

# Мультисенсорные навигационные системы для локального позиционирования

Александр Самарин (Москва)

В статье дан обзор технологии локальной системы позиционирования для пешеходов на базе датчиков Honeywell. Приведены примеры использования системы локального позиционирования на основе модуля счисления пути. Даны характеристики отдельных компонентов пешеходной навигационной системы, приведена схематика отдельных узлов, рассмотрены метрологические аспекты пешеходной навигационной системы.

Системы позиционирования обеспечивают определение местонахождения пользователя с привязкой к карте местности или объекта. Навигационные, информационные, рекламные и игровые приложения, системы дистанционного управления, системы обеспечения безопасности – вот далеко не полный перечень возможностей, предоставляемых системами позиционирования. Существуют системы абсолютного и относительного (локального) позиционирования. Абсолютное позиционирование подразумевает получение каждый раз новых координат вне зависимости от предыдущего местоположения. GPS является примером такой системы. Относительное позиционирование предполагает знание начальных координат и

вычисление в процессе движения разностных координатных компонент. Технология основана на измерении векторов перемещения и длины пути.

Системы локального позиционирования обеспечивают большее разрешение, чем системы GPS, кроме того, некоторые из них могут работать как снаружи, так и внутри зданий, обеспечивая непрерывное отслеживание передвижения человека или другого объекта, например робота. Системы локального позиционирования, в свою очередь, могут быть автономными и неавтономными. Термин «автономный» означает полную независимость методики определения координат от наличия внешних излучаемых сигналов, например, спутниковых станций или ВЧ-передатчиков.



Рис. 1. Структура локальной навигационной системы SafeTzone

## Неавтономные системы локального позиционирования

Примером систем неавтономного локального позиционирования являются разработки компаний SafeTzone и Hitachi. Обе фирмы используют такой же принцип действия, как и в системе GPS: пользовательское устройство измеряет задержку сигнала, приходящего от расположенных вокруг базовых станций.

Система SafeTzone применяется для нахождения потерявшихся посетителей в американских парках отдыха. Основу системы SafeTzone составляют приёмники, установленные по всей территории парка. Посетителям, желающим воспользоваться этой услугой, выдаются небольшие браслеты, оборудованные передатчиками. Каждые 12,5 с передатчик посылает данные о своём местонахождении на ближайший приёмник. Достижимая точность позиционирования составляет 6...15 м. Структура локальной навигационной системы SafeTzone показана на рис. 1.

Центральная станция навигационной системы (LocationStation) связана с интерактивными киосками-терминалами. Терминалы позволяют посетителю получить доступ в систему Guest Locator. Станция обеспечивает определение координат каждого члена группы и отправку сообщений.

В системе локального позиционирования Hitachi используется технология беспроводной передачи данных WLAN. Система должна иметь как минимум три узла, расположенных на расстоянии 100...200 м друг от друга. Точность позиционирования объекта составляет 1...3 м. Несмотря на обилие альтернативных способов позиционирования (GPS, сотовые сети и т.д.), на рынке существует потребность в системах, обеспечивающих высокую точность. Основными областями применения системы фирмы Hitachi является контроль за перемещениями оборудования и продукции на заводах и складах.

## Автономные системы локального позиционирования

В автономных системах локального позиционирования применяется инерциальная система отсчёта. Базовыми компонентами такой системы являются гироскоп и магнитный компас, а также другие датчики, которые позволяют вводить поправки на возможный крен объекта при движении. Автономные системы локального позиционирования могут использоваться как для транспортных средств, так и для пешеходов. Разработка пешеходных систем локального позиционирования в настоящее время является актуальной задачей для использования в сфере так называемой Wearable Electronics – носимого или встроенного в одежду электронного оборудования. Одной из технологий автономных навигационных систем является Dead reckoning – вычисление пройденного пути.

### Метод навигационного счисления пути

Одним из методов определения местоположения подвижных объектов является метод навигационного счисления пути, или метод инерциальной навигации. Движущийся объект (пешеход или транспортное средство) оснащается датчиками курса и пройденного пути, по показаниям которых определяется местоположение объекта относительно фиксированных точек на местности. Координаты фиксированных точек определяются GPS-системой, и по ним производится привязка объекта к электронной карте местности. В зависимости от назначения и структуры навигационной системы вычисление местоположения может производиться как непосредственно на самом объекте с помощью навигационного компьютера, так и на внешнем управляющем компьютере подсистемы обработки данных.

### Пешеходная навигационная система счисления пути

Для определения координат нужна система отсчёта (reference frames). Для трёхмерной системы, какой является наш мир, используются три координаты.

Пешеходная система навигационного счисления пути базируется на использовании системы датчиков и встроенного микроконтроллера, который производит вычисление курса и

пройденного пути. Магниторезистивные трёхосевые датчики обеспечивают определение направления движения пешехода. Датчики гироскопа и акселерометра позволяют учесть поправки на крен датчиков магнитометра при движении пешехода. С помощью акселерометров производится фиксация дискретных движений, например шага. Встроенный барометрический датчик давления позволяет определить третью координату при перемещении объекта, например, по этажам здания. Температурный датчик позволяет скорректировать показания всех датчиков, в которых проявляется температурный дрейф параметров. В системе также может присутствовать и GPS-приёмник для привязки перемещений пешехода к абсолютным координатам на карте местности. На рис. 2 показана типовая структура пешеходного навигатора.

