

**Ашихмин Александр Владимирович,
доктор технических наук
Заенцев Иван Витальевич
кандидат физико-математических наук
Козьмин Владимир Алексеевич,
кандидат технических наук
Крыжко Игорь Борисович
кандидат физико-математических наук**

ИНТЕГРИРОВАННАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЙ РАДИОКОНТРОЛЯ

Введение

В настоящее время в органах управления и контроля радиочастотного спектра, силовых ведомствах и службах безопасности все более широкое применение находят мобильные наземные станции радиоконтроля, которые делают выполнимыми задачи, которые трудно или даже невозможно решить стационарными средствами [1, 2]. К подобным задачам относятся, например, обнаружение маломощных источников радиоизлучения (ИРИ) в объектах различной природы, измерение уровня излучений на границах контролируемых зон, проверка зоны действия и положения базовых станций систем подвижной радиосвязи, измерение параметров ИРИ в условиях перегруженности радиочастотного диапазона мощными излучениями, обнаружение и контроль передатчиков, использующих направленные антенны.

Навигационная система является составной частью станции радиоконтроля, от ее технических характеристик во многом зависит эффективность и качество решения задач. Например, ошибки определения координат и курсового угла станции при пеленговании непосредственно влияют на точность вычисления координат ИРИ. Если навигационные

данные обновляются один раз в секунду, а изменение курсового угла носителя может составить 20° в секунду, то погрешность прокладки пеленга за счет неучтенного запаздывания может превысить 10° .

Краткий обзор распространенных навигационных систем

Задача определения координат и ориентации объекта является классической навигационной задачей. Она решается с помощью различных навигационных систем: магнитных, инерциальных, космических, длинноволновых наземных и других. Навигационная система обычно имеет в своем составе чувствительные датчики, взаимодействующие с магнитными, электромагнитными или гравитационными полями. К подобным датчикам относятся магнитные компасы, приемники спутниковых навигационных систем (СНС), инерциальные приборы в виде акселерометров и гироскопов.

Магнитные компасы до сих пор успешно используются в навигационных системах. Стоимость цифрового магнитного компаса, пригодного для целей навигации, сильно зависит от класса точности и составляет от нескольких десятков долларов за модуль при точности порядка 2° до нескольких сотен и

даже тысяч долларов за системы высокой точности с ошибками порядка нескольких минут. К достоинствам магнитных компасов относятся простота использования, автономность, высокий темп получения информации. К недостаткам – влияние на показания компаса аномалий геомагнитного поля различной природы, постоянных и временных, и, как следствие, необходимость их учета, а также сложность применения компасов на металлических носителях, к числу которых относятся и автомобили.

Приемники спутниковых радионавигационных систем по соотношению цена и качество, зоне действия, простоте интеграции находятся вне конкуренции среди современных навигационных систем. В настоящее время наибольшую известность в мире имеет американская система NAVSTAR, часто называемая GPS (Global Positioning System), почти полностью восстановлена работоспособность российской системы ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система), ведется работа по созданию новой европейской системы GALILEO. Принципы функционирования этих спутниковых систем весьма схожи, различия между ними проявляются в некоторых технических характеристиках, но конечное оборудование практически идентично с точки зрения пользователей [3].

К достоинствам СНС относят их высокую точность, независимость от магнитных аномалий, малое время приведения оборудования в готовность. Среди недостатков у недорогих приемников можно указать низкий темп выдачи навигационных сообщений, низкую помехозащищенность, возможные потери сигналов и ошибки из-за многолучевого распространения радиоволн, что особенно характерно при работе в условиях плотной городской застройки. Кроме того, спутниковым приемникам свойственны следующие ограничения:

- практически невозможно получить информацию об ориентации неподвижного носителя, а также сохранить угол ориентации после его остановки;
- в движении выдается не ориентация носителя, а направление перемещения

- приемной антенны;
- низкая частота выдачи данных (бюджетных приемников обычно 1 Гц);
- расчет вектора скорости носит вторичный характер по отношению к расчету координат, что приводит к худшим свойствам по задержке и частоте обновления значений скорости и зависимости от помех.

Приемники спутниковых навигационных систем сильно отличаются по цене и характеристикам. Простейшие модули стоят в пределах ста долларов, цена высокоточных устройств может превысить и десять тысяч долларов.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) появились значительно раньше спутниковых, для них разработан мощный математический аппарат [4, 5], но их практическое применение до недавнего времени ограничивалось высокой стоимостью, большими габаритами и весом датчиков. В последние десятилетия на смену механическим вращающимся гироскопам пришли волоконно-оптические и кольцевые лазерные устройства, которые применяются сейчас в авиационных, космических и корабельных навигационных системах. Однако по настоящему доступной инерциальной навигации стала после появления микроЭлектромеханических технологий (MEMS), когда был наложен выпуск недорогих чувствительных элементов [6, 7]. Недорогие гироскопы и акселерометры, использующие MEMS-технологию, имеют небольшие размеры порядка сантиметра и цену от 50 до 100 долларов. Среди крупнейших производителей MEMS-датчиков можно назвать компании Bosch, BEI Systron Donner, Silicon Sensing Systems, Analog Devices. Преимуществами микромеханических ИНС являются малые габариты, доступная цена, низкая чувствительность к ударам, малое энергопотребление, высокая частота выдачи навигационных данных. Но точность подобных систем сравнительно невелика. Время их автономной работы составляет несколько минут, после чего необходима коррекция координат и ориентации от внешнего источника.

Интегрированная навигационная система

Выбор способа построения навигационной системы определяется требованиями к точности решения навигационной задачи, темпу выдачи навигационных параметров, ограничениями на бюджет системы. Однако по отдельности ни одна из систем: спутниковая, инерциальная или магнитная, не обеспечивает выдачу достоверной навигационной информации с произвольной дискретностью и без сбоев во всех условиях движения.

