

Датчик наклона на основе твердотельного акселерометра

Сергей Бузыкканов (Москва)

Определение положения объекта относительно плоскости Земли является важной задачей во многих технических приложениях. Используя ускорение свободного падения, обусловленное наличием гравитационного поля Земли, датчик наклона на основе твердотельного акселерометра позволяет определить угол относительно плоскости Земли с точностью до 0,5 градуса. В данной статье рассматривается задача построения такого датчика, а также некоторые аспекты его применения.

ВВЕДЕНИЕ

Датчик наклона используется человечеством уже тысячи лет. Самым элементарным приспособлением для этого можно считать отвес, т.е. груз, привязанный к нити. С помощью такого датчика возводились постройки ещё тысячи лет назад. Более сложным и точным устройством является уровень – ёмкость с жидкостью (обычно водой), в которой плавает пузырёк воздуха. Всевозможные приспособления такого типа, позволяющие выровнять уровень относительно Земли, находят широкое применение и сегодня. Однако в ряде случаев необходимо не просто выровнять объект, а знать численное значение угла его наклона относительно Земли, для чего существуют механические угломеры различной конструкции, в основе которых лежит использование силы земного притяжения. Электронные

угломеры имеют массу преимуществ перед традиционными механическими устройствами: прямой интерфейс с цифровой системой позиционирования, более точные показания, большая разрешающая способность и т.д.

К сожалению, представленные сегодня на рынке электронных приборов цифровые датчики угла имеют относительно высокую цену (от \$300). В данной статье рассматривается задача самостоятельного изготовления простого в настройке датчика наклона на основе акселерометра фирмы Analog Device, содержащего минимум деталей и обеспечивающего точность измерения 0,5 градуса.

ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА

Существует много типов датчиков угла наклона: жидкостные, твердотельные, на основе гироскопного эффекта и т.д. Для многих современных систем позиционирования применяются гироскопы, которые представляют собой датчики с вращающимся рабочим телом большой массы, позволяющим избежать влияния переменного ускорения объекта на результаты измерения. Однако такие датчики обладают рядом существенных недостатков, основным из которых является их высокая стоимость. Другими существенными недостатками таких датчиков является медленная прецессия осей вращения и необходимость регулярной калибровки в течение срока эксплуатации.

Современное развитие микромеханики позволило сконструировать миниатюрные твердотельные датчики ускорения, которые по своим ра-

бочим характеристикам идентичны жидкостным датчикам, но при этом обладают рядом преимуществ: ударо- и вибростойкостью, широким диапазоном рабочих температур, миниатюрностью и т.д.

КОНСТРУКЦИЯ ДАТЧИКА УГЛА НАКЛОНА

При разработке новых устройств важными требованиями является минимизация цены изделия, количества применяемых деталей и скорости разработки. Поэтому для построения датчика угла наклона предлагается использовать акселерометр ADXL202 производства фирмы Analog Device.

Данная микросхема интегрирует в своём составе два аналоговых датчика ускорения (по осям X и Y) и встроенный контроллер обработки, преобразующий аналоговые сигналы датчиков в ШИМ-колебание. Структурная схема ADXL202 приведена на рис. 1.

Датчики ускорения представляют собой набор дифференциальных конденсаторов, образуемых неподвижным основанием и укрепленной на нём с помощью полисиликоновой пружины подвижной части [1, 2]. При приложении внешней силы подвижная часть перемещается относительно неподвижной, соответственно изменяя ёмкость конденсаторов. Сигнал с датчика подаётся на контроллер обработки, который преобразует его в сигнал с ШИМ (рис. 2). Отношение T_1/T_2 прямо пропорционально ускорению, действующему на микросхему.

Интеграция всех необходимых элементов в одном корпусе позволяет создавать дешёвые, быстро настраиваемые датчики с минимумом дополнительных деталей. Предлагаемая принципиальная схема датчика приведена на рис. 3.