«Сердце» системы – хост-микропроцессор. Он принимает данные широты и долготы от GPS-приёмника, значения векторов от датчиков магнитного поля и значения ускорений от MEMS-акселерометров. Кроме того, для вычисления положения по высоте в системе имеется встроенный температурный и барометрический датчик. Модуль GPS-приёмника состоит из антенны, блока приёмника RF-сигнала и демодулятора. Большинство приёмников используют чипсет из двух микросхем для приёма и демодуляции сигналов частотой 1227,6 МГц двенадцати спутниковых каналов (L2 downlink).

Микроконтроллер вычисляет векторы изменений и точки изменения траектории, скорости движения и выполняет расчёт времени прохождения трассы. Длина пути пешехода складывается из последовательных дискретных перемещений. Пешеход может двигаться как медленным шагом, так и быстрым, а также бежать. Кроме того, должны учитываться движения назад, вбок и передвижения по-пластунски. Алгоритм работы системы должен обеспечить распознавание типа перемещения, вычисление длины дискретного перемещения и вектора перемещения. В памяти контроллера перемещения фиксируется двухмерная или трёхмерная карта перемещения. Вычисление длины шага является нетривиальной задачей. Решается она использованием данных от датчиков акселерометров и датчиков магнитного поля.

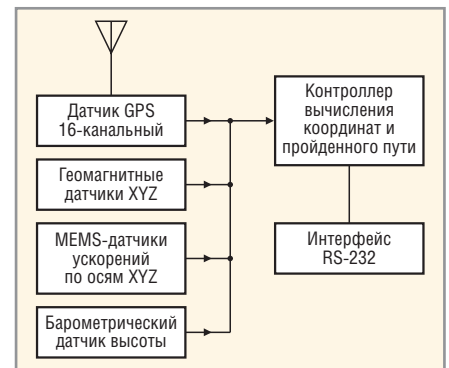


Рис. 2. Типовая структура пешеходного навигатора

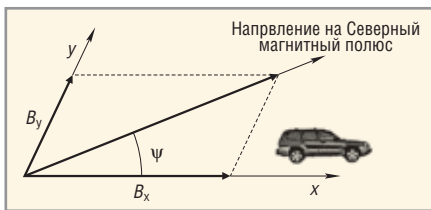
Система для пешеходной навигации должна иметь малые габариты и малое потребление энергии при питании от батарей.

### Датчики HONEYWELL для модуля локального позиционирования

Для создания различных навигационных систем фирма Honeywell выпускает как отдельные датчики, так и различные готовые модули «под ключ» со встроенными схемами согласования и обработки сигналов. Компания Honeywell владеет фирменной технологией для производства очень точных магниторезистивных датчиков. На их основе фирма разработала готовые функциональные модули магнитометров и электронных магнитных компасов. Специалистами Honeywell разработаны и запатентованы эффективные алгоритмы обработки первичных данных от интегральных датчиков. Эти алгоритмы дают пользователям готовые функциональные решения и избавляют от расходов на собственные разработки.

### Электронный магнитный компас

Многие навигационные системы в настоящее время используют различные типы компасов для определения направлений движения. Магнитный компас, изобретённый китайцами, человечество использует уже сотни лет. Известно, что мореплаватели XII в. в походах по Средиземному морю уже использовали магнитные компасы. Интенсивность магнитного поля Земли на уровне поверхности находится в пределах 0,5...0,6 Гс. Вектор магнитного поля параллелен поверхности и направлен на Северный магнитный полюс Земли. Это базовые эффекты, на которых основана работа всех типов магнитных



**Рис. 3. Вычисление направления электронного магнитного компаса**

компасов. Электронные магнитные компасы, построенные на базе магниторезистивных датчиков, также используют магнитное поле Земли. Датчики способны обеспечить разрешение до  $0,1^\circ$ . Электронные компасы используются как самостоятельные устройства, компоненты к многоэлементным навигационным системам и в качестве встроенных модулей GPS-приёмников. Многие легковые и грузовые машины по всему миру оснащаются электронными компасами. Несмотря на то что GPS-приёмники в комплекте с одной антенной обладают высокой точностью определения местоположения, они не в состоянии определить свой курс – направление движения самого приёмника или платформы, на которой он установлен. На помощь в данной ситуации приходит компас! Когда GPS-сигналы блокируются всевозможными физическими препятствиями, навигационная система с поддержкой GPS может указать направление дальнейшего движения на основании данных, полученных от компаса.

Датчики магнитного поля Земли и GPS хорошо дополняют друг друга и обеспечивают решение как простых, так и сложных навигационных задач.

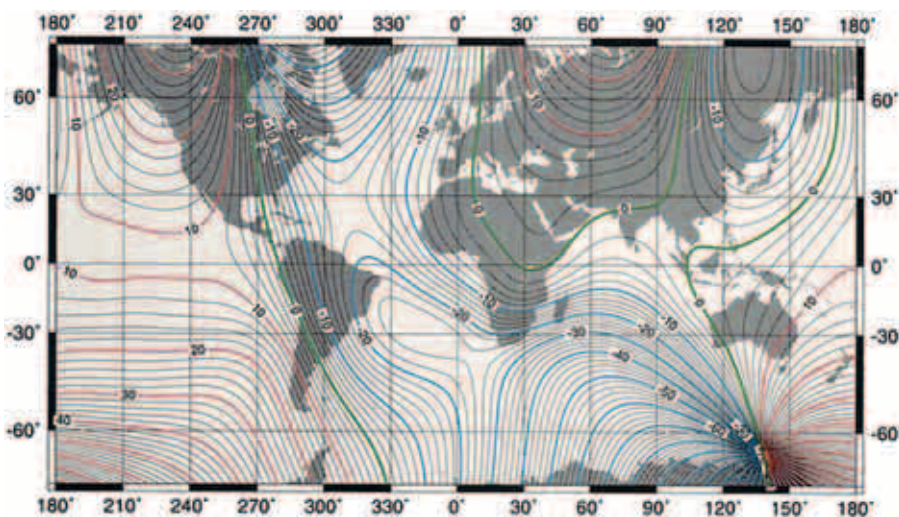
Большинство электронных компасов основано на датчиках, называемых магнитометрами. Магнитометр – это