Для устранения указанных выше ограничений данные СНС могут обрабатываться совместно с другими навигационными системами, например, инерциальными, поскольку погрешности спутниковых и инерциальных систем имеют различную природу и свойства.

В интегрированной системе сохраняются достоинства и снижается влияние недостатков составных частей, поскольку данные ИНС корректируются по данным СНС, причем при пропадании сигнала СНС блок ИНС способен обновлять навигационные данные еще некоторое время. Интегрированные системы с коррекцией по данным СНС включают модуль ИНС и модуль СНС, а также вычислительное устройство.

Объединение спутниковой и инерциальной информации в интегрированной системе может осуществляться разными методами. Информация ИНС может быть применена уже на этапе слежения за сигналом спутников, в частности, для выработки ошибочных навигационных решений из-за многолучевого распространения радиоволн. Учет данных ИНС на этапе обработки фазовых измерений позволяет достичь высочайшей точности навигационных результатов. К примеру, в авиационной системе POS/AV 510 фирмы Applianix (Канада) точность вычисления координат составляет 5-30 см, а углов ориентации 0,005-0,008°, что близко к теоретическому пределу [8]. Для баллистических и ракетных снарядов увеличенной дальности применение интегрированной навигационной системы позволяет добиться точности попадания 10-20 м при дальности стрельбы около 100 км, даже если

вблизи цели с помощью систем радиопротиводействия осуществляется подавление сигналов СНС [9].

В отличие от воздушных объектов для наземных станций актуальным является определение ориентации неподвижной станции, особенно ее курсового угла. Одиночный приемник СНС не позволяет решить подобную задачу. Одним из возможных вариантов ее решения является установка дополнительного магнитного компаса. К сожалению, как отмечалось ранее, бюджетные магнитные компасы дают неудовлетворительные результаты. Кроме того, использование любых магнитных компасов ограничивает область применимости системы.

Другим методом определения ориентации носителя является использование спутниковых фазовых измерений. В основе этого метода лежит интерферометрический принцип: измеряется разность фаз несущей частоты для сигналов, принимаемых от спутников на разнесенные антенны. При определении ориентации носителя с помощью фазовых измерений гораздо большее значение, чем при определении его координат, имеет качество принимаемых спутниковых сигналов [8].

В разности фаз, обусловленной различными расстояниями от антенн до спутников, содержится информация об углах между вектором направления на спутники и вектором, образованным разнесенными антеннами. Для осуществления фазовых измерений практическое применение имеют два способа: один спутниковый приемник с несколькими приемными антennами, или несколько независимых приемников, каждый с возможностью измерений фазы сигнала. Первый способ реализован в дорогих специальных модулях, тогда как при втором способе, использующем стандартное оборудование, требуются затраты на синхронизацию часов отдельных приемников.

При наличии двух приемных антенн с помощью фазовых измерений может быть рассчитан не только курс, но дополнительно тангаж или крен, в зависимости от геометрического расположения антенн на носителе. Если антенны размещены вдоль продольной линии, то вычисляется тангаж, если вдоль поперечной – крен.

Первыми разностями принято называть фазовые сдвиги несущей частоты сигнала одного и того же спутника, одновременно полученные на двух антенах. Вторыми разностями называется разность первых разностей, полученных для сигналов двух разных спутников.

Модель измерений второй разности можно представить в виде [10]:

$$\Delta\phi^{jk}(t_i) = b^T \cdot (S^j(t_i) - S^k(t_i)) + N^{jk}\lambda + \chi^{jk}(t_i) \quad (1)$$

где b – вектор базовой линии (вектор направления между приемниками), S^l – вектор направления на l -тый спутник, N^{jk} – целочисленная неоднозначность второй разности для j -го и k -го спутника, λ – длина волны, χ^{jk} – погрешность измерения, включающая случайный шумовые и систематические составляющие. В уравнении (1) неизвестными являются целочисленные неоднозначности N^{jk} и элементы вектора b , для которого известна его длина $|b|$.

Количество неизвестных в системе (1) для каждого момента времени больше, чем число уравнений. Теоретически, при отсутствии или малости погрешностей χ^{jk} можно было бы воспользоваться ограничением на целочисленные значения параметров N^{jk} и попытаться определить решение (1) при числе неизвестных большем, чем число уравнений, но на практике наличие погрешностей приводит к необходимости накопления измерений на некотором интервале времени. Величина требуемого интервала наблюдений зависит от качества измерений, определяемого параметрами используемых приемников и антенн.

Решение системы (1) осуществляется методом наименьших квадратов, в который внесены необходимые изменения для учета целочисленных значений неоднозначностей N^{jk} .

В задаче пеленгования необходимым навигационным параметром является курс (курсовый угол или путевой угол) – угол в горизонтальной плоскости между направлением продольной оси носителя и направлением на географический север. Пеленгование мобиль-

ной станцией радиоконтроля осуществляется как во время движения, так и на стоянках, поэтому актуальное значение курсового угла должно быть известно в любой момент времени [1]. Если используется одиничный спутниковый приемник, то, как указывалось выше, при определении курсового угла возникают проблемы. Курс вычисляется приемником GPS на основе вектора скорости объекта, поэтому, чем меньше скорость, тем больше будет ошибка расчета курсового угла. На стоянке курс вообще не рассчитывается, может лишь сохраняться его последнее значение, вычисленное в движении. Для перехода от расчета курсового угла к хранению его последнего значения приемник должен определить момент окончания движения. Критерием неподвижности обычно служит падение скорости объекта ниже пороговой, которая составляет от 2 до 5 км/ч. Поскольку погрешность определения скорости имеет тот же порядок, что и пороговые значения, то возникают ошибки определения фактов стоянки и движения.