ШИМ-сигналы с обоих датчиков подаются на входы контроллера, который вычисляет отношение T_1/T_2 . Для определения ускорения применяется выражение:

$$A = \frac{T_1/T_2 - T_{\text{off}}}{S}, \quad (1)$$

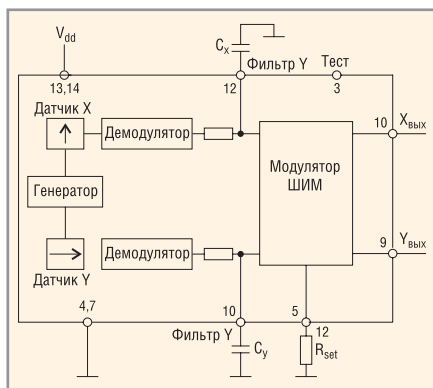


Рис. 1. Структурная схема ADXL202

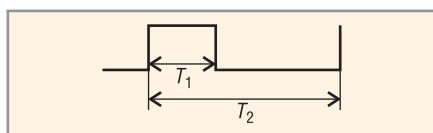


Рис. 2. Сигнал с датчика

Новости мира News of the World Новости мира

Японские техногиганты выпустили новую мобильную ОС

Компании NEC и Panasonic объявили о завершении совместных работ над новой программной платформой для мобильных устройств. Операционная система, разрабатываемая с августа 2001 года компаниями NEC и Panasonic, построена на базе ядра Linux и ориентирована на сотовые телефоны третьего поколения.

Основными преимуществами новинки, по словам партнёров, являются легкая интеграция с передовыми мультимедийными приложениями, эффективное использование ПО и поддержка большого числа сервисов.

Первое применение платформа получит в мобильных телефонах оператора NTT DoCoMo, который также принимал участие в разработке.

Sun обновила инструментарий для Java-разработчиков

Специалисты Sun Microsystems разработали седьмую версию пакета Java Studio Enterprise. Основной особенностью Java Studio Enterprise 7 является поддержка технологии Code-Aware Collaboration, благодаря которой программисты могут эффективно сотрудничать друг с другом в разработке программного кода, даже находясь на расстоянии, – заявляют представители Sun. Передача информации осуществляется за счёт защищённой системы мгновенного обмена сообщениями.

В копилку возможностей обновлённой среды разработки добавлена также поддержка языка Unified Modeling Language и система анализа производительности приложений Application Profiler.

Помимо Java Studio Enterprise 7 Sun представила ознакомительную версию платформы JVM, поддерживающую 64-разрядные процессоры AMD Opteron.

Открытие исходных кодов Solaris придётся подождать?

Компания Sun Microsystems пока не определилась с точными сроками открытия исходных текстов операционной системы Solaris. По предварительным данным, подробности о планах открытия исходных кодов серверной ОС Solaris руководство Sun опубликует в конце этого

года. Сами же коды, вероятнее всего, будут доступны в начале 2005 года. О своём намерении поделиться исходниками ОС Solaris компания заявляла ещё в начале июня.

Главной причиной задержки, по словам представителей Sun, является необходимость определения ключевых моментов сотрудничества с сообществом open-source. В настоящее время компания ведёт переговоры с Open Source Initiative, с тем чтобы отыскать оптимальный путь взаимодействия с разработчиками открытого ПО.

<http://itware.com.ua/>

Операционная система реального времени Linux

Компания Enea Embedded Technology представляет программное решение по разработке промышленных приложений на базе Linux и операционной системы реального времени. Инструмент Enea Orchestra сочетает Open-Source-преимущества Linux с преимуществами операционной системы реального времени. Платформа базируется на концепции, интегрированной в одну систему в IT-компоненты на базе сервера с критическими по времени Embedded-компонентами. Инструмент является средой разработки и прогона программ для разработки приложений с помощью любой операционной системы Linux и операционной системы RTOS. Он включает в себя пять компонентов: операционная система Linux, операционная система OSE RTOS, OSE Gateway, банк данных реального времени Polyhedra фирмы Enea и инструменты разработки фирмы Metrowerks, которые включают в себя Platform Creation Suite (написание и отладка Linux-BSP), CodeTest (Analyse-Tool), PowerTab Debug-пробы (Freeze-Mode Debugging) и среду разработки CodeWarrior (Debugging).

