

ВЫБОР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЭМС

СТИВ НАЗИРИ (STEVE NASIRI), ДЭВИД САКС (DAVID SACHS), МИХАЭЛЬ МАЙА (MICHAEL MAIA), компания InvenSense

Статья посвящена системам обработки движения. Рассмотрены принципы, лежащие в основе этих систем, и описаны характеристики, достоинства и недостатки различных типов датчиков и решений. Указаны факторы, которые необходимо учитывать при проектировании системы обработки движения. Даны рекомендации по выбору датчиков.

Обработка движения — новая прорывная технология, с которой начнется волна инноваций в проектировании карманных потребительских устройств, пользовательского интерфейса и систем управления. Эта технология предполагает детектирование движения в трехмерном пространстве, измерение параметров (скорости, угловой скорости, направления, ускорения, момента и т.д.) и передачу данных в процессор. С появлением коммерческих устройств инерциального измерения (IMU — inertial measurement unit), основанных на МЭМС, развитие обработки движения стало идти еще быстрее. Устройства IMU, оснащенные инструментами обработки движения, обеспечивают более простой пользовательский интерфейс (интуитивная навигация) и управление устройством без нагромождения операций и меню. Для начала рассмотрим принцип распознавания передвижения.

РАСПОЗНАВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ

В некоторых современных мобильных устройствах используются акселерометры, измеряющие параметры движения по трем осям. Этого недостаточно, поскольку по трем осям можно разложить только поступательное или только вращательное движение. Для полноценной обработки необходимы шесть осей измерения.

Главное звено в системе распознавания движения — гироскоп, который традиционно используется для определения абсолютной скорости вращения. Гироскоп реагирует на изменение потока энергии между двумя резонансными положениями структуры, обусловленное силой Кориолиса, которая возникает при вращении внутренней рамы и пропорциональна скорости вращения (см. рис. 1). Гироскопы измеряют угловую скорость Ω по величине силы Кориолиса.

Вибрационные гироскопы стержневого типа обычно содержат пару вибрирующих масс, например, в форме стержней (как ветви камертона), которые осциллируют с одинаковой амплитудой и в противоположных направлениях. Когда гироскоп начинает вращаться, возникает сила Кориолиса, направленная перпендикулярно вектору скорости и пропорциональная его модулю. Величина скорости измеряется емкостным способом между зубьями гребенки по периметру вибрирующей структуры и зубьями неподвижной рамки, окружающей стержни. Гироскоп проектируется так, чтобы возникающее в нем ускорение Кориолиса было максимальным, а трение — минимальным.

Датчики ускорения (акселерометры) позволяют детектировать только простое движение, например, определять угол наклона или ориентацию устройства в пространстве. С их помощью можно измерить только сумму поступательного и центробежного ускорений, силу тяжести и колебательную силу, вызывающую вибрацию. Для выделения одной компоненты, например, поступательного движения, необходимо использовать дополнительный гироскоп, который точно измерит угловую скорость вращения. Таким образом, для более сложных задач, таких как оптическая стабилизация изображения, акселерометры непригодны.

Для коррекции погрешности измерения параметров вращательного движения некоторые производители вместо гироскопов используют магни-

тометры. Эти устройства определяют вращательное движение устройства по отношению к северному магнитному полюсу Земли. Они обычно применяются для переориентации карты на дисплее, чтобы ее положение соответствовало направлению движения пользователя.

Магнитометры работают сравнительно медленно, поэтому они не подходят для использования в системах, вращающихся с частотой более 5 кГц. Кроме того, они не защищены от искажения данных в присутствии внешних магнитных полей, создаваемых, например, микрофоном, аудиогарнитурой или металлическим предметами.

Гироскопы — единственные инерционные датчики, позволяющие точно и без задержки измерить параметры вращательного движения. Они не подвержены никаким внешним воздействиям, в том числе магнитным и гравитационным. Появление кремниевых гироскопов на основе МЭМС и снижение их стоимости позволило существенно расширить функциональность мобильных устройств. Помимо доступной цены, гироскопы на основе МЭМС имеют другие достоинства: малый размер и высокую точность.

ВЫБОР ДАТЧИКА

Для определения всех параметров движения необходимо проводить измерения по трем осям вращательного и трем осям поступательного движения. Среди разработчиков портативных устройств бытует неверное представление, что для системы обработки движения нужно использовать либо гироскопы, либо акселерометры. На самом деле, для качественного измерения скорости и направления поступательного и вращательного движения необходимы оба вида датчиков.

