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

УДК 621.396

Пряничников Виталий Валерьевич

Система позиционирования мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов глобальных навигационных спутниковых систем на частоте L1

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра

по специальности 7-06-0713-03
«Радиосистемы и радиотехнологии»

_____Пряничников В.В.

Научный руководитель
Козлов Сергей Вячеславович
доктор технических наук, профессор

Минск 2026

Введение

В ряде практических применений актуальна задача высокоточного оценивания координат мобильных объектов и их управления в реальном масштабе времени. В качестве примера можно привести задачу высокоточного определения координат сельскохозяйственной техники и беспилотных летательных аппаратов при точном земледелии или определение координат БПЛА с бортовым радиолокатором с синтезированной апертурой для гуманитарного разминирования.

В настоящей магистерской диссертации предлагается и исследуется способ оценивания координат и параметров движения мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов *GPS* и система позиционирования на его основе. Способ предусматривает ретрансляцию сигнала *L*1 *GPS* на произвольную (свободную) частоту, прием прямого и ретранслированного навигационных сигналов наземным приемным пунктом с известными координатами, коррекцию измеряемых навигационных параметров по прямому навигационному сигналу, определение координат мобильного объекта суммарно-дальномерным способом и фильтрацию измеренных координат с использованием фильтра Калмана.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Работа выполнена на кафедре информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках развития на предприятиях радиотехнического профиля Республики Беларусь промышленного производства радиотехнических средств с техническими, конструктивными и эксплуатационными характеристиками, соответствующие мировым функциональным требованиям, стандартам и технологическим нормам построения радиоаппаратуры XXI века.

Тема соответствует Перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2023-2025 гг. в области приборостроения и инновационных материалов (п. 4), обеспечения безопасности человека, общества и государства (п. 6).

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при оптимизации технических решений по оцениванию координат мобильных объектов и исследованию эффективности их функционирования.

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Цель диссертационной работы – обоснование способа позиционирования мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов *GPS* на частоте L_1 и разработка системы позиционирования мобильных объектов на основе предлагаемого способа.

Объект исследования – система позиционирования мобильных объектов с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

Предмет исследования – способ определения координат мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов *GPS* и состав, структура и характеристики системы позиционирования мобильных объектов.

Для достижения поставленной цели решались задачи по:

– анализу принципов построения и структуры ГНСС, характеристик навигационных сигналов, а также существующих систем позиционирования мобильных объектов;

– обоснованию способа оценивания координат мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов *GPS*;

– разработке состава, структуры и задач, решаемых предлагаемой системой позиционирования, разработке функциональных схем и обоснованию характеристик аппаратуры и обоснование алгоритмов обработки ретранслированных сигналов в аппаратуре наземного приемного пункта;

– разработке компьютерной модели и исследования эффективности предлагаемого способа оценивания координат и параметров движения мобильного

объекта на основе ретрансляции сигналов *GPS*.

Основные результаты диссертации

1. Способ оценивания координат и параметров движения мобильного объекта, *отличающийся* ретрансляцией аппаратурой мобильного объекта навигационных сигналов *GPS* на частоте L_1 1575,42 МГц на заданную частоту ретрансляции, приемом прямых навигационных сигналов и ретранслированных навигационных сигналов аппаратурой наземного приемного пункта, их последующей обработкой, измерением псевдодальностей по прямому и ретранслированному навигационному сигналу по каждому видимому навигационному спутнику и оцениванием координат мобильного объекта суммарно-разностно-дальномерным методом, что *позволяет* оценивать координаты мобильного объекта с компенсацией ионосферной и тропосферной ошибок и ошибок навигационно-временного обеспечения в реальном масштабе времени и без использования канала передачи данных между мобильным объектом и наземным приемным пунктом.

2. Состав, структура и характеристики системы позиционирования мобильных объектов на основе предложенного способа, включая алгоритмы обработки ретранслированных навигационных сигналов на наземном приемном пункте и их программную реализацию, обеспечивающие возможность оценивания координат мобильного объекта в реальном масштабе времени без постобработки.