<http://www.ru.channel-e.de/>

IEEE планирует повысить мощность питания Power-over-Ethernet

Institute of Electrical Electronics Engineers (IEEE) сформировал новую рабочую группу (802.3 Study Group) для изучения вопроса о расширении спецификаций IEEE PoE 802.3af, определяющих способы доставки энергопитания по сетям Ethernet.

Дополненная версия под названием PoEplus сделает возможной запитку че-

рез локальные компьютерные сети устройств, потребляемая мощность для которых превосходит 13 Вт – верхний предел для ратифицированного в июне 2003 г. стандарта 802.3af.

По мнению Игала Ротема (Igal Rotem) CEO PowerDsine, фирмы – поставщика PoE-решений, увеличение поддерживаемой стандартом IEEE мощности, с одной стороны, откроет для данной технологии новые перспективные рынки (двухдиапазонные пункты доступа Wi-Fi, ноутбуки, информационные киоски и т.п.), а с другой, предложит альтернативу разрабатываемым сейчас взаимонесовместимым предложениям от различных компаний.

Основной задачей IEEE 802.3 Study Group станет обеспечение совместимости PoEplus со стандартом IEEE 802.3 CSMA/CD (Ethernet), а также с уже существующим оборудованием IEEE 802.3af.

Технология Xerox превращает камеры в мобильные сканеры документов

В европейском научном центре корпорации Xerox в Гренобле (Франция) создана программная технология, позволяющая использовать телефоны со встроенной камерой в качестве портативных сканеров для получения цифровых копий документов.

В основу данного ПО положены разработки специалистов Xerox Research Centre Europe (XRCE) в области фотосъёмки документов в неблагоприятных условиях.

Процесс сканирования осуществляется в четыре этапа: сначала получается цифровой фотоснимок, затем производится коррекция искажений, после этого изображение преобразуется в монохромный вид с устранением теней и отражений и к нему применяется алгоритм факсимильной компрессии G4.

В результате, изображение, занимающее в формате JPEG примерно 250 Кб, сжимается в компактный 15-килобайтовый файл, который удобен для пересылки через соединение Bluetooth или в сообщениях MMS.

Технология предлагается Xerox потенциальным клиентам через её лицензирующего агента – фирму IPValue Management. Дополнительную информацию можно получить по адресу www.xerox.com/innovation.

