

# Senzor malého zrýchlenia

## LGA-BTA

Senzor malého zrýchlenia sa dá použiť pri množstve kinematických experimentoch v laboratóriu aj v prírode.



### Postup použitia senzora:

1. Pripojte senzor na interfejs.
2. Spustíte softvér zberu dát<sup>1</sup>.
3. Softvér identifikuje senzor a zavedie jeho štandardné nastavenie pre zber dát.

<sup>1</sup>**Poznámka:** Pri použití Logger Pro 2 s ULI alebo SBI, nedôjde k automatickému rozpoznaní senzora. V priečinku Probes & Sensors otvorte nejaký experimentálny súbor, v ktorom sa používa senzor malého zrýchlenia.

### Softvér zberu dát

Senzor je možné použiť s interfejsmi a s nasledujúcim softvérom zberu dát:

- **Logger Pro 3** spolu s interfejsmi LabQuest, LabPro alebo Go!Link.
- **Logger Pro 2** spolu s interfejsmi ULI alebo Serial Box.
- **Logger Lite** spolu s interfejsmi LabQuest, LabPro alebo Go!Link.
- **LabQuest App** - tento program sa používa, keď pracuje LabQuest ako samostatné zariadenie.
- **Easy Data App**, čo je aplikácia pre kalkulačky TI-83 Plus a TI-84 Plus a je možné ju použiť s CBL 2, LabPro a Vernier EasyLink. Odporúčame verziu 2.0 alebo novšiu, ktorá sa dá stiahnuť z web stránky Vernier [www.vernier.com/easy/easydata.html](http://www.vernier.com/easy/easydata.html) a preniesť do kalkulačky. Ďalšie informácie o aplikácii a príručku na prenos programu nájdete na [www.vernier.com/calc/software/index.html](http://www.vernier.com/calc/software/index.html).
- **DataMate program** spolu s LabPro alebo CBL 2 a kalkulačkami TI73, TI83, TI84, TI86, TI89 alebo Voyage 2000. Inštrukcie pre prenos Data Mate do kalkulačky nájdete v návodoch k LabPro a CBL2.
- **Data Pro** s prenosnými počítačmi typu Palm.
- **LabView** - softvér National Instruments LabView je grafický programovací jazyk predávaný svojím výrobcom. Používa sa so Sensor DAQ a je možné ho použiť aj s inými Vernier interfejsmi. Ďalšie informácie sú na [www.vernier.com/labview](http://www.vernier.com/labview).

**Poznámka:** Senzor je určený len pre výukové účely. Nie je vhodný pre priemyselné, lekárske, výskumné alebo komerčné aplikácie.

### Technické údaje senzora malého zrýchlenia

Napájanie:	30 mA pri 5V jednosmerne
Rozsah:	+/- 50 m/s <sup>2</sup> (+/- 5 g)
Presnosť:	+/- 0,5 m/s <sup>2</sup> (+/- 0,05 g)
Frekvenčná odozva:	0 - 100 Hz

Rozlíšenie:

13 bit rozlíšenie (Sensor DAQ): 0,014 N/kg

12 bit rozlíšenie (LabQuest, LabPro

Go!Link, EasyLink, ULI, SBI): 0,028 N/kg

10 bit rozlíšenie (CBL2): 0,112 N/kg

Uložená kalibrácia: sklon: 22,924 m/s<sup>2</sup>/V

nulový bod : -51,751 m/s<sup>2</sup>

*Senzor je vybavený obvody podpory automatickej identifikácie (auto-ID). Pri použití s interfejsmi LabQuest, LabPro, Go!Link, CBL2 a EasyLink, softvér zberu dát automaticky rozpozná senzor a použije na konfiguráciu experimentu preddefinované parametre vhodné pre daný senzor.*

### **Ako funguje senzor zrýchlenia**

Citlivým prvkom senzora je integrovaný obvod, ktorá bol pôvodne vyvinutý na riadenie a spúšťanie airbagov v automobiloch. V integrovanom obvode sú v kremíku vytvorené veľmi tenké výbežky, ktoré sa pri zrýchlení ohýbajú. Výbežky sú usporiadané a zapojené ako platne kondenzátora. Ich ohybom sa mení kapacita tohto kondenzátora. Ďalší obvod, ktorý je súčasťou integrovaného obvodu, prevádza tieto zmeny na napätie. Vonkajší operačný zosilňovač toto napätie filtruje a zosilňuje.

