

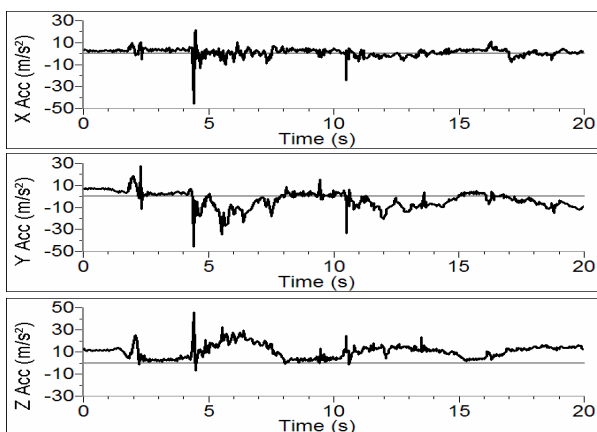
Trojosový senzor zrýchlenia

3D-BTA

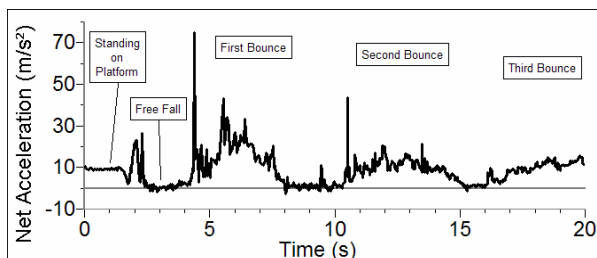
Trojosový senzor zrýchlenia pozostáva z troch senzorov zrýchlenia +/- 5g zabudovaných v jednom malom puzdre. S použitím softvéru zberu dát môžete graficky zobrazit priebeh jednotlivých zrýchlení, alebo môžete vypočítať celkové zrýchlenie. Senzor sa dá použiť pri množstve kinematických experimentoch v laboratóriu aj v prírode. Na nasledujúcich obrázkoch sú príklady dát zozbieraných trojosovým senzorom zrýchlenia.



Na nasledujúcich obrázkoch sú dáta zozbierané senzorom pri bungee skoku. Na prvých troch obrázkoch sú jednotlivé komponenty zrýchlenia. Na štvrtom obrázku je celkové zrýchlenie vypočítané ako druhá odmocnina súčtu druhých mocnín jednotlivých zrýchlení.

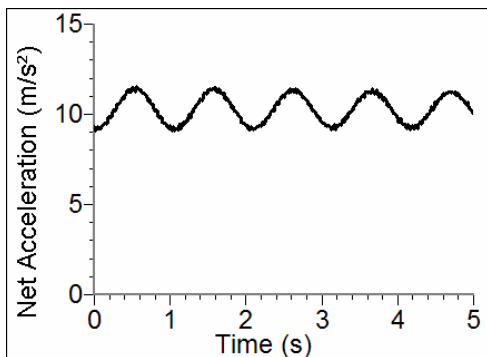


Zrýchlenia pri bungee skoku



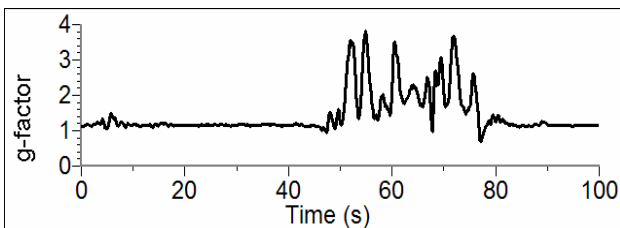
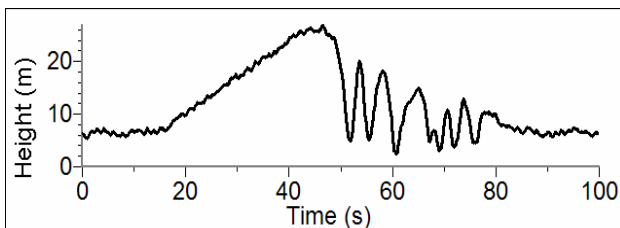
Celkové zrýchlenie

Na nasledujúcom obrázku je graf celkového zrýchlenia z trojosového senzora zrýchlenia použitého ako závažie kyvadla. Kyvadlo sa kývalo v širokom uhle, teda uhol sklonu senzora sa podstatne menil. Ak by sa pritom použil senzor zrýchlenia len v jednej osi, nedostali by sme správny výsledok (pozrite diskusiu zrýchlenia na kyvadle v The Physics Teacher z apríla 1995).



Celkové zrýchlenie závažia kyvadla

Nasledujúce grafy boli získané pre jazdu na dráhe nazývanej Vortex. Bol pritom použitý trojosový senzor zrýchlenia a barometer. Video z tohto merania sa nachádza v programe Logger Pro 3 v časti Sample Movies. Dáta zozbieral Clarence Bakken. Ďalšie informácie o zbere dát v zábavnom parku nájdete na našej web stránke www.vernier.com/cmat/datapark.html, môžete si tam stiahnuť návod Data Collection at the Amusement Park.