прибор для измерения интенсивности одного или нескольких составляющих магнитного поля Земли. Полученные данные усиливаются, нормируются и передаются в микроконтроллер для вычисления вектора направления компаса. Типовой электронный компас создаётся при помощи установки двух магнитометров под правильными углами на плоской горизонтальной опоре. Каждый датчик измеряет одну из компонент горизонтального поля – по оси X опоры и по оси Y. Если мы запишем эти компоненты как  $B_x$  и  $B_y$ , то угол между осью X и направлением горизонтального поля, указывающим на Северный магнитный полюс, будет равен арктангенсу отношения  $B_x/B_y$  (рис. 3).

**МАГНИТНОЕ СКЛОНЕНИЕ**

Стрелка компаса показывает не на Северный географический полюс, а на Северный магнитный полюс, который находится в северной части Канады, вблизи острова Принца Уэльского, в 1300 милях от северного географического полюса. Величина угла между направлением на Северный магнитный полюс и направлением на Северный географический полюс для различных районов Земли различна. Этот угол в данной точке земной поверхности называется магнитным склонением. Коэффициенты магнитного склонения должны быть учтены для определения истинного направления на географический полюс и вычисления географических координат. Карта изолиний коэффициентов магнитного склонения для земного шара представлена на рис. 4.

В электронных магнитных компасах коэффициенты магнитного склонения считываются из Flash-памяти. Значе-



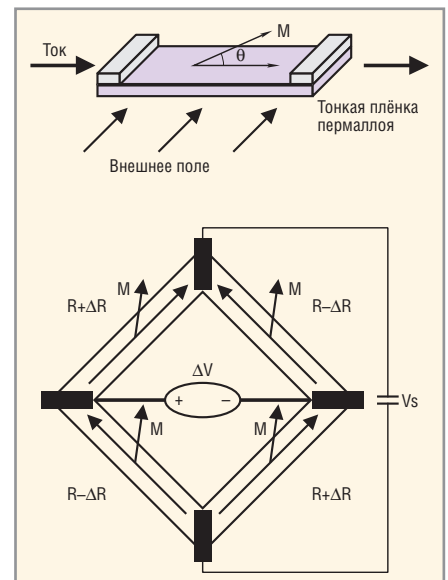
**Рис. 4. Карта изолиний коэффициентов магнитного склонения**

ние коэффициентов определяется исходя из знания координат местности.

**МОСТОВЫЕ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЕ ДАТЧИКИ HONEYWELL**

В основе принципа действия мостовых магниторезистивных датчиков лежит АМР (анизотропный магниторезистивный) эффект, который основан на способности пермаллоевой (NiFe) плёнки изменять своё сопротивление в зависимости от ориентации протекающего через плёнку тока к направлению её вектора намагниченности. При производстве датчиков плёнка помещается в сильное магнитное поле для ориентации магнитных областей в одинаковом направлении. Тем самым задаётся направление вектора намагничивания. Затем при попадании во внешнее магнитное поле, перпендикулярное плёнке, вектор намагничивания начинает вращаться или изменять угол. Это, в свою очередь, меняет сопротивление плёнки. Для построения датчика четыре идентичных магниторезистивных плёнки соединяются по мостовой схеме, как показано на рис. 5. Плёнки формируются осаждением тонкого слоя пермаллоя на кремниевую пластину в форме ромба.

Мостовой магниторезистивный датчик имеет ось предпочтительного намагничивания или «лёгкую» ось, которая принудительно формируется встроенной плоской катушкой SET/RESET. Подача короткого установочного импульса тока 2...5 А длительностью 1...2 мкс через катушку SET/RESET формирует поле, ориенти-



**Рис. 5. Принцип работы магниторезистивного датчика**



рующее магнитные домены плёнок сенсора в одном направлении. Для восстановления максимальной чувствительности датчика требуется периодическое проведение данной процедуры. Сильное внешнее магнитное поле постепенно ослабляет чувствительность датчика. Смещение характеристики датчика происходит также из-за присутствия вблизи сенсора крупного ферромагнитного объекта. Внешнее поле компенсируется с помощью второй встроенной в сенсор катушки OFFSET. Помимо компенсации смещения характеристики от паразитных магнитных полей, при помощи катушки OFFSET производится автокалибровка усиления МР-моста в процессе работы. Это процедура необходима и для температурной компенсации параметров датчика.