В условиях стоянки носителя для двух распространенных семейств GPS приемников, выпускаемых компаниями Garmin и Globalsat, была экспериментально исследована возможность сохранения курсового угла и нулевого модуля скорости. Выяснилось, что приемники Globalsat не распознают режим стоянки при падении скорости ниже 2 км/ч. В приемниках Garmin стояночный режим имеется, но не обеспечивается необходимая достоверность, так как при увеличении длительности стоянки вероятность потери курсового угла приближается к единице. На рисунках 1 и 2 показаны гистограммы модуля скорости для двух типов приемников, полученные на неподвижном носителе. Измерения проводились в течение трех часов. В идеальном случае гистограмма скорости должна иметь только один заполненный столбец, соответствующий нулевой скорости. Из приведенных зависимостей видно, что приемник Garmin значительно реже выдает ненулевые скорости по сравнению с приемником Globalsat, но и он не обеспечивает сохранение достоверности курса, так как уже первое ненулевое значение скорости приводит к потере значения курсового угла.

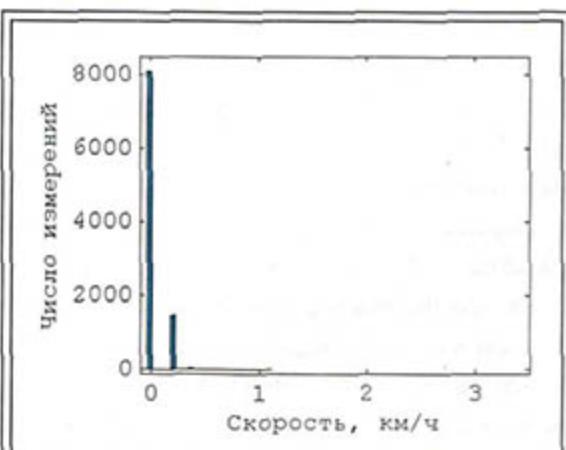


Рис. 1. Гистограмма скорости на стоянке для приемников Garmin GPS16

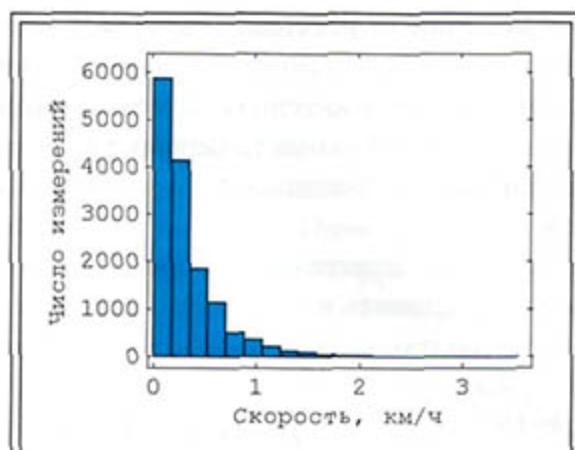


Рис. 2. Гистограмма скорости на стоянке для приемника Globalsat BR-355

Таким образом, потеря информации о курсовом угле на стоянке свойственна GPS приемникам как Globalsat, так и Garmin, поэтому для определения неподвижности носителя желательно иметь дополнительный датчик. К сожалению, акселерометр в качестве такого датчика использовать нежелательно, поскольку его выходным сигналом является значение линейного ускорения с некоторым смещением. Двойное интегрирование с учетом смещения приводит к уходу координат пропорционально квадрату времени интегрирования, что не позволяет определить состояние неподвижности объекта относительно земных координат.

В качестве дополнительного датчика стоянки, не связанного с GPS, можно использовать датчик скорости автомобиля (ДСА), показания которого пропорциональны оборотам колеса. Подобные датчики штатно устанавливаются на все современные автомобили для обеспечения показаний спидометра. Использование ДСА позволяет достоверно определять факт стоянки автомобиля.

Полная инерциальная система объекта для трехмерного пространства может быть построена на трех акселерометрах, измеряющих линейные ускорения, и трех гироскопах, измеряющих поворот объекта по курсу, крену и тангензу. Движение мобильной наземной станции происходит в направлении ее продольной оси, без боковых и вертикальных составляющих, поэтому можно целиком отказаться от акселерометров. Угол крена, как

правило, также имеет небольшие числовые значения и несет мало информации. Аналогично, в равнинной местности и при пеленговании на заметном удалении от ИРИ можно не отслеживать тангенз. Поэтому из полной инерциальной системы без существенного снижения функциональности можно исключить два гироскопа. В системе остается единственный гироскоп, измеряющий угловую скорость вокруг вертикальной оси и один ДСА, измеряющий линейное перемещение автомобиля вперед или назад. Такие упрощения уменьшают стоимость системы и облегчают обработку данных.

Единственный гироскоп и датчик скорости вместе образуют неполную одноосевую инерциальную систему, достаточную для расчета курса, координат и скорости носителя в течение некоторого времени после пропадания сигналов СНС. При наличии корректирующих сигналов СНС инерциальная система

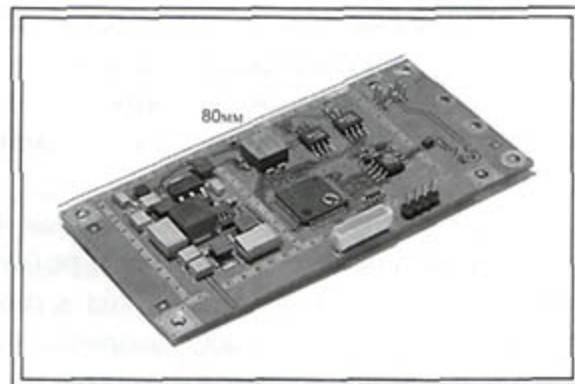


Рис. 3. Одноосевая навигационная система

выдает навигационные данные без задержки, присущей СНС, и с повышенной частотой, например, с частотой 10 Гц вместо 1 Гц, обычной для приемников СНС. Пример печатной платы модуля неполной инерциальной системы приведен на Рис. 3.

