

УДК 004.42+004.354.3+004.51+621.317+681.2

Сенсорные технологии

*Д.Л. Кулаков, студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

*Научный руководитель: С.В. Горин, преподаватель
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»
irudakov@bmstu.ru*

1. Введение

Сенсором является устройство, преобразующее измеряемую величину в сигнал для последующей передачи, регистрации и т.п. В этой статье будет рассмотрена краткая история внедрения датчик в портативные устройства, информация о датчиках, проблемы работы с сенсорами и новые концепции. Кроме этого в статье описывается опыт использования датчиков и их особенности.

2. История внедрения датчиков в портативные устройства

Акселерометр является самым старым датчиком в мобильном мире. Начальные версии акселерометра использовались для управления движением в играх. Можно было управлять объектом, поворачивая телефон. Эта технология была реализована изначально в мобильном телефоне Samsung E750. Затем компания Sony Ericsson выпустила целую линейку телефонов, где акселерометр служил в качестве шагомера. Однако эти телефоны не были востребованы потребителями. Популярность акселерометру принес iPhone 4. В нем была реализована возможность поворота изображения на экране при повороте телефона. Однако данная инновация была не стабильна. Сейчас акселерометр используется почти во всех портативных устройствах.

Гироскоп впервые появился в телефоне iPhone 4. Раньше он использовался в самолетостроении и в цифровых фотоаппаратах. Гироскоп намного точнее, чем акселерометр. Он фиксирует изменение углов сразу по всем осям.

GPS-приемники и цифровые компасы. GPS-приемник – устройство для определения географических координат текущего местоположения приемника, на основе данных о

временных задержках прихода радиосигналов, излучаемых спутниками группы NAVSTAR. Цифровой компас показывает отклонение устройства от северного магнитного полюса.

Датчики *освещенности*. Принцип работы очень прост: в темное время включать подсветку максимально в телефоне, что обеспечивает хорошее восприятие, а в солнечное время, убирает подсветку, тем самым, экономя заряд батареи.

Датчик *приближения*. Данный датчик позволяет блокировать сенсорный экран, например, во время разговора, когда мы подносим телефон к уху, тем самым, предотвращая случайные нажатия. После разговора, когда вы убираете телефон от уха экран автоматически разблокируется. Так же такой телефон можно спокойно класть в карман или чехол, не боясь случайных вызовов и лишних затрат.

В настоящее время датчики широко используются в мобильных телефонах, в планшетных компьютерах и в ноутбуках.

3. Основные датчики

Датчики могут быть физическими и логическими. Физические датчики представляют собой реальные устройства. Логические сенсоры собирают данные с физических, обрабатывают их и предоставляют более точные или удобные для обработки данные

Рассмотрим основные датчики, используемые в портативных устройствах. Они представлены ниже:

- акселерометр (G-сенсор);
- гироскоп (гирометр);
- инклинометр;
- датчик ориентации;
- датчик приближения;
- магнитометр (компас)
- датчик освещенности;
- Near Field Communication;
- сенсор геопозиционирования;
- сенсорный экран.

Далее будут рассмотрены данные датчики и описаны их возможности.

Акселерометр

Акселерометры измеряют ускорение устройства – вес на единицу массы по отношению к силе тяготения Земли на уровне моря. Существует множество типов акселерометров: оптические, магнитно-индукционные, лазерные и пр. Современные портативные устройства обычно оснащаются акселерометрами на основе микроэлектронных механических систем (МЭМС).

Базовой функцией МЭМС-акселерометров является измерение ускорения по сравнению с гравитационной постоянной, то есть силой тяготения Земли на уровне моря. Единицей измерения является ускорение силы тяжести (g), где $1\text{ g} = 9,81\text{ м/с}^2$.

Акселерометры можно широко использовать для отслеживания движений, обнаружения падений, обнаружения жестов и пр. Отслеживание движение применяется для обнаружения жестов, при работе шагомера, для рисования в пространстве, при использовании устройства в качестве дистанционного контроллера, для определения положения камеры и пр. Обнаружение свободного падения используется для блокировки жесткого диска. Обнаружение движения можно использовать для обнаружения движений, таких как тряска, постукивание и даже нажатие. Каждый тип движения отличается определенной последовательностью изменения ускорений. При выявлении определенной последовательности данных акселерометра определяется и соответствующее движение. Обнаружение движений используется в приложениях для различных целей, например для регулировки громкости голоса путем касания, регулировки масштаба изображения путем двойного касания, показа рисунков путем встряхивания устройства и пр.

