patent No 6417801, Jul.9, 2002.

Abstract. A method of fast first fix using a low cost GNSS receiver is represented. The method allows reducing significantly the time to first fix in the case that GNSS ephemerides, good estimates of the initial user position and time are available. It is also proposed to use Doppler measurements for the initial estimate of the user coordinates. Expected time to first fix depending on the input GNSS signal power is calculated.