

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Сборник научных трудов

Электронное издание

Научный редактор С. П. Панько

Красноярск
СФУ
2014

УДК 621.37/.39
С 56

С56 Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. [Электронный ресурс] / науч. ред. С. П. Панько ; отв. за вып. А. А. Левицкий. – Электрон. дан. (32 Мб). – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. – 602 с. – 1 электрон. опт. диск. – Систем. требования : *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 Мб оперативной памяти ; 100 Мб свободного дискового пространства ; ОС *Windows 98/XP/7* ; *Adobe Reader 8.0* (или аналогичный продукт для чтения файлов формата *pdf*). – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7638-2687-6

Представлены научные труды участников ежегодной Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 119-й годовщине Дня радио, состоявшейся в г. Красноярске 6–8 мая 2014 г.

Отражены разработки в областях радиотехники и радиоэлектроники по направлениям: радиотехнические системы; радионавигация; СВЧ-технологии, антенны и устройства; информационные спутниковые системы и технологии; микро- и наноэлектроника; конструирование и технология электронных средств; приборостроение; телекоммуникации; физические основы современного материаловедения.

Предназначен для научных работников, аспирантов и студентов радиотехнического профиля.

Редакционная коллегия:

Б. А. Беляев – д-р техн. наук, проф.; В. Н. Бондаренко – д-р техн. наук, проф.; А. И. Громыко – д-р техн. наук, проф.; А. А. Левицкий – канд. физ.-мат. наук, доц.; С. П. Панько – д-р техн. наук, проф.; М. Н. Петров – д-р техн. наук, проф.; В. В. Сухотин – канд. техн. наук, доц.; В. И. Томилин – канд. техн. наук, проф.; С. И. Трегубов – доц.; П. П. Турчин – канд. физ.-мат. наук, доц.; Г. Я. Шайдуров – д-р техн. наук, проф.

УДК 621.37/.39

ISBN 978-5-7638-2687-6

© Сибирский федеральный университет, 2014
© Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ, 2014

Научное издание

Подготовлено к публикации ИЦ БИК СФУ
Компьютерная верстка: Т. М. Бовкун

Подписано к исползов. 10.04.2014. Объем: 32 Мб. Заказ 0929.
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Издательский центр Библиотечно-издательского комплекса Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391) 206-21-49. E-mail: rio.bik@mail.ru <http://rio.sfu-kras.ru>

Адрес редакции:
660074, г. Красноярск, ул. акад. Киренского, 28
E-mail: radioconf@sfu-kras.ru

4. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.

5. Tashlinskii, A.G. Analysis of Methods of Estimating Objective Function Gradient during Recurrent Measurements of Image Parameters / A.G. Tashlinskii, P.V. Smirnov, S.S. Zhukov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2012. – Vol. 22. – No. 2. – Pp. 393–399.

6. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – Т. 1.

АВТОНОМНАЯ ПЕШЕХОДНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МЭМС-ДАТЧИКОВ

И. А. Подшивалов, П. С. Маринушкин, В. А. Бахтина

Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ
660074, г. Красноярск, ул. акад. Киренского, 28
E-mail: ilya-teh@yandex.ru

Представлены результаты разработки автономной пешеходной навигационной системы на основе инерциальных микромеханических датчиков. Рассмотрена структурная схема системы, описание режимов работы, особенности программно-алгоритмического обеспечения. Приводятся результаты испытаний прототипа системы при передвижении в закрытых помещениях.

Несмотря на широкое распространение индивидуальных средств навигации на основе GPS/ГЛОНАСС, на рынке существует потребность в альтернативных системах позиционирования. Дело в том, что спутниковые системы полностью не решают задачу индивидуальной навигации т.к. не обеспечивают получение информации о местоположении пешехода в условиях плотной городской застройки (городские каньоны), в помещениях, в густой лесистой местности. Не вполне решают эту задачу и навигационные системы на основе RFID-технологий, так как их использование требует наличия дополнительной инфраструктуры (антенн). Поэтому представляет интерес создание систем автономной (независимых от наличия спутникового сигнала) пешеходной навигации на основе инерциальных МЭМС-датчиков.

Основным недостатком бесплатформенных инерциальных навигационных систем на основе недорогих МЭМС-датчиков является низкая точность, обусловленная уходом нуля гироскопов и акселерометров, что приводит к накоплению погрешностей даже в том случае, если пешеход не движется. Поэтому создание систем автономной пешеходной навигации невозможно без привлечения дополнительной информации. Одним из способов повышения точности является алгоритм ZUPT (алгоритм коррекции по нулевой скорости). Алгоритм ZUPT позволяет периодически корректировать показания инерциального измерительного модуля во время опорной фазы ходьбы (когда нога пешехода неподвижна) [1]. В настоящее время данная технология активно исследуется различными исследовательскими группами [2–4].

