

Bezdrôtový dynamický senzorový systém

WDSS

Bezdrôtový dynamický senzorový systém (WDSS) umožňuje zbierať dáta z trojosého senzora zrýchlenia, senzora sily a výškomeru prostredníctvom bezdrôtového spojenia s počítačom cez Bluetooth. Je to vynikajúci nástroj, napríklad pre takéto fyzikálne experimenty:



- Štúdium pohybu vozíka na dynamickej dráhe. WDSS sa dá namontovať na vozík, odstraňuje to problémy s vodičmi, ktoré sa používajú pri bežných senzoch zrýchlenia a sily.
- Jazda na cvičisku a v zábavnom parku. WDSS má zabudovanú pamäť, do ktorej môže zaznamenávať po dobu niekoľkých minút viac ako 100.000 meraní zrýchlenia a údajov o výške (za účelom získania profilu dráhy).
- Štúdium jednoduchého harmonického pohybu samotného WDSS zaveseného ako závažie na pružine.
- Štúdium zrýchlenia skateboardistu alebo tanečníka pomocou WDSS pripevneného na ňom, za súčasného prenosu dát do blízkeho počítača.
- Štúdium síl a zrýchlení počas otáčavého pohybu WDSS upevneného na gramofóne alebo na kolese bicykla.

Okrem toho sa dá WDSS použiť aj pri ďalších tradičných experimentoch, kde sa ináč používajú bežné senzory zrýchlenia a sily. Informácie o nich nájdete v ďalších častiach tohto návodu.

Hardvér WDSS

Na nasledujúcom obrázku je bezdrôtový dynamický senzorový systém s popisom jeho hlavných častí:

Úchyt senzora sily
(závit #6-32)

Tlačidlo spustenia a
zastavenia
vzdialeného zberu
dát (pod nálepkou)

Graf orientácie
osí senzora
zrýchlenia

LED záznamu
dát

LED Bluetooth
komunikácie

Vypínač (0-1)

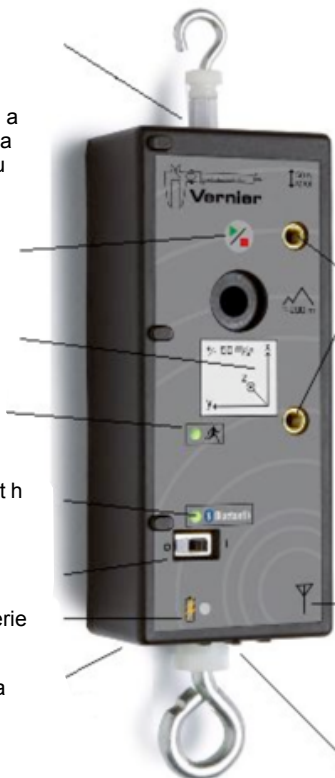
LED nabíjania batérie

Konektor napájania

Závitové otvory #10-32
na montáž závažia na
vrch WDSS

Umiestnenie
Bluetooth antény

Otvor so závitom
1/4-20,
s namontovaným očkom



- **Vypínač (0-1):** Vypínačom sa vypína napájanie WDSS. Ak WDSS nepoužívate, vypnite ho. Vypnutím sa nestratia dáta uložené v zabudovanej pamäti WDSS.
- **LED nabíjania batérie:** Žltá LED, ktorá indikuje nabíjanie batérie WDSS. Keď pripojíte k WDSS sieťový adaptér a batéria WDSS nie je 100% nabitá, rozsvieti sa táto LED. Keď je batéria úplne nabitá, LED zhasne.
- **Konektor napájania:** Konektor napájania 6V=, so stredným záporným vodičom. Používa sa rovnaký sieťový adaptér ako je priložený napríklad k interfejsu LabPro. Objednávací kód Vernier IPS.
- **LED záznamu dát:** Táto LED indikuje, či sú práve zbierané dáta, alebo či je WDSS pripravený na zber dát. Keď WDSS komunikuje so softvérom *Logger Pro*, a je pripravený na zber dát v reálnom čase, LED záznamu dát je **zelená**. Táto LED tiež oznamuje, keď začne vzdialený zber dát - vtedy LED začne **blikať na zeleno**. Táto LED môže tiež **blikať na červeno**, znamená to, že dáta sa presúvajú v internej pamäti WDSS. Keď LED **bliká na červeno**, nevypínajte WDSS. Ak zbierate vzdialené dáta pomocou spúšťania udalostí (triggering) a WDSS čaká na spustenie, LED **bliká na oranžovo**. V prípade nejakého problému, LED **trvalo svieti na červeno**. Príkladom možného problému je pokus o vzdialený zber dát, keď je plná zabudovaná pamäť WDSS.
- **LED stavu komunikácie Bluetooth:** Táto LED indikuje, či WDSS úspešne komunikuje s počítačom. Keď je WDSS zapnutý, ale nie je spojený so žiadnou verziou *Logger Pro*, LED je červená. Keď je WDSS spojený s *Logger Pro*, LED je zelená.
- **Tlačidlo spustenia/zastavenia vzdialeného zberu dát:** Toto tlačidlo sa používa na spustenie a na zastavenie zberu dát, ale len počas vzdialeného zberu dát. Tlačidlo je zapustené, aby sa predišlo jeho náhodnému stlačeniu pri používaní v teréne. Preto ho musíte stláčať silno. Ak chcete spustiť vzdialený zber dát, stlačte toto tlačidlo. Pamätajte, že keď je WDSS pripravený na vzdialený zber dát, LED záznamu dát svieti trvalo na zeleno. Keď stlačíte tlačidlo spustenia/zastavenia vzdialeného zberu dát, LED začne blikať. Keď WDSS komunikuje s počítačom a s programom *Logger Pro*, tlačidlo spustenia/zastavenia vzdialeného zberu dát nie je aktívne.
- **Graf orientácie osí senzorov zrýchlenia:** Na nálepke hore na WDSS je graf, ktorý indikuje orientáciu trojice senzorov zrýchlenia. Pamätajte, že x-os je definovaná ako pozdĺžna os (os najväčšieho rozmeru) WDSS. Sensory zrýchlenia sa nachádzajú priamo pod stredom tejto nálepky.
- **Anténa Bluetooth rádia** (umiestnená vnútri puzdra): Ikona antény na nálepke indikuje približnú polohu antény, ktorá sa používa na Bluetooth komunikáciu. Rádiové vlny neprechádzajú cez kovy, preto nekladte na anténu kovové predmety.

Napájanie WDSS

WDSS je normálne napájaný zabudovanou lítium iónovou batériou vysokej kapacity. Batéria je pripravená poskytnúť napájanie na 20 hodín prevádzky. Po 10 až 15 minútovom nabíjaní, je batéria nabitá na asi 1 hodinu prevádzky. Podobne ako aj iných Li-ion batériách, dochádza k jej pomalému samovybíjaniu. Ak ju ponecháte bez nabíjania po dobu niekoľkých týždňov, môže stratiť podstatnú časť svojho náboja.

Stav nabitia batérie vo WDSS môžete skontrolovať, keď je WDSS spojený s počítačom. Kliknite na ikonu WDSS na nástrojovej lište *Logger Pro*. Dialógové okno WDSS v *Setup Sensors* vám umožní vypnúť a zapnúť WDSS, ako aj skontrolovať stav jeho batérie.

Keďd chcete nabiť batériu vo WDSS, jednoducho pripojte sieťový adaptér. Adaptér poskytuje 6V, 500 mA jednosmerného napájania, pričom v strede konektoru je jeho záporný pól. Adaptér je taký istý, ako sa používa na napájanie interfejsu LabPro. Ak sa WDSS práve nepoužíva, počas nabíjania má byť jeho vypínač v polohe vypnutia. Plné nabitie z úplne vybitého stavu batérie trvá asi 8 hodín. Nabíjanie batérie indikuje LED nabíjania. Keď pripojíte k WDSS sieťový adaptér a batéria WDSS nie je 100% nabitá, LED sa rozsvieti. Keď je batéria úplne nabitá, LED zhasne.

Batérie a nabíjací systém WDSS sú veľmi flexibilné. Batériu nie je potrebné pred nabíjaním úplne vybiť. Pred použitím WDSS nie je potrebné batériu úplne nabiť.

Počas nabíjania sa WDSS mierne zohreje, dajte ho preto na podložku, ktorá je odolná teplote. WDSS nabíjajte len sieťovým adaptérom, ktorý bol s nim dodaný, alebo adaptérom od interfejsu LabPro. Adaptérom sa nepokúšajte nabíjať vo WDSS žiadne iné typy batérií.

Keby ste náhodou menili batériu vo WDSS, pamätajte, že originálna batéria, ktorá je vo WDSS je určená na recykláciu. Zberné miesto na batérie vo vašej blízkosti v USA nájdete na www.rbr.org/. V ostatných krajinách existujú podobné systémy zberu batérií. Batérie sa nesmú dostať do bežného domového odpadu.

Požiadavky na softvér a hardvér počítača

Bezdrôtový dynamický senzorový systém sa musí používať s programom Logger Pro verzie 3.4.5, alebo novším. WDSS vyžaduje nasledujúcu zostavu počítača:

Windows: Je potrebný Windows XP, Service Pack 2 alebo novší. Ako Bluetooth rádio potrebujete Bluetooth rádio kompatibilné s Microsoftom buď vo forme USB kľúča, alebo zabudované v počítači. Vysielač Bluetooth rádia musí mať Microsoft Bluetooth ovládače. Ak má nastavené iné ovládače, WDSS s nim nebude komunikovať. Musíte tieto ovládače odstrániť a nainštalovať Microsoft ovládače. Pamätajte však, že odinštalovanie takýchto ovládačov môže spôsobiť problémy, keď používate počítač aj na komunikáciu s inými Bluetooth ovládačmi.

Keď váš počítač nemá zabudovaný Bluetooth, odporúčame použiť Bluetooth rádio vo forme USB kľúča. Ak si zakúpite takéto Bluetooth rádio, neinstalujte žiadny softvér, ktorý bol s nim dodaný. Ubezpečte sa, že rádio má na sebe logo „Designed for Microsoft XP“. To identifikuje zariadenia, ktoré spĺňajú určité kvalitatívne normy kompatibility s operačným systémom Microsoft Windows XP.

Zoznam kompatibilných zariadení nájdete na: <http://testedproducts.windowsmarketplace.com/results.aspx?text=bluetooth>

Macintosh: Je potrebný OS 10.3 alebo novší. Ďalej je potrebné zabudované Bluetooth rádio, alebo rádio vo forme USB kľúča kompatibilné s počítačmi Macintosh. Počítače Macintosh na báze Intel procesorov (od roku 2006) potrebujú program Logger Pro 3.4.6 alebo novší.

Bluetooth zariadenia

Bluetooth zariadenia vrátane WDSS sa pripájajú na počítač cez rádio. Dosah Bluetooth komunikácie je typicky 10 m. Maximálna pracovná vzdialenosť medzi počítačom a WDSS závisí od množstva faktorov. Predmety medzi WDSS a počítačom môžu rušiť spojenie. Steny a objekty s obsahom kovu zásadne redukovávajú alebo úplne blokujú signál. Dosah závisí aj od Bluetooth hardvéru vo vašom počítači.

Na popis spojenia WDSS pomocou Bluetooth budeme používať nasledujúci terminológiu:

- *Spojený (connected)* - znamená, že daný počítač, na ktorom beží Logger Pro a WDSS nadviazali komunikáciu.
- *K dispozícii (available)* - znamená, že WDSS je prítomný (lokalizovaný), ale nie je spojený s počítačom.
- *Nie je k dispozícii (not available)* - znamená, že WDSS je prítomný, ale je spojený s iným počítačom. WDSS, ktorý je spojený s jedným počítačom, nie je viditeľný inými počítačmi.

Vernierove Bluetooth zariadenia majú ľahko rozpoznateľné pomenovania ktoré uľahčujú ich nastavenia. Sú pomenované menami fyzikov s pridaním čísla, napríklad Newton22.

Spojenie Bluetooth WDSS s počítačom

Pri spájaní WDSS s počítačom a programom Logger Pro postupujte takto:

1. Zapnite WDSS. Všimnite si názov zariadenia na jeho nálepke.
2. Ubezpečte sa, že Bluetooth na vašom počítači je aktivovaný. Ak je Bluetooth zabudovaný v počítači, zapnite ho.
3. Spustite Logger Pro.
4. V menu Experiment vyberte Connect Interface a potom Wireless. Na pokus o spojenie vyžaduje Logger Pro určitý krátky čas. Ak sa nenájde WDSS, skúste znovu spustiť jeho skenovanie. Objaví sa sa dialógové okno, kde na zozname zariadení, ktoré sú k dispozícii, bude WDSS. Vyberte WDSS.
5. Po nadviazaní spojenia sa objaví na nástrojovej lište Logger Pro ikona WDSS a údaje z WDSS v reálnom čase. Na WDSS majú svietiť dve zelené LED.
6. Ak sa nepodarí pripojiť WDSS, ubezpečte sa, že je nabitá jeho batéria a že je v Bluetooth dosahu. Ak sa problém nepodarí vyriešiť, pozrite si časť návodu „Riešenie problémov“.

