

УДК 004.31

Система исследования траектории движения летящего тела

Леонов А. Ю., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»*

Научный руководитель: Оганов В.И., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»
iu3@bmstu.ru*

Введение

Подброшенное тело (см. Рис. 1), на которое действует сила тяготения, в вакууме имеет параболическую траекторию движения. В окружающем нас мире это не так. На тело, подброшенное у поверхности Земли, действует сила сопротивления воздуха. Это усложняется тем, что воздушная среда зачастую подвижна (из-за ветра). Определить с высокой точностью куда приземлится тело в таких условиях невозможно.

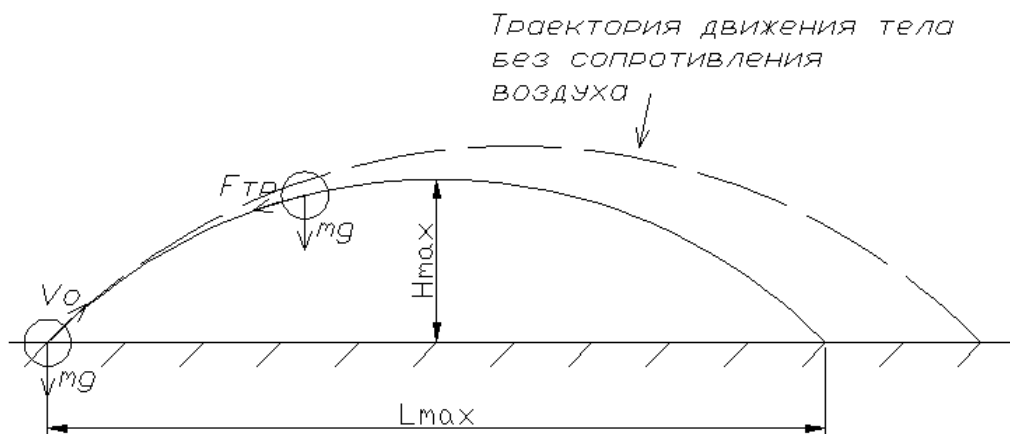


Рис. 1. Траектория движения тела

Предположим, что необходимо отслеживать положение тела в пространстве. В трехмерном пространстве тело имеет 6 степеней свободы: 3 координаты центра масс и 3 угла, описывающих ориентацию тела (наклон, подъем и поворот). Для ограничения числа степеней свободы в качестве тела рассмотрим стрелу, запускаемую из лука. В этом случае подъем и поворот задаются начальным положением лука. Наклон стрелы

саморегулируется ее хвостовиком — стрела в воздухе находится вдоль линии ее движения, это и является ограничителем числа степеней свободы стрелы. Исходя из этого, а также из того, что начальные координаты стрелы известны, следует, что координаты стрелы в любой момент времени можно найти путем измерения ускорений, действующих на стрелу во время ее полета. Также можно измерить ускорение, с которым стрела выходит из лука.

Для измерения ускорений со стрелой необходимо жестко связать акселерометр (прибор для измерения ускорений), например, расположив его так, чтобы одна из трех осей акселерометра располагалась вдоль стрелы.

Поскольку размер стрелы сравнительно невелик, то необходимо, чтобы акселерометр имел малые габариты.

Микроэлектромеханические системы

Для уменьшения габаритов прибора измерения ускорений целесообразно выполнить электрическую схему обработки сигнала акселерометра на одном и том же кристалле, что и сам акселерометр. Современные технологии позволяют это сделать. Кремний является материалом, используемым для создания большинства интегрированных цепей, используемых в потребительской электронике в современном мире. Распространенность и доступность дешевых высококачественных материалов и способность к применению в электронных схемах делает кремний привлекательным для применения его при изготовлении микроэлектромеханических систем. Кремний также имеет значительные преимущества перед другими материалами благодаря своим физическим свойствам. Монокристалл кремния почти идеально подчиняется закону Гука. Это означает, что при деформации он не подвержен гистерезису и, следовательно, энергия деформации практически не рассеивается. Также кремний очень надежен при сверхчастых движениях, так как он обладает очень малой усталостью и может работать в диапазоне от миллиардов до триллионов циклов без разрушения.