Dáta z jazdy na dráhe Vertex

Postup použitia senzora:

1. Pripojte senzor na interfejs.
2. Spustite softvér zberu dát¹.
3. Softvér identifikuje senzor a zavedie štandardné nastavenie pre zber dát.

¹**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 trojosový senzor 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 a preniesť do kalkulačky. Ďalšie informácie o aplikácii a príručku na prenos programu nájdete na 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 svojim výrobcom. Používa sa so Sensor DAQ a je možné ho použiť aj s inými Vernier interfejsmi. Ďalšie informácie sú na www.vernier.com/labview.

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

Technické údaje trojosového senzora zrýchlenia

Napájanie:	30 mA pri 5V jednosmerne
Rozsah:	+/- 49 m/s ² (+/- 5 g)
Presnosť:	+/- 0,5 m/s ² (+/- 0,05 g)
Frekvenčná odozva:	0 - 100 Hz
Rozlíšenie:	
13 bit rozlíšenie (Sensor DAQ):	0,0780639 m/s ²
12 bit rozlíšenie (LabQuest, LabPro Go!Link, EasyLink, ULI, SBI):	0,1561279 m/s ²
10 bit rozlíšenie (CBL2):	0,6245117 m/s ²
Uložená kalibrácia:	sklon: 22,92 m/s ² /V nulový bod : -51,751 m/s ²

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

Citlivými prvkami trojosového senzora zrýchlenia sú tri integrované obvody s podpornou elektronikou. Senzor funguje podobne ako tri senzory malého zrýchlenia (LGA-BTA). Každý z integrovaných obvodov meria zrýchlenie v jednej z osí označených ako X, Y a Z. Integrované obvody senzora sú podobné ako obvody ktoré boli pôvodne vyvinuté na riadenie a spúšťanie airbagov v automobiloch.

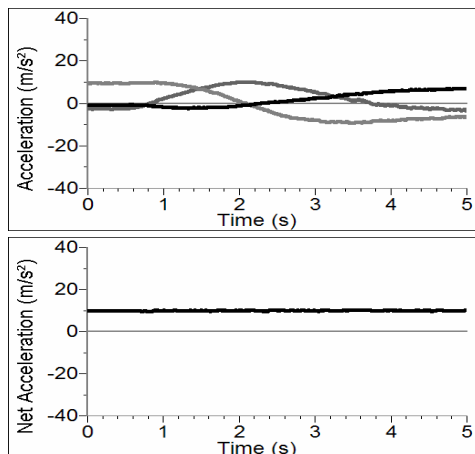
V integrovanom obvode sú v kremíku vytvorené veľmi tenké výbežky, ktoré sa pri zrýchlení ohýbajú. Výbežky sú usporiadané a zapojené ako platne kondenzátora. Ich ohybom sa mení kapacita tohto kondenzátora. Ďalší obvod, ktorý je súčasťou integrovaného obvodu, prevádza tieto zmeny na napätie. Vonkajší operačný zosilňovač toto napätie filtruje a zosilňuje.

Senzor meria zrýchlenie v smeroch X, Y a Z podľa označenia šípkami na jeho nálepke. Zrýchlenie sa obvykle meria buď v jednotkách m/s^2 alebo v jednotkách g. Jedno g je zrýchlenie o veľkosti gravitačného zrýchlenia $9,8 m/s^2$. Senzor meria zrýchlenie v rozsahu od $-5g$ ($-49 m/s^2$) až $+5g$ ($49 m/s^2$). Toto je rozsah zrýchlení, pri ktorých nedochádza k poškodzovaniu 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. Pri správnom nakalibrovaní senzora, ak šípka danej osi senzora smeruje nahor, senzor by mal v tejto osi ukazovať zrýchlenie $9,8 m/s^2$, ak šípka smeruje nadol, indikované zrýchlenie by malo byť $-9,8 m/s^2$. Ak je daná os v horizontálnej polohe, indikované zrýchlenie by malo byť nulové.

Vo väčšine prípadoch môžete v softvéri zberu dát vytvoriť „vypočítaný stĺpec dát“ a definovať ho ako druhú odmocninu súčtu druhých mocnín jednotlivých zrýchlení. Ak bude senzor v pokoji, výsledok bude vždy $9,8 m/s^2$. Pri voľnom páde senzora bude výsledok nula.

Aby ste pochopili ako to funguje, držte senzor v ruke a pomaly ním otáčajte okolo všetkých troch osí. Výsledky sú na nasledujúcich grafoch. Na prvom grafe sú jednotlivé zrýchlenia a na druhom grafe je celkové zrýchlenie (vypočítané ako druhá odmocnina súčtu druhých mocnín jednotlivých zrýchlení). Všimnite si, že tento údaj je vždy približne $9,8 m/s^2$.



Otáčanie trojosového senzora zrýchlenia

Trojosový senzor zrýchlenia je určený na meranie malých zrýchlení s minimálnym elektronickým šumom. Šum má typickú veľkosť rádu $0,5 \text{ m/s}^2$ od vrcholu k vrcholu. Ofset napätia (napätie pri zrýchlení 0 m/s^2) 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.
- Senzor malého zrýchlenia (LGA-BTA), ktorý je vhodný pre experimenty s malými zrýchleniami v jednej osi.
- 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 kalibrovať?

