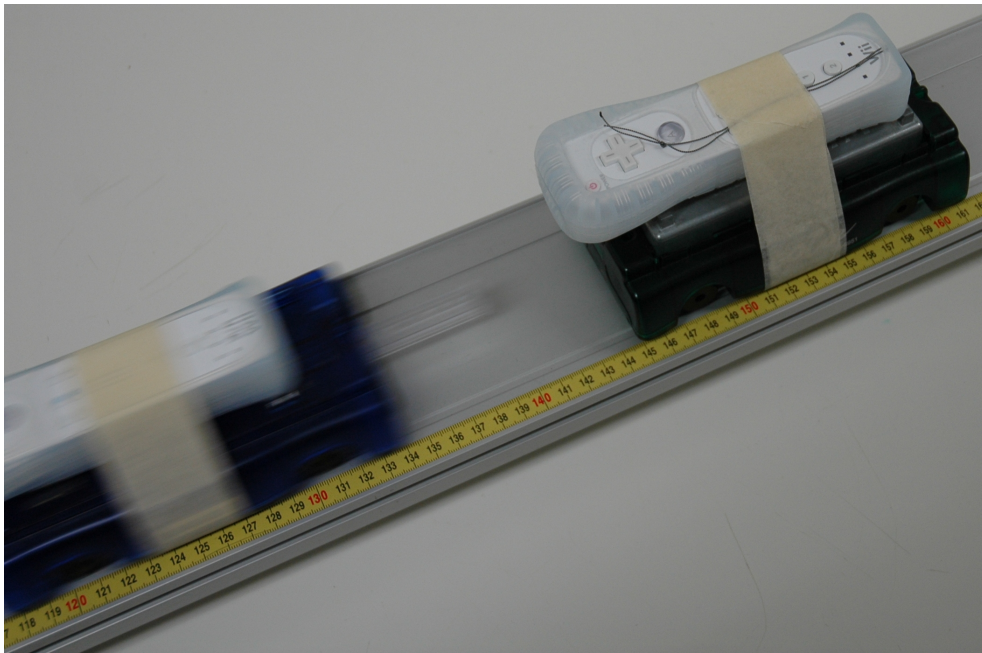


Anleitung zur Messung von Beschleunigungen mit der Software PhyMote



Christoph Krichenbauer

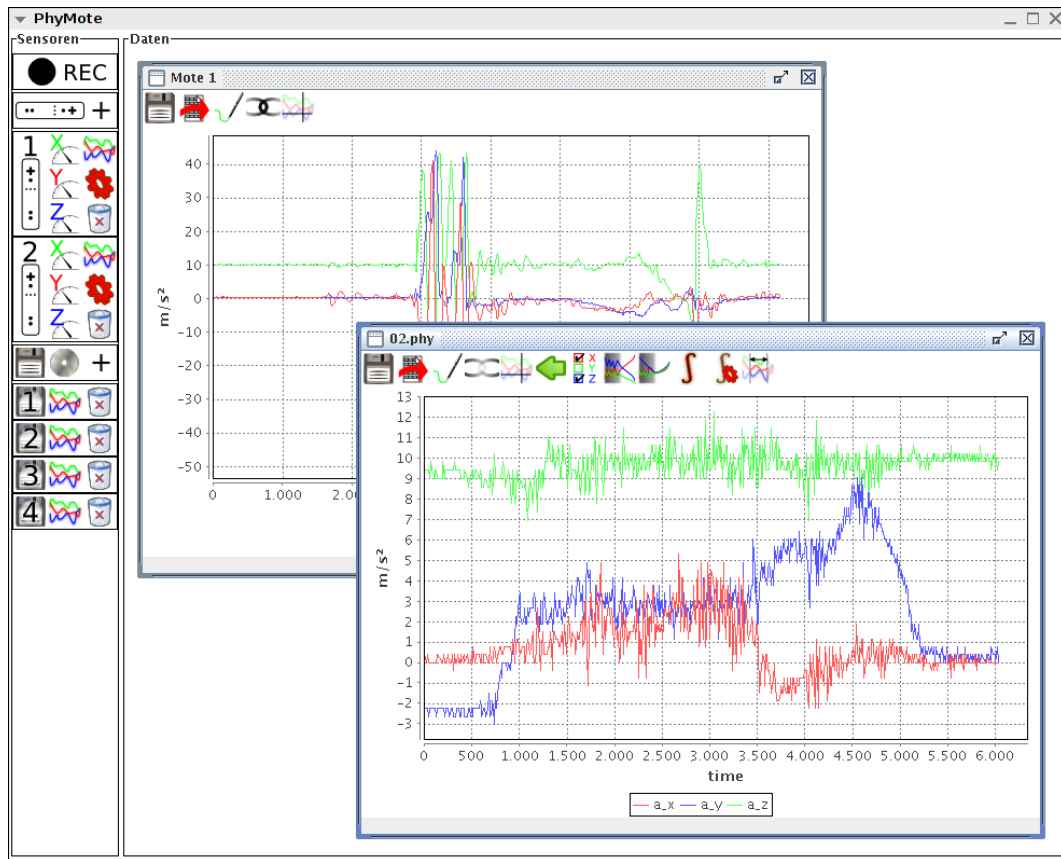


Abbildung 1: Die PhyMote-Software

Zielsetzung und Leistungsfähigkeit

Durch die enge Ausrichtung auf nur eine Art der Sensorik erscheint es unangebracht, eine vollkommen neue komplexe Softwaresuite zu entwerfen, welche eine längere Einarbeitungszeit erfordert. Anstatt hingegen bekannte Umgebungen zu kopieren, lag die Ausrichtung auf einer leicht erlernbaren Umgebung, welche nur die notwendigsten Funktionen bereitstellt. Aus diesem Grund sind im Laufe der Entwicklung auch immer wieder überflüssige oder ungenutzte Funktionen beseitigt worden, um die Oberfläche so intuitiv wie möglich zu gestalten. Dies gestattet auch Schülerversuche durchzuführen ohne den Schülern zuzumuten komplexe Anleitungen zu studieren oder lange mit den Einstellungen des Sensors experimentieren zu müssen.

Es wurde jedoch bewusst darauf verzichtet, die Bedienbarkeit zu weit in den Vordergrund zu rücken. So soll erreicht werden, dass auf die zugrundeliegenden physikalischen, mathematischen und technischen Gegebenheiten eingegangen werden muss. Da die