МЭМС акселерометры обладают следующими техническими характеристиками:

- количество осей (от 1 до 3);
- диапазон (+/- 3 g для обычных моделей, для дорогих моделей +/- 200 g);
- чувствительность;
- тип выхода (аналоговый, постоянный, цифровой либо широтно-импульсная модуляция);
- частота считывания данных;
- погрешность измерения;
- рабочая температура (обычно от -40 до 125 °C).

Гироскоп

Гироскоп (Гироскоп) измеряет угловую скорость или вращательное движение. Обычно используется совместно с акселерометром для отслеживания изменений в движениях. Используются в приложениях дополнительной реальности для навигации в виртуальном пространстве. Гироскопы могут быть оптическими и механическими. В портативных устройствах используются гироскопы на основе микроэлектронных механических систем (МЭМС). Единицей измерения является рад/с.

МЭМС гироскопы обладают следующими техническими характеристиками:

- диапазон (от +/- 50 град/с до +/- 20000 град/с);
- чувствительность;

- тип выхода (аналоговый, постоянный, цифровой либо широтно-импульсная модуляция);
- частота считывания данных;
- погрешность измерения;
- рабочая температура (обычно от -40 до 105 °C).

Инклинометр

Является логическим сенсором. Предоставляет информацию об углах поворотов устройства относительно поперечной, продольной и вертикальной осей. Обработывает данные с акселерометра и гироскопа.

Датчик ориентации

Является логическим сенсором. Предоставляет матрицу поворота устройства или кватернион. Обработывает данные с акселерометра, гироскопа, и магнитометра.

Датчик приближения

С помощью данного датчика реализуются функции блокировки экрана мобильного телефона после при разговоре (когда аппарат находится возле уха).

Магнитометр

Магнитометр (цифровой компас) показывает направление по отношению к северу. Используется в навигационных приложениях для отслеживания направления относительно севера.

Магнитометр обладает следующими техническими характеристиками:

- диапазон;
- чувствительность;
- частота считывания данных;
- погрешность измерения;
- рабочая температура.

Датчик освещенности

Датчик освещенности измеряет текущую освещенность. Освещенность измеряется в люксах. Используется в приложениях для измерения яркости экрана, внешнего вида приложения (цветовой схемы, размера шрифта) в зависимости от освещенности.

Датчик освещенности обладает следующими техническими характеристиками:

- диапазон (от 0 до 500 лк);
- чувствительность;
- частота считывания данных;
- погрешность измерения;

- рабочая температура.

Near Field Communication

Это сенсор (приемник, передатчик) бесконтактной, беспроводной связи, действующей на малых расстояниях (до 10 см). Используется для взаимодействия между активными и пассивными устройствами. К активным устройствам относятся портативные устройства. К пассивным устройствам относятся смарт-карты, метки RFID. Используется в приложениях для считывания меток RFID, передачи данных.

Максимальная скорость передачи данных NFC равна 424 кбит/с. Из-за низкой скорости он используется для инициализации начала передачи данных либо обмена небольшими данными, например ссылками, контактами и т.п.

Сенсор геопозиционирования

К сенсорам геопозиционирования относятся GPS и ГЛОНАСС. Это сенсор для получения геолокационных данных. Используется для получения текущих координат, высоты над уровнем моря, направления движения и текущей скорости. Может использоваться в приложениях, которые зависят от окружения, например, дома и на работе.

Сенсор геопозиционирования обладает следующими техническими характеристиками:

- число каналов приема (обычно более 12);
- точность определения координат (включает широту, долготу, высоту и скорость);
- время определения координат (при горячем старте в районе нескольких секунд, при холодном старте около 30 с);
- частота считывания данных;
- рабочая температура (обычно от -55 до 100 °C).

Сенсорный экран

Сенсорный экран является устройством ввода информации, которое представляет собой экран, реагирующий на прикосновения к нему. Существует множество различных типов сенсорных экранов. Каждый из них работает на собственном физическом принципе.

Основными техническими характеристиками сенсорных экранов являются:

- разрешение;
- точность;
- прозрачность;
- количество одновременных прикосновений;
- распознаваемое воздействие (стилус, палец, палец в перчатке);
- долговечность.

4. Новые концепции

Целью компании Microsoft является выход на активно развивающийся рынок мобильных устройств, а в более широком смысле — адаптация стратегии развития к меняющимся условиям мирового рынка вычислительной техники, предполагающим всё более активное использование мобильных устройств и постепенный отход от парадигмы персонального компьютера. С учетом измененной стратегии создавалась Windows 8. В данной операционной системе впервые появились требования к наличию определенного набора датчиков.