Описание системы. Измерительная система состоит из трех структурных элементов IMU (inertial measurement unit), HOST и PC (рис. 1).

Блок IMU включает в себя четыре измерительных датчика: трехосевой акселерометр (BMA180), трехосевой гироскоп (L3GD20), трехосевой магнетометр (HMC5983) и цифровой датчик давления (MS5611-01-BA03). Модуль IMU закрепляется на теле пользователя (пояс, подошва обуви) и соединяется с модулем HOST экранированным кабелем. Для передачи данных между IMU и HOST используется последовательный периферийный интерфейс (SPI).

Блок HOST состоит из отладочной платы STM32F4 DISCOVERY, Wi-Fi и GPS модулей. Микроконтроллер отладочной платы отвечает за сбор, предварительную обработку и передачу данных на компьютер.

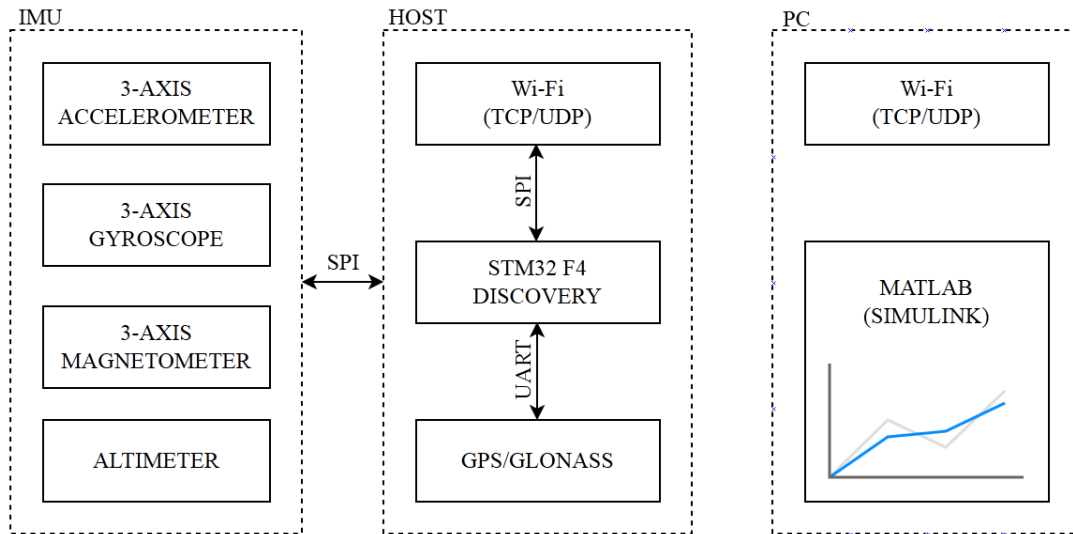


Рис. 1. Состав автономной пешеходной навигационной системы [5]

На персональном компьютере (PC) производится обработка и визуализация данных. Специальное программное обеспечение позволяет визуализировать навигационные данные в виде траектории движения в относительных координатах и графически отображать параметры движения.

В текущей реализации автономной пешеходной навигационной системы вычисление скорости пешехода и определение его положения относительно фиксированных точек на местности осуществляется персональным компьютером по показаниям инерциального измерительного модуля. В качестве среды для обработки используется пакета MATLAB. При этом длина пути вычисляется векторно, путём сложения последовательных дискретных перемещений, направление которых определяется гироскопами. В дальнейшем предусматривается возможность определения первоначального местоположения пешехода и его привязка к электронной карте местности с помощью GPS-приёмника.

Алгоритмы функционирования системы. Вычисление линейных перемещений пользователя состоит из следующих этапов: решение навигационной задачи, детектирование опорной фазы ходьбы и коррекция навигационного решения (рис. 2). Алгоритм решения навигационной задачи основан на фильтре Калмана с применением ZUPТ-коррекции (открытый проект OpenShoe) и позволяет обеспечить требуемую точность навигационной информации за счёт комплексной обработки показаний различных датчиков.