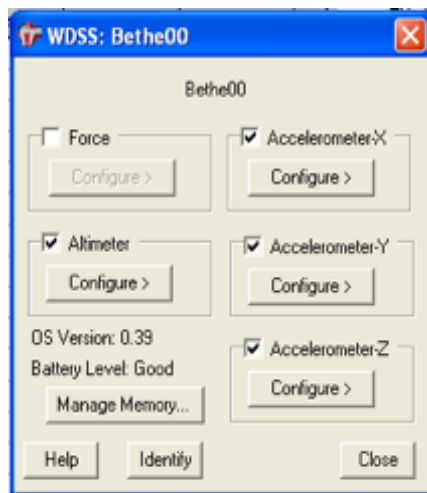
Pripájanie WDSS po jeho prvotnom nastavení

Ak urobíte hore popísané kroky, a Bluetooth WDSS je spojené s počítačom, ďalšie spojenie je trochu jednoduchšie. Pokiaľ Logger Pro beží, pamätá si názov detekovaného WDSS. Preto ho môžete pripájať takto: menu Experiment / Connect Interface ► Wireless a vyberte názov vášho WDSS, ktorý sa tam objaví. Nemusíte znovu vyhľadávať Bluetooth zariadenia skenovaním.

Aktívne senzory a dialógové okno Set Up Sensors

V štandardnom nastavení bude WDSS zaznamenávať silu a dáta z troch senzorov zrýchlenia. Vnútri je však aj výškomer, ktorý môžete aktivovať. Sensory, ktoré momentálne nepotrebujete, môžete vypnúť. V menu Experiment vyberte Set Up Sensors a potom vyberte Wireless zariadenie. Tým zobrazíte dialóg nastavenia Wireless zariadenia, kde môžete vypínať a zapínať jednotlivé senzory a meniť ich kalibráciu. Experimentálne súbory je možné ukladať s akoukoľvek kombináciou aktívnych WDSS senzorov a s akoukoľvek ich kalibráciou. Ak otvoríte niektorý z týchto experimentálnych súborov, príslušné senzory sa aktivujú a použije sa kalibrácia nastavená v danom súbore.

WDSS hardvér pamätá, ktoré senzory boli naposledy použité. Pri jeho opätovnom spustení sa štandardne použijú tie isté senzory.



Dialóg Set Up Sensors pre WDSS

Pri jednotlivých WDSS senzoroch je tlačidlo Configure, kde sú možnosti zapnutia a vypnutia senzora a nastavenia jeho kalibrácie. Zoznam konfiguračných možností je:

Pri všetkých senzoroch:

- Kalibrácia (Calibrate)
- Informácie (Sensor Info)
- Nulovanie (Zero)
- Jednotky merania (Units)

Pri senzore sily je aj:

- Obrátenie smeru merania (Reverse direction)

Ak chcete, aby Logger Pro zobrazoval dáta z konkrétneho senzora, zapnite ho kliknutím na jeho zaškrŕavacie okienko. Ak nepotrebujete dáta z niektorého senzora, vypnite ho. Funkcia Calibrate vám umožňuje kompletne prekalibrovať daný senzor. Details procesu kalibrácie nájdete v ďalšom texte. Funkciou Zero môžete definovať momentálny údaj senzora ako nulu. Funkcia je vhodná na vynulovanie offsetu senzorov sily a zrýchlenia. Funkcia Units vám umožňuje meniť jednotky merania senzorov. Môžete ich napríklad zmeniť z metrických na anglické. Funkcia Sensor Info poskytuje informácie o senzore a o jeho kalibrácii.

Dialóg Setup WDSS obsahuje aj ďalšie informácie o WDSS:

- Verziu operačného systému WDSS a pod ňou sa zobrazuje stav nabitia batérie. Stav batérie sa zobrazuje ako good (dobrá), low (slabo nabitá), very low (veľmi slabo nabitá).
- Tlačidlo Manage Memory: toto tlačidlo umožňuje zobrazíť aké dáta sú uložené v zabudovanej pamäti a umožňuje ich v prípade potreby vymazať. Je tu tiež číslo verzie firmvéru WDSS a ďalšie informácie o nastavení Bluetooth.
- Tlačidlo Identify: toto tlačidlo sa používa na test Bluetooth komunikácie. Ak stlačíte toto tlačidlo, LED záznamu dát na WDSS pripojenom k počítaču začne blikať. Tlačidlo je určené na identifikáciu, ktorý WDSS je pripojený ku ktorému počítaču v triede, kde je viacero WDSS.

Zber dát v reálnom čase cez Bluetooth

Keď sa Logger Pro spojí s WDSS, na nástrojovej lište sa objavia údaje z jeho aktívnych senzorov v reálnom čase. V Logger Pro kliknite na tlačidlo Collect, údaje sa objavia na grafoch a v tabuľkách. Logger Pro môžete používať rovnako ako pri iných interfejsoch, napríklad LabPro alebo LabQuest. Ak chcete zmeniť frekvenciu zberu dát, alebo dĺžku zberu dát v danom experimente, v menu Experiment kliknite na Data Collection, alebo kliknite na ikonu „stopiek“ na nástrojovej lište.

Kalibrácia a nulovanie

Senzory zabudované vo WDSS vo všeobecnosti nie je potrebné kalibrovať. Ak ich však chcete kalibrovať, môžete to urobiť. Detaily nájdete v nasledujúcom texte, v častiach: senzor sily, senzory zrýchlenia a výškomer. Pred začiatkom zberu dát je pri senzore sily a pri senzorech zrýchlenia je často vhodné ich vynulovanie. Môžete to urobiť buď cez Zero v menu Experiment, alebo kliknutím na tlačidlo Zero na nástrojovej lište. Pred nulovaním sa ubezpečte, že príslušný senzor sa nachádza stave s nulovou silou, alebo nulovým zrýchlením. Operácia nulovania spôsobí odpočítavanie momentálnej hodnoty indikovanej senzorom od hodnôt meraných v budúcnosti. Môže takto skorigovať náklon WDSS, alebo tiež pôsobiacu na senzor sily, mimo meranej sily (podobne ako tarovanie alebo nulovanie váh).

WDSS má zabudovanú flash pamäť, kde sa ukladajú kalibrácie jednotlivých senzorov. Umožňuje to užívateľské kalibrovanie senzorov a znamená to, že ak sa rozhodnete WDSS kalibrovať, môžete túto kalibráciu uložiť v pamäti WDSS pre použitie v budúcnosti.

Vzdialený zber dát

WDSS sa dá použiť aj na vzdialený zber dát, ďaleko mimo dosahu Bluetooth spojenia s počítačom. Dáta zo senzorov sa ukladajú do zabudovanej pamäte WDSS. Tento spôsob zberu dát je vynikajúci pre aktivity typu zábavný park, bungee jumping, skoky s padákom ako aj pre množstvo menej extrémnych aktivít. Senzory zrýchlenia zaznamenávajú údaje o zrýchleniach, pričom výškomer WDSS zaznamenáva údaje o výške, čo napríklad v zábavnom parku poskytne obraz o profile dráhy.

WDSS môže zaznamenať do svojej pamäte asi 240.000 jednotlivých dátových bodov. Umožňuje to veľa minút zberu dát. Pred tým než prenesiete dáta do počítača, môžete zber dát viac krát opakovať. Presný limitný čas možného záznamu závisí od počtu aktívnych senzorov a od frekvencie zberu dát.

Pravidlá stanovenia maximálneho počtu záznamov sú komplexné. Časť tejto zložitosti vyplýva z faktu, že WDSS má dva druhy pamätí: dočasnú pamäť (RAM) a trvalú pamäť (flash RAM). Dáta sa presúvajú z RAM do flash RAM počas ich zberu alebo až po ukončení zberu. Približné pravidla na určenie počtu bodov možného záznamu sú:

- Naraz je možné uložiť akýkoľvek záznam s celkovým množstvom približne 120.000 bodov, pozostávajúci zo samostatných dát z jednotlivých senzorov. To znamená, že ako použijete na záznam 3 senzory zrýchlenia, môžete zaznamenať v jednom zbere z každého z nich približne 40.000 hodnôt.
- Ak použijete na záznam 3 senzory zrýchlenia a výškomer, môžete zaznamenať naraz približne 30.000 hodnôt z každého z nich.
- Ak použijete na vzdialený zber dát senzor sily, počíta sa za dva senzory (je to preto, lebo je vnútri WDSS zapojený ako dva senzory).
- Dáta môžete vždy zbierať až do zaplnenia limitu 240.000 bodov, alebo až kým neurobíte 20 sád (priebehov) vzdialených meraní. Teda, aj keď nastavíte zber na plný počet 120.000 bodov (v jednej sade), môžete spustiť zber dát ešte raz a uložiť na WDSS dva takéto sady dát.
- Ak jedna sada zberu dát pozostáva z menšieho počtu dát, môžete ju niekoľko krát opakovať.

Príklad: Sada 15.000 meraní so štyrmi senzormi (bez senzora sily) znamená približne 60.000 dátových bodov, čiže takéto meranie môže opakovať pred prenosom dát z WDSS do počítača štyri krát.

Typický postup pri vzdialenom zbere dát s WDSS pozostáva z týchto krokov:

1. Keď WDSS komunikuje s počítačom (na nástrojovej lište sú dáta z WDSS v reálnom čase), urobte nastavenie zberu dát. Pomocou dialógu Data Collection nastavte dĺžku experimentu, frekvenciu zberu dát, a podmienku spúšťania (triggering) tak, aby nastavenie vyhovovalo vašej úlohe vzdialeného zberu dát.
2. V menu Experiment vyberte Remote Setup a vyberte tu WDSS. V tomto dialógovom okne potvrdíte vaše nastavenie experimentu. Ak chcete zistiť, koľko pamäte je vo WDSS voľnej, vyberte Examine Memory. Objaví sa počet voľných dátových bodov v pamäti WDSS a okno vám umožní v prípade

potreby vymazať dáta. Ak už chcete skončiť tento dialóg a použiť WDSS na vzdialený zber dát, zvolte OK.

- WDSS sa odpojí od počítača, jeho dáta zmiznú z nástrojovej lišty Logger Pro. LED Bluetooth spojenia na WDSS svieti trvalo na červeno, čo indikuje, že WDSS už nekomunikuje s počítačom.
- Vzdialený zber dát spustíte stlačením tlačidla spustenia / zastavenia vzdialeného zberu dát na WDSS. Tlačidlo je mierne pod povrchom, aby sa zabránilo jeho náhodnému stlačeniu. Stláčajte ho opatrne a ubezpečte sa, že sa spustil zber dát. Keď sa zber dát spustí, LED záznamu dát s zmení z trvalo zelenej na blikajúcu zelenú (ak je nastavená podmienka spúšťania (triggering), LED bliká oranžovo). V prípade problému, LED svieti červeno. To pravdepodobne znamená, že pamäť WDSS je plná. Pozrite si tiež časť návodu „Riešenie problémov“.

Keď ste spustili zber dát, bude pokračovať až kým:

- Nevyprší nastavený čas
- Nestlačíte opäť tlačidlo spustenia / zastavenia vzdialeného zberu dát

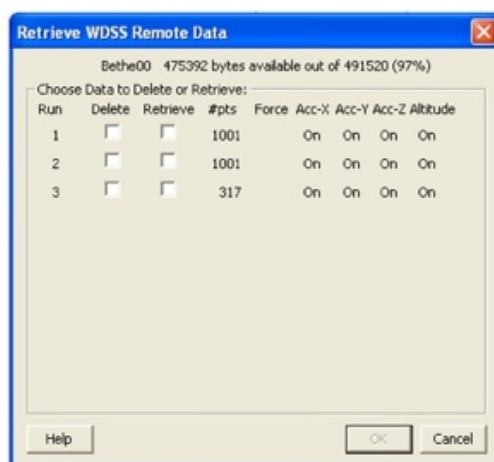
Po skončení zberu dát, LED záznamu dát začne blikáť červeno a potom sa rozsvieti trvalo na zeleno. Znamená to, že dáta boli uložené do pamäte WDSS. V čase, keď LED bliká na červeno, dochádza k presunu dát v pamäti WDSS. WDSS by sa vtedy nemalo vypínať.

