

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 629.78.072.1(043)

Сакович
Роман Викторович

Адаптивный алгоритм высокоточного спутникового позиционирования

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-45 80 02 «Телекоммуникационные системы и
компьютерные сети»

Научный руководитель

Хоменок Михаил Юлианович

кандидат технических наук, доцент

Минск 2015

ВВЕДЕНИЕ

Технологии глобального спутникового позиционирования разрабатывались исключительно для военного применения. GPS – одна из первых спутниковых навигационных систем, разрабатывалась и использовалась министерством обороны США начиная с 1973г. Но впоследствии в 1983г эта система стала доступна и для гражданского применения [6]. С тех пор началось активное развитие и проникновение в нашу жизнь спутниковых систем глобального позиционирования.

Технологии спутникового позиционирования применяются во многих областях деятельности человека. Среди них такие как:

- 1) Судходство и авиация.
- 2) Геодезия.
- 3) Строительство.
- 4) Земледелие.
- 5) Мониторинг транспорта.
- 6) Системы экстренного реагирования.

Основными преимуществами, ставшими причиной широкого применения СРНС являются высокая точность и доступность в любой точке поверхности Земли и околоземного пространства.

На данный момент полностью функционируют две глобальные навигационные спутниковые системы GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия), на орбиту выводятся новые модификации спутников, обеспечивающие повышение точности и доступности. Так же в стадии вывода группировки спутников на орбиту находятся еще две системы, Galileo (Европейский Союз) и Compass (Китай) [22].

Ошибка определения координат в автономном одночастотном режиме, когда приемник получает информацию только от навигационной системы, обычно составляет несколько метров или десятков метров. Такой точности вполне достаточно для многих сфер применения. Однако в таких областях как геодезия, точное земледелие, строительство и многих других, требования к точности позиционирования существенно выше.

RTK (Real Time Kinematic) – одна из технологий высокоточного определения координат движущихся объектов в реальном времени. Данная технология относится к дифференциальному позиционированию, и позволяет определять относительную позицию двух приемников с высокой точностью. Ошибка определения относительных координат с помощью RTK лежит в пределах нескольких сантиметров[14]. В роли базовой станции может выступать, как сложное специализированное радионавигационное оборудование, так и обычный пользовательский навигационный приемник,

поддерживающий выдачу сырых измерений. Эти особенности и возможность получать решение в реальном времени открывают новые способы применения спутниковой навигации. К ним относятся:

- 1) Использование в системах автоматического взлета-посадки БПЛА.
- 2) Угломерные системы.
- 3) Системы ориентации объекта в пространстве.
- 4) Системы точной локальной навигации, точное земледелие.
- 5) Роботизированные системы управления движением транспорта.

Однако недостаток распространенных алгоритмов, на которых построен метод RTK, заключается в низком качестве и надежности решения в сложных условиях приема сигнала, например, вблизи высоких зданий, деревьев или движущихся крупных объектов. В диссертации данная проблема демонстрируется на примере работы популярного пакета программ для точного позиционирования RTKLib.

Таким образом, объектом исследования являются глобальные навигационные спутниковые системы. Предмет исследования – методы высокоточного позиционирования и способы повышения надежности решения навигационной задачи.

Цель работы – разработать адаптивный алгоритм высокоточного RTK позиционирования.

Для достижения поставленной цели, необходимо:

- 1) Провести анализ алгоритмов RTK позиционирования.
- 2) Разработать модифицированный алгоритм RTK, обладающий свойством адаптивности по отношению к ошибкам измерения.
- 3) Провести экспериментальное сравнение полученного алгоритма и алгоритмов пакета программ RTKLib.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассказывается об общих принципах спутникового позиционирования. Перечислены основные составляющие и их функции в глобальной спутниковой навигационной системе. Приведена общая схема навигационного приемника. Описаны общие элементы структуры навигационного сигнала. Перечислены основные функции первичной и вторичной обработки. В этой главе вводится понятие псевдо-дальности и описывается модели измерений псевдо-дальности по дальномерному коду. Излагаются математические основы расчета координат пользователя. И в заключение главы описываются проблемы и факторы, влияющие на точность позиционирования.

