

Опити с микромашинен акселерометър

Клавдий Тютюлков

СУ “Св. Климент Охридски”, Физически факултет, 1172 София,
бул. “Дж. Баучер” 5

Абстракт. Статията е посветена на микромашинните акселерометри и тяхното използване за учебни експерименти по механика.

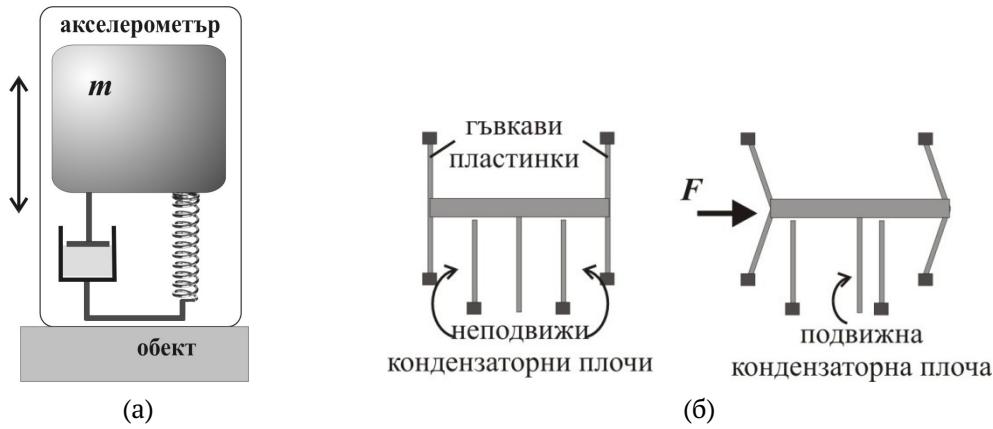
Акселерометрите (още наречени G-сензори) намират многобройни приложения в индустрията, науката, автомобилното дело, битовата електроника. По-прецизни акселерометри се използват в гравиметрите, но всеки нов плейер, всяка по-нова камера, всеки нов джойстик, всеки смартфон също са снабдени с такива. Последните – евентуално с жирокоп и с цифров компас. Настоящата дописка е посветена на възможностите за използване на микромашинни акселерометри за учебни експерименти по механика.

Микромашинен акселерометър

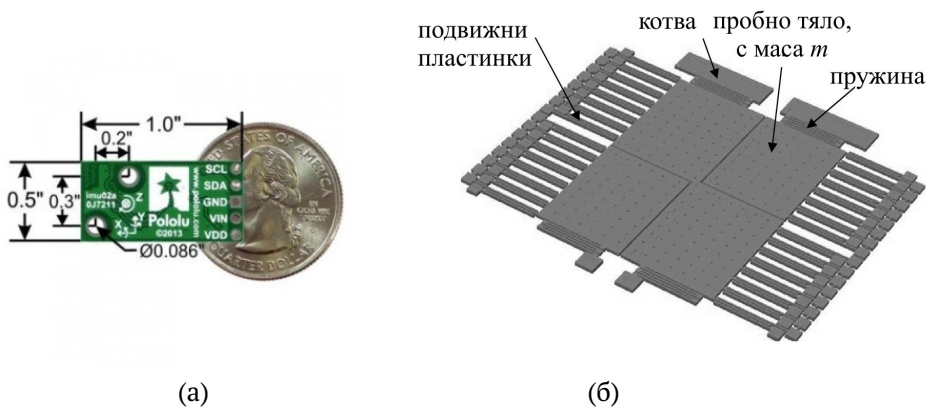
Акселерометърът е уред, който измерва разликата между истинското ускорение на обекта и гравитационното ускорение¹. По принцип всяко такова устройство се състои от лесноподвижно масивно тяло, свързано с еластична връзка към обекта, чието ускорение се измерва – фиг. 1а. В зависимост от начина, по който се измерва преместването на тялото, акселерометрите може да се разделят на индукционни, капацитивни – фиг. 1б, пиезоелектрични, оптични, термични и др. [4].

Биха могли да се направят и други класификации – в зависимост от размери, точност, начин на направа. Изредените по-горе съвременни устройства са произведени по т. нар. *микромашинна технология*. Използваният в случая акселерометър – също. Той принадлежи към категорията на капацитивните сензори и представлява комбинация от механични и електронни елементи, обединени в една интегрална схема. На фиг. 2а са показани размерите на използваната схема (LSM303DLH [4]), а на фиг. 2б – част от “вътрешността” на основната интегрална схема (размерите на пластинките са по 1-2 микрона).