<http://itc.ua>

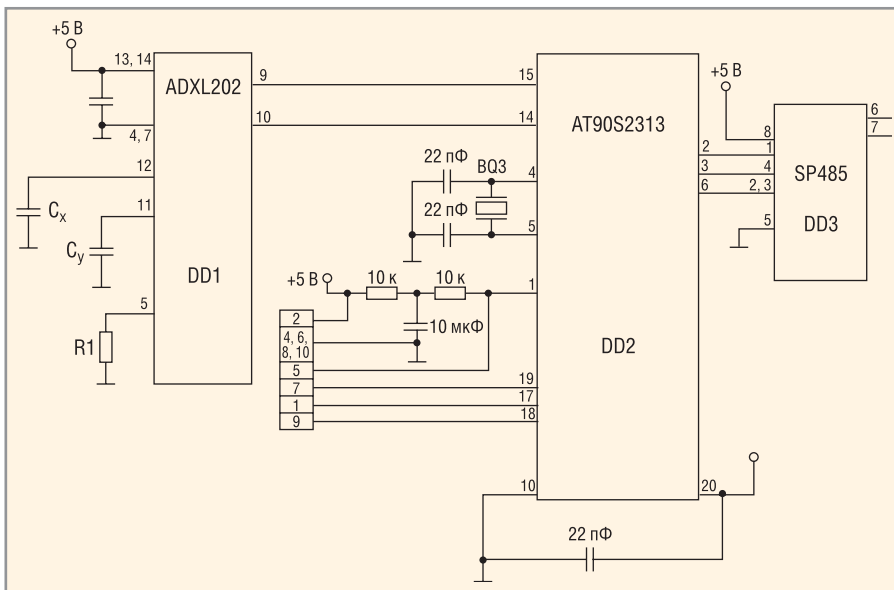


Рис. 3. Принципиальная схема датчика угла наклона

где $T_{\text{off}} = T_1/T_2$ при нулевом наклоне (ускорении), S – коэффициент шкалы (в среднем $S = 12,5\%$).

Резистором R1 устанавливается период T_2 следования импульсов согласно выражению:

$$T_2 [c] = R_1 [Om] / (125 \times 10^6).$$

Так, при $R_1 = 125$ кОм получаем частоту следования 1 кГц, т.е. $T_2 = 1$ мс. Акселерометр рассчитан на работу при T_2 , лежащем в интервале 0,5...10 мс. Величина периода T_2 медленно изменяется в зависимости от температуры, поэтому её измерение можно проводить раз в 10...15 мин. При конструировании датчика резистор R1 необходимо располагать как можно ближе к микросхеме для минимизации паразитной ёмкости на этом выводе.

Для снижения уровня шума в ADXL202 применяется низкочастотный фильтр. Полоса пропускания данного фильтра на уровне -3 дБ определяется значением ёмкости внешних конденсаторов C_x и C_y согласно формуле:

$$F_{-3 \text{ дБ}} = 1 / (2\pi(32 \text{ кОм})C_{x,y}),$$

или, более просто, $F_{-3 \text{ дБ}} [\text{Гц}] = 5 \times 10^{-6} / C_{x,y} [\text{мкФ}]$. Реальное значение сопротивления внутреннего резистора может изменяться в пределах $32 \text{ кОм} \pm 25\%$, что, соответственно, изменяет и частоту пропускания. В любом случае ёмкость внешнего конденсатора не должна быть ниже 1000 пФ.

Вычисленное значение угла наклона по интерфейсу RS485 передаётся на цифровую систему позиционирования. Для внутрисхемного программирования микроконтроллера используется SPI-интерфейс, подключаемый через специально введённый разъём.

ВЫЧИСЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА

Угол наклона датчика пропорционален ускорению, действующему на его подвижную часть, и вычисляется по формуле:

$$\varphi = \arcsin(A).$$

При микроконтроллерной реализации данного алгоритма для вычисления угла наклона необходимо использовать разложение функции $\arcsin(A)$ в ряд Тейлора:

$$\arcsin(A) = A + \frac{A^3}{6} + \frac{3A^5}{40} + \frac{5A^7}{112} + \frac{35A^9}{1152} + \dots,$$

φ выражается в радианах. Можно показать, что для вычисления угла наклона с точностью до $0,5^\circ$ достаточно ограничить ряд первыми четырьмя членами.

Получение более стабильных и точных результатов можно обеспечить использованием усреднения показаний датчика методом скользящего среднего. При реализации на основе дешёвого 8-битного микроконтроллера целесообразно выбрать число усредняемых измерений кратным степени двойки, тогда операция деления переходит в более простую операцию сдвига.

КОМПАКТНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА

Существует много устройств, где не требуются очень точные измерения угла наклона, но необходим максимально простой и компактный алгоритм обработки. В этом случае возможно использование алгоритма вычисления значения угла наклона, основанного на элементарном двоичном делении, что удобно при применении дешёвых 8-битных микроконтроллеров (PIC, Atmel и т.д.).