Выпускаются магниторезистивные датчики с одной, двумя или тремя осями. Датчики могут выпускаться как отдельные устройства либо использоваться в составе готовых модулей. При правильной калибровке электронные компасы на магниторезистивных датчиках могут достигать точности, превышающей один градус. Встроенные компасы в некоторых GPS-приёмниках реализованы именно на данной технологии. Электронные компасы тоже необходимо калибровать для исправления отклонений и других возможных ошибок, таких как масштабный коэффициент и ошибки при несовпадении осей. Двух- и трёхосевые сенсоры главным образом предназначены для построения датчиков курса по магнитному полю Земли в автомобильных, морских и авиационных приложениях.

### Модули электронного компаса HONEYWELL

Принцип действия модулей электронных компасов Honeywell основан на измерении горизонтальных составляющих поля Земли и определения угла наклона пешехода или транспортного средства. Имея двухкоординатный датчик магнитного поля, датчик крена и учитывая несовпадение географического меридиана с магнитным, можно построить высокоточный датчик курса на север. Для построения электронного компаса фирма Honeywell выпускает специальный компасный набор HMC1055, включающий двух- и одноосевой датчики магнитного поля, а также М-датчик уско-

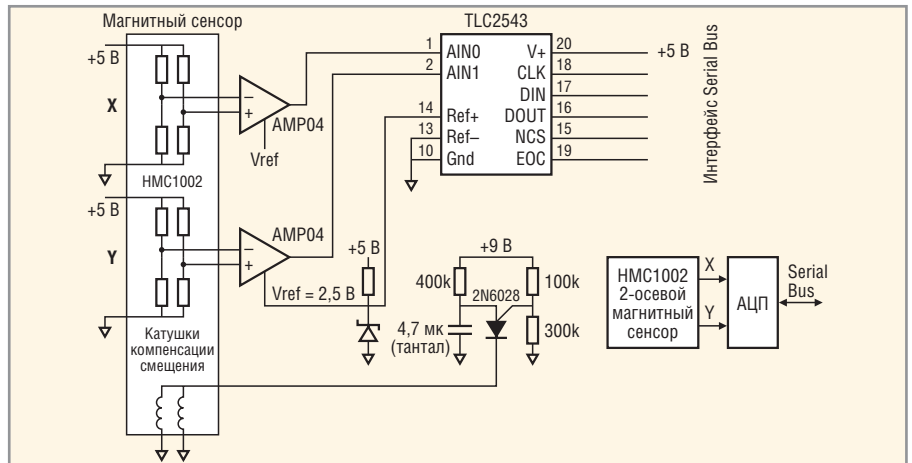


Рис. 6. Структура модуля с двухосевым магниторезистивным датчиком

рения для определения крена объекта. Линейка датчиков Honeywell включает два прибора (HMC1501 и HMC1512), которые предназначены для работы в сильном магнитном поле (80 Гс и более) в режиме насыщения без деградации характеристики. На рис. 6. представлена структура модуля с двухосевым магниторезистивным датчиком.

Микросхема TLC2543 представляет собой 12-разрядный 11-канальный АЦП с последовательной шиной производства компании Texas Instruments.

Ниже приведены краткие характеристики других модулей электронных компасов Honeywell.

### Модуль цифрового компаса HMR3100

На рис. 7. показано недорогое устройство – модуль цифрового компаса HMR3100 с интерфейсом USART.

Размеры модуля: 19 × 19 × 4,5 мм. В модуле используется двухосевый магниторезистивный датчик (два HMC1022) и отсутствует датчик компенсации крена. Области применения модуля: носимая электроника, системы ориентации телескопов и поворота антенн, навигационные системы бытового применения.

### Интегральный модуль двухосевого магнитного компаса HMC6352

Модуль HMC6352, показанный на рис. 8, имеет меньшие размеры, чем HMR3100. Вся необходимая обработка первичных данных производится программой встроенного микроконтроллера. Хост-контроллер получает уже обработанные данные. Модуль предназначен для встраивания в недорогие устройства бытовой электроники, например мобильные телефоны.



Рис. 7. Модуль цифрового компаса HMR3100

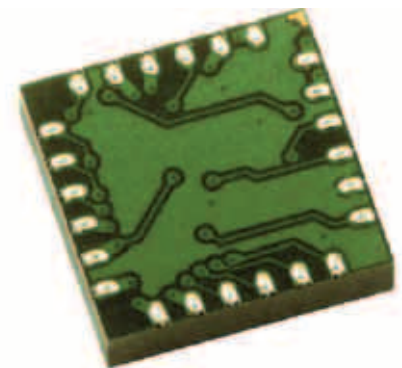


Рис. 8. Интегральный модуль двухосевого магнитного компаса HMC6352 Honeywell

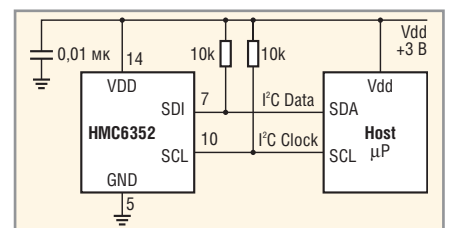


Рис. 9. Интерфейс датчика HMC6352 с хост-контроллером

Модуль имеет размеры 6,5 × 6,5 × 1,5 мм. В качестве интерфейса с хост-контроллером используется шина I<sup>2</sup>C (см. рис. 9). Питание осуществляется от источника 2,7...5,2 В.