Гироскопы в одиночку могут использоваться для измерения вращательной компоненты. Системы на основе датчиков ускорения могут использоваться в приложениях с неподвижной системой координат, а

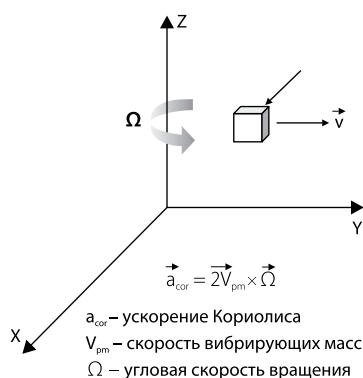


Рис. 1. Механизм возникновения силы Кориолиса

также для измерения угла поворота или параметров поступательного движения. Другими словами, они подходят только для тех случаев, когда система не совершает свободного вращения. Для одновременного анализа поступательного и вращательного движения необходимы и гироскоп, и акселерометр. Датчики ускорения имеют большую точность измерения, когда устройство покоится, а МЭМС-гироскопы — когда оно движется. Для объединения данных, полученных от датчиков, обычно используется алгоритм обработки данных из разных источников (см. рис. 2).

При выборе способа обработки движения следует проводить тщательный анализ многих факторов, включая полный диапазон работы устройства, чувствительность, напряжение смещения, шумовые характеристики, чувствительность между осями, влияние температуры, влажности и механическую прочность устройства.

ОБРАБОТКА ДВИЖЕНИЯ

При разработке системы детектирования и обработки движения первое, с чем сталкивается инженер, это выбор модели датчика ускорения, гироскопа или интегрального решения для своего приложения. У каждого подхода есть свои достоинства и недостатки. Рассмотрим некоторые соображения совместимости, которые следует учитывать.

1. Для максимального расширения функциональности в схеме следует предусмотреть несколько приложений, например, навигатор GPS, помощник водителя и интуитивный интерфейс пользователя, управляемый жестами. Для работы всех этих приложений требуются различные скорости выборки гироскопа, поэтому необходимо предусмотреть защитные меры, чтобы данные разных приложений не накладывались друг на друга.

2. Достоверность вычисления угловых координат в значительной мере зависит от стабильности тактирования гироскопа.

3. Акселерометры и гироскопы должны делать выборки синхронно, чтобы правильно интерпретировать их и определить положение устройства в пространстве.

4. Частоты, на которых работают гироскопы, не должны интерферировать друг с другом, а также с другими каналами, использующимися в устройстве.

Обычно акселерометры и гироскопы классифицируются по техническим характеристикам, однако во многих случаях их лучше разделять по назначению. Пример соответствующей классификации приведен в таблице 1. В

последней колонке указан полный диапазон работы гироскопа в градусах в секунду (dps — degree per second) и соответствующая чувствительность (mB/dps). Характеристики цифровых датчиков ускорения, которые обычно применяются в системах обработки движения, выражаются, как правило, долями гравитационного ускорения, а чувствительность измеряется в единицах [младший значащий разряд/g].

ФИЛЬТРОВАНИЕ

Обычно для обработки движения требуется гибкая система фильтрации. Шумовые характеристики и порога сигнала, как правило, меняются в зависимости от производимого в данный момент действия. Существуют два основных метода фильтрации: аналоговый (фильтр на основе АЦП или RC-цепи) и цифровой (производится в процессоре после АЦП). Аналоговый фильтр применяется обязательно для предупреждения наложения данных. Для задач обработки движения, в которых полоса сигнала меняется, оптимальный выбор — включить програм-

мируемый цифровой фильтр после аналогового.

Мобильные устройства, оснащенные функцией обработки движения, имеют дополнительные функции, такие как стабилизация изображения в