Po skončení zberu dát, LED záznamu dát obvykle svieti na zeleno. Znamená to, že môžete opakovať zber dát. Opakovať ho môžete až do zaplnenia pamäte WDSS (najviac však môžete zaznamenať 20 priebehov dát). Ak ste napríklad v zábavnom parku a nastavili ste WDSS na vzdialený zber dát, pred tým ako prenesiete dáta z WDSS do počítača, môžu opakovať záznam dát zo svojich jász viacerí študenti.

Ak po ukončení zberu dát svieti LED záznamu dát na červeno, znamená to, že pamäť WDSS je plná a nie je možný ďalší zber dát. Plná pamäť nemusí znamenať, úplne plnú pamäť. Znamená to, že nie je dosť pamäte na záznam kompletnej sady dát.

Prenos dát zo vzdialeného zberu do počítača

Ak chcete preniesť dáta z WDSS do počítača, presuňte WDSS do dosahu Bluetooth počítača a nadviažte spojenie. Vyberte Experiment ► Connect Interface ► Wireless, kde môžete vybrať Remote ► Retrieve Remote Data a názov vášho WDSS zariadenia. V každom prípade, pri pripájaní WDSS k počítaču, Logger Pro zistí, že na WDSS sú dáta a vyzve vás na ich prenos do počítača. Ak vyberiete „No“, dáta ostanú na WDSS a môžete ich preniesť alebo vymazať neskôr. Ak vyberiete „Yes“, máte na výber buď preniesť dáta do momentálne otvoreného súboru alebo do iného súboru. Keď sa zobrazí dialóg prenosu dát, je v ňom zoznam všetkých dátových sád, ktoré sú v pamäti WDSS. Môžete označiť, ktoré chcete preniesť do počítača a ktoré chcete vymazať. Dáta môžete preniesť aj bez ich vymazania z WDSS, môžete ich teda preniesť aj do viacerých počítačov. Môžete mať napríklad vo WDSS dáta z jász všetkých študentov triedy v zábavného parku a preniesť ich potom do jednotlivých počítačov študentov. Dátové sady, ktoré nepotrebujete, vymažte. Uvoľníte tým pamäť WDSS.



Dialógové okno prenosu dát z WDSS

Podmienené spúšťanie (triggering)

Triggering je možný pri vzdialenom zbere dát aj pri zbere dát v reálnom čase. Zber dát pritom začne, keď budú splnené nastavené podmienky spustenia zberu dát. Zber dát s podmieneným spúšťaním prebieha podobne ako napríklad pri použití LabPro alebo iných interfejsov. Najbežnejší príklad je

štúdium kolízií. V týchto prípadoch potrebuje experimentátor obvykle rýchly zber dát, ale len v určitej časti experimentu - v blízkosti času kolízie. Dá sa to urobiť nastavením podmienky spustenia zberu dát pri prekročení určitého limitu sily alebo zrýchlenia.

Nastavenie urobíte pomocou programu Logger Pro. V menu Experiment vyberte Data Collection, alebo kliknite na ikonu stopiek na nástrojovej lište. Potom kliknite na záložku Triggering. Označte okienko Triggering ktoré je hore vľavo, a potom označte okienko On Sensor Value. Vyberte senzor, ktorého hodnota sa použije ako podmienka spustenia. Príklad: môžete nastaviť, aby došlo k spusteniu zberu dát, keď sila na senzore sily WDSS prekročí 1N.

Môžete tiež nastaviť počet bodov, ktoré sa zaznamenajú pred spustením. Tieto dáta sa nazývajú dáta pred spustením (Pre-trigger data). Dáta sa budú zberať do vyrovnávacej pamäte a požadovaný počet dátových bodov sa uloží ako dáta pred spustením. Je to vynikajúci spôsob na štúdium času tesne pred kolíziou a na zabránenie zmeškaniu momentu kolízie. Pamätajte však, že ak budete požadovať veľký počet dátových bodov pred spustením, bude potrebné vyčkať, kým sa požadovaný počet bodov nenazbiera a až tak sa splní podmienka spustenia.

Ak nastavíte vzdialený zber dát s podmieneným spustením, stlačením tlačidla spustenia/zastavenia na WDSS začne blikať LED záznamu dát oranžovo. Keď dôjde k splneniu podmienky spustenia, LED začne blikať zeleno.

Senzor sily na WDSS

WDSS obsahuje senzor na meranie sily tlaku a ťahu na všeobecné použitie. Dá sa použiť namiesto ručnej pružinovej váhy, namontovaný na vozík dynamickej dráhy sa dá použiť na štúdium kolízií a dá sa tiež namontovať na bežný laboratórny stojan. V ďalších častiach návodu nájdete množstvo experimentov, pri ktorých sa dá použiť senzor sily WDSS.

WDSS dokáže merať sily od 0,01N do 50N. V skutočnosti sa vnútri nachádzajú dva senzorové systémy. Jeden je určený na malé sily a druhý na sily väčšie ako 10N. Rozsahy sa automaticky prepínajú podľa momentálnej sily na senzore. Pre užívateľa sa to javí ako jeden senzor.

Ako funguje senzor sily

WDSS používa hliníkový záťažový element (element merania sily) v usporiadaní „dual beam“ (vnútri kovového deformačného elementu je vyrezaný otvor v tvare binokulárneho ďalekohľadu - pozn. prekl.). Záťažový element je elektromechanické zariadenie s tenzometrami zapojenými vo Wheatstonovom mostíku, ktoré prevádzajú silu na rozdielový elektrický signál. Takýto element umožňuje veľmi presné meranie sily, pričom meracia páka senzora sa len minimálne pohybuje. Má tiež dobrú dynamickú odozvu s minimálnym efektom „zvonenia“ (vlastných vibrácií pri uvoľnení pôsobiacej sily).

Ako už bolo spomínané, WDSS v skutočnosti meria silu v dvoch rozsahoch: $\pm 10\text{N}$ a $\pm 50\text{N}$. Ak je sila v rozsahu $\pm 10\text{N}$, Logger Pro odčíta silu z citlivejšieho $\pm 10\text{N}$ kanála. Ak je sila väčšia ako $\pm 50\text{N}$ Logger Pro odčíta silu z menej citlivého $\pm 50\text{N}$ kanála. Prechod medzi rozsahmi by nemal byť pozorovateľný.

Element merania sily má vnútorné zarážky, ktoré znižujú, nie však úplne eliminujú, možnosť poškodenia nadmernou silou. Netlačte ani neťahajte senzor silou väčšou ako 75N. Môžete permanentne poškodiť senzor. Ak aplikujete na senzor silu väčšiu ako 50N, môže nastať potreba jeho opätovného vynulovania.

Použitie senzora sily

Spustíte program Logger Pro a ubezpečte sa, že je spojený s WDSS. Normálne, má byť senzor sily zapnutý a na nástrojovej lište Logger Pro vidíte hodnotu sily. Ak je senzor sily vypnutý, kliknite na ikonu WDSS, ktorá je vľavo na nástrojovej lište, a zapnite ju.

Háčky alebo nárazníky

Na konci vzdialenejšom od vypínača WDSS je hliníkový výstupok so závitovou dierou. Je to výstupok senzora sily, na ktorý sa dajú namontovať rôzne nárazníky a háčky na meranie sily. Závitová diera má štandardný US #6-32 závit. Všetky nárazníky a háčky, ktoré sa dajú použiť s Vernierovým dvojrozsahovým senzorom sily, sa dajú použiť aj so senzorom sily WDSS. K WDSS sa dodávajú tieto dva nadstavce senzora sily:

Háček z drôtu s plastovou zabezpečovacou maticou. Háček sa používa na meranie ťahových (alebo aj tlačných) síl.



Háčik namontovaný na senzore sily

Gumený nárazník s 1/2" 6-32 výstupkom. Nárazník sa používa väčšinou na kolízne experimenty, alebo všeobecne na meranie tlačných síl.



WDSS s nárazníkom na dynamickej dráhe

Dôležité upozornenie: Ak by sa stalo, že sa hliníkový výstupok senzora sily vyberie von, neskrutkujte priamo do otvoru samotného záťažového elementu so závitom #6-32 nič, čo by vošlo hlbšie ako 0,5 cm do záťažového elementu. Môžete tým poškodiť samotný element.

Kalibrácia senzora sily

Kalibrácia senzora sily uložená vo WDSS obvykle postačuje pre väčšinu meraní sily. Obvykle nie je pri použití senzora sily robiť žiadnu kalibráciu. Ak však chcete zlepšiť meranie sily, môže to urobiť v nasledujúcich dvoch krokoch. Najrýchlejšie a najjednoduchšie je senzor vynulovať. To znamená, zadať určitú orientáciu a stav senzora ako stav s nulovou silou a túto hodnotu odpočítavať od meranej hodnoty senzora sily pri všetkých nasledujúcich meraniach. Vo väčšine prípadov je nulovanie všetko, čo potrebujete urobiť pred experimentmi so senzorom sily. Koriguje sa tým offset senzora a orientácia WDSS. Senzor je dostatočne citlivý na to, aby meral tiaž vlastného háčika alebo nárazníka. To znamená, že indikovaná sila závisí od orientácie WDSS. Na minimalizáciu tohoto javu umiestnite WDSS do polohy, v ktorej sa bude merať (vertikálne alebo horizontálne). V menu Experiment vyberte Zero, alebo použite ikonu Zero na nástrojovej lište. Tým definujete momentálnu hodnotu sily ako nulu (0 N).

Ak chcete zlepšiť kalibráciu senzora, je to jednoduché, postupujte podobne ako pri väčšine Vernierových senzorov a urobte dvojbodovú kalibráciu. Prvý bod kalibrácie má byť bod bez aplikovania sily.

1. Orientujte WDSS háčikom senzora sily smerom dole.
2. V menu Experiment vyberte Calibrate a vyberte senzor sily.
3. Dbajte, aby na senzor sily nepôsobila žiadna sila.
4. Ako prvú hodnotu známej sily zadajte **0**.
5. Teraz zaveste na háčik senzora sily závažie s hmotnosťou 1 kg.
6. Ako druhú známu hodnotu sily zadajte tiaž závažia (9,8 N).

Vzhľadom na spôsob fungovania senzora sily odporúčame na kalibráciu používať závažie 1 kg. Ako už bolo spomínané, WDSS v skutočnosti meria silu v dvoch rozsahoch: $\pm 10\text{N}$ a $\pm 50\text{N}$. Závažie 1kg (sily 9,8N) je dobrým kompromisom na kalibráciu oboch týchto senzorov sily.

Pamätajte, že ak kalibrujete vo vertikálnej polohe a senzor budete používať v horizontálnej alebo v inej polohe, po kalibrácii ho v danej polohe vynulujte.

Namontovanie na vozík dynamickej dráhy

WDSS sa dá za účelom experimentov so silou a zrýchlením ľahko namontovať na vozík dynamickej dráhy Vernier aj Pasco.

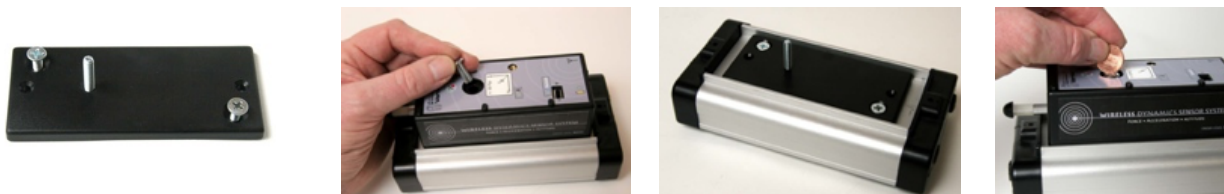
Namontovanie na vozík Vernier

Na spojenie s vozíkom Vernier je určený závitový valček $5/8 \times 10-24$ a skrutka so šesťhrannou hlavou ($1 \times 10-24$). Najprv umiestnite do strednej drážky hore na vozíku hlavu skrutky. Potom položte WDSS na vozík a závitový valček dajte do veľkého otvoru na WDSS. Valček naskrutkujte na skrutku a utiahnite. Montáž je zobrazená na nasledujúcich obrázkoch:



Namontovanie na vozík Pasco

Do plastovej montážnej dosky najprv vložte skrutku so šesťhrannou hlavou $10-24 \times 1$ ". Potom namontujte dosku na Pasco vozík pomocou dvoch skrutiek $10-32 \times 1/2$ " s plochou hlavou. Nakoniec upevnite WDSS valcovou skrutkou. Montáž je zobrazená na nasledujúcich obrázkoch:



Namontovanie prídavného závažia na vrch WDSS

Pri mnohých dynamických experimentoch je užitočné, keď môžete pridať závažie. Na WDSS sa dá namontovať jedno alebo dva Vernierove závažia s hmotnosťou 0,5 kg. Závažia majú objednávací kód MASS. Na nasledujúcich obrázkoch je na WDSS namontované jedno takéto závažie. Ak potrebujete namontovať aj druhé závažie, umiestnite ho vedľa prvého, bližšie ku senzoru sily a priskrutkujte rovnakým spôsobom.