В Microsoft проводились исследования использования датчиков, в результате появилась концепция Sensor Fusion.

Sensor Fusion

Началось с того, что была задача сопоставления физического положения устройства непосредственно с виртуальной 3D среде в приложении. Опыт заключался в том, что планшет был окном в виртуальный мир. Планшет перемещали, вращали, параллельно снимали показатели с акселерометра, гироскопа и магнитометра. Акселерометр использовался для определения движений вперед, назад, влево, вправо, вверх и вниз. Гироскоп и компас использовался для определения углов поворота.

Дальнейшие опыты, проводимые в Microsoft, показали, что при совместном использовании всех трех датчиков результаты были лучше, чем при использовании датчиков по отдельности. Получение более общих данных с нескольких датчик было названо «Sensor Fusion».

5. Проблемы

Теперь стоит рассмотреть основные проблемы, которые существуют при использовании сенсоров. Проблемы можно разделить на следующие группы:

- энергоэффективность;
- потребление процессорного времени;
- обработка данных;
- права доступа и безопасность.

Энергоэффективность

Сенсоры используются различными программами на портативных устройствах. Каждое запущенное приложение влияет на расход заряда батареи. Если приложение не будет энергоэффективным, то батарея быстро разрядится. В итоге такое приложение будет либо удалено пользователем, либо будет очень мало использоваться. Для достижения энергоэффективности приложение должно обеспечивать:

- оптимальную обработку данных;

- оптимальный доступ к данным (считывание с диска большого объема данных сразу);
- не выполнять никаких действий как можно дольше;
- реагировать на изменения системы (устройство работает от батареи, низкий заряд батареи, система переходит в спящий режим);
- группировать активности, совмещать вычисления.

Использование сенсоров также разряжает батарею. Кроме этого при использовании логического сенсора батарея разряжается быстрее, чем при использовании аналогичного физического (например, использование инклинометра и акселерометра). Поэтому следует использовать только необходимые сенсоры.

Потребление процессорного времени

Использование сенсоров потребляет главный ресурс – процессорное время. Существует такое решение, как использование Sensor Hub. Он представляет собой аппаратное обеспечение, к которому подключаются все сенсоры, в свою очередь Sensor Hub подключается к компьютеру.

Обработка данных с сенсоров

Данная проблема возникает, например, при работе с акселерометром, гироскопом. Она заключается в том, что данные получаемые с сенсора являются неточными и содержат ошибку. Решением данной проблемы может являться:

- калибровка сенсора;
- использование математической модели;
- комбинирование данных с нескольких сенсоров.

Калибровка представляет собой процесс подстройки показаний выходной величины до достижения согласования между эталонной величиной на входе и результатом на выходе с учетом оговоренной точности. Например, для калибровки акселерометра устройство нужно положить на поверхность.

Теперь рассмотрим использование математической модели. Выходные данные с сенсора являются этими характеристиками, но содержат погрешность. Данное решение предполагает использование фильтра Калмана. В некоторых случаях данный фильтр можно заменить на более простой, например, на альфа-бета.

В результате комбинирования данных с нескольких сенсоров появились логические сенсоры и Sensor Fusion.

Права доступа

Данная проблема связана с тем, что приложение может использовать различные ресурсы системы, например, чтение/запись файлов, обмен данными по сети, запуск других

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/571367.html>

приложений и т.п. Пользователь должен знать, что приложение делает только то, что оно должно делать и не больше. Для реализации этого либо заранее указывается, на что приложение имеет права доступа, либо в ходе своей работы приложение обращается к пользователю с запросом разрешения сделать что-либо. Например, в Android в манифесте приложения прописываются права. Однако некоторые данные являются конфиденциальными, и могут быть получены только с разрешения пользователя. Так в Windows 8 при использовании GPS-приемника приложение должно в обязательном порядке получить разрешение у пользователя.

6. Опыт использования датчиков

Далее рассмотрены опыты использования датчиков на примере двух программ. Данные примеры показывают область применения данных, полученных с датчиков.

Решение задачи инерциальной навигации

Целью являлось определение относительного расположения устройства без использования сенсора геопозиционирования.

Суть опыта заключалась в следующем. Устройство помещалось в исходное положение, и у него считывалась исходная матрица ориентации с помощью сенсора ориентации. Затем устройство приводилось в движение. Потом через определенные промежутки времени считывалось ускорение с акселерометра и новая матрица ориентации с датчика ориентации. С помощью матрицы ориентации и значения ускорения рассчитывалось ускорение без учета силы гравитации.