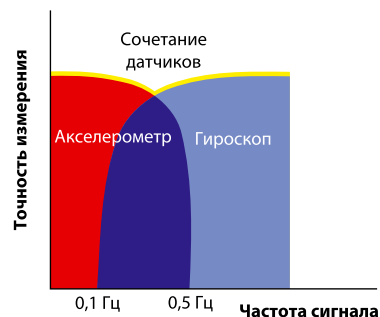


Рис. 2. Алгоритм объединения данных

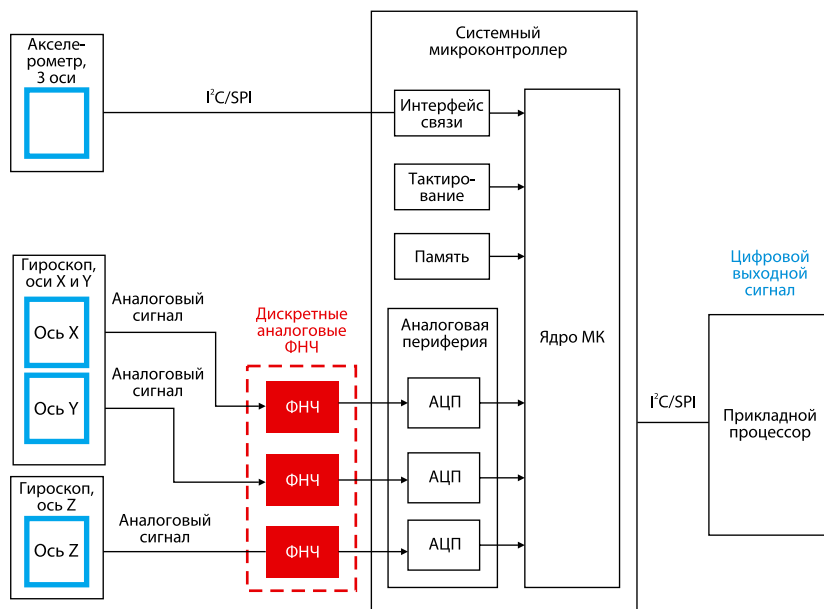


Рис. 3. Структура системы обработки движения с дискретными датчиками

Таблица 1. Классификация гироскопов по назначению

Назначение	Чувствительность гироскопа, мВ/dps	Полный диапазон измерений, dps
Стабилизация изображения	20...50	20...43
Навигация	4...15	50...67
3-D удаленное управление	2,0	500

ООО
СМД

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ
ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК
 Двух- и трёхцветные светодиоды 0605
 Алюминиевые конденсаторы большой ёмкости, до 1000 мкФ

Москва, ул. Балтийская, 13; e-mail: sale@smd.ru
 Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780