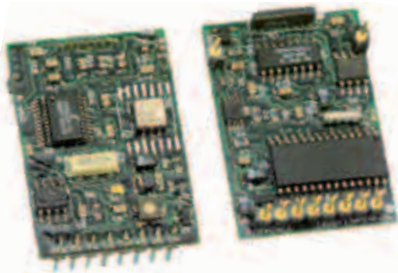


Рис. 10. Цифровой компас HMR3200/HMR3300



Рис. 11. Общий вид модуля µPOINT

### Модуль цифрового компаса HMR3200/HMR3300

Модуль цифрового компаса HMR3200/HMR3300 представлен на рис. 10.

Это более дорогой и более точный компас. В нём используются три ортогональных магниторезистивных датчика. В модуль HMR3300 встроены MEMS-акселерометры для компенсации крена производства компании Analog Devices (ADXL213). Частота опроса данных составляет 8 Гц. Обмен данными осуществляется с помощью интерфейсов RS-232, SPI и специального командного протокола управления. Область применения – бытовая электроника, промышленные приборы.

### Модуль цифрового магнитного компаса µPOINT

Этот модуль относится к новому поколению интеллектуальных азимутальных интегральных датчиков, в которых используется технология твердотельного MEMS-гироскопа и магниторезистивных датчиков. Модуль отличают малые габариты, малое потребление энергии, наличие встроенного контроллера для обработки данных. Общий вид модуля представлен на рис. 11.

Основные особенности модуля µPOINT:

- гироскопическая стабилизация;
- компенсация кренов (азимутальная точность – 0,5°, точность по углам склонения – 0,2°);
- скорость обновления данных – 25 Гц;
- высокая стойкость к ударам и вибрациям;
- выбираемые пользователем опции для компенсации внешнего магнитного поля;
- автоматическое вычисление коэффициентов магнитного склонения по встроенной Мировой карте магнитной модели Земли;
- патентованные решения и алгоритмы;
- габариты – 25,4 × 26,4 × 13 мм;
- интерфейс – RS-232 (9,6...38,4 кБод);
- потребление – 400 мВт (220 мВт в режиме покоя).

### Базовая структура модуля вычисления пути

Модуль вычисления пути состоит из датчика магнитного компаса HMC6042 и специализированной микросхемы вычисления пути SIFRstar2t (см. рис. 12). Эта микросхема имеет встроенный двухканальный АЦП и последовательный интерфейс с хост-микроконтроллером.

Honeywell HMC6042 является двухосевым интегральным датчиком магнитного поля, в котором наряду с двумя кристаллами датчиков HMC1042 содержится микросхема обработки сигнала (HMR5003). Схема обработки сигнала состоит из усилителей, АЦП и микроконтроллера с интерфейсом управления. Эта же микросхема содержит формирователь сигнала для периодического восстановления магнитной чувствительности датчиков. Для этой цели выходной каскад формирует импульс длительностью 1...2 мкс. Выходной ток микросхемы – не менее 400 мА. Для формирования короткого токового импульса используется встроенный емкостной умножитель напряжения.

Модуль может быть использован для встраивания в мобильные телефоны нового поколения, персональные системы мониторинга, а также в системы для слежения за перемещением объектов как снаружи, так и внутри помещений. Для увеличения разрешения позиционирования структура компаса дополняется трёхосевыми магнитными датчиками и по крайней мере двухосевым акселерометром. Для это-

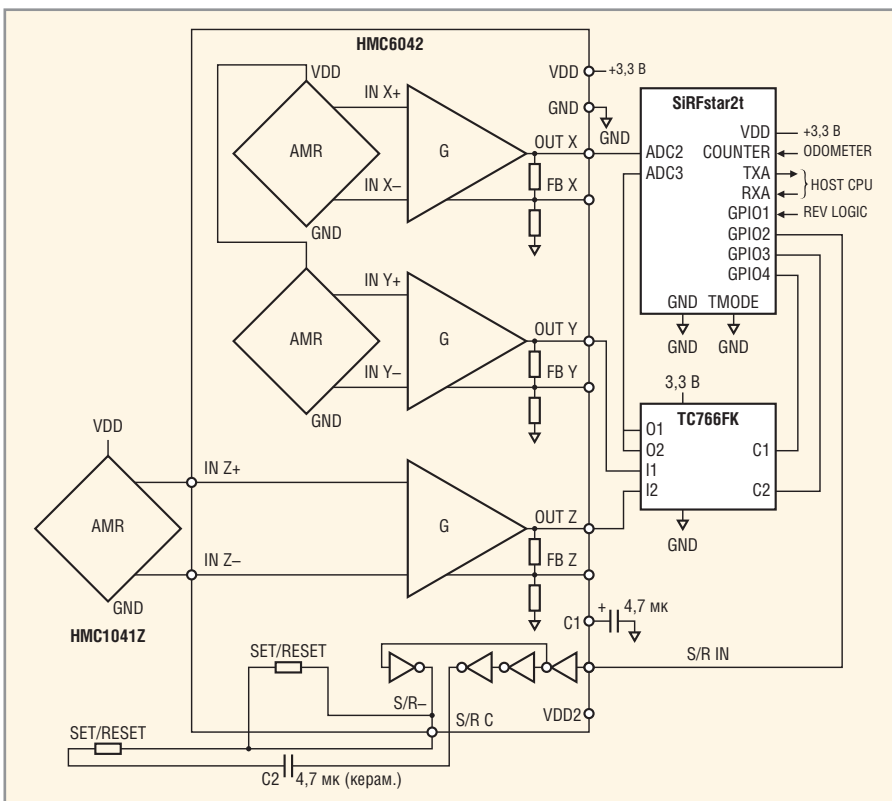


Рис. 12. Схема модуля счисления пути на базе SIFRstar2t

го двухосевую систему магнитных датчиков HMC6042 можно дополнить датчиком магнитного поля по оси Z Honeywell HMC1041Z.