Otvor na upevnenie závažia je umiestnený na závaží nesymetricky. Ak hrany závažia nie sú rovnobežné s hranami WDSS, korigujte problém preklopením závažia na druhú stranu.



Dôležité upozornenie: Nepoužívajte na upevňovanie závaží skrutky, ktoré by prečnievali hrúbku závažia o viac ako 8mm. Mohla by sa poškodiť elektronika vnútri WDSS.

Namontovanie WDSS na laboratórny stojan

WDSS sa dá namontovať na laboratórny stojan rôznymi spôsobmi. Použite na to tyčku dodanú s WDSS

(priemeru 9,5 mm, dĺžky 15 cm, s otvorom). Do otvoru tyčky dajte skrutku s ryhovanou hlavou a naskrutkujte ju do otvoru na konci WDSS pri konektore napájania. Skrutku utiahnite.

Druhá možnosť je použiť hliníkovú tyčku a naskrutkovať ju do uvedeného otvoru. Senzor potom upevníte na stojan pomocou pravouhlej svorky.



WDSS upevnený skrutkou s ryhovanou hlavou

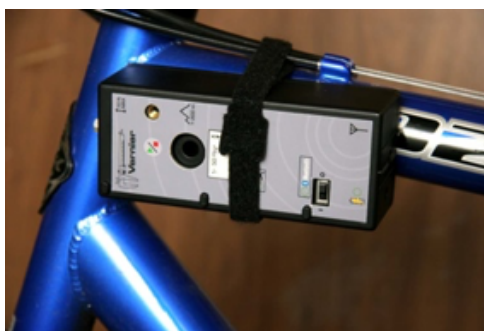


WDSS s naskrutkovanou tyčkou

Experimenty so senzorom sily pri držaní v ruke

Hliníková tyčka sa dá použiť aj ako držadlo WDSS pri experimentoch z ruky. Dajte pozor na veľké sily pôsobiace mimo jej osi, aby ste nepoškodili tyčku alebo WDSS.

Senzory zrýchlenia na WDSS



WDSS upevnený na bicykli na štúdium zrýchlenia

Vnútri WDSS je trojosový senzor na meranie zrýchlení v rozsahu -6 až +6 g. Pomocou programu Logger Pro môžete graficky zobrazit jednotlivé zložky zrýchlenia a vypočítať celkové zrýchlenie. Senzory zrýchlenia sa dajú použiť pri celom rade experimentov a demonštrácií v triede ako ak vonku. V triede sa dajú napríklad použiť na vozíku dynamickej dráhy na štúdium Newtonových zákonov, a na otáčajúcich sa objektoch na štúdium dostredivého zrýchlenia. Vonku je tiež veľa možností ich využitia od automobilov cez ihriská až po zábavné parky. Príklady na experimenty so zrýchlením sú uvedené v tomto návode ďalej, v časti experimentov.

Ako fungujú senzory zrýchlenia

Bezdrôtový senzorový systém obsahuje trojosový lineárny senzor zrýchlenia s elektronickým interfejsom. Jednotlivé senzory zrýchlenia sú umiestnené navzájom kolmo. Samotné senzory pozostávajú z kremíka, v ktorom sú vytvorené veľmi tenké výbežky v tvare prstov. Výbežky 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. Signál je filtrovaný a odosielaný do analógového vstupu WDSS. Údaje o zrýchleniach v jednotlivých osiach sú buď prenášané cez Bluetooth do počítača, alebo pri vzdialenom zbere dát ukladané do zabudovanej pamäte.

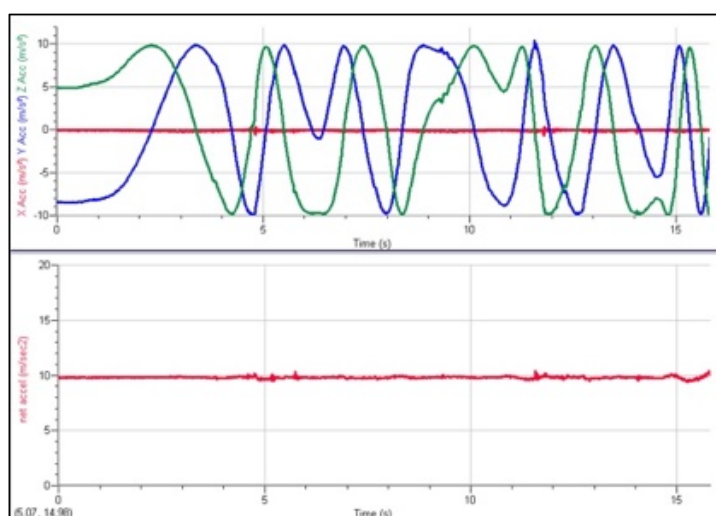
Zrýchlenie sa obvykle meria v metroch za sekundu na druhú (m/s^2) alebo v „g“. Jedno „g“ predstavuje zrýchlenie vyvolané zemskou príťažlivosťou, čo je približne $9,8 \text{ m/s}^2$. Senzor zrýchlenia dokáže merať zrýchlenia v rozsahu -6 g až +6 g (-59 m/s^2 až $+59 \text{ m/s}^2$). Je rozsah zrýchlení, ktoré dobre akceptuje ľudské telo. Pri kolíziách sa však dosahujú oveľa väčšie zrýchlenia. Napríklad pád WDSS na tvrdú podložku z výšky len niekoľkých centimetrov môže spôsobiť zrýchlenia rádu stoviek g. Senzor zrýchlenia

vo WDSS vydrží bez poškodenia zrýchlenia do 3000 g. Senzor zrýchlenia je citlivý na dynamické zrýchlenia (napr. vibrácie) ako aj na statické zrýchlenia (napr. zemská príťažlivosť). Jednotlivé senzory sú navzájom kolmé a sú v smeroch označených na nálepke hore na WDSS ako X, Y a Z.

Ak chcete zistiť, či sú senzory zrýchlenia správne nakalibrované, vyskúšajte ich citlivosť na zemskú príťažlivosť. Ak je os daného senzora vodorovná, jeho údaj by mal byť blízky nule. Ak šípka reprezentujúca smer daného senzora ukazuje nahor, jeho údaj by mal byť $+9,8 \text{ m/s}^2$, a šípka smeruje dole, údaj by mal byť $-9,8 \text{ m/s}^2$. Ak WDSS položíte horizontálne tak, že nálepka s údajmi na ňom bude hore, osi X a Y sú horizontálne a ich údaje majú byť okolo nuly. Údaj osi Z by mal byť $+9,8 \text{ m/s}^2$. Vyskúšajte si to pri pozorovaní údajov z WDSS na nástrojovej lište Logger Pro. Predtým si aktivujte príslušné senzory kliknutím na ikonu WDSS, ktorá je na nástrojovej lište.

V Logger Pro môžete vytvoriť v tabuľke dát nový stĺpec „New Column“ na vypočítanie druhej odmocniny súčtu druhých mocnín jednotlivých osových zrýchlení. Táto hodnota predstavuje veľkosť vektora celkového zrýchlenia, niekedy sa nazýva aj skalárnym zrýchlením. Používa sa pri viacerých experimentoch s WDSS. Príklad nájdete, keď si otvoríte: Experiment Files/Probes and Sensors/WDSS Scalar Acceleration. Ak si to chcete pripraviť sami, v menu Data vyberte New Calculated Column. Pomenujte nový stĺpec tabuľky ako „Net Acceleration“ a definujte ho rovnicou: $\sqrt{(\text{X-Axis Acceleration})^2 + (\text{Y-Axis Acceleration})^2 + (\text{Z-Axis Acceleration})^2}$. Pri zápise podobných rovníc kliknite na tlačidlá Functions a Columns, nepíšte ich klávesnicou.

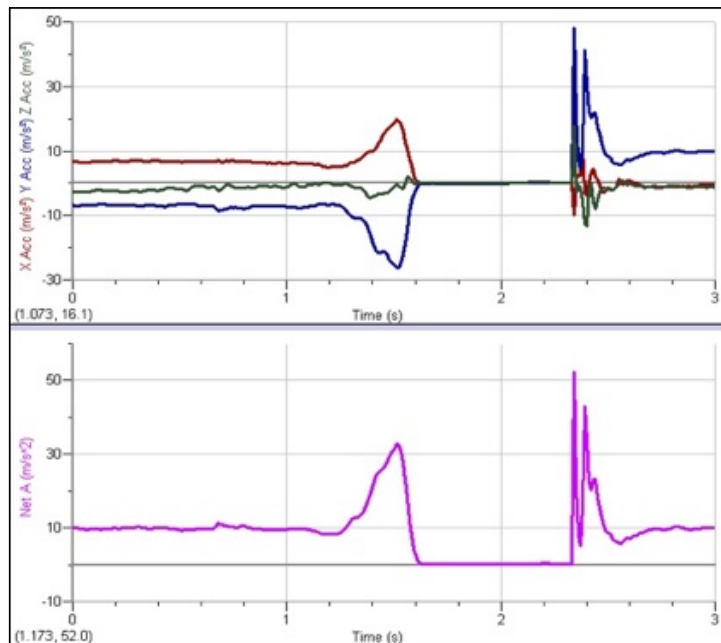
Toto skalárne zrýchlenie alebo veľkosť vektora celkového zrýchlenia je často užitočné monitorovať a graficky zobrazovať. Ak je WDSS v pokoji, jeho hodnota je $9,8 \text{ m/s}^2$, ak WDSS voľne padá, jeho hodnota je nula. Orientácie WDSS pritom na túto hodnotu nemá vplyv. Aby ste porozumeli ako to funguje, skúste držať WDSS v ruke, pozorujte údaje zo senzorov zrýchlení pomocou Logger Pro a veľmi pomaly otáčajte WDSS okolo osi X. Výsledky vidíte na nasledujúcom obrázku. Hodnoty zrýchlení v osiach Y a Z, na grafe v hornej časti obrázku, sa drasticky menia. Na grafe v spodnej časti obrázku je celkové zrýchlenie (ako druhá odmocnina súčtu druhých mocnín jednotlivých osových zrýchlení). Jeho údaj je počas otáčania WDSS konštantný, blízky hodnote $9,8 \text{ m/s}^2$.



Monitorovanie zrýchlení počas pomalého otáčania WDSS

Ďalším spôsobom ako porozumieť funkcii senzorov zrýchlenia a ako využiť stĺpec tabuľky s výpočtom celkového zrýchlenia, je jemne vyhodiť WDSS do vzduchu. Z bezpečnostných dôvodov najprv odmontujte z WDSS háčik alebo nárazník z výstupku senzora sily. Najcitlivejšou súčiastkou WDSS je element merania sily. Ak WDSS spadne na príslušenstvo namontované na výstupok senzora sily, ľahko sa môže tento senzor poškodiť. Najlepšie je WDSS zavesiť na lanko uchytené za veľké oko na konci WDSS tak, aby ak WDSS spadne, nemohlo dopadnúť na podlahu.

V hornej časti nasledujúceho obrázku sú tri grafy jednotlivých zrýchlení, v spodnej časti je graf celkového zrýchlenia. Všimnite si, že počas voľného pádu sú údaje zo všetkých troch senzorov zrýchlenia ako aj celkové zrýchlenie blízke nule a nezávisí to od toho, či počas voľného pádu WDSS mení pomaly svoju orientáciu.



Jednotlivé zložky zrýchlenia a celkové zrýchlenie počas hodu WDSS

Senzory zrýchlenia dokážu merať malé zrýchlenia s minimálnym signálovým šumom. Šum je obvykle rádu $0,1 \text{ m/s}^2$ od vrcholu k vrcholu. Kalibrácia sa mierne mení s teplotou, vo väčšine situácií však nespôsobuje problémy.

Terminológia používaná pri senzoroch zrýchlenia je u študentov aj u učiteľov častým zdrojom nedorozumení. Pri konci tohto návodu sme preto k tejto veci pridali špeciálnu časť „Časté otázky pri senzoroch zrýchlenia“.

Presné umiestnenie senzorov zrýchlenia na WDSS

Pri niektorých experimentoch, napríklad pri štúdiu dostredivého zrýchlenia na tanieri gramofónu, je potrebné vedieť, kde sú na WDSS skutočne umiestnené senzory zrýchlenia. Sú presne pod stredom grafu orientácie ich osí, 24 mm (0,95 inch) nad spodnou plochou WDSS.