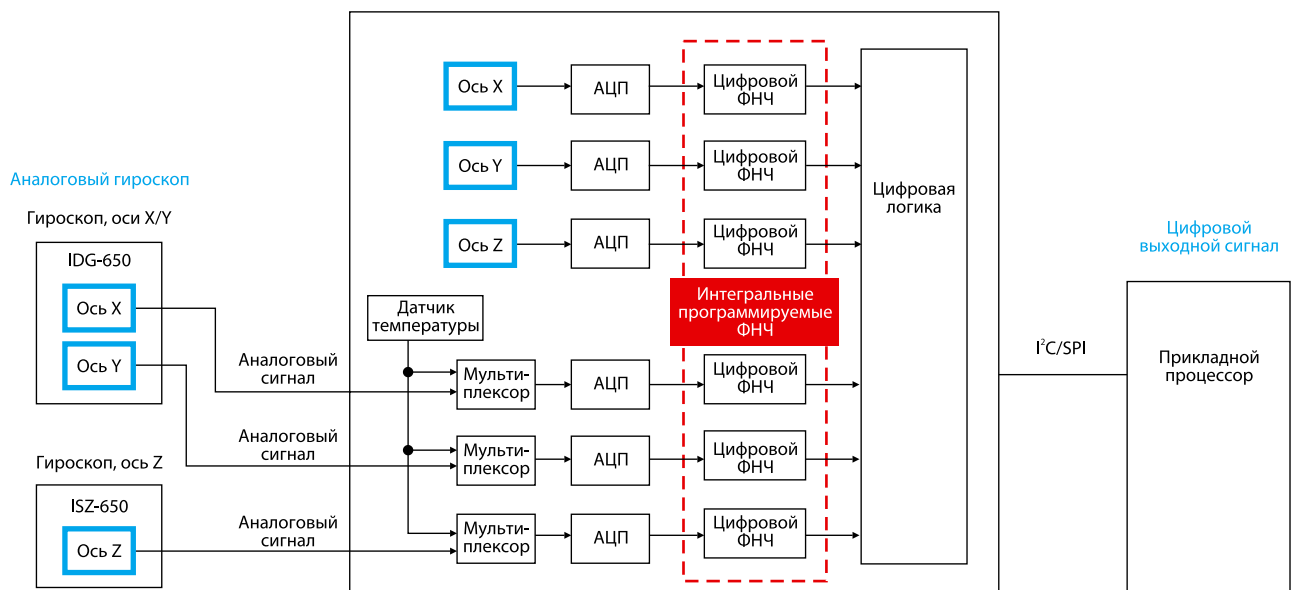


Рис. 4. Интегральная схема обработки движения

камере, пользовательский интерфейс, навигация. Для них требуются полосы частот. Например, для получения навигационных сигналов с частотой до 1 Гц частота выборки должна быть 10 Гц, а полоса пропускания фильтра согласно правилу Найквиста (отсечение всех сигналов, частота которых не меньше половины частоты дискретизации) составляет менее 5 Гц. Однако этот фильтр может создавать помехи в других приложениях, реализованных в устройстве. В связи с этим необходимо использовать такой фильтр, полоса которого покрывает все диапазоны фильтрации, требуемые приложениями, и цифровой фильтр, который будет подстраиваться под требования конкретного приложения.

Если схема обработки движения не интегральная (см. рис. 3), то может потребоваться МК для осуществления выборки. В полностью интегральных решениях (см. рис. 4) в состав блока АЦП обычно входят фильтры заданных частот. За ними следуют цифровые фильтры, которые используются в случае необходимости.

ТОЧНОСТЬ ТАКТИРОВАНИЯ

Точность тактирования очень важна, особенно при определении угловых координат гироскопа, которые вычис-

ляются путем перемножения угловой скорости на частоту дискретизации:

$$\alpha = \omega \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где α — данные, полученные от гироскопа; ω — угловая скорость гироскопа; ΔT — промежуток времени. Из выражения (1) видно, что правильность тактирования гироскопа так же важна, как и точность определения угловой скорости.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ДАННЫХ

Поскольку современные мобильные устройства оснащены не одним датчиком, то важно синхронизировать получение данных от разных датчиков. Самая высокая точность может быть получена тогда, когда данные с акселерометра и гироскопа считываются синхронно. Однако, если у них разные требования по тактированию, этот процесс усложняется.

Существуют и другие методики, например, сбор данных с цифрового датчика ускорения через интерфейс I²C. Этот метод не подходит для аналогового гироскопа. В этом случае преимущество имеют законченные интегральные решения, в которых заведомо гарантируется синхронность сбора данных.

ЧАСТОТНЫЙ ДИАПАЗОН

Разработчик должен проверить, что частотные спектры в системе не перекрываются. Например, гироскопы, работающие в диапазоне звуковых частот ниже 5 кГц, не следует использовать вблизи источников звука — телевизоров, радио, громкоговорителей и т.д. Наушники обычно работают в диапазоне 20 Гц...20 кГц, а оптическая стабилизация изображения — на частотах 500 Гц...4 кГц. В системах обработки движения компании InvenSense используются более высокие частоты: по оси X — 24 кГц, по оси Y — 27 кГц, по оси Z — 30 кГц. Таким образом, диапазоны работы отдельных блоков не накладываются друг на друга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что в настоящее время датчики движения представлены на рынке в большом разнообразии, с развитием систем обработки движения предпочтение будет отдаваться полностью интегральным решениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Steve Nasiri, David Sachs and Michael Maia. Selection and integration of MEMS-based motion processing devices//www.dspdesignline.com/howto/218401101#.

СОБЫТИЯ РЫНКА

| СЕМИНАР КОМПАНИИ MENTOR GRAPHICS | 27-го ноября в Москве состоялся четвертый семинар компании Mentor Graphics по проектированию и верификации систем на кристалле. Семинар был организован дистрибьютором Mentor Graphics — компанией Megratec. Присутствовало около 70-ти человек от 32-х компаний.

На семинаре был представлен весь комплекс средств проектирования и верификации СнК — от концептуального уровня до подготовки производства и пост-производственного тестирования. В первой части семинара с докладами выступили Бенуа Гретер, техн. директор по Европейскому региону; Жан-Мари Сен-Пол, вед. специалист Mentor Graphics; Алексей Рабоволук, вед. специалист Megratec; Иван Селиванов, Megratec. Вторая часть семинара была посвящена вопросам физического проектирования и верификации.

В заключительном выступлении Андрей Лохов, директор Megratec, рассказал о текущих успехах и дальнейших планах по продвижению продукции Mentor Graphics на российском рынке.

www.megratec.ru