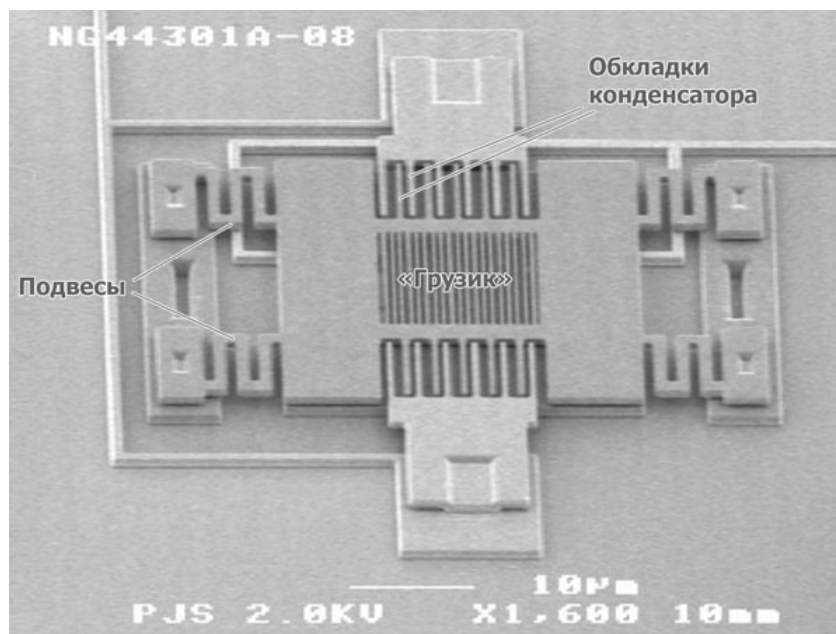


Рис. 2. Микроэлектромеханическая система

Для примера можно рассмотреть одноосевой микроэлектромеханический акселерометр, изображенный на Рис. 2. На кремниевой подложке создана механическая система. Подвижная часть системы — классический грузик на подвесах. При наличии ускорения грузик смещается относительно неподвижной части акселерометра. Обкладка конденсатора, прикрепленная к грузику, смещается относительно обкладки на неподвижной части. Емкость меняется, при неизменном заряде меняется напряжение — это изменение можно измерить и рассчитать смещение грузика. Откуда, зная его массу и параметры подвеса, легко найти и искомое ускорение.

В качестве трехосевого акселерометра подходит микросхема ADXL345 производства Analog Devices. Эта микросхема позволяет получить значения ускорений тела по трем осям в цифровом виде, что удобно для обработки этих значений с помощью микроконтроллера.

Микроконтроллер

Микроконтроллер представляет собой микросхему, в которой располагается микропроцессор и периферические устройства, такие как последовательный порт, счетчики, память и пр. Наличие такого функционала в одной микросхеме уменьшает габариты системы в целом. Поскольку для работы микроконтроллера требуется электрическая энергия, стоит выбрать микроконтроллер с низким энергопотреблением.

Микроконтроллеры семейства MSP430 производителя Texas Instruments подходят для этой цели. Ключевым отличием и «визитной карточкой» семейства MSP430 является возможность тактировать любой модуль периферии асинхронно от ядра. В подавляющем большинстве однокристальных микроконтроллеров периферия синхронна с ядром (за исключением таймера часов реального времени). Такая особенность позволяет гибко управлять скоростью (а значит и потреблением) каждого модуля. С целью записи ускорений во время полета тела возьмем микроконтроллер MSP430F5437A, обладающий 256 килобайтами памяти.

Например, при частоте измерения ускорений в 1600 раз в секунду, при измерении ускорений по 3 осям и сохранении значений ускорения по 2 байта на каждую ось, за одну секунду будет записываться $1600 \cdot 3 \cdot 2 = 9600$ байт данных. Таким образом, в память размером 256 Кбайт можно записать не более $256 \cdot 1024 / 9600 = 27.3$ секунд полета. При запуске тела у поверхности Земли под углом в 45° за это время тело пролетит 2.58 км вдоль линии горизонта. Если подбросить тело вертикально вверх, оно поднимется на высоту 2.74 км и вернется в исходное положение через 27.3 секунды.

Электропитание системы

Поскольку компоненты системы имеют низкое энергопотребление, то источником энергии может служить ионистор небольшой емкости, а, следовательно, небольших габаритов. Ионистор — электрохимическое устройство, конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, «обкладками» в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита. В связи с тем, что толщина двойного электрического слоя (то есть расстояние между «обкладками» конденсатора) крайне мала, запасённая ионистором энергия выше по сравнению с обычными конденсаторами того же размера. К тому же, использование двойного электрического слоя вместо обычного диэлектрика позволяет намного увеличить площадь поверхности электрода. Использование ионистора позволяет многократно записывать ускорения полета тела. Кроме того время зарядки ионистора мало. В качестве такого ионистора можно выбрать ECEN0F204AK производства Panasonic емкостью 0.2 Ф. Емкости этого ионистора достаточно чтобы питать акселерометр и микроконтроллер.

Из-за того, что в процессе разряда ионистора напряжение на его выводах падает, целесообразно использовать преобразователь напряжения, который будет выдавать стабильное напряжение. В качестве такого преобразователя можно выбрать микросхему TPS61220 производства Texas Instruments.

Заключение

В данной статье описана система, позволяющая отслеживать движение тела в пространстве. Система сохраняет значения ускорений в трехмерном пространстве, по которым можно восстановить скорость и координаты тела. Система спроектирована таким образом, что измерения можно проводить многократно. Маленькие габариты делают возможным закрепление на стреле или, например в военных целях, к мине, запускаемой из миномета.

Список литературы

1. Analog Devices 3-Axis Digital Accelerometer. 2013. 40 с. Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL345.pdf (дата обращения: 01.01.2013).
2. Texas Instruments MSP430F5437A Mixed Signal Microcontroller. 2013. 105 с. Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f5437a.pdf> (дата обращения: 01.01.2013).
3. Texas Instruments TPS61220 Low Input Voltage Step-Up Converter. 2009. 23 с. Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61220.pdf> (дата обращения 01.01.2013).
4. Panasonic EECEN0F204AK Electric Double Layer Capacitor. 2008. Режим доступа: <http://www.panasonic.com/industrial/components/pdf/ABC0000CE19.pdf> (дата обращения: 01.01.2013).