Во второй главе рассказывается о технологиях дифференциального позиционирования. Описываются математические основы технологии DGPS. Проводится сравнение точности автономного позиционирования и DGPS. Приводится описание технологии высокоточного позиционирования RTK, и вводится модель используемых этой технологией фазовых измерений псевдодальности. Формулируется задача разрешения целочисленной неопределенности, приводятся варианты ее решения. Анализируются математические основы различных вариаций алгоритма фильтр Калмана, и приводится способ решения задачи RTK с помощью расширенного фильтра Калмана. В конце главы рассказывается о распространенном ПО для высокоточной обработки навигационных данных RTKLib. Акцентируется внимание на проблемах данного ПО.

В третьей главе описываются причины не достаточной надежности распространенных алгоритмов RTK, варианты решения проблемы и предпосылки к разработке модифицированного алгоритма RTK. Далее последовательно описываются этапы модификации алгоритма RTK. Сначала акцентируется необходимость перехода от двойных разностей к одинарным, и описывается данный переход. Затем обосновывается необходимость разделения фазового и кодового решения. Описывается алгоритм фильтра Калмана применимый MRTK. Формулируется задача разрешение неопределенности. Далее обосновывается необходимость применения адаптивного фильтра. Описывается теория построения адаптивного фильтра Gaussian Mixture Filter, и применение его к задаче высокоточного позиционирования. В конце приводится результирующая схема модифицированного алгоритма MRTK.

Четвертая глава посвящена экспериментальной части. В данной главе приводятся результаты сравнение работы полученного модифицированного алгоритма MRTK и RTKLib.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проанализированы особенности алгоритма RTK при позиционировании в сложных условиях, исследования которых в экспериментальной части на примере работы программного пакета RTKLib позволили определить основные направления теоретических оценок и стали основой разработки модифицированного алгоритма высокоточного позиционирования.

В результате разработан модифицированный алгоритм MRTK на основе Gaussian Mixture Filter, который обладает свойством адаптивности, и

изменяет свои параметры в зависимости от входных данных. Благодаря чему система характеризуется большей надежностью и стойкостью к различным ошибкам, таким как выбросы, ложные измерения, многолучевости и др. Общие схемы алгоритмов RTK и MRTK представлены в приложении А.

Для проведения экспериментального исследования и сравнения с RTKLib, алгоритм был реализован на языке Matlab. Код реализации представлен в приложении Б. В экспериментальной части были продемонстрированы преимущества разработанного алгоритма MRTK по сравнению с алгоритмом RTK, реализованным в RTKLib.

Полученный алгоритм MRTK обладает следующими достоинствами:

1. *Адаптивность.* Оценивающим механизмом в MRTK является адаптивный алгоритм Gaussian Mixture Filter, фильтр изменяет свои параметры в зависимости от полученных данных.
2. *Надежность.* Теоретически и экспериментально была показана более высокая надежность и стойкость к различным ошибкам при работе в сложных условиях.
3. *Более точная оценка матрицы ковариаций.* Другими словами, оценка точности решения лучше соответствует реальной точности, в отличие от других алгоритмов.
4. *Раздельные решения для кодовых и фазовых измерений.* Решение по кодовым измерениям не зависит от фазовых измерений и рассчитывается до фазового. Таким образом, если RTK решение не возможно, пользователю можно отдать кодовое решение (DGPS).

К недостаткам MRTK можно отнести следующие аспекты:

1. *Вычислительная сложность.* Алгоритм имеет достаточно большую по сравнению с RTK вычислительную сложность. Однако данный параметр не анализировался, так как сравниваемые алгоритмы реализованы на разных языках, и неизвестно какая часть вычислений в RTKLib приходится на сам алгоритм RTK.
2. *Сложная реализация.* Алгоритм MRTK имеет более сложную математическую модель. Поэтому временные затраты на реализацию, отладку и тестирование данного алгоритма гораздо больше чем для RTK.

Для возможности использования результатов работы во встраиваемых решениях, алгоритм MRTK был реализован на языке C. Разработан прототип устройства высокоточной навигации, с применением данного алгоритма. Прототип работает базе микроконтроллера NT2000 компании «НТЛаб системы». В стадии завершения находится прототип устройства ориентации

на основе двух RTK устройств. В марте 2015 года планируется испытания этих прототипов в составе бортовой аппаратуры БПЛА «НТЛет» компании «НТЛаб системы».

Список публикаций соискателя

1-А. Сакович Р. В. Модифицированный алгоритм RTK высокоточного позиционирования спутниковых систем навигации / Р. В. Сакович, М.Ю. Хоменок // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы международного научно-технического семинара, апрель – декабрь 2014 / Минск : БГУИР, 2014. – С. 43-50.

Библиотека БГУИР