Kalibrácia senzorov zrýchlenia

Senzory zrýchlenia na WDSS obvykle nepotrebujú kalibráciu. Boli dostatočne nakalibrované u Verniera. Senzory zrýchlenia sú citlivé na gravitačné pole zeme, tento ich ofset však môžete odstrániť nulovaním. Má to však význam len vtedy, keď sa počas experimentu nemení orientácia WDSS. Ak chcete niektorý senzor zrýchlenia vynulovať, v menu Experiment vyberte Zero a zvolíte senzory, ktoré chcete vynulovať. Môžete tiež kliknúť na ikonu nulovania na nástrojovej lište.

Ak vynulovanie nepostačuje na správnu kalibráciu senzorov, môžete senzory zrýchlenia nakalibrovať. Ako sme už spomínali, senzory zrýchlenia sú citlivé na gravitačné pole zeme, ako aj na zrýchlenie. Sťažuje to síce interpretáciu nameraného zrýchlenia, ale poskytuje to jednoduchú metódu na kalibráciu. Vo WDSS sú tri senzory zrýchlenia, preto musíte kalibráciu zopakovať trikrát. Pri kalibrácii osi X:

1. Pri prvom kalibračnom bode dajte WDSS do polohy, keď šípka osi X smeruje hore.
2. Definujte tento bod ako $+9,8 \text{ m/s}^2$, alebo ako 1g.
3. Pri druhom kalibračnom bode otočte WDSS tak, aby šípka osi X smerovala dole.
4. Definujte tento bod ako $-9,8 \text{ m/s}^2$, alebo ako -1g.
5. Keď bude os X vodorovne, senzor zrýchlenia bude teraz ukazovať nulu.
6. Opakujte tento postup aj pri ostatných dvoch osiach.

Použitie len jedného senzora zrýchlenia kvôli jednoduchosti

Kvôli jednoduchosti, najmä pri práci so začínajúcimi študentmi, je lepšie začať len s meraním zrýchlenia v jednej osi. Namontujte WDSS tak, aby bola daná os v smere pohybu, a ostatné senzory zrýchlenia vypnite. Smery jednotlivých osí X, Y a Z sú vyznačené na nálepke hore na WDSS. S jedným senzorom

zrýchlenia môžete robiť napríklad tieto experimenty: 1. a 3. Newtonov zákon, zrýchlenie pri jednoduchom harmonickom pohybe. štúdium zrýchlenia tela človeka pri vertikálnych skokoch a štúdium dostredivého zrýchlenia.

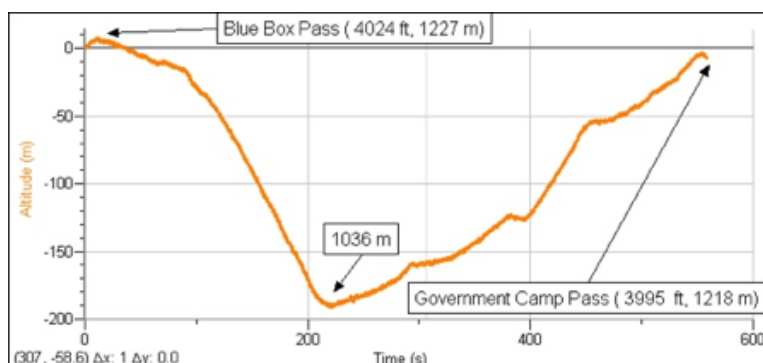
Výškomer na WDSS



Výškomer na WDSS meria tlak vzduchu a prevádza ho na výšku. Rozsah merania je ± 300 metrov, alebo ± 1000 stôp. WDSS udáva relatívnu výšku (v metroch alebo v stopách). Relatívna výška znamená, že bod na počiatku merania sa považuje za nulovú výšku. Dôvodom je, že často je potrebné sledovať počas experimentu práve zmenu výšky. Ako príklady môžeme uviesť jazdu na horskej dráhe, skok padákom alebo bungee jumping. Absolútna výška pritom nie je dôležitá.

Tlak vzduchu sa mení s výškou veľmi pomaly, WDSS výškomer je určený na meranie zmien výšky o 5 metrov a viac. Menšie zmeny výšky nemusia byť spoľahlivo zaznamenané.

Na nasledujúcom grafe sú zmeny výšky zaznamenané výškomerom WDSS počas jazdy autom v horách.

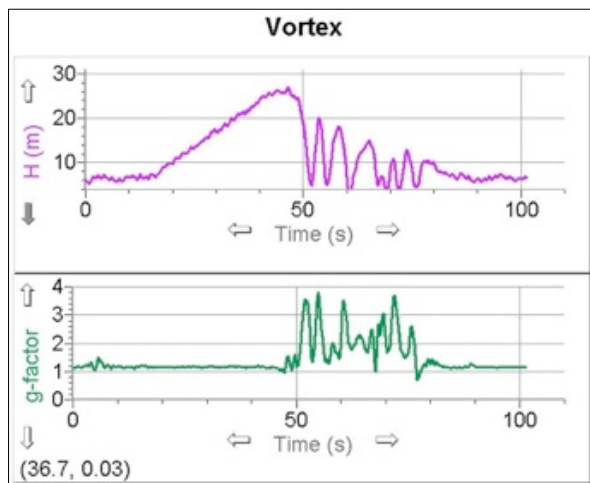


Meranie výšky výškomerom WDSS počas jazdy v horách

Z grafu vidno že WDSS udáva relatívnu výšku voči bodu začiatku merania. Auto klesalo do údolia medzi dvoma priesmykmi v horách, teda výška je udávaná záporne.

Ak preniesiete WDSS do miesta s veľmi rozdielnou nadmorskou výškou, pred vzdialeným zberom dát ho najprv vypnite a opäť zapnite. Tým umožníte elektronike WDSS prispôbiť sa veľkej zmene v tlaku vzduchu. Napríklad, ak pripravíte WDSS na vzdialený zber dát v laboratóriu a preniesiete ho na zber dát do hôr, pred začiatkom merania ho v horách vypnite a zapnite. Nastavenie vzdialeného zberu dát sa pritom zachová.

Vo väčšine prípadoch sa používa výškomer spolu s inými senzormi WDSS. Typickým príkladom je použitie WDSS v zábavnom parku. Príklad merania je na nasledujúcom obrázku. Všimnite si, že obidva grafy majú rovnaké časové osi. Horný graf ukazuje vertikálny profil dráhy. V tomto experimente boli použité tri senzory zrýchlenia a výškomer. Video z tohto experimentu nájdete v programe Logger Pro 3, v záložke Sample Movies. Dáta a video vyhotovil Clarence Bakken. Ďalšie informácie o meraniach v zábavnom parku nájdete na našej web stránke: www.vernier.com/cmat/datapark.html. Na tej istej stránke nájdete aj návod *Data Collection at the Amusement Park*, ktorý si môžete stiahnuť.



Zber dát na dráhe Vortex

Ako funguje výškomer

Vo WDSS sa nachádza teplotne kompenzovaný senzor tlaku, továrensky nakalibrovaný. Senzor je podobný senzoru, ktorý sa nachádza vo Vernierovom barometri (BAR-BTA). Má membránu, ktorá sa pod tlakom vzduchu prehýba. Senzor je nastavený na meranie absolútneho tlaku, na jednej strane membrány je teda vákuum. Výstupom senzora je napätie, ktoré sa mení lineárne s absolútnym tlakom. Jeho súčasťou sú aj obvody, ktoré minimalizujú chyby vznikajúce zmenou teploty. Napriek tomu, keďže meriame veľmi malé zmeny tlaku vzduchu, najlepšie výsledky dosiahnete, keď budete senzor udržiavať počas merania pri takmer konštantnej teplote.

Elektronika WDSS prevádza hodnoty tlaku na výšku pomocou aproximácie, v ktorej pri relatívne malých zmenách výšky, zmena tlaku závisí na výške lineárne. (Graf závislosti tlaku vzduchu na výške je v relatívne úzkom rozsahu výšok približne lineárny, so záporným sklonom). Keďže WDSS vždy na začiatku zberu dát nuluje výšku, jediným kalibračným faktorom je pomer výšky a tlaku (sklon grafu výška-tlak).

Výškomer je tiež veľmi mierne citlivý na zrýchlenie, pretože zotrvačná sila pôsobí na membránu senzora. Ak prudko zrýchľujete WDSS, môžete si všimnúť viditeľnú zmenu výšky. Senzor môže tiež zaznamenávať prúdenie vzduchu. Tento efekt je však tiež malý.

Kalibrácia výškomeru WDSS obvykle nie je potrebná. Ak ju však chcete urobiť, dá sa to urobiť dvomi spôsobmi.

1. Manuálnou zmenou sklonu v kalibračnej rovnici
 - a. Kliknite na ikonu WDSS na nástrojovej lište
 - b. V dialógu nastavenia WDSS kliknite na tlačidlo Configure v poli Altimeter, rozťahne sa jeho menu.
 - c. Kliknite na Calibrate
 - d. V dialógu nastavenia senzora kliknite na záložku Equation
 - e. Zmeňte sklon kalibračnej rovnice

alebo:

2. Urobte bežnú dvojbodovú kalibráciu tak, že umiestnite WDSS do dvoch rôznych výšok. Keďže budete musieť pritom premiestniť senzor mimo dosahu Bluetooth rádia, musíte pritom premiestniť aj počítač. Najlepšie je preto použiť laptop.

Experimenty s použitím bezrôtového dynamického systému

Experimenty len s použitím senzora sily

Kolízne experimenty

Štúdiom síl počas kolízií vozíka s pevnou prekážkou získate informácie o priebehu síl počas kolízií. Môžete meniť nárazník, alebo materiál, umiestnený medzi pevnú prekážku a nárazník senzora sily. Je to

výborný spôsob ako ukázať študentom, že ak kolízia trvá dlhšie, znižujú sa maximálne sily. Je to veľmi dôležité pri bezpečnosti automobilov (nárazníky, deformačné zóny a iné).



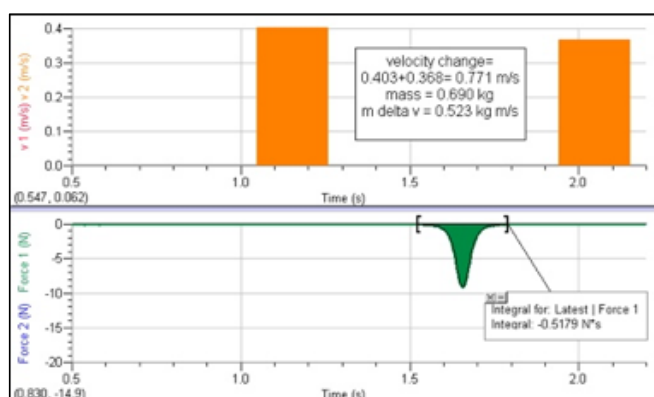
Zostava experimentu pre impulz - hybnosť pomocou adaptéra dynamickej dráhy

Namontujte WDSS na vozík dynamickej dráhy a nechajte ho naraziť na pevný objekt na konci dráhy. Druhou možnosťou je namontovať WDSS na koniec dráhy pomocou tyčky, ktorú umiestnite do jeho otvoru, a narážať vozíkom na nárazník na výstupku senzora sily WDSS.

Klasickým experimentom je porovnať na grafe integrál závislosti sily na čase so zmenou hybnosti vozíka pri zrážke. Zobrazte graf závislosti sily na čase v programe Logger Pro a použite nástroj Integral. Aby ste ho mohli porovnať so zmenou hybnosti, potrebujete poznať rýchlosť vozíka pred a po zrážke. Sú na to tri možnosti:

1. Pomocou Logger Pro, WDSS, LabPro a detektora pohybu nakreslite grafy pohybu a sily v závislosti na čase. Z grafu závislosti rýchlosti od času odčítajte rýchlosť pred a po zrážke.
2. Pomocou Logger Pro, WDSS a detektora pohybu Go!Motion nakreslite grafy pohybu a sily v závislosti na čase. Z grafu závislosti rýchlosti od času odčítajte rýchlosť pred a po zrážke.
3. Použite fotobránu, ktorú napojíte na LabPro. Ďalej použite WDSS a Logger Pro a zmerajte rýchlosť vozíka pred a po zrážke. Na to môžete na vozík umiestniť napríklad vizitku a použiť ju ako „vlajku“, ktorej prechodom cez fotobránu zmeriate rýchlosť vozíka. Logger Pro dokáže zmerať čas, prechodu takejto vlajky cez fotobránu pred a po kolízii.