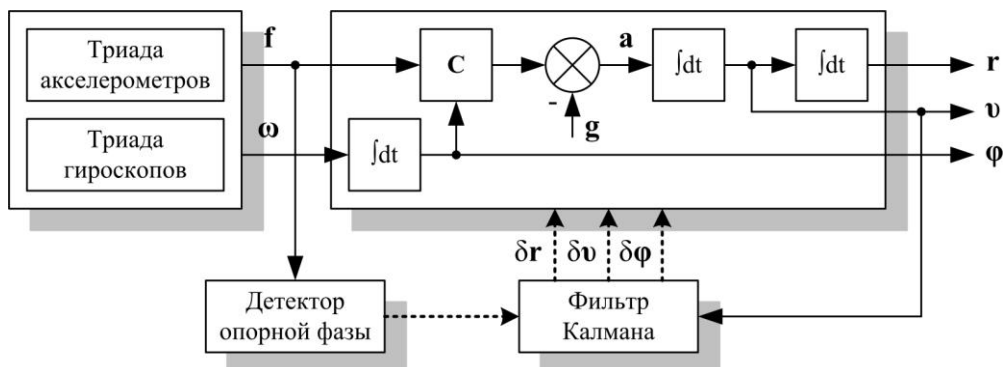


Рис. 2. Структурная схема автономной пешеходной навигационной системы

Принцип работы алгоритма заключается в следующем. компоненты вектора состояния x_k , включающего: координаты r_k , компоненты вектора скорости v_k , а также углы ори-

ентации Φ_k поступают в персональный компьютер. При этом измерения компонентов векторов кажущегося ускорения \mathbf{f}_k и угловой скорости $\boldsymbol{\omega}_k$, являющихся исходной информацией для навигационного алгоритма, осуществляются блоком IMU. По угловым скоростям рассчитываются параметры ориентации, которые затем используются для преобразования вектора кажущегося ускорения из связанной с объектом в навигационную систему координат. После представления вектора \mathbf{f}_k в навигационной системе координат удаляется гравитационная компонента (вектор \mathbf{g}), чтобы получить составляющие вектора ускорения \mathbf{a}_k , обусловленные передвижением пользователя. Последующее двойное интегрирование вектора \mathbf{a}_k позволяет получить значения скорости и местоположения. Параллельно реализуется алгоритм детектирования опорной фазы ходьбы. Полученная совокупность инерциальной информации поступает в фильтр Калмана, в результате работы которого вычисляются оценки текущих ошибок определения координат, скоростей и углов ориентации $\delta \mathbf{x}_k = \delta \mathbf{r}_k \ \delta \mathbf{v}_k \ \delta \Phi_k^T$. Далее на основе полученных оценок корректируется навигационное решение.

Детектирование опорной фазы ходьбы. Опорная фаза ходьбы определяется в результате обработки инерциальных данных, полученных от блока IMU. Для этого на основании анализа предварительно записанных образцовых сигналов определяются амплитудные пороговые уровни дисперсии ускорения, которые впоследствии используются в качестве критериев определения одного шага. Первый пороговый уровень T1 служит для обнаружения фазы полёта и устанавливается равным 1 м/с^2 . Второй пороговый уровень T2 служит для обнаружения фазы опорной фазы ходьбы и устанавливается равным $0,5 \text{ м/с}^2$. При этом шаг считается обнаруженным в текущем скользящем окне в тот момент, когда заканчивается фаза полёта и начинается опорная фаза. Для этого сигнал акселерометра должен пересечь первый пороговый уровень (переход ускорения от высокого к низкому) и, кроме того, в течение определённого интервала времени w , следующего за моментом пересечения первого порогового значения, должна быть зафиксирована дисперсия ускорения, меньшая, чем второе пороговое значение (рис. 3).

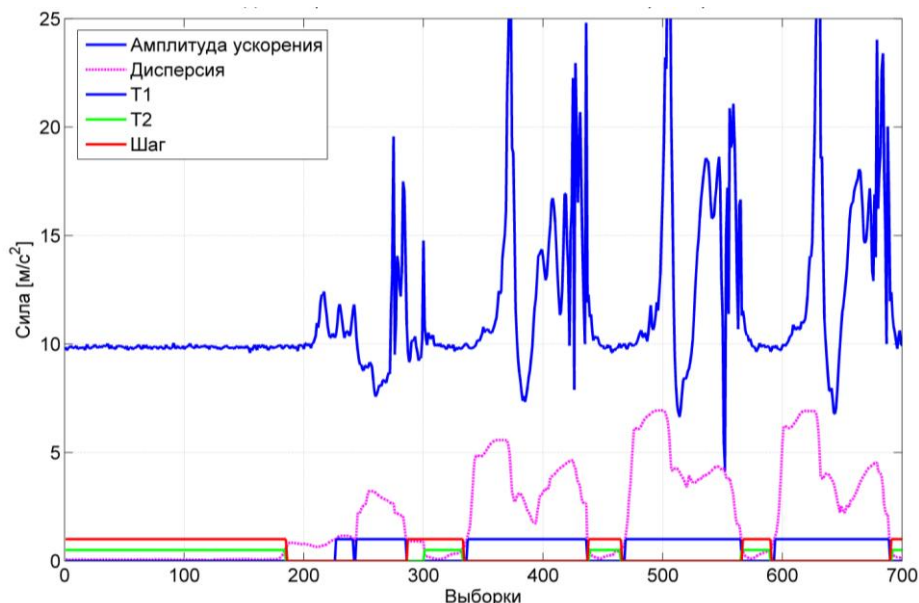


Рис. 3. Результаты работы алгоритма детектирования опорной фазы ходьбы

Экспериментальные исследования. Оценка счисления пройденного пути проводилась в закрытом помещении с помощью серии тестов: тест № 1 — на пути пешехода общей протяжённостью 22 м в течение 30 секунд; тест № 2 — 44 м в течение 1 минуты (тест № 2);

тест № 3 – 72 м в течении в течение 2 минут. На рис. 4 представлены траектории пройденного пути.