### Модуль SiRFstar2t

Использование модуля SiRFstar2t со встроенным 14-разрядным АЦП обеспечивает преобразование в цифровую форму трёх компонент измеренного в определённой точке магнитного поля для вычисления курсовых перемещений.

Трёхосевая система датчиков магнитного поля Земли раскладывает вектор поля на три составляющие по осям X, Y, Z. Далее вычисляется проекция этого вектора на поверхность Земли. Эта проекция и будет направлением стрелки магнитного компаса. Датчики акселерометров нужны для того, чтобы скомпенсировать угловые компоненты крена перемещений пешехода.

Реальное направление виртуальной стрелки магнитного компаса вычисляется уже с учётом компенсации крена по вертикали и горизонтали (наклона). Поэтому данные от датчиков магнитного поля и акселерометров обрабатываются в специализированной микросхеме. В хост-контроллер передаётся уже результирующее значение направления стрелки магнитного компаса с учётом поправок на крен. Другая функция, которая обеспечивается при обработке данных акселерометров – это вычисление длины пройденного пути. Поскольку движение происходит дискретно – шагами, требуется фиксировать направление и длину шага и производить векторные вычисления пути. До настоящего времени шагомеры использовались в медицинских бытовых приборах для мониторинга здоровья. То есть с помощью шагомеров подсчитывалось число шагов и ориентировочно длина пройденного пешком пути за определённое время. Длина шага бралась статистическая или устанавливалась вручную пользователем. Для правильной работы таких шагомеров предполагается только движение вперед. Реально направление шага может быть любым, в том числе назад и вбок. Положение модуля, встроенного в одежду, может быть также любым.

Простейший алгоритм работы модуля основан на использовании средней расчётной длины шага, полученной на базе опорных точек от GPS. В пределах помещений длина шага,

скорее всего, будет отличаться от длины шага вне помещения. Требуется распознавать тип движения – медленная, быстрая ходьба или бег.

Магнитные датчики направления, представляющие собой, как правило, трёхкомпонентные измерители магнитного поля Земли, дополняются другими приборами, позволяющими компенсировать искажения магнитного поля, которые возникают из-за различных факторов. В качестве таких приборов наиболее часто используются датчики ускорения – акселерометры.

### Модуль вычислителя пути DRM®-3

Модуль Honeywell DRM®-3 счисления пути является первым предназначенным для пешеходной навигации устройством, в котором реализованы функция компаса и вычисления пройденного пути. Модуль используется в военных приложениях, службами национальной безопасности, путешественниками и туристами, а также в медицинских приложениях (мониторинг движения пациентов).

Модуль DRM® может работать как совместно с приёмником GPS, так и без него. DRM® содержит магнитный компас с компенсацией кренов, электронный шагомер и барометрический высотомер. Доступна также «облегчённая» модификация устройства – DRM-core (без высотомера и GPS-приёмника).

### Модуль счисления пути DRM-5

Следующей разработкой фирмы Honeywell стал модуль счисления пути GyroDRM™ с дополнительными гироскопическими датчиками (см. рис. 13). Новая система GyroDRM™ является интеллектуальным персональным навигатором с ошибкой определения местонахождения 1...5 м на 100 м пройденного пути. Области применения модуля – картография, системы национальной безопасности, городская топография, персональные навигационные системы для пожарных подразделений, полиции, МЧС, служб безопасности и разведки, а также для навигации в парках и в лесу. Модуль имеет улучшенные характеристики по сравнению с DRM-3. В нём применяются новые алгоритмы для фильтрации данных от датчиков и вычисления пути.



Рис. 13. Модуль DRM-5

Основные особенности модуля Gyro DRM™:

- режим непрерывного позиционирования без провалов;
- работа как с GPS, так и без него;
- типовая точность – 1...2%;
- внутренняя фильтрация Кальмана;
- точность встроенного цифрового компаса не хуже 1°;
- 12-канальный GPS-приёмник;
- возможность записи и хранения координат пройденного пути;
- не требуется поддержка внешним оборудованием;
- отметчик событий;
- встроенный барометрический высотомер;
- патентованный алгоритм SmartPedometry™;
- сигнал тревоги о магнитных аномалиях.

Уникальный алгоритм работы компаса обеспечивает правильное определение углов как для вертикального, так и для горизонтального положения тела пользователя.

Для магнитного компаса существует встроенная математическая модель, которая позволяет корректировать значения азимута. Предусмотрена программная классификация типа движения. Применяются адаптивные алгоритмы для счисления пути, локализации и слежения (трекинга). В таблице представлены основные параметры модуля DRM-5

Алгоритм SmartPedometry™ учитывает любые движения человека: ходьбу, бег, боковое смещение, ползание, движение назад, даже топтание на месте. Автоматический компас учитывает положение тела оператора – стоит он или лежит. DRM® –5 имеет встроенный GPS-приёмник военного типа высокого разрешения. Низкое потребление позволяет носить устройство постоянно включенным. Барометрический высотомер позволяет определять номер этажа при дви-





**Рис. 14. Оценочный набор модуля GyroDRM, встроенный в пояс, в водозащитном исполнении**

жении объекта внутри здания. Программное обеспечение может модифицироваться с хост-контроллера. Для модуля не требуется подключение дополнительных датчиков движения, которые крепятся, например, на ноги. Датчик может использоваться для солдат или других служащих спецподразделений, которым нужно обеспечить позиционирование и навигацию внутри зданий.