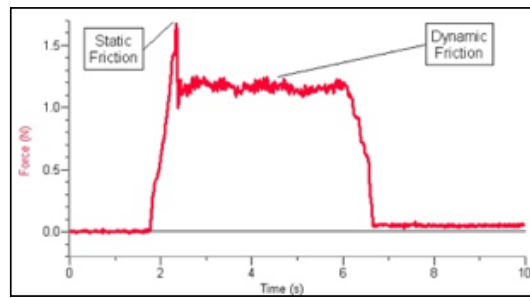
Na nasledujúcom obrázku je príklad merania kolízie vozíka dynamickej dráhy s magnetickým odpudzujúcim nárazníkom, pomocou WDSS namontovanom na vozíku. Rýchlosť pred a po kolízii bola meraná fotobránu.



Experiment impulz - hybnosť pomocou WDSS

Štúdium trenia

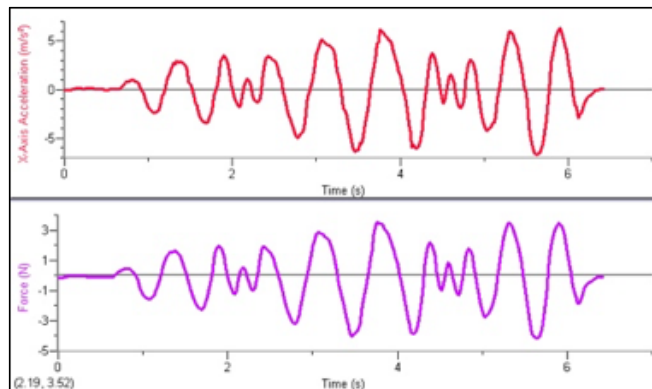
Senzor sily na WDSS použite ako silomer. Od háčika senzora sily na WDSS natiahnite lanko k hranolu z dreva. Ťahajte hranol za WDSS po rovnej podložke. Študujte, ako sa sila mení v závislosti od plochy a typu podložky. Môžete tiež porovnať statickú a dynamickú silu.



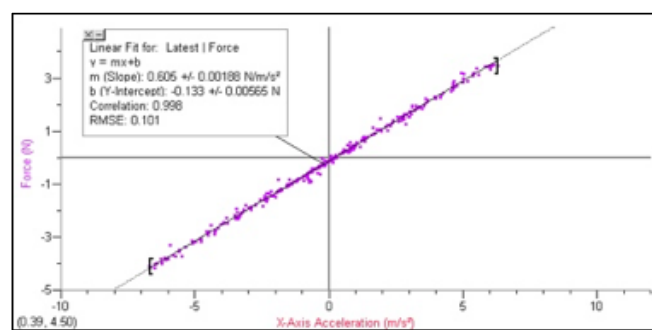
Štúdium trenia pomocou WDSS

Experimenty s použitím senzora sily a senzorov zrýchlenia

- **Druhý Newtonov zákon:** Namontujte WDSS na vozík dynamickej dráhy. Tlačte a ťahajte horizontálne za háčik senzora sily na WDSS. Merajte zrýchlenie systému v závislosti na sile. Tento experiment je popísaný v učebnici *Physics with Computer*. Príklady nameraných výsledkov sú na nasledujúcich obrázkoch. Na horných dvoch grafoch sú priebehy zrýchlenia a sily. Na spodnom grafe sú tie isté veličiny vynesené ako závislosť sily na zrýchlení. Všimnite si, že dáta sú dobre lineárne a majú sklon $0,605 \text{ N/m/s}^2$, čo znamená $0,605 \text{ kg}$. Dobře to súhlasí s nameranou hmotnosťou vozíka s WDSS, čo bolo v tomto prípade $0,614 \text{ kg}$.

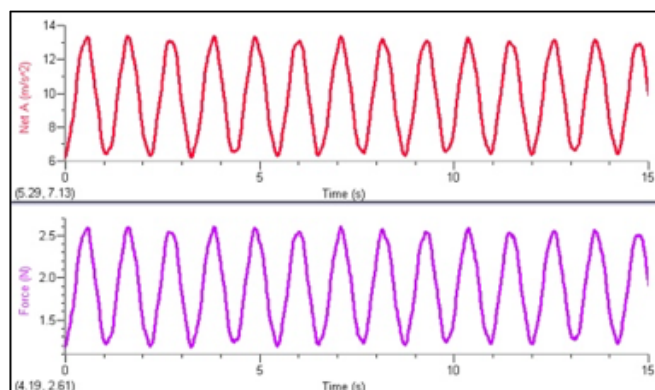


Grafy sily a zrýchlenia



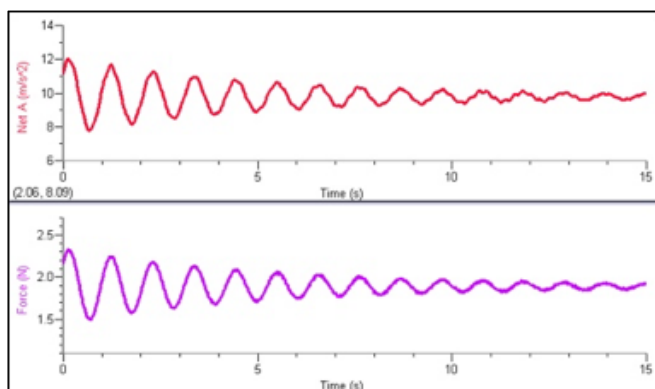
Závislosť sily na zrýchlení s jej lineárnou aproximáciou

- **Jednoduchý harmonický pohyb:** Zaveste WDSS za háčik jeho senzora sily na koniec pružiny tak, aby mohol vykonávať jednoduchý harmonický pohyb. Zobrazte na grafe silu a vertikálne zrýchlenie. Príklad takéhoto grafu je na nasledujúcom obrázku:



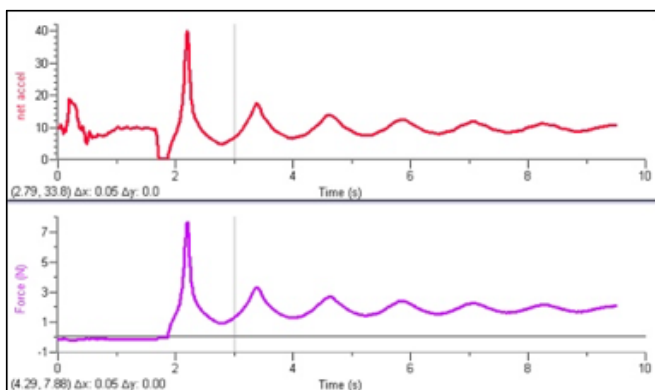
Zrýchlenie a sila pri jednoduchom harmonickom pohybe

- **Tlmený harmonický pohyb:** Zaveste WDSS za háčik jeho senzora sily na koniec gumeného pásu tak, aby mohol vykonávať harmonický pohyb. Pohybová energia sa bude strácať oveľa rýchlejšie ako v predchádzajúcom prípade, čo uvidíte na zmene amplitúdy pohybu.



Grafy sily a zrýchlenia namerané pomocou WDSS zavesenom na gumenom páse (tlmený harmonický pohyb)

- **Pohyb kyvadla:** Použite WDSS ako závažie kyvadla, zaveste ho za háčik senzora sily. Vyneste na grafe silu a zrýchlenie.
- **Model bungee skokana:** Upevnite WDSS na elastické lanko a nechajte ho padnúť tak, ako padá bungee skokan.



Model dát bungee skokana

Experimenty s použitím iba senzorov zrýchlenia

Príklady niektorých výborných a jednoduchých experimentov s použitím vždy iba jedného senzora zrýchlenia:

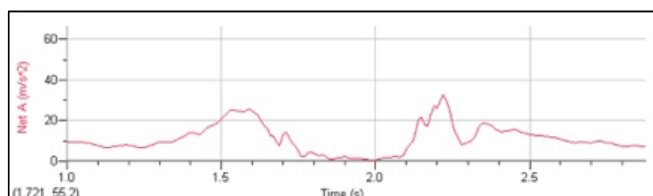
- Meranie zrýchlenia dynamického vozíka pri jeho pohybe dole naklonenou rovinou.
- Meranie závislosti zrýchlenia na čase vo výťahoch, na autíčku na diaľkové ovládanie, na bicykloch alebo v skutočných automobiloch.
- Použitie senzora zrýchlenia na meranie sklonu objektov. Jednotlivé kanály senzora zrýchlenia na WDSS sú citlivé na vertikálnu zložku zemskej príťažlivosti, ich údaje sa menia so zmenou orientácie z horizontálnej na vertikálnu. Dajú sa tým merať uhly s presnosťou niekoľkých stupňov. V programe Logger Pro vytvorte nový vypočítaný stĺpec a definujte ho ako:

$\text{Sklon} = \text{ASIN}(\text{X-Axis Acceleration} / 9.8)$, alebo

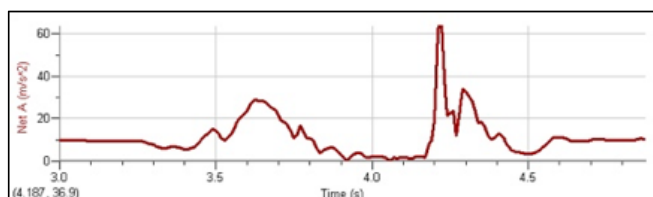
$\text{Sklon} = \text{ATAN}(\text{X-Axis Acceleration} / \text{Z-Axis Acceleration})$.

Senzor zrýchlenia starostlivo vynulujte. Pamätajte, že Logger Pro sa dá nastaviť na meranie uhlov a na trigonometrické výpočty buď v stupňoch alebo v radiánoch. Nastavenie skontrolujete v menu File v položke Settings For (*názov súboru*).

- Upevnite WDSS na svoj opasok a skáčte. Merajte zrýchlenie pri doskoku s pokrčenými a s vystretými kolenami.

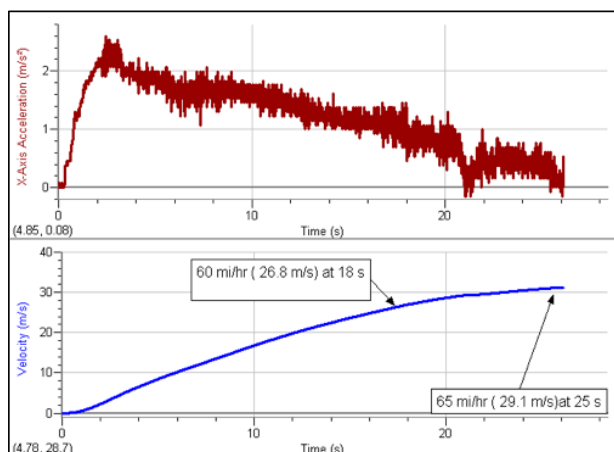


Doskok s pokrčenými kolenami



Doskok s vystretými kolenami

- Merajte zrýchlenie automobilu. WDSS sme položili na podlahu automobilu orientovaný osou X smerom dopredu. Automobil sa rozbiehal z pokoja na rýchlosť 65 míl/h (104,6 km/h; 29,1 m/s). V programe Logger Pro sme vytvorili nový vypočítaný stĺpec s integrálom zrýchlenia v osi X. Nazvali sme ho Velocity (rýchlosť). Priebehy sú na nasledujúcom obrázku. Môžete si pritom v určitých intervaloch zaznamenávať aj údaj tachometra automobilu a porovnať ho s nameranými dátami.



Zrýchlenie automobilu s automatickou prevodovkou

- Jeden zo senzorov zrýchlenia na WDSS sa dá použiť aj na štúdium kruhového pohybu a dostredivého zrýchlenia. Pri zbere dát môžete meniť uhlovú rýchlosť aj polomer.

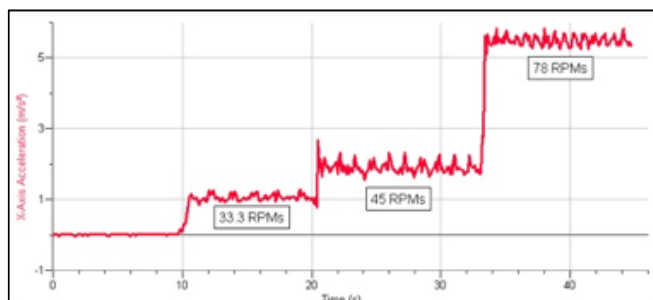


WDSS na kolese bicykla



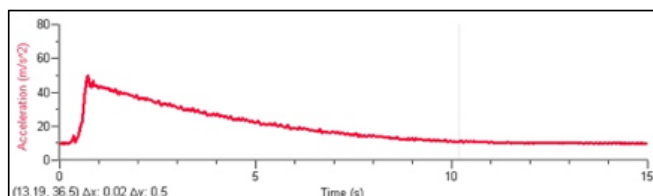
WDSS na gramofóne

Na nasledujúcom obrázku je graf dostredivého zrýchlenia WDSS na tanieri gramofónu pri rôznych rýchlostiach otáčania taniera (33,3 ot./min.; 45 ot./min.; 78 ot./min.).