3. Компьютерная модель и результаты исследования эффективности системы позиционирования мобильного объекта на основе ретрансляции сигналов *GPS*.

Научная новизна

Научная новизна основных результатов заключается в обосновании способа оценивания координат мобильного объекта, отличающегося ретрансляцией сигналов *GPS* на свободную частоту в полосе ±1 МГц, что позволяет повысить оперативность позиционирования МО и снизить требования к его бортовой аппаратуре.

Личный вклад соискателя ученой степени

Соискателем были проведены описание и формализация способа оценивания координат и параметров движения мобильного объекта на основе ретрансляции сигналов *GPS*.

На основе предложенного способа была разработана система позиционирования, приведены ее состав и структура, а также решаемые ею задачи. Были разработаны функциональные схемы бортовой аппаратуры ретрансляции мо-

бильного объекта, аппаратуры НПП, проведена оценка характеристик аппаратуры. Также был разработан алгоритм обработки сигналов на НПП.

С целью обоснования алгоритмов обработки сигналов и исследования эффективности разработанной системы была разработана и реализована компьютерная модель. С использованием компьютерной модели было проведено исследование эффективности системы позиционирования мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов *GPS*.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на республиканской научно-технической конференции «Информационные радиосистемы и радиотехнологии» (г. Минск 2024 г.) и 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск 2025 г.).

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 2 статьи в сборниках материалов научных конференций. Общий объем публикаций составляет 1,0 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня сокращений и условных обозначений, введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

Общий объем диссертации составляет 67 страницы, из них 64 страниц основного текста, библиографический список из 28 наименований на 2 страницах, список собственных публикаций из 2 наименований на 1 странице.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы магистерской диссертации, сформулированы цель и задачи исследования.

В первом разделе рассмотрены принципы построения и функционирования глобальных навигационных спутниковых систем, характеристики навигационных сигналов, выполнен анализ существующих систем позиционирования мобильных объектов, описаны состав, структура и задачи, решаемые предлагаемой системой позиционирования мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов *GPS*, приведена математическая формализация способа определения координат мобильного объекта.

Во втором разделе разработаны функциональные схемы и определены требуемые характеристики аппаратуры наземного приемного пункта и бортовой аппаратуры ретрансляции мобильного объекта, разработан алгоритм обработки ретранслированного сигнала.

В третьем разделе разработана компьютерная модель предлагаемой системы позиционирования, приведены результаты ее тестирования и исследования эффективности системы.

В заключении приведены результаты выполненной работы, дана оценка степени достижения поставленной цели и выполненных задач.

Заключение

В диссертационной работе получены следующие результаты:

– на основе анализа существующих ГНСС и характеристик их сигналов, а также способов позиционирования мобильных объектов предложен, обоснован и формализован способ оценивания координат и параметров движения мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов *GPS*;

– на основе предложенного способа разработана система позиционирования мобильных объектов, позволяющая определять координаты объектов в реальном режиме времени без длительной постобработки;

– разработаны функциональные схемы бортовой аппаратуры ретрансляции и аппаратуры НПП, проведены расчеты коэффициента ретрансляции и максимальной выходной мощности ретранслятора;

– разработан алгоритм обработки сигналов, обеспечивающий оценивание суммарных псевдодальностей и последующее определение координат и параметров движения мобильного объекта на НПП;

– разработана, реализована и верифицирована компьютерная модель оценивания координат и параметров движения мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов *GPS*;

– исследована эффективность предложенной системы позиционирования.

Таким образом, поставленные задачи выполнены в полном объеме.

Список опубликованных работ

1. Пряничников В.В. Оценивание координат мобильных объектов на основе ретрансляции навигационных сигналов GPS / В.В. Пряничников, С.В. Козлов // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2024 : материалы открытой республиканской науч.-практ. интернет-конф., Минск, 21–22 ноября 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 172–178.

2. Пряничников, В. В. Компьютерная модель для оценивания координат и параметров движения мобильных объектов на основе ретрансляции сигналов GPS / Пряничников В. В., С.В. Козлов // Радиотехника и электроника : сборник тезисов докладов 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель 2025 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2025. – С. 96–104.