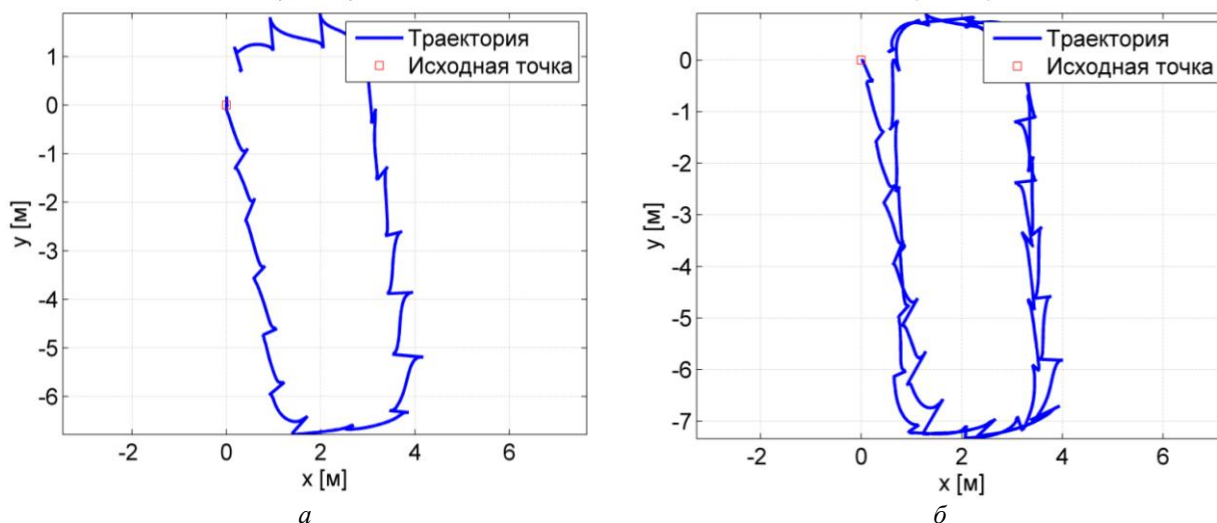


Рис. 4. Результаты экспериментов: а – тест № 1; б – тест № 2

По результатам экспериментов был отмечен рост ошибки курса со временем, что объясняется дрейфом гироскопа. Для снижения данной ошибки предполагается использовать показания магнетометра.

Выводы. В ходе экспериментов прототип разработанной системы продемонстрировал свою работоспособность в режимах медленной и быстрой ходьбы, показав при этом удовлетворительную точность позиционирования. Суммарная ошибка пройденного пешеходом пути за 1 минуту автономной работы составила 0,5 м (1% от пройденного пути).

Планируется, что дальнейшая работа будет направлена на адаптацию используемых алгоритмов для обработки данных в реальном времени и дополнение их новыми моделями ошибок для более точного определения ориентации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в Сибирском федеральном университете (Договор № 02.G25.31.0041).

Список литературы

1. Моторин, А.В. Системы индивидуальной навигации. Состояние и перспективы развития / А.В. Моторин, Р.Г. Люкшонков, А.В. Медведков // XIV конф. молодых учёных «Навигация и управление движением». 13–16 мар. 2012 г., Санкт-Петербург, Россия.
2. Jimenez, A.R. A Comparison of Pedestrian Dead-Reckoning Algorithms using a Low-Cost MEMS IMU / A.R. Jimenez, F. Seco, C. Prieto, J. Guevara // 6th IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, Hungary, 2009. – Pp. 37–42.
3. Nilsson, J.O. Foot-mounted INS for Everybody – An Open-source Embedded Implementation / J.O. Nilsson, I. Skog, P. Handel, K. Hari // Proceedings of the 2012 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (April 2012). – Pp. 140–145.
4. Detection of (In)activity Periods in Human Body Motion Using Inertial Sensors: A Comparative Study / A. Olivares, J. Ramírez, J. Górriz, G. Olivares, M. Damas // Sensors. – 2012. – 12.
5. Podshivalov, I.A. Micromechanical System for Pedestrian Attitude Estimation / I.A. Podshivalov, P.S. Marinushkin // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications SIBCON 2013, Proceedings. – Krasnoyarsk: SFU, 2013. – P. 19–21.