Состав модуля: три датчика гироскопа, три датчика ускорения, три магниторезистивных датчика и барометрический высотомер. Мощность потребления – менее 1 Вт. Компактный модуль удобен для встраивания в одежду.

На рынке доступна оценочная плата – GyroDRM – готовый блок в корпусе с питанием, встроенным программным обеспечением и поддержкой ОС Windows (см. рис. 14). Интерфейс для связи с хостом – RS-232. Литий-ионный аккумулятор обеспечивает непрерывную работу модуля в течение 8 часов. Внешняя антенна используется для встроенного блока GPS (16 каналов). Модуль может использоваться как регистратор пути. По своим характеристикам прибор отнесён к стратегически важным устройствам навигации. Пока данный

модуль не разрешён для продажи вне пределов США.

### GPS-микромодуль uBlox типа TIM-LF

В качестве приёмника GPS в модуле DRM-5 используется микромодуль фирмы uBlox типа TIM-LF. Фирма uBlox выпускает миниатюрный GPS-приёмник, выполненный по технологии ANTARIS. С модулем TIM-LF продолжается эволюция GPS-микросхем. TIM-LF – это полностью готовый GPS-приёмник. TIM-LF предоставляет ресурсы для запуска программ разработчика на процессоре модуля TIM-LF. Это позволяет сократить число навесных компонентов и получать из модуля уже обработанные данные. Небольшие размеры модуля (25,4 × 25,4 × 3 мм) дают широкие возможности для его применения в малогабаритных устройствах.

Микромодуль uBlox TIM-LF имеет 16-канальный приёмник GPS, Flash-память на 8 Мбит. Данные модуля обновляются с частотой 4 Гц. Чипсет Antaris GPS Technology содержит:

- ATR0600 RF front-end приёмник;
- ATR0620 процессор обработки данных на базе ARM7TDMI;
- ATR0610 антенный малошумящий усилитель сигнала приёмника.

Для пользовательских приложений доступны следующие ресурсы:

- SRAM;
- Flash;
- порты ввода-вывода;
- интерфейс SPI.

### МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ МОДУЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПУТИ

Как было показано выше, модуль вычисления пути для навигации внутри помещений является сложной

комбинацией цифрового компаса, GPS и систем шагометрии. Основные ошибки в предсказании пути и местоположения происходят из-за неточности определения направления магнитным компасом (75%) и неточности определения длины шага (25%). Таким образом, для создания приемлемой бытовой системы локального позиционирования ошибка вычисления пути должна быть не больше 5%. В этом случае точность вычисления пути согласуется с точностью опорных координат хорошего GPS-приёмника.

Для того чтобы достичь такого уровня точности в позиционировании, ошибка системы электронного компаса должна быть не более 1° при всех допустимых углах наклона модуля в процессе пешего перемещения. Следовательно, бюджет ошибки компаса будет определяться и точностью определения угловых кренов по вертикали и горизонтали. Выбранные MEMS-акселерометры должны обеспечивать достаточный уровень точности при определении углов наклона, чтобы не выйти за пределы допуска 1°. Для этого, по скромным подсчётам, ошибка должна быть не более 0,25° для каждой угловой компоненты. Интегральная погрешность двух акселерометров увеличится до ±0,5°. Основные конкурирующие на рынке модули вычисления пешеходного пути используют пьезоакселерометры и дешёвые датчики магнитного поля. Из-за этого точность электронного компаса получается явно недостаточной для создания систем локального позиционирования внутри помещений. Особенно это важно при позиционировании на этажах зданий с плотной планировкой, где невозможно оперативное обновление опорных координат от GPS. Для самостоятельной разработки программного обеспечения цифрового компаса необходимо несколько сот и даже тысяч часов, которые потребуются для тестирования и оптимизации алгоритмов фильтрации и обработки данных. Программа должна содержать простые компоненты для получения данных от датчиков, коррекции и адаптивной фильтрации, содержать вычислительные алгоритмы, основанные на геометрических формулах. Важно отметить следующее. Для получения хорошей точности требуется выполнить одновременное считывание данных от всех датчиков (snap-shot), чтобы сформировать на-

#### Параметры модуля DRM-5

Параметр	Значение
Точность горизонтального позиционирования	1...2% от последней привязки
Азимутальная точность встроенного компаса	1° (rms) , разрешение 0,1°
Точность вертикального позиционирования	1,5 м (rms)
GPS-приёмник	16-канальный
Габариты модуля	86,4 × 50 × 15 мм
Вес	42,5 г
Температурный диапазон	-40...+85°C
Потребляемая мощность	Менее 1 Вт
Питание	Две стандартные литий-ионные батареи, 8 часов непрерывной работы
Частота обновления данных	4 Гц
Управляющий интерфейс	RS-232 или UART (КМОП уровни) 9,6...38,4 КБод
Разъём	Двухрядный, 2 × 5 контактов

бор отсчётов, строго относящихся к одному и тому же моменту времени. Последовательное преобразование значений от датчиков без использования схем выборки и хранения приведёт к появлению недопустимой ошибки. В первую очередь это относится к данным акселерометров. Измерение векторов магнитного поля также имеет свои особенности. Поскольку датчики выполнены по мостовой схеме, возможны ошибки за счёт смещений. Первое смещение – Гауссово. Другое смещение может происходить за счёт температурной нелинейности. Требуется калибровка датчика и компенсация постоянной составляющей поля, наведённого, например, стальными объёмными конструкциями (балки здания, шасси автомобиля).