В интегрированной системе определение ориентации (азимута) и координат в движении осуществляется по данным инерциальной системы, которая корректируется от спутниковой системы. Выражения для вычисления навигационных данных выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned}\hat{a} &= k(\gamma - \gamma_0) + v; \\ \dot{\phi} &= \frac{sV\cos(a)}{R} + \theta; \\ \dot{\lambda} &= \frac{sV\sin(a)}{R\cos(\phi)} + \eta,\end{aligned}\quad (2)$$

где a — значение азимута, ϕ — широта объекта, λ — долгота объекта, γ — измерение угловой скорости, k — коэффициент датчика угловой скорости, γ_0 — ноль датчика угловой скорости, V — измерение линейной скорости, s — коэффициент датчика линейной скорости (ДСА), v , θ , η — возможные погрешности.

Величины k , γ_0 и s в системе (2) являются корректируемыми параметрами.

Корректирующие данные от приемника GPS поступают в следующем формате:

$$\begin{aligned}\hat{a}(t) &= a(t - \Delta t_1) + \varepsilon; \\ \hat{\phi}(t) &= \phi(t - \Delta t_2) + \mu; \\ \hat{\lambda}(t) &= \lambda(t - \Delta t_2) + \zeta,\end{aligned}\quad (3)$$

где $\hat{a}(t)$, $\hat{\phi}(t)$, $\hat{\lambda}(t)$ — полученные в момент времени t значения направления движения (азимут), широты и долготы объекта, Δt_1 , Δt_2 — запаздывание, вызванное определением параметров приемником GPS и передачей данных для значений скорости и координат (в силу особенностей работы приемников это запаздывание для координат и скорости значительно отличается) ε , μ , ζ — погрешности измерений.

Координаты и азимут, вычисленные по формулам (2), уточняются при наличии данных (3) одновременно с корректировкой параметров k , γ и s , причем параметр γ_0 корректируется как на стоянке, так и в движении, параметры k и s могут корректироваться только в движении, когда доступна достоверная информация о скорости и направлении перемещения объекта. Алгоритмы коррекции должны учитывать запаздывание данных по координатам и скорости объекта.

Структура интегрированной системы АРК-КН2 и режимы ее работы

Навигационная система АРК-КН2 объединяет СНС и неполную инерциальную систему. В ее состав входит модуль вычислителя и набор модулей датчиков: два приемника GPS, гироскоп, датчик скорости. Структурная схема АРК-КН2 приведена на Рис. 4. Система может использоваться как в виде автономного навигационного прибора, так и в составе станций радиоконтроля.

Модуль вычислителя предназначен для сбора данных от датчиков, вычисления необходимых навигационных результатов и их отсылку пользователю. Микроконтроллер управляет передачей данных: формирует запросы данных для приемников GPS и модуля гироскопа, передает сообщения датчиков в процессор с плавающей запятой, где выполняется расчет. Полученные навигационные данные передаются в персональный компьютер или другое внешнее устройство по шине USB.

Гироскоп выполнен в виде отдельного модуля, который жестко устанавливается на носителе. Поскольку MEMS-гироскопы требуют температурной коррекции, в состав модуля входит датчик температуры. Датчик скорости автомобиля выдает импульсы синхронно с оборотами колеса и подключается к модулю вычислителя или к модулю гироскопа. Для приема и буферизации сообщений GPS-приемников используется 4-канальный асинхронный приемопередатчик (УАПП).

В качестве гироскопа был использован микромеханический вибрационный датчик угловой скорости фирмы Analog Devices. Он имеет небольшие габариты 7x7x4 мм и