Рассмотрим выражение (1). При стабильных внешних условиях величина T_2 не изменяется. Тогда при $S = 12,5\%$ выражение (1) можно преобразовать к виду:

$$A = \frac{T_1 - T_1(A=0)}{12,5\%T_2}.$$

В диапазоне $\pm 35^\circ$ каждый градус наклона будет соответствовать ускорению примерно в 16 mg, где g – ускорение свободного падения. Используя это, при соответствующем выборе величины T_2 можно получить существенное сокращение вычислительных затрат за счёт применения двоичного деления. Например, пусть $T_2 = 500$ мкс, тогда при вертикальном положении датчика имеем изменение показаний $\Delta T_1 = (500 \text{ мкс}) \times 12,5\% = 62,5$ мкс, а изменение на 1 мкс соответствует 16 mg. Таким образом, изменение T_1 на 1 мкс соответствует наклону в 1° . Соответственно может быть использована любая кратная 500 мкс величина T_2 (например, 1000 мкс, 2000 мкс и т.д.).

Наиболее существенной ошибкой в этом случае является ошибка в определении величины коэффициента шкалы S . Для различных экземпляров датчиков значение S может изменяться от $10\%/g$ до $15\%/g$, что приводит к ошибке $\pm 8^\circ$ при наклоне датчика $\pm 40^\circ$. Другим источником ошибок является неточность задания T_2 . Ошибка задания T_2 в 1% приводит к ошибке в 1% при вычислении угла.

Данные ошибки могут быть устранены точным подбором T_2 (для получения отношения 16 mg/мкс) с помощью выражения $T_2 = 1/0,016S$. Например, при $S = 10\%$ получаем $T_2 = 1/(0,10 \times 0,016) = 625$ мкс. Увеличение T_2 до значения 625 мкс в этом случае устранит ошибки, вносимые коэффициентом шкалы S . Для точного подбора значения величины T_2 рекомендует-

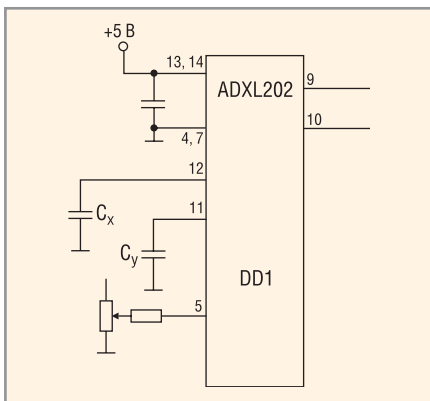


Рис. 4. Схема подбора значения периода T_2

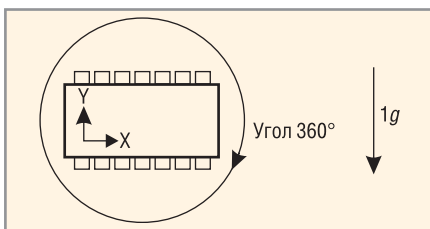


Рис. 5. Использование ADXL202 для измерения угла в диапазоне 360°

ся использовать схему, приведённую на рис. 4.

Калибровка датчика

Для вычисления индивидуального для каждого датчика значения коэффициентов T_{off} и S необходимо проводить его предварительную калибровку. Архитектура ADXL202 такова, что калибровка может проводиться программно с помощью микрокон-

троллера. Вычисленные коэффициенты необходимо сохранить в энергонезависимой памяти контроллера и использовать в дальнейших вычислениях. Калибровка датчика проводится в два этапа:

1. Датчик располагается параллельно поверхности Земли. Считываются показания датчика, и вычисляется значение T_{off} .
2. Для калибровки значения S измеряют показания датчика при ускорениях $\pm 1g$, чувствительность определяется по двум измерениям. При калибровке ось акселерометра направляют вертикально к Земле. Измеряются показания X_1 при $1g$, далее датчик поворачивается на 180° и снимаются показания X_2 при $-1g$. Тогда

$$S = (X_1 - X_2)/2g.$$

Например, пусть при измерениях получено $X_1 = 55\%$, $X_2 = 32\%$, тогда

$$S = (55\% - 32\%)/2g = 11,5\%/g.$$

Измерение положения объекта в диапазоне 360°

При помощи данного устройства возможно построение датчика угла в диапазоне 360° относительно земной поверхности. Для этого вертикальную ось датчика необходимо установить параллельно поверхности Земли (см. рис. 5).