Senzor nie je potrebné kalibrovať. Sensory sú kalibrované vo výrobe. Meranie s týmto typom senzora je komplexný problém a jeho analýza môže spôsobovať 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 spôsobovať 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 šípka osi, ktorú chcete kalibrovať smerovala dole. Definujte tento kalibračný bod ako $-9,8 \text{ m/s}^2$, alebo ako -1 g . Otočte senzor šípkou smerom hore a definujte tento kalibračný bod ako $9,8 \text{ m/s}^2$, alebo ako 1 g . Ak ho teraz umiestnite danú os horizontálne, bude ukazovať nulu. Rovnako nakalibrujte aj ostatné osi. 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 g .

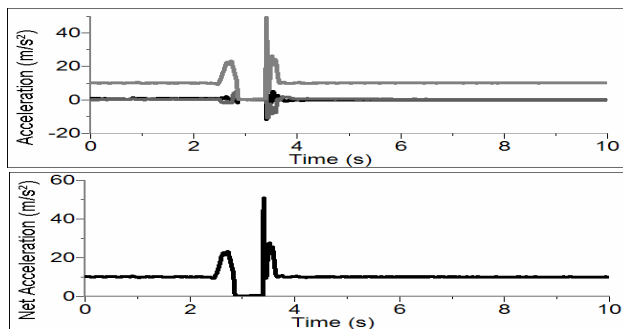
Odporúčané experimenty

Trojosový senzor zrýchlenia je ekvivalentný trom senzorom malého zrýchlenia (LGA-BTA). Pri meraniach môžete využiť buď všetky osi, alebo len niektoré z nich. Príklady meraní:

- Meranie zrýchlenia vozíka na naklonenej rovine.
- Meranie zrýchlenia vozíka vplyvom sily. Senzorom sily môžete súčasne monitorovať silu a tak demonštrovať druhý Newtonov zákon.
- Namontujte senzor zrýchlenia na závažie na pružine. Ak máte aj senzor sily, môžete ho súčasne použiť a študovať 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 rýchlosti. Porovnajme ju s meraním rýchlosti iným spôsobom.

S trojosovým senzorom zrýchlenia môžete robiť aj komplexnejšie merania:

- Meranie zrýchlení pri jazde na dráhe v zábavnom parku.
- Bungee jumping pomocou hračkárskej bábiky alebo pri reálnom skoku človeka.
- Uložte senzor zrýchlenia a interfejsovú jednotku do škatule vyplnenej vatou a vyhodte ju do vzduchu. Porovnajme jednotlivé zrýchlenia s celkovým zrýchlením.

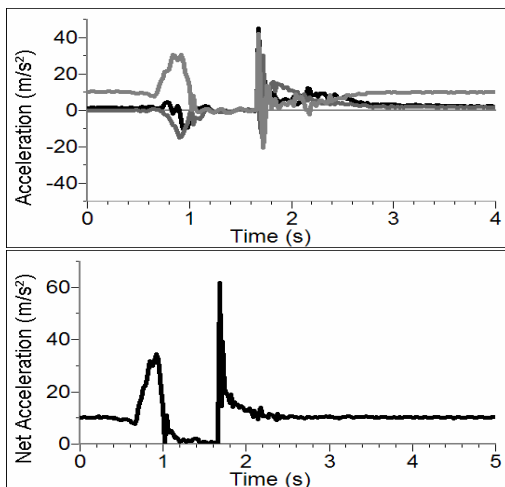


Trojosový senzor zrýchlenia vyhodnený do vzduchu bez rotácie

Predchádzajúce grafy ukazujú jednotlivé osové zrýchlenia a celkové zrýchlenie trojosového senzora zrýchlenia hodeného vzduchom bez rotácie. Všimnite si, že

pre hodením bolo indikované zrýchlenie v osiach X a Z nulové, v osi Y bolo zrýchlenie $9,8 \text{ m/s}^2$. Počas hodu boli všetky zrýchlenia, ako aj celkové zrýchlenie nulové.

Na nasledujúcich grafoch bol senzor vyhodенý do vzduchu a pritom sa otáčal. Hodnoty zrýchlení v jednotlivých osiach sa pritom menili. Celkové zrýchlenie nebolo z dôvodu otáčania sa úplne nulové.



Trojosový senzor zrýchlenia vyhodенý do vzduchu s rotáciou

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 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 m/s^2 . Rovnakým spôsobom je možné interpretovať aj merania so senzorom zrýchlenia.

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 m/s² 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 m/s². Ak je senzor v pokoji a šípka smeruje nahor, senzor ukazuje 9,8 m/s². Ak pripočítame -9,8 m/s², 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

Slovensko: PMS Delta s.r.o.
Fándlyho 1
07101 Michalovce
www.pmsdelta.sk

Preklad: Peter Spišák, 2008