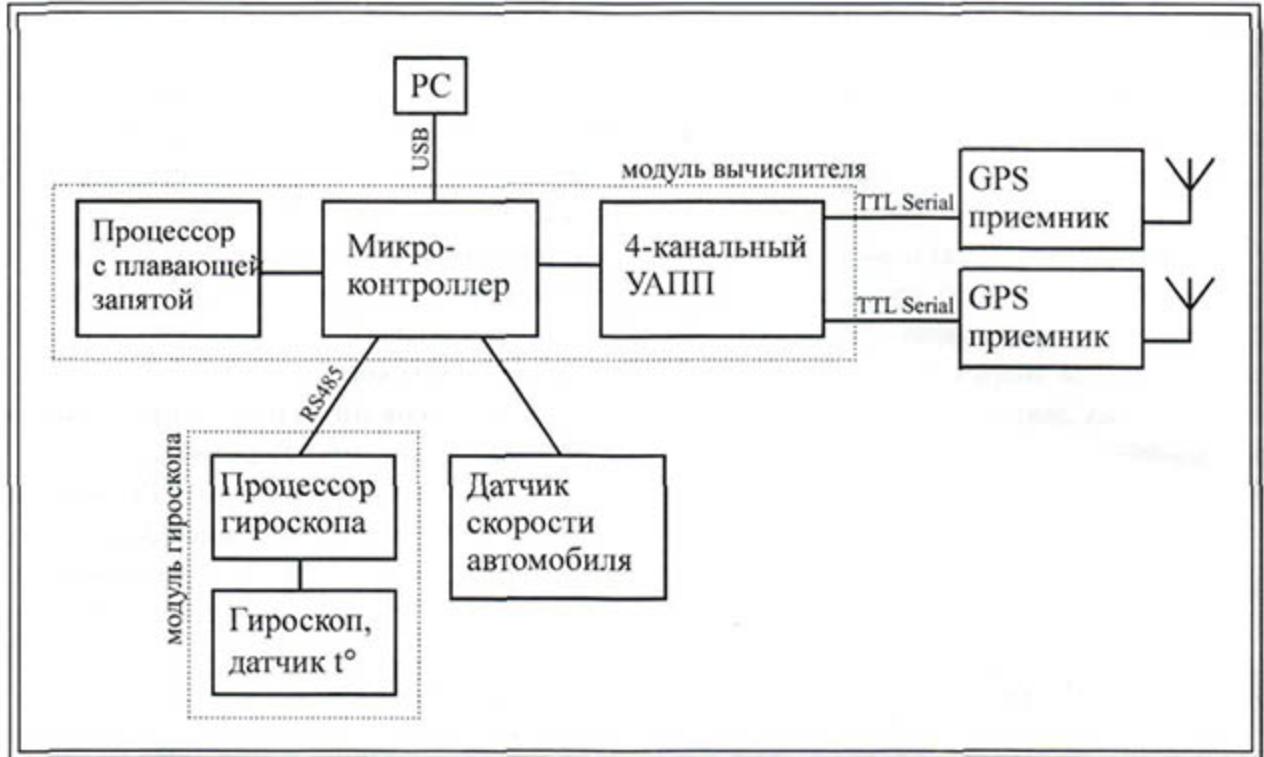


Рис. 4. Структурная схема навигационной системы APK-KH2

умеренную стоимость. Диапазон измеряемых угловых скоростей составляет $\pm 150^{\circ}/\text{s}$. Уход нуля по температуре и от включения к включению может достигать $\pm 24^{\circ}/\text{min}$ и должен корректироваться алгоритмически.

При выборе GPS-приемников было учтено, что очень немногие приемники потребительского класса выдают пользователю полноценные фазовые измерения. Многие приемники фирмы Garmin выдают информацию о фазе несущей, возведенной в квадрат, удваивая таким образом неопределенность фазы и затрудняя расчет. Поэтому был выбран GPS приемник компании NovAtel, который обеспечивает необходимые фазовые измерения и имеет доступную цену.

Навигационный система APK-KH2 формирует последовательность навигационных сообщений с периодом выдачи 100 мс. Каждое сообщение содержит следующие данные:

- географические координаты в системе WGS-84 (широта и долгота);
- путевой угол (курс);
- скорость;
- точное время;
- высота;

- показатели точности результатов;
- логические флаги состояния.

Для идентификации состояния навигационной системы в сообщении имеются следующие флаги:

- навигационные данные достоверны, хотя бы по одному GPS;
- инерциальная система инициализирована и готова к работе;
- ориентация объекта успешно вычислена на данной стоянке;
- носитель неподвижен;
- носитель движется;
- имеется ненулевая скорость носителя по данным GPS-приемника;
- значение скорости по данным GPS достаточно для коррекции инерциальной системы.

Процессор вычислителя автоматически выбирает один из возможных режимов работы системы:

- Стоянка с приемом сигналов GPS. Факт стоянки определяется по ДСА. Происходит накопление фазовых измерений, затем выполняется расчет ориентации носителя, проверяется правильность решения, выдаются углы ориентации.

Кроме того, в режиме стоянки корректируется ноль гироскопа.

- Движение с приемом сигналов GPS. Совместная обработка данных ИНС и спутниковых приемников позволяет выдавать навигационные данные без задержки в одну - две секунды, присущей спутниковым приемникам. Расчет результатов ведется по ИНС, а сообщения GPS используются для коррекции инерциальной системы. При движении автоматически подстраивается чувствительность гироскопа, пропорциональность датчика скорости и другие параметры.
- Автономная работа ИНС после потери спутниковых сигналов. Данный режим ограничен по длительности из-за накопления ошибок ИНС. Время автономной работы составляет от одной до трех минут, в зависимости от требуемой точности азимута. Для включения данного режима необходима инициализация инерциальной системы (появление флага готовности ИНС). В процессе инициализации компаса идет коррекция коэффициентов датчика угловой скорости и ДСА, а также начальный расчет азимута. Корректирующей информацией служат данные GPS приемника. Инициализация выполняется после расчета стационарного курсового угла (на стоянке) или по превышению пороговой скорости по данным GPS. Пороговая скорость, которая считается надежной для инициализации, принята равной 5 км/ч. После инициализации в случае потери сигналов GPS обеспечивается выдача полной навигационной информации. Если инициализации ИНС не было, то после пропадания сигнала GPS координаты, скорость и курс выдаваться не будут.
- Стоянка в условиях потери сигналов GPS с удержанием координат и азимута. Навигационная система APK-KH2 позволяет неограниченно долго выдавать точный курс и координаты на стоянке без приема GPS. Это возможно благода-

ря достоверному определению стояночного режима по ДСА с фиксацией координат и курса.

Кроме основных рабочих режимов, существуют два состояния устройства, когда выдача навигационных данных не производится:

- После включения питания в течение нескольких минут. Навигационные данные появляются одновременно с началом получения координат от GPS, путевой угол – после стационарного расчета азимута или при появлении информации о скорости от GPS-приемника.
- Истекло время автономной работы ИНС. После потери сигналов GPS автономная работа ИНС в движении возможна в течение фиксированного времени от одной до нескольких минут; затем навигационные результаты обнуляются, за исключением скорости, которая выдается по данным ДСА. Для нового цикла автономной работы требуется повторная инициализация ИНС на основе курсового угла, рассчитанного на стоянке по фазовым измерениям GPS, или в движении по данным скорости от GPS.

Отсутствие навигационных данных подтверждается флагами состояния.

После монтажа навигационной системы на носитель и включения системы начинается процесс калибровки гироскопа и датчика скорости, то есть корректируются расчетные коэффициенты применительно к данному носителю.

Корректировка коэффициентов продолжается и при последующей работе системы. Источником коррекции служат данные GPS – координаты и вектор скорости или результаты фазового расчета ориентации. Процесс коррекции не требует вмешательства пользователя, навигационные данные продолжают выдаваться в обычном режиме. Однако при первом включении на данном носителе в течение десяти или пятнадцати минут должен быть уверенный прием сигналов GPS, а в траекторию движения должны входить правые и левые повороты, прямолинейное движение.