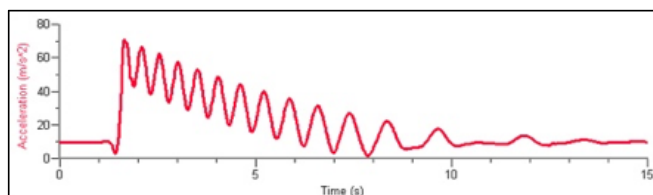


Dostredivé zrýchlenie na gramofóne

Namontujte WDSS na voľne otáčajúce sa koleso, napríklad na koleso z bicykla. Roztočte ho a nechajte ho postupne spomaľovať. Na nasledujúcich grafoch sú údaje získané na kolese namontovanom s osou v smere vertikálnom a horizontálnom.



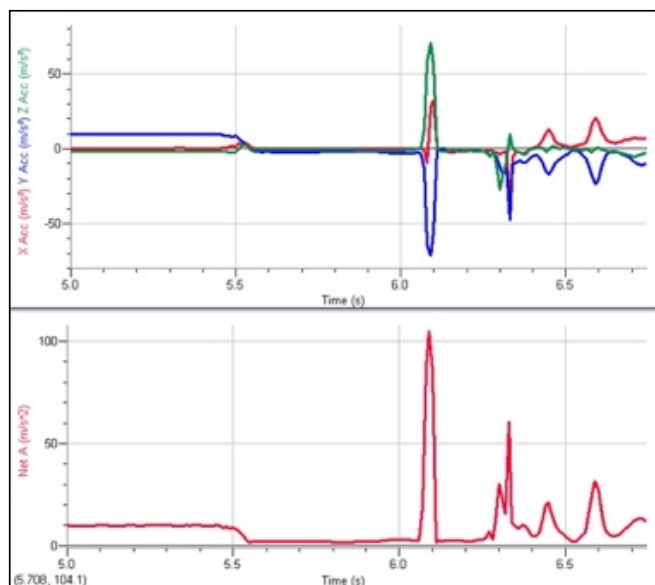
Dostredivé zrýchlenie (koleso v horizontálnej rovine)



Dostredivé zrýchlenie (koleso vo vertikálnej rovine)

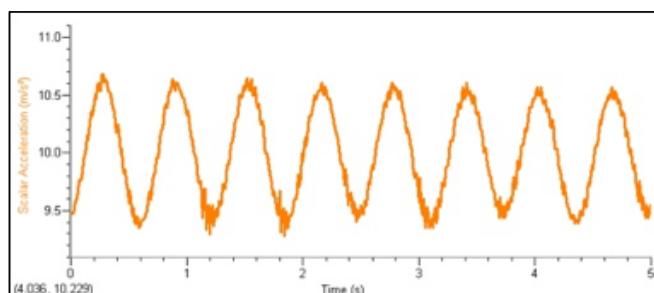
Pri ďalších experimentoch je potrebné použiť viac ako jeden senzor zrýchlenia, aby ste mohli merať celkové zrýchlenie. Nastavenie urobíte najjednoduchšie tak, že v Logger Pro otvoríte súbor Experiment Files/Probes and Sensors/WDSS/Scalar Acceleration. Druhou možnosťou je v menu Data vybrať New Calculated Column a vytvoriť nový vypočítaný stĺpec ako druhú odmocninu zo súčtu druhých mocnín údajov z jednotlivých senzorov zrýchlenia.

- Experimenty s voľným pádom: Do veľkej krabice dajte baliaci materiál (kúsky baliacej peny, bublinkovú fóliu a podobne). Spustíte meranie na WDSS a nechajte ho spadnúť do krabice. Počas pádu budú údaje všetkých troch senzorov zrýchlenia ako aj celkové zrýchlenie nulové.



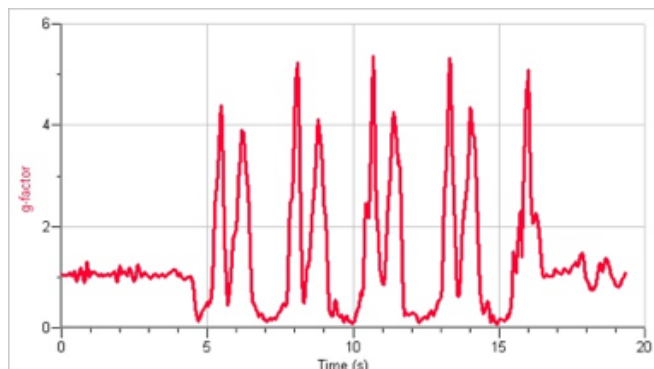
WDSS počas voľného pádu

- Experimenty s kyvadlom: Na nasledujúcom obrázku je príklad grafu získaného z WDSS zaveseného ako kyvadlo. Kyvadlo sa kývalo vo veľkom uhle, takže uhol senzora zrýchlenia sa podstatne menil. Experiment len s jedným senzorom zrýchlenia je v tomto prípade nepostačuje. Na grafe je preto vynesené celkové zrýchlenie. (Diskusiu o akcelerácii na kyvadle nájdete v aprílovom vydaní *The Physics Teacher* z roku 1995).



Zrýchlenie WDSS použitého ako závažie kyvadla

- Experimenty s WDSS umiestneného vo vrecku alebo na Vernierovej data veste skateboardistu alebo tanečníka. Na nasledujúcom obrázku je príklad takéhoto merania. Film so skateboardistom z tohto experimentu sa nachádza v priečinku Sample Movies v Logger Pro verzie 3.4.5, v priečinku Halfpipe.

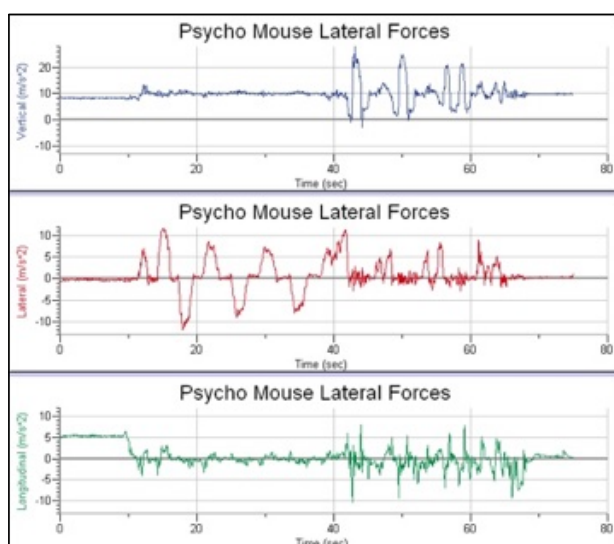


Zrýchlenie na U-rampe

Výborným experimentom je použitie WDSS pri jazde na horskej dráhe v zábavnom parku. Na nasledujúcich grafoch sú príklady použitia len senzorov zrýchlenia WDSS. V ďalšom texte nájdete aj príklady s použitím aj výškomeru.

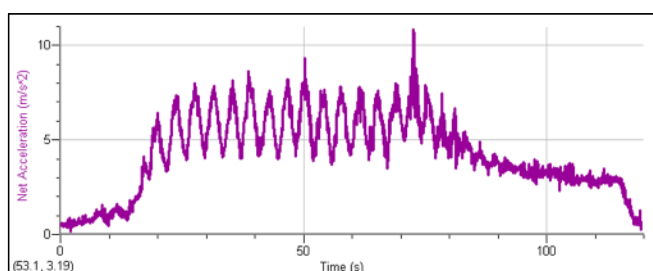


Nasledujúce dáta nameral Clarence Bakken pomocou WDSS v Paramount Great America (CA) na dráhe Psycho Mouse.



Dáta namerané na Psycho Mouse

Dáta sa dajú niekedy zbierať v zábavnom parku aj v „reálnom“ čase, to znamená že WDSS pritom komunikuje s počítačom. Na nasledujúcom obrázku je takýto príklad z dráhy Celebration Swings v Paramount Great America v Kalifornii, ktorá je dostatočne malá, aby sa dáta dali počas celej jazdy prenášať z WDSS do počítača.



Dáta v reálnom čase z dráhy Celebration Swings

Podobné experimenty sa dajú robiť na ihriskách, s tanečníkmi a pri iných pohybujúcich sa objektoch, ktoré zostávajú v dosahu Bluetooth počítača.

Experimenty s použitím senzorov zrýchlenia a výšomeru.

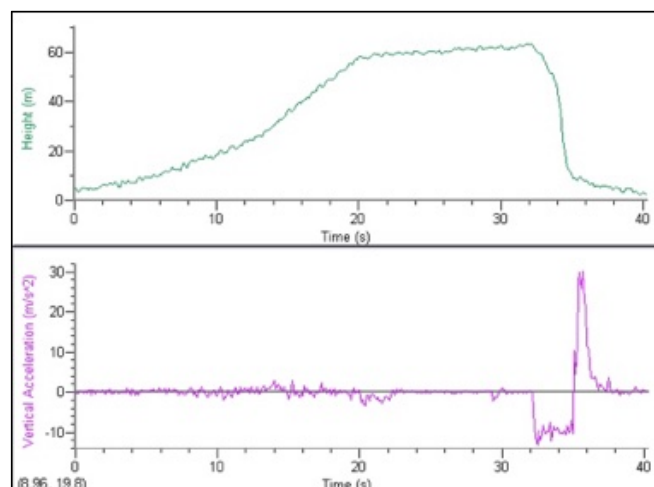
WDSS bol skonštruovaný na použitie v zábavných parkoch a na ihriskách. Má tri senzory zrýchlenia, ktoré môžu zaznamenávať dáta vo všetkých smeroch a v prípade potreby program Logger Pro môže vypočítavať celkové zrýchlenie. Výškomer WDSS sa dá použiť na záznam polohy na dráhe. Vo všeobecnosti nie je dôležité či je meraná výška dobre nakalibrovaná, údaje o výške poskytujú výškový profil dráhy, teda môžete z nich vidieť, kde sa nachádzajú najvyššie a najnižšie body dráhy.

WDSS môže uložiť do svojej zabudovanej pamäte viac ako 200.000 dátových bodov. Pri frekvencii 25 vzoriek za sekundu a pri zapnutí všetkých troch senzoroch zrýchlenia a výškomeru, to umožňuje 45 minút celkového záznamu. Pred tým ako prenesiete dáta do počítača, môžete zaznamenať niekoľko priebehov dát.

Nastavenie WDSS na záznam dát.

1. Spojte WDSS s bežiacim programom Logger Pro a nastavte dĺžku experimentu, frekvenciu záznamu dát a aktívne senzory. Môžete tiež otvoriť súbor, ktorý sme pripravili na zber dát na dráhe zábavného parku. Nachádza sa v priečinku Experiment Files/Probes and Sensors/WDSS, a nazýva sa Amusement Park. Tým nastavíte WDSS na zber dát všetkými tromi senzormi zrýchlenia aj výškomerom a na počítanie celkového zrýchlenia. Frekvencia zberu dát bude 25 bodov za sekundu a dĺžka experimentu bude 120 sekúnd.
2. Pripravte WDSS na vzdialený zber dát cez Setup/Remote Data Collection, v menu Experiment.
3. Zvoľte WDSS. Zobrazí sa tým dialógové okno s nastavenými parametrami zberu dát. Môžete ich skontrolovať, čo sú nastavené správne.
4. Kliknutím na OK nastavíte WDSS na vzdialený zber dát. Všimnite si, že LED Bluetooth spojenia sa zmení na červenú, čo indikuje, že WDSS je odpojený a pripravený na spustenie vzdialeného zberu dát.
5. Na začiatku jazdy na dráhe stlačte tlačidlo záznamu dát na WDSS. Všimnite si, či LED záznamu dát začne blikať na zeleno.
6. Na konci jazdy opäť stlačte tlačidlo záznamu dát. (Ak ho nestlačíte, zber dát bude pokračovať, až kým nevyprší nastavený čas alebo kým sa nezaplní zabudovaná pamäť WDSS).

Pri množstve experimentov v zábavnom parku nepotrebuje viac ako jeden senzor zrýchlenia. Jazdy, s pohybom v jednom smere, sú pre študentov najjednoduchšie na pochopenie. Na nasledujúcom obrázku sú dáta z jazdy na Drop Zone v zábavnom parku v Kalifornii. Pri tejto jazde pasažieri padajú po dráhe asi 60 m a potom brzdia pôsobením magnetických síl na vozík na princípe Lenzovho zákona. Na spodnom grafe je zrýchlenie, na hornom je výškový profil pohybu (meraný výškomerom).