Для определения скорости и перемещения использовалось интегрирование. Для расчета вектора скорости в текущей точке использовалась формула (6.1).

$$\vec{v}_e = \vec{v}_b + \frac{\vec{a}_e - \vec{a}_b}{2} \cdot dt \quad (6.1)$$

Для расчета вектора перемещения использовалась формула (6.2).

$$\vec{l}_e = \vec{l}_b + \vec{v}_b \cdot dt + \frac{(2 \cdot \vec{a}_b + \vec{a}_e) \cdot dt^2}{6} \quad (6.2)$$

Результат опыта был неудовлетворительным, так как ускорение обладало слишком большой погрешностью, а при двойном интегрировании погрешность еще сильнее возрастала.

Когда устройство лежало, акселерометр показывал неточное значение. Ожидаемое значение должно было быть равно вектору $[0; 0; 1]$ g м/с². В реальности ускорение было равно $[0.02 \pm 0.01, 0.02 \pm 0.01, 1.1 \pm 0.01]$.

Возникает вопрос как же можно улучшить показания акселерометра.

Сначала было использовано простое решение: калибровка датчика. Калибровка заключалась в том, что к значению ускорения прибавлялась некоторая величина, и в случае, когда значение ускорения попадало в определенный интервал, ускорению присваивалось заранее определенное значение. Например, если ускорение было близко к $[0; 0; 1]$, то ему присваивалось это самое значение. Калибровка дала результаты немного лучше чем изначальные, однако погрешность оставалась велика.

Наиболее правильным решением является создание математической модели, например, акселерометр прикреплен к машинке, которая может двигаться вперед и назад, а также поворачивать. В дальнейшем можно развить данную модель, например, полагать, что машинка может поднимать и спускаться с горки, колеса могут проскальзывать и т.п. После этого следует использовать фильтр Калмана. Подбор параметров для данного фильтра является нетривиальной задачей. Например, для самолетов параметры модели и используемых датчиков определены, а в случае портативных устройств они неизвестны.

Игра «качели»

Для предыдущей задачи данные, полученные с сенсоров, обладали погрешностью, которая была слишком большой, поэтому для нее эти данные являются неудовлетворительными. Теперь рассмотрим другое приложение, которое не так требовательно к данным.

В данной игре экран представляет собой площадку, на котором есть лузы и шарик. Целью является закатить шарик в требуемую лузу и не попасть в остальные. Шариком можно управлять, меняя плоскость устройства.

В данном приложении особых требований к точности не налагалось, так как пользователь меняет положение устройства. И никаких дополнительных излишеств не потребовалось. Для создания приложения можно было и другие сенсоры, например, инклинометр или сенсор ориентации. Однако из соображений энергоэффективности использовался акселерометр.

В данном случае данные с сенсора оказались подходящими для этой задачи.

7. Выводы

В данной статье были рассмотрены общие вопросы, связанные с использованием сенсоров в портативных устройствах. Рынок портативных устройств является активно развивающимся. В настоящее время сенсоры используются во многих областях, включая медицину и системы безопасности. Также они дают новые возможности взаимодействия пользователя с устройствами. В тоже время существуют множество различных проблем связанных с их применением.

Список литературы

1. Г. Виглеб. Датчики. Устройство и применение. Москва. Издательство «Мир», 1989
2. Использование акселерометра в Metro-приложениях Windows 8 [Электронный ресурс], 2013.– Режим доступа <http://software.intel.com/ru-ru/articles/using-accelerometer-in-windows-8-metro-style-app-and-a-case-study-of-tap-detection> (дата обращения: 21.03.2013 г.).
3. Поддержка датчиков в Windows 8 [Электронный ресурс], 2013.– Режим доступа <http://blogs.msdn.com/b/b8/archive/2012/01/24/supporting-sensors-in-windows-8.aspx> (дата обращения: 21.03.2013 г.).
4. Microsoft Research [Электронный ресурс], 2013.– Режим доступа <http://research.microsoft.com/en-us/groups/sendev/> (дата обращения: 21.03.2013 г.).
5. Windows 8 и Windows RT: концепция и основные цели Microsoft [Электронный ресурс], 2013.– Режим доступа <http://www.ixbt.com/soft/mswindows8-1.shtml> (дата обращения: 21.03.2013 г.).
6. Характеристики МЭМС устройств [Электронный ресурс], 2013.– Режим доступа <http://www.analog.com> (дата обращения: 21.03.2013 г.).