¹ В англоезичната литература се използва изразът *Proper acceleration* [1,2], а в руската – *кажущееся ускорение* [3]



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Основна опитна постановка

Акселерометърът е свързан посредством I²C шина с микроконтролер ATmega328 [5], монтиран върху учебна платка Arduino Uno [6]. От своя страна учебната платка се свързва с настолен компютър или с лаптоп посредством USB². За обслужване на постановката бяха създадени два програмни продукта:

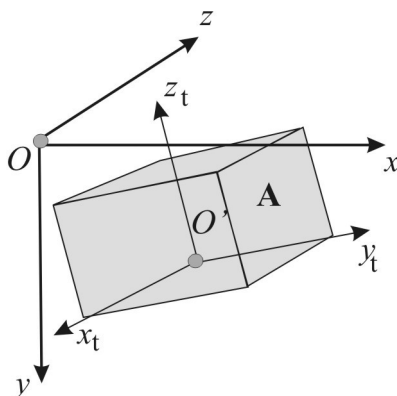
- Програма за микроконтролера, написана на езика Processing (с използване на готова библиотека за комуникация с акселерометъра [7]), която отчита получените данни и ги предава на компютъра;

²Разработен е и вариант за безжична връзка, който в много отношения е по-удобен за експериментатора

- Програма на езика Java (в няколко варианта) за обработка и визуализиране на резултатите върху екрана на компютъра.

Пресмятане

Данните, необходими за експеримента са компонентите на ускорението, на скоростта и координатите на точка от тялото. За определянето има постъпваме така. Разглеждаме движението на дадено тяло **A**, към което е монтиран акселерометърът в тримерна инерциална отправна система xyz . Към някаква точка от тялото $'$ (нека съвпада с центъра на масите на акселерометъра) свързваме координатна система $x_t y_t z_t$ – акселерометърът измерва ускорението спрямо нея. Първо трябва да определим компонентите на ускорението спрямо системата xyz . След като те са известни, лесно може да намерим компонентите на скоростта, както и координатите на тялото в системата xyz . След подходящо мащабиране, последната може съвпадне с координатната система на работния прозорец (оста z е насочена “навътре” от екрана), а точката $'$ – с центъра му – фиг. 3.



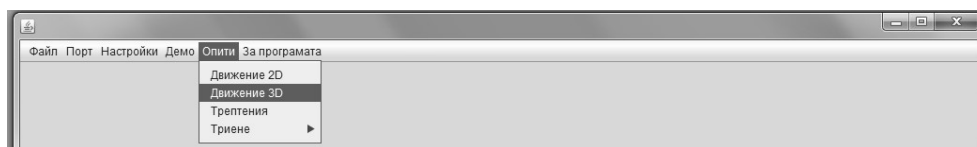
Фиг. 3.

Акселерометърът измерва ускорение \vec{a}_m , което може да се опише както е споменато в [8]. Калибровката и отчитането на данни са описани в [10-13].

По-нататък, при еднократно интегриране, получаваме скоростта \vec{v}_I спрямо инерциалната отправна система, а при двукратно – координатите на радиус-вектора \vec{r}_I спрямо същата система.

Като имаме предвид, че измерванията се провеждат през определени интервали Δt , за скоростта и радиус-вектора получаваме:

$$\begin{aligned}\vec{v}_{I(k+1)} &= \vec{v}_{I(k)} + \vec{a}_{I(k)} \Delta t \\ \vec{r}_{I(k+1)} &= \vec{r}_{I(k)} + \vec{v}_{I(k)} \Delta t\end{aligned}$$



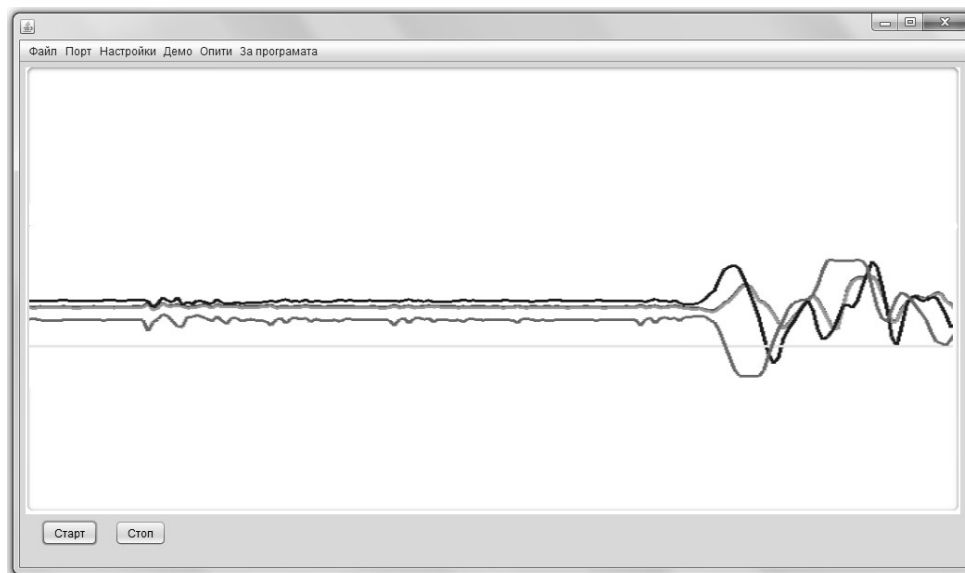
Фиг. 4. Меню на програмата.

Най-лесно се провеждат такива опити, при които $\vec{v}_{I(0)} = 0$ и осите на системите $x_t y_t z_t$ в началния момент са успоредни. Продължителността на интервалите Δt може да се определя от програмата. Освен това в програмата е предвидена възможност за промяна на мащаба – отношението реални/екранни координати.

Опити

При първо представяне пред учениците се започва с демонстрация на действието на акселерометъра, като данните може да бъдат представени в табличен и в графичен вид – последното може да се види на фиг. 5. Възможностите за приложение са разнообразни, например:

- Траектория на тяло, движещо се в една равнина
- Скорост, път, преместване при движение в една равнина



Фиг. 5. Изход от програмата за демонстрация.

- Коефициент на триене
- Свободни затихващи трептения (U-образна траектория, махало)
- Движение в пространството
 - Въртене около ос
 - Тримерно махало
- Демонстрация на действието на сеизмограф
- Компютърна “мишка”, на базата на акселерометър. Тази опция е приложима и в редица други случаи.

Подобни устройства биха могли да бъдат направени и от заинтересовани ученици в различни извънкласни форми на обучение. Това би им помогнало по-лесно да разберат връзката “физика – техника – приложение”. Известни затруднения може да възникнат, ако получените данни не са добре филтрирани. Затова по-добрият вариант е, да се използва интегрална схема, в която са комбинирани акселерометър и жироскоп. Подробности за използване на сензори и микроконтролери в учебния експеримент може да се прочетат в следващите броеве на списание “Физика – методология на обучението”.

Литература

- [1] Edwin F. Taylor, John Archibald Wheeler *Spacetime Physics*, p. 97-98
- [2] <http://www.eftaylor.com/pub/spacetime/STP1stEdExercP81to100.pdf>
- [3] <http://encyclopedia.mil.ru>
- [4] <http://www.pololu.com/product/1250>
- [5] <http://www.atmel.com/devices/atmega328.aspx>
- [6] <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- [7] <https://github.com/pololu/lsm303dlh-arduino/tree/master/LSM303DLH>
- [8] <http://www.chrobotics.com/library/accel-position-velocity>
- [9] <http://chionophilous.wordpress.com/2011/08/26/accelerometer-calibration-ii-simple-methods/>
- [10] http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN4399.pdf
- [11] <http://www.vectornav.com/support/library/accelerometer>
- [12] <http://www.gcdataconcepts.com/calibration.html>
- [13] http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/DM00119044.pdf
- [14] Foley, van Dam, Feiner, Huges (1993) *Computer graphics*, Adison-Wesley, p. 213-222.

- [15] Fraden Jacob (2004) *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*, Springer-Verlag, New York.

Experiments with Micromachined Accelerometers

Klavdi Tutulkov

University of Sofia, Faculty of Physics, 1164 Sofia, 5 James Bourchier Blvd.

Abstract: The paper is dedicated to educational experiments in Mechanics with Micromachined accelerometers.