### БАЗОВАЯ СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЖАРНЫХ (PRIMORDIAL FIREFIGHTER)

Система Primordial Firefighter обеспечивает позиционирование и трекинг бойцов подразделения пожарных внутри помещений в реальном времени. На рис. 15 показана архитектура системы Primordial Firefighter. С командного пункта пожарного расчёта доступна информация о местонахождении каждого бойца подразделения с привязкой к плану здания (этаж, комната, коридор, лестничный марш). Можно записывать и анализировать действия каждого бойца в процессе выполнения задания на объекте.

Бойцы пожарного подразделения оснащены модулями локального позиционирования и двухсторонней связью. На рис. 16 показан терминал командира подразделения пожарных. На рис. 17 показаны места нахождения бойцов. На позиции курсора индицируется имя бойца, этаж, температура в помещении, частота пульса.

Систему позиционирования предоставляет фирма Point Research. Система реализована на базе модуля счисления пути DRM-3 фирмы Honeywell. Терминал бойца выполнен на базе наладонного компьютера Axim X30 в упрочненном корпусе фирмы Dell. В качестве командного терминала в системе управления применяется планшетный компьютер Atigo M фирмы Xubernaut также в упрочненном корпусе.

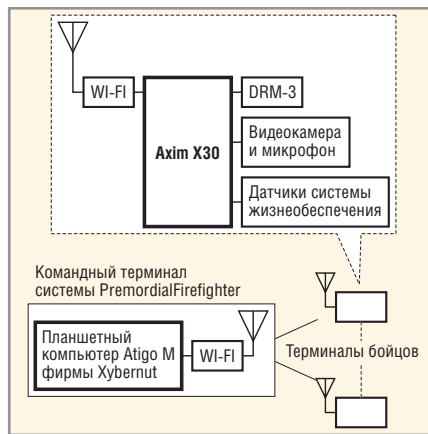


Рис. 15. Архитектура системы Primordial Firefighter

Система позиционирования обеспечивает отслеживание траекторий движения всей команды пожарных в реальном времени, а также запись траекторий для последующего анализа действий бойцов. Наличие обратной связи позволяет эффективно руководить слаженностью действий и давать указания по ходу выполнения операции. Встроенная в шлем видеочкамера позволяет наблюдать на экране командного терминала то, что видит каждый боец подразделения. Система полезна как в качестве тренажёра, так и в качестве штатного оборудования пожарной команды при реальных действиях. В компьютерах управляющего комплекса используются стандартные операционные системы Windows XP (планшетный компьютер) и Windows Mobile (наладонный компьютер бойца)

### ПЕШЕХОДНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА NavSnoe, ВСТРОЕННАЯ В ОБУВЬ

Рассмотренная выше система навигационного счисления пути была встроена в пояс пешехода. Существует также концепция встраивания пешеходной навигационной системы в обувь пешехода. В обуви размещается источник питания, сам модуль счисления, а также приёмник GPS. Ещё в 1996 г. в проекте DAPRA предполагалась разработка подобной системы военного назначения, однако результаты испытаний той разработки остались неизвестными. Проведённые испытания системы NavSoe, разработанной в 2005 г., показали очень хорошую её точность – на 740 метров кольцевого маршрута по сложной траектории со спусками и подъёмами была зафиксирована ошибка всего 2 м!



Рис. 16. Терминал командира подразделения пожарных

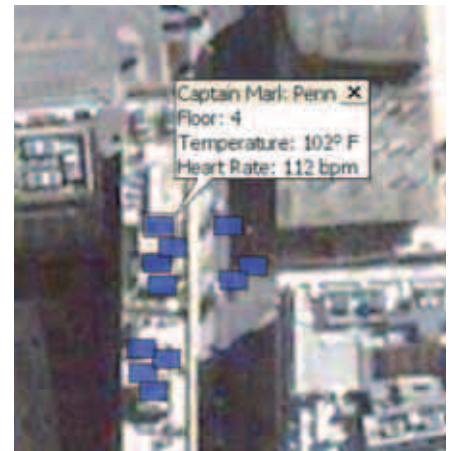


Рис. 17. Места нахождения бойцов

### О ФИРМЕ SSEC

Подразделение компании Honeywell International's – Solid State Electronics Center (SSEC) – является разработчиком и производителем специализированных микросхем для рынка аэрокосмической и телекоммуникационной индустрии. Прежде всего, подразделение известно как производитель датчиков давления и магниторезистивных датчиков, а также интегральных интеллектуальных модулей на основе этих датчиков, предназначенных для различных бытовых и военных приложений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Performance Analysis of a Commercial Multi-Sensor Pedestrian Navigation System. Klaus Macheiner.
2. DRM®-5 Dead Reckoning Module. Honeywell.
3. Петров Н.Н. Методы счисления пути в системах местоопределения подвижных объектов. Специальная техника. 1999. № 3.
4. Application Note – AN219 Digital Compass Reference Design with the SiRFstar2t GPS Chipset.
5. Caruso M.J. Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems. Honeywell Inc.
6. Foxlin E. Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensors. InterSense. ©