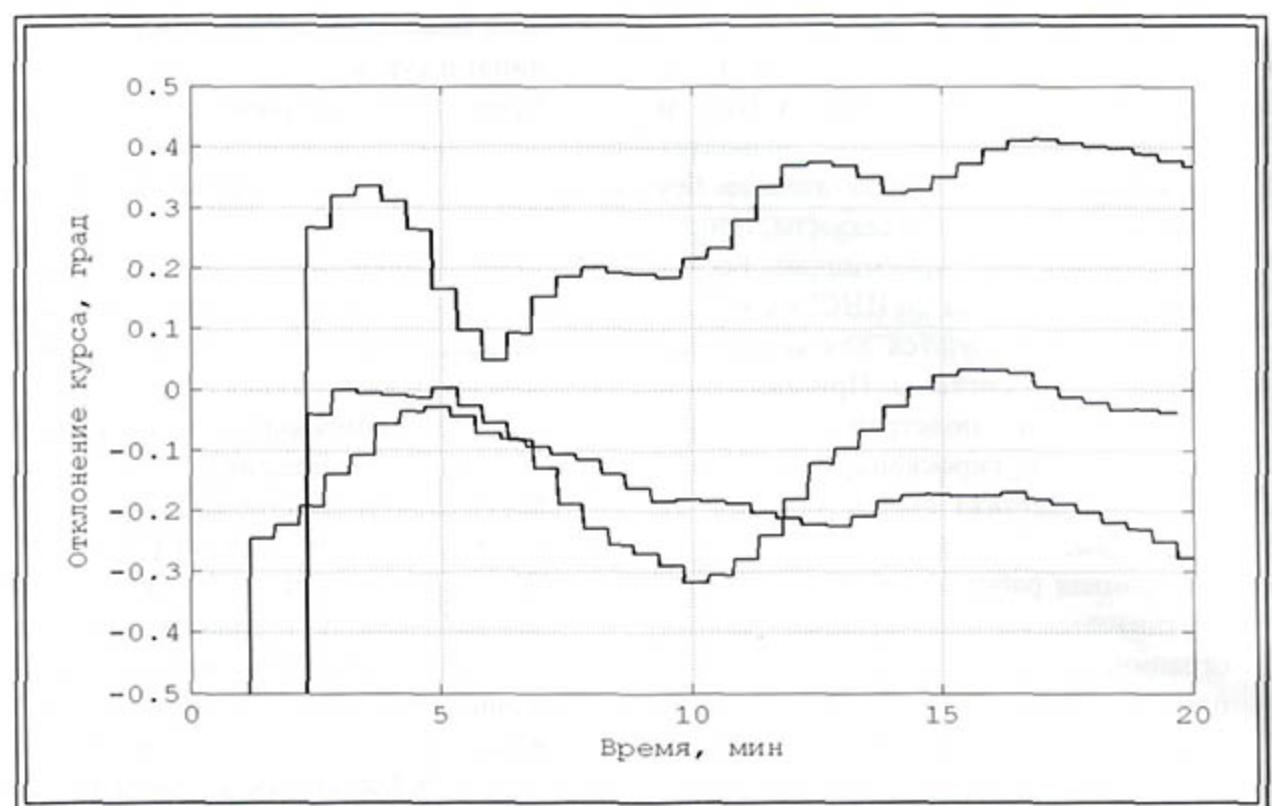


Рис. 5. Абсолютная погрешность ориентации в зависимости от времени неподвижного носителя.
Интервал 20 минут.