Когда один из сенсоров показывает максимум, второй должен показывать нулевой наклон. При промежуточном положении датчика для повышения точности показаний целесообразно использовать сенсор, показания которого меньше 45° , т.к. при большем угле наклона у датчика довольно большая погрешность измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённая схема проста в изготовлении и настройке, позволяет проводить программную калибровку датчика, требует минимального количества внешних деталей и позволяет обеспечить точность измерения угла наклона $0,5^\circ$ в двух плоскостях. Не требовательная к внешним условиям, устойчивая в работе и имеющая малые габариты, она может найти применение в системах ориентации, стабилизации, контроля и управления различных подвижных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weinberg H. Dual Axis, Low g, Fully Integrated Accelerometers. Analog Dialogue. 1999. Vol. 33. P. 23–26.
2. http://www.analog.com/iMEMS/products/ADXL202_top.html.
3. Weinberg H. A Compact Algorithm Using the ADXL202 Duty Cycle Output // <http://www.analog.com/iMEMS/library/apps.html>.



Новости мира News of the World Новости мира

Видеорекордер Sharp для записи на диски Blu-ray

Компания Sharp представила цифровой видеорекордер, поддерживающий запись на DVD-диски нового поколения. Устройство BD-HD 100, впервые продемонстрированное Sharp в октябре 2004 г. на выставке Ceatec в Японии, оснащено жёстким диском ёмкостью 160 Гб, пишущим приводом Blu-ray и стандартным DVD-приводом. Видеорекордер поддерживает интерфейс High-Definition Multimedia Interface (HDMI) для передачи видео- и аудиосигнала на HDTV-устройства.

BD-HD 100 способен выполнять запись на однослойные диски BD-RE ёмкостью 25 Гб и считывать данные с носителей DVD+/-R, DVD+/-RW, DVD-RAM и «классических» CD.

На японском рынке новинка Sharp появится по цене \$3050.

<http://itware.com.ua/>

Преобразователи тока с униполярным питанием 5 В

Фирма LEM представляет серию HAIS преобразователей тока для монтажа на печатную плату, которые рассчитаны на работу от униполярного напряжения питания +5 В. Преобразователи отличаются значениями номинального тока 50, 100, 150, 200, 400 А, размер корпуса 33 мм × 29 мм × 14 мм. Основным элементом серии является специализированная интегральная схема собственного производства (ASIC). На стандартных моделях внутреннее опорное напряжение ASIC формирует смещение выходного напряжения на 2,5 В. Это опорное напряжение может сниматься также со специального вывода, чтобы использоваться, например, как опорное для A/D-преобразователя или DSP. Для номинальных токов 50 и 100 А имеется опциональная токовая шина модели HAIS xx-TP.

<http://www.ru.channel-e.de/>

Портативные приводы Blu-ray не за горами

Технология, разработанная компанией Sony, позволит выпускать комбинированные приводы для ноутбуков с поддержкой дисков Blu-ray и стандартных DVD. В основе новой технологии лежит интегрируемый двухволновой блок сопряжения, который Sony разработала совместно с компанией Nichia. Этот компонент использует красный и голубой лазеры, а также линзы и приёмники, соответствующие лазеру каждого типа.

Прототип первого привода на базе вышеописанного устройства пока ещё велик для использования в ноутбуках. Однако партнёры считают, что к концу 2005 г. им удастся уменьшить его до требуемых размеров.

В арсенале Sony уже есть привод, позволяющий работать с дисками Blu-ray и DVD, но он предназначен для использования в настольных ПК.

<http://itware.com.ua/>