Senzor meria zrýchlenie v smere šípky na jeho nálepke. Zrýchlenie sa obvykle meria buď v jednotkách m/s<sup>2</sup> alebo v jednotkách g. Jedno g je zrýchlenie o veľkosti gravitačného zrýchlenia 9,8 m/s<sup>2</sup>. Senzor meria zrýchlenie v rozsahu od -5g (-49 m/s<sup>2</sup>) až + 5g (49 m/s<sup>2</sup>). Toto je rozsah zrýchlení, pri ktorých nedochádza k poškodeniu ľudského tela. Pri nárazoch dochádza k oveľa väčším zrýchleniam. Napríklad, ak padne senzor zrýchlenia na tvrdú podložku z výšky len niekoľkých centimetrov, môže dôjsť k zrýchleniu rádu až stoviek g. Senzor vydrží bez poškodenia zrýchlenie až do 1000 g.

Senzor zrýchlenia je citlivý aj na gravitáciu. Dá sa to využiť na jeho jednoduchú kalibráciu. Umožňuje to použiť senzor aj ako sklonomer na meranie uhlov, pretože so zmenou jeho polohy z horizontálnej na vertikálnu sa mení aj údaj zrýchlenia. Dajú sa tým merať uhly s presnosťou na jeden stupeň.

Základom senzora zrýchlenia je obvod ADXL05 od Analog Devices. Je určený na meranie malých zrýchlení s minimálnym elektronickým šumom. Šum má typickú veľkosť rádu 0,5 m/s<sup>2</sup> od vrcholu k vrcholu. Ofset napätia (napätie pri zrýchlení 0 m/s<sup>2</sup>) čiastočne závisí od teploty.

Vernier vyrába aj ďalšie senzory zrýchlenia:

- Senzor zrýchlenia 25-g (ACC-BTA), ktorý je vhodný pre experimenty so zrážkami a s väčším dostredivým zrýchlením.

- Trojosový senzor zrýchlenia (3D-BTA), čo sú tri senzory malého zrýchlenia v troch navzájom kolmých osiach zabudované v jednom malom puzdre. Je vhodný na meranie zrýchlení pri experimentoch v reálnom svete, napríklad v zábavnom parku.
- Bezdrôtový dynamický senzorový systém (WDSS), čo je trojosový senzor zrýchlenia, barometrický výškomer a senzor sily zabudovaný v jednom zariadení, ktoré komunikuje s počítačom bezdrôtovo.

### Je potrebné senzor zrýchlenia kalibrovat'?

Senzor nie je potrebné kalibrovat'. Senzory sú kalibrované vo výrobe. Meranie s týmto typom senzora je komplexný problém a jeho analýza môže spôsobovat' ťažkosti. Prečítajte si preto časť „Časté otázky...“ uvedenú v ďalšom texte. Pre väčšinu experimentov postačí použiť štandardnú kalibráciu. Môžete však využiť softvérové nulovanie senzora.

Väčšina meračov zrýchlenia, vrátane tohto senzora, je citlivých na gravitáciu aj na zrýchlenie. To môže spôsobovat' ťažkosti pri pochopení ich meraní, avšak poskytuje to jednoduchú kalibračnú metódu. Na kalibrovanie môžete využiť gravitáciu. Ak chcete merať zrýchlenie v horizontálnom smere, umiestnite najprv senzor tak, aby jeho šípka smerovala dole. Definujte tento kalibračný bod ako  $-9,8 \text{ m/s}^2$ , alebo ako  $-1 \text{ g}$ . Otočte senzor šípkou smerom hore a definujte tento kalibračný bod ako  $9,8 \text{ m/s}^2$ , alebo ako  $1 \text{ g}$ . Ak ho teraz umiestnite horizontálne, bude ukazovat' nulu. Ak chcete merať zrýchlenie vo vertikálnom smere, postupujte tiež podľa uvedeného postupu, ale prvý kalibračný bod nadefinujte ako nulu a druhý ako  $19,6 \text{ m/s}^2$ , alebo ako  $2 \text{ g}$ . Rovnakým spôsobom je možné interpretovat' aj merania so senzorom zrýchlenia.