Dáta z jazdy na Drop Zone

Technické údaje WDSS

Rozmery: 12,1 x 5,3 x 3,9 cm

Hmotnosť: okolo 200g, v závislosti na použitej batérii a príslušenstve

Batéria: Nabíjateľná Li-ion s bezpečnostným obvodom, 3,7V, 1600-1800 mAh. Uložené lítium iónové batérie sa sami vybíjajú asi o 5 až 10% mesačne až kým nie sú asi spolovice vybité. Je to normálny jav, odpojenie batérie to nijako nezmení.

Pracovný prúd: 35-50 mA pri jednosmernom napájaní min. 3,2V.

Nominálny nabíjací prúd: 350 mA.

Vstup jednosmerného napájania: 6V, max. 500 mA (pri nabíjaní batérie a súčasnej prevádzke WDSS).

Frekvencia Bluetooth rádia: pribl. 2,45 GHz (2450 MHz) s frekvenčnými skokmi, frekvencia teda nie je konštantná.

Dosah bezdrôtového spojenia: do 10 metrov, bez prekážok.

Počet WDSS, ktoré môžu byť pripojené na jeden počítač: 7.

Senzor sily

Rozsah: ± 50 N.

Frekvenčná odozva: 0 až 100 Hz.

Rozlíšenie: 0,0025 N.

Senzory zrýchlenia

(platí pre každý z troch senzorov zrýchlenia)

Rozsah: -60 až +60 m/s².

Presnosť: $\pm 0,5$ m/s² ($\pm 0,05$ g).

Frekvenčná odozva (maximálna): 100 Hz.

Teplotný rozsah: -40 až +85°C

Výškomer

Rozsah zmeny výšky: ± 300 m (1000 ft.)

Citlivosť: 1 meter

Kombinovaná linearita a hysteréza: typicky $\pm 0,1$ % plného rozsahu, maximálne $\pm 0,5\%$ plného rozsahu.

Čas odozvy: 0,5 s.

Zoznam súčastí WDSS

V balení WDSS sú nasledujúce súčasti príslušenstva:



- Sieťový adaptér
- Nárazník s 1/2" hliníkovým výstupkom
- Malý háčik s plastovou poistovacou maticou
- Očko 1/4-20 × 3/4" s plastovou poistovacou maticou
- Hliníková tyčka priemeru 3/8" s otvorom 1/4" na jednom konci
- Ryhovaná skrutka 1/4-20 do (otvoru v predchádzajúcej tyčke)
- Montážna doštička (pre vozík dynamickej dráhy Pasco)
- 2 ks skrutiek s plochou hlavou 10-32 × 1/2" do montážnej doštičky
- 2 ks skrutiek so šesťhrannou hlavou 10-24 × 1"
- Spojovacia valcová skrutka 10-24 × 5/8"
- Návod (tento návod)

Riešenie problémov

Pri zapnutí WDSS sa nerozsveti žiadna LED.

- Nabíjateľná batéria WDSS je vybitá. Nabite ju.
- Batéria nie je vo WDSS, skontrolujte jej prítomnosť.

Keď sa pokúšam nabíjať WDSS, LED nabíjania sa narozsvieti.

- Batéria vo WDSS je už úplne nabitá.
- Nie je napätie v elektrickej sieti, skontrolujte elektrickú zásuvku.
- Chybná batéria, nesprávny typ batérie alebo chýbajúca batéria.

Keď vyberiem Experiment ► Connect Interface ► Wireless ► Scan for Wireless Devices, nevidno WDSS.

- Niekoľkokrát zopakujte proces pokusu o pripojenie.
- Skontrolujte, či používate program Logger Pro 3.4.5, alebo novší. Staršie verzie nespôlupracujú s WDSS. Verziu programu skontrolujete cez menu Help/About Logger Pro.
- Ubezpečte sa, že batéria WDSS je dobre nabitá.
- Ubezpečte sa, že WDSS je v komunikačnom dosahu Bluetooth rádia a že medzi počítačom a WDSS nie sú kovové prekážky.
- Ak má počítač zabudované Bluetooth rádio, ubezpečte sa, že je zapnuté.
- Ak má počítač externé Bluetooth rádio, ubezpečte sa, že je zapojené do počítača.
- Ak má počítač externé Bluetooth rádio, skúste ho odpojiť a opäť zapojiť.
- Skúste vypnúť a zapnúť WDSS jeho vypínačom. Potom opäť skúste pripojenie.
- Skúste ukončiť program Logger Pro, reštartujte ho a potom opäť skúste pripojenie.
- Skúste ukončiť program Logger Pro, reštartujte počítač, reštartujte Logger Pro a potom opäť skúste pripojenie.
- Pozrite si nasledujúce poznámky týkajúce sa konkrétne počítačov Windows a Macintosh.

Pri použití počítača Windows nevidno WDSS.

- Skontrolujte, či používate program Logger Pro 3.4.5, alebo novší. Staršie verzie nespôlupracujú s WDSS. Verziu programu skontrolujete cez menu Help/About Logger Pro.
- Ubezpečte sa, že používate Windows XP so Service Pack 2, alebo novší operačný systém. Ak máte starší Windows XP, musíte ho aktualizovať na SP2.
- Ak má počítač zabudované Bluetooth rádio, ubezpečte sa cez sekciu Bluetooth v Control Panels, že je zapnuté.

- Cez Control Panels skontrolujte informácie o Bluetooth rádiu. Skontrolujte, či váš Bluetooth používa ovládače Microsoft. Ak máte ovládače WidCOMM, musíte ich odstrániť a nainštalovať Bluetooth ovládače.
- Ak problémy pretrvávajú, pozrite si www.vernier.com/bthelp.

Pri použití počítača Macintosh nevidno WDSS.

- Skontrolujte, či používate program Logger Pro 3.4.5, alebo novší. Ak máte Intel Macintosh, skontrolujte, či používate program Logger Pro 3.4.6, alebo novší. Staršie verzie nespolupracujú s WDSS. Verziu programu skontrolujete cez menu Logger Pro/About Logger Pro.
- Ubezpečte sa, že používate Mac OS 10.3.9 alebo novší.
- Ak má počítač zabudované Bluetooth rádio, ubezpečte sa cez sekciu Bluetooth v System Preferences, že je zapnuté.
- Ak problémy pretrvávajú, pozrite si www.vernier.com/bthelp.

Keď chcem spustiť vzdialený zber dát, LED záznamu dát na WDSS svieti na červeno.

- Zabudovaná pamäť WDSS je plná. Nedajú sa uložiť ďalšie dáta. Spojte WDSS s počítačom a vymažte dáta z pamäte WDSS. Môžete to urobiť cez Experiment ► Set Up Sensors ► Wireless, kde kliknete na tlačidlo Examine Memory.

Keď sa pokúsim spustiť zber dát v reálnom čase (pri spojenom WDSS s počítačom), LED spojenia zasvieti na červeno.

- Zlyhal autotest WDSS. Môže ísť o vážny hardvérový problém. Skúste ho zapnúť a vypnúť. Ak to nepomôže, kontaktujte Vernier Software & Technology.

Pri štúdiu signálu s vysokou frekvenciou dáta zrýchlenia a sily vyzerajú divne.

- Ak je frekvencia zmien signálu zrýchlenia alebo sily vyššia ako je frekvencia vzorkovania, môže sa objaviť skreslenie výsledkov nazývané aliasing. Príkladom aliasingu vo filme alebo v televízii je, keď sa zdá, že sa kolesá auta otáčajú opačne. Sáva sa to preto, lebo kamera vidí koleso len v určitých okamihoch, a stane sa, že ho pri jednotlivých otáčkach zachytí vždy o čosi skôr, ako koleso dokončí otáčku. Ďalším príkladom je kyvadlo, vzorkované o trochu rýchlejšie, ako je jeho perióda. Uvidíte ho vždy o čosi skôr ako dokončí svoj cyklus a bude sa zdať, že sa pohybuje veľmi pomaly dozadu, opačne ako sa pohybuje naozaj. Ak by ste trafili so vzorkovaním presne od jeho periódy, zdalo by sa vám, že kyvadlo stojí. K podobným efektom môže dochádzať pri vzorkovaní WDSS pomalšie, alebo len o trochu rýchlejšie, ako je frekvencia zmeny sily alebo zrýchlenia. Môžete dostať rozporuplné výsledky. Skúste zvýšiť frekvenciu vzorkovania.

V signáloch zrýchlenia sa objavuje rušivý šum

- Skontrolujte, či je to skutočný šum, napríklad pochádzajúci od motorických vibrácií alebo od kmitania kolieska vozíka. Hračkárske autíčka s kolieskami z tvrdých materiálov môžu pri jazde na drsných povrchoch generovať veľký šum zrýchlenia. Niekedy sa stáva, že šum z nerovností povrchu je väčší ako zrýchlenie, ktoré chceme študovať. Väčšie kolieska z mäkkých materiálov sú lepšie ako malé, tvrdé kolieska. Ťažšie vozíky majú tendenciu pohybovať sa rovnomernejšie. Ďalším veľkým zdrojom šumu zrýchlenia (vibrácií) môžu byť ventilátory. Niekedy dochádza k neočakávanému ovplyvneniu merania skreslením (aliasingom) ich signálov.

Časté otázky týkajúce sa meraní so senzormi zrýchlenia

Prečo sa údaje senzorov zrýchlenia menia pri otáčaní WDSS?

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 sú 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 ťažovalo 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 predlži. 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

Čo meria senzor zrýchlenia WDSS?

Normálovú silu na jednotku hmotnosti. Väčšina ľudí dáva prednosť meraniu v jednotkách m/s^2 , alebo v jednotkách g tak, ak to robíme v tomto návode.

Pamätajte, že sa nejedná sa o celkovú silu na jednotku hmotnosti (čo je zrýchlenie), ale o normálovú silu na jednotku hmotnosti. Pojem „normálová“ znamená smer orientácie daného senzora zrýchlenia. Normálové sily vo všetkých troch smeroch tvoria sumu všetkých síl pôsobiacich na telo senzora.

Táto trochu neobvyklá veličina, normálová sila na jednotku hmotnosti 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 $9,8 \text{ N/kg}$ v prípade pokoja, nula v prípade voľného pádu a väčšia ako $9,8 \text{ N/kg}$ 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 .

Zaujímavý článok o zrýchlení a jeho vnímaní nájdete v aprílovom vydaní *The Physics Teacher* z roku 2006. Článok od autora Pirooz Mozahabi sa nazýva „Why Do We Feel Weightless in Free Fall?“.

Myslel som si, že senzor zrýchlenia meria zrýchlenie!

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.

Ako merať g-silu?

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, ktorý je bezrozmerný. Teleso, ktoré je v pokoji na stole, má g-faktor rovný 1. Teleso pri voľnom páde má g-faktor rovný 0.

Správne použitie WDSS

Tento výrobok je určený iba na účely výuky a na osobné (hobby) použitie. Nie je vhodný na priemyselné, lekárske, výskumné alebo komerčné aplikácie.

Ochranné známky a copyright

Logger Pro, Vernier LabPro, Go!Link a ostatné značky sú registrovanými ochrannými značkami v USA. Slovo a logá Bluetooth je vlastníctvom Bluetooth SIG, Inc. a použitie týchto značiek podlieha licencií.

Všetky ostatné značky, ktoré sa tu objavujú a ktoré nevlastníme, sú vlastníctvom ich majiteľov, ktorí môžu alebo nemusia súvisieť, byť v spojení alebo byť sponzorovaní nami.

Poučenie o znehodnocovaní

Výrobky, ktoré sú označené na samotnom výrobku, alebo v jeho návode na použitie nasledujúcim symbolom, sú elektronickými výrobkami. S týmito výrobkami sa po ich znehodnotení musí nakladať osobitne, v súlade s legislatívou, ktorá požaduje príslušné nakladanie s týmito výrobkami, ich opätovné využitie a recykláciu. Nesmú sa miešať s bežným domovým odpadom. Správnym znehodnotením takýchto výrobkov, prispějete k správne nakladaniu s odpadom, k jeho opätovnému využitiu a recyklácii. Zabráňte tým možnému negatívnemu vplyvu na životné prostredie a na zdravie ľudí, ku

ktorému by mohlo pri nesprávnom nakladaní dôjsť. Znehodnotené výrobky môžete vrátiť naspäť ich dovozcovi, alebo odovzdať autorizovanému zbernému miestu. Ich adresy sa dozviete na miestnych úradoch.

Výhradné zastúpenie, dovoz, distribúcia a servis výrobkov Vernier pre Slovensko:

PMS Delta s.r.o.
Fándlyho 1
071 01 Michalovce
www.pmsdelta.sk



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, 2009