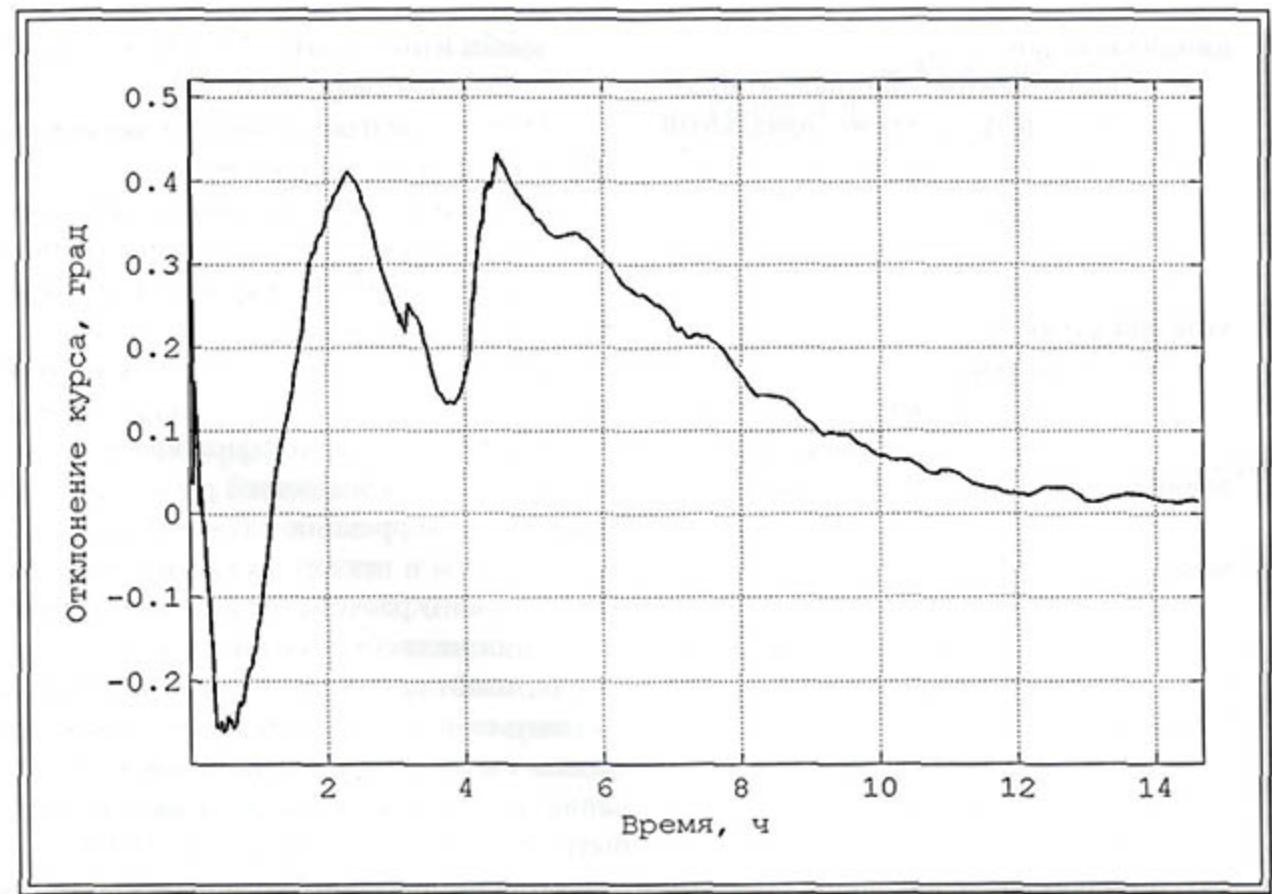


Рис. 6. Абсолютная погрешность ориентации в зависимости от времени неподвижного носителя.
Интервал 15 часов.

Метрологические характеристики навигационной системы АРК-КН2

Точность расчета ориентации носителя на стоянке зависит от наблюдаемого созвездия спутников и условий распространения спутниковых сигналов в атмосфере. Конфигурация спутников повторяется через 12 часов. Поэтому для выяснения точности навигационной системы были проведены двадцатиминутные и четырнадцатичасовые измерения ориентации неподвижного носителя.

На Рис. 5 представлены полученные зависимости погрешности курсового угла от времени для интервала, равного двадцати минутам. Согласно алгоритму вычислений угла каждый последующий результат вычисляется с учетом предыдущего значения. Вертикальные отрезки в начале кривых соответствуют времени окончания первого расчета. Показано, что даже после первого расчета ошибка измерения не превысила половины градуса.

На Рис. 6 представлены зависимости погрешности вычисления курсового угла от времени для интервала, равного пятнадцати часам. Можно наблюдать постепенное уменьшение погрешности с течением времени. Это дает основания рекомендовать длительные измерения, если требуется определить ориентацию с высокой точностью.

Расчет курсового угла неподвижного носителя выполним только при хороших условиях приема радиосигналов спутников. Количество спутников, от которых принимаются сигналы, не является полной характеристикой условий приема, но дает некоторое представление о возможных результатах. Минимальное количество принимаемых спутников, при

котором можно ожидать успешного расчета, составляет пять, а номинальное, при котором в большинстве случаев расчет выполняется сразу после первого накопления данных - восемь спутников. Наличие протяженных вертикальных стен, высоких зданий, металлических конструкций может увеличить время накопления данных. Благодаря совместной обработке данных СНС и ИНС в условиях остановки носителя удается полностью исключить грубые ошибки вычисления координат и повысить точность вычисления координат в движении.

При потере спутниковых сигналов во время движения система АРК-КН2 в течение минуты продолжает формировать актуальные навигационные данные. В качестве примера, на Рис. 7 показаны результаты сеанса работы системы в подобных условиях. У точки 1 после отключения СНС был выполнен правый поворот на 90° , затем следовало движение по прямой с максимальной скоростью 60 км/ч. В точке 1 были отключены антенны спутниковых приемников. Истинному маршруту соответствует линия 1-2, а линия 1-3

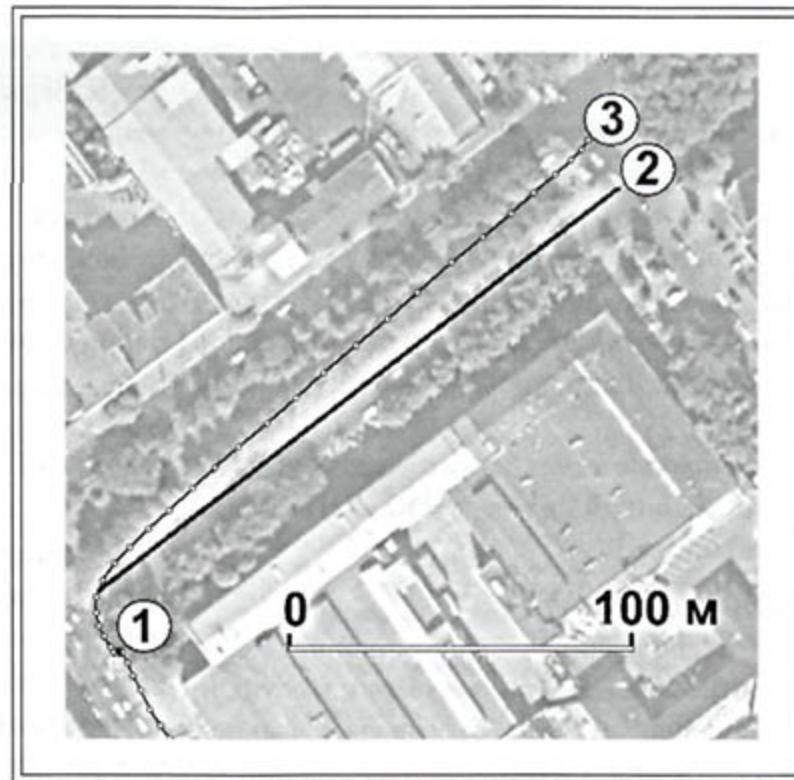


Рис. 7. Сеанс автономной работы ИНС без приема спутниковых сигналов

Таблица 1. Основные технические характеристики системы APK-KH2

Общие характеристики	
Частота выдачи навигационных данных	10 Гц
Среднее время запаздывания навигационных данных от истинного времени	50 мс
Точность определения координат (доверительная вероятность 90%)	15 м
Погрешность определения курсового угла, не более	3°
Погрешность определения модуля скорости	0,3 м/с
Напряжение питания	12 В или 27 В
Потребляемая мощность, не более	10 Вт
Вес, не более	0,5 кг
Габаритные размеры, - модуль вычислителя - модуль гироскопа - блок спутниковых приемников	100x160x20 мм 80x40x10 мм 110x53x38 мм
Диапазон рабочих температур	от -30° до +75°
Ориентация на стоянке	
Среднеквадратическая погрешность курсового угла	0,5°
Требуемое количество наблюдаемых спутников для успешного расчета - минимальное - номинальное	5 8
Длительность накопления данных для расчета	120 с
Окно измерений (периодичность расчета)	30 с
Работа в движении при отсутствии сигналов GPS	
Абсолютная погрешность вычисления курса за 30 с	4°
Абсолютная погрешность вычисления координат за 30 с	15 м
Максимальное время работы в условиях пропадания спутниковых сигналов	60 с

построена по данным, полученным от навигационной системы. Белыми точками на рисунке отмечены секундные интервалы времени на маршруте движения. Средняя скорость на участке 1-2 была около 30 км/ч. Время прохождения участка соответствовало примерно 30 с, в точке 2 погрешность определения координат составила 14 м, а ошибка курса 4,2°. Результаты примера свидетельствуют об успешной работе навигационной системы в условиях пропадания сигналов от спутников.

Основные технические характеристики навигационной системы APK-KH2 сведены в таблицу 1.

Заключение

Интегрированная навигационная система APK-KH2 объединяет спутниковую и инерциальную системы и позволяет вычислять координаты и курсовой угол станции в движении и на стоянке. При этом обеспечивается повышенная по сравнению с обычными

спутниковыми системами точность расчетов и скорость выдачи навигационных данных, а также достоверность курса и координат при любом маневрировании, стоянке и кратковременных потерях спутниковых сигналов, при пеленговании в движении и на стоянке повышается точность локализации источников радиоизлучения на местности.

Технические решения, положенные в основу системы APK-KH2 позволяют использовать приемники других спутниковых систем, например ГЛОНАСС или GALILEO.

Конструктивные, схемотехнические и алгоритмические решения, а также малые вес и габариты, низкое энергопотребление, небольшая стоимость делают возможным адаптацию навигационной системы для носящих и разворачиваемых комплексов радиоконтроля, в которых требуется иметь привязку не только к географическим координатам, но и к ориентации антенных систем.

Литература

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства/ Под редакцией А.М. Рембовского. - М.: Горячая линия-Телеком, 2006. - 492 с.
2. Справочник по радиоконтролю. МСЭ 2002. Женева, 2004. - 584 с.
3. Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. - John Wiley & Sons, Inc., 2001. - 392 p.
4. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Автономные системы. - М.: Наука, 1966. - 580 с.
5. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Корректируемые системы. - М.: Наука, 1967. - 648 с.
6. Nasiri S. A Critical Review of MEMS Gyroscopes Technology and Commercialization Status, White Paper, InvenSense, ca. 2005.
7. Apostolyuk V. Theory and design of micromechanical vibratory gyroscopes// MEMS/NEMS Handbook. Vol.1. - Springer, 2006. - P.173-195.
8. Медведев Е.М. Интегральные навигационные комплексы GPS/IMU. - ГеоПрофи. - 2005. - № 6. - С.52-55.
9. Coskren D., Easterly T., Polutchko R. Low-Cost GPS/INS Guidance for Navy Munitions Launches. - GPS World. - 2005. - September.
10. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. - М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1999. - 272 с.

Аннотация

Мобильные станции радиоконтроля делают выполнимыми задачи, которые трудно или даже невозможно решить стационарными средствами. Навигационная система является необходимой составной частью станции радиоконтроля, от ее характеристик во многом зависит эффективность и качество решения поставленных задач. В качестве навигационной системы в мобильных наземных станциях обычно используется одиничный приемник спутниковой системы навигации, который имеет небольшую стоимость и существенные недостатки, сужающие функциональность станций радиоконтроля. Более сложные технические решения не нашли широкого распространения ввиду высокой стоимости подобных устройств.

В работе обосновывается построение, приводится структурная схема, обсуждаются технические характеристики интегрированной навигационной системы APK-KH2, лишенной большинства недостатков, свойственных одиночному спутниковому приемнику. Система APK-KH2 интегрирует спутниковую и инерциальную навигационные системы, за счет чего имеет повышенные технические характеристики. В то же время система имеет невысокую стоимость, поскольку в ней применены недорогие гироскопы, использующие MEMS-технологию.

Технические решения, положенные в основу системы APK-KH2 позволяют применять приемники любых спутниковых систем, например, GPS, ГЛОНАСС или GALILEO, если приемники способны выполнять фазовые измерения с необходимой точностью.

Уважаемые друзья! Редакция журнала «Специальная Техника» предлагает оформить подписку на 1-ое полугодие 2009 года

Профессиональный научный журнал «Специальная Техника» публикует материалы, посвященные специальным техническим средствам обеспечения безопасности, антитеррористическому оборудованию, проблемам защиты информации, техническим средствам охраны, криминалистическому оборудованию.

Журнал «Специальная Техника» включен в сформированный Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учетной степени доктора и кандидата наук».

Оформить подписку на журнал «Специальная Техника» на 1-ое полугодие 2009 года можно в редакции журнала на сайте: www.st.ess.ru или через Агентства подписки:

Агентство ООО «ВСЯ ПРЕССА»
Агентство ООО «ИНТЕР-ПОЧТА-2003»
тел. (495) 234-03-08, 787-34-45
тел. (495) 500-00-60, 580-95-80

Подписку с доставкой в регионы России, а также страны Ближнего и Дальнего зарубежья и заказ отдельных номеров журнала можно оформить через:

Агентство ООО «Информнаука»
тел. (495) 787-38-73, тел./факс (499) 152-54-81,
e-mail: Alfimov@viniti.ru

Подробная информация по телефону (495) 963-53-18, менеджер по распространению журнала «Специальная Техника» Осыпкина Екатерина E-mail : st@ess.ru, сайт: www.st.ess.ru