### Odporúčané experimenty

- Meranie zrýchlenia vozíka na naklonenej rovine.
- Meranie zrýchlenia vozíka vplyvom sily. Senzorom sily môžete súčasne monitorovat' silu a tak demonštrovat' druhý Newtonov zákon.
- Namontujte senzor zrýchlenia na závažie na pružine. Ak máte aj senzor sily, môžete ho súčasne použiť a študovat' tak silu a zrýchlenie pri harmonickom pohybe na pružine.
- Senzorom zrýchlenia môžete zmerať sklon naklonenej roviny. Keďže so zmenou polohy senzora z horizontálnej na vertikálnu sa mení aj indikovaný údaj zrýchlenia, dajú sa senzorom merať uhly s presnosťou na jeden stupeň.
- Skúste použiť senzor zrýchlenia ako závažie kyvadla.
- Dajte si senzor zrýchlenia za opasok a skúste s ním skákať. Zmerajte zrýchlenie pri skákaní s vystretými kolenami a s pokrčenými kolenami.
- Zintegrujte časový priebeh zrýchlenia, čím dostanete zmenu rýchlostí. Porovnajte ju s meraním rýchlosti iným spôsobom.

Ak máte interfejs zberu dát, ktorý je schopný práce bez pripojeného počítača, môžete skúsiť zmerať zrýchlenie:

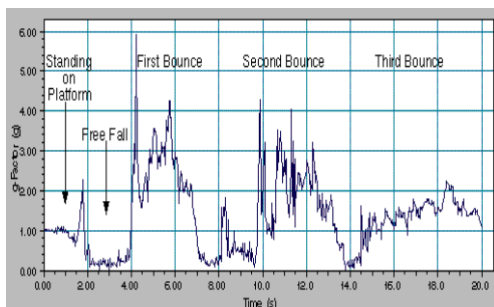
- vo výťahoch

- na dráhach zábavného parku
- na kolotočoch
- na hračkách na diaľkové ovládanie
- pri lyžovaní, skokoch na lane a podobne
- na tanieri gramofónu
- v aute

### Použitie viacerých senzorov zrýchlenia

Pri experimentoch sa môže hodiť merať súčasne signály z dvoch alebo troch senzorov zrýchlenia, umiestnených v navzájom kolmých osiach. Dva senzory zrýchlenia umiestnené v navzájom kolmých osiach vám umožnia študovať zrýchlenie v rovine. Dobré to funguje napríklad v automobile. Na meranie zrýchlenia v priestore môžete použiť tri senzory zrýchlenia, alebo trojosový senzor zrýchlenia. Je to vhodné pre merania v zábavnom parku alebo pri skokoch na lane.

Nakalibrujte senzory na meranie horizontálneho zrýchlenia a namontujte ich tak, aby boli v navzájom kolmých osiach. Vytvorte na interfejsе zberu dát „nový stĺpec dát“ a nadefinujte ho ako odmocninu súčtu druhých mocnín jednotlivých zrýchlení. Ak bude sústava senzorov v pokoji, táto hodnota bude rovná 1g. Pri voľnom páde táto hodnota bude rovná nule, bez ohľadu na orientáciu sústavy senzorov. Na obrázku je príklad grafu získaného s použitím troch senzorov zrýchlenia v navzájom kolmých osiach pri skoku na pružnom lane (bungee jump).



### Časté otázky týkajúce sa meraní so senzormi zrýchlenia

Keďže senzory zrýchlenia sú citlivé na zrýchlenia ako aj na gravitačné pole zeme, interpretácia výsledkov ich meraní je zložitá. Užitočným modelom pri vysvetľovaní meraní so senzormi zrýchlenia je pružinové váhy so zaveseným referenčným závažím. Ak sú váhy v obvyklej vertikálnej polohe, tiaž závažia stláča pružinu váh a váhy ukazujú nenulovú hodnotu. Ak by ste otočili váhy opačne, závažie by namiesto stláčania naťahovalo pružinu a váhy by ukazovali nenulovú hodnotu opačného znamienka. Ak váhy položíte na bok a zostanú bez pohybu, závažie nebude pôsobiť na pružinu a pružina bude v pokojovom stave. Váhy budú ukazovať nulu. Ak váhy začnete v tejto polohe zrýchľovať smerom k závažiu, pružina sa stlačí. Ak ich budete zrýchľovať opačne, pružina sa predĺži. V oboch prípadoch budú váhy

ukazovať silu pôsobiacu na závažie. Tento údaj je možné relativizovať skrátením hmotnosťou, čím dostaneme jednotku N/kg, čo je to isté ako  $\text{m/s}^2$ .

**Otázka: Čo meria senzor zrýchlenia?**

Odpoveď: Normálovú silu na jednotku hmotnosti.

Nejedná sa o celkovú silu na jednotku hmotnosti (čo je zrýchlenie), ale o normálovú silu na jednotku hmotnosti. Táto trochu neobvyklá veličina je to, čo cíti napríklad človek na dráhe pri prejazde zatáčkou. Takáto interpretácia je vhodná aj pre skalárnu hodnotu celkového zrýchlenia trojosového senzora zrýchlenia, ktorá je 9,8 N/kg v prípade pokoja, nula v prípade voľného pádu a väčšia ako 9,8 N/kg pri zatáčaní.

Interpretácia normálovej sily je použiteľná aj pri senzore jednoosového zrýchlenia pri zrýchlení v horizontálnom smere. Na hmotnosť, ktorú má senzor, musí totiž pôsobiť sila, aby dochádzalo k jeho zrýchľovaniu. Je to práve horizontálna normálová sila. Pri diskusii údajov zo senzora zrýchlenia môžeme hovoriť o normálovej sile na jednotku hmotnosti, ktorej jednotkou je N/kg.

**Otázka: Myslel som si, že senzor zrýchlenia meria zrýchlenie!**

Odpoveď: Musíme byť veľmi opatrní, aby sme nenazývali zrýchlením niečo, čo nie je kinematickým zrýchlením. Interpretácia pojmu „zrýchlenie“ hodnoty  $9,8 \text{ m/s}^2$  je pri telese, ktoré je zjavne v pokoji, problematická. Je to však to, čo senzor zrýchlenia naozaj ukazuje.

Údaje zo senzora zrýchlenia môžete korigovať pridaním zložky zrýchlenia gravitačného poľa v smere šípky na senzore a dostať tak skutočné zrýchlenie. Napríklad, ak šípka na senzore smeruje nahor, zložka gravitačného zrýchlenia je  $-9,8 \text{ m/s}^2$ . Ak je senzor v pokoji a šípka smeruje nahor, senzor ukazuje  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Ak pripočítame  $-9,8 \text{ m/s}^2$ , dostaneme nulu. Ak je senzor v horizontálnej polohe, ukazuje nulu. Zložka gravitačného zrýchlenia je tiež nula, čiže senzor ukazuje skutočné zrýchlenie.

**Otázka: Ako merať g-silu?**

Odpoveď: Vyhýbame sa pojmu g-sila, pretože nemá rozmer sily. Namiesto toho je možné na zjednodušenie názvu „normálová sila na jednotku hmotnosti“ použiť pri popise osi a pri diskusii pojem g-faktor.

Z uvedeného napríklad vidíte, že teleso, ktoré je v pokoji na stole má g-faktor rovný 1, teleso pri voľnom páde má g-faktor 0 atď. g-faktor je bezrozmerný. Ak je normálová sila vektorom, je ním aj g-faktor. g-faktor je pomocná veličina, ktorá slúži na skrátenie dlhého názvu.





**Vernier Software & Technology**  
13979 SW Millikan Way  
Beaverton, OR 97005-2886  
[www.vernier.com](http://www.vernier.com)

**Slovensko: PMS Delta s.r.o.**  
Fándlyho 1  
07101 Michalovce  
[www.pmsdelta.sk](http://www.pmsdelta.sk)



Preklad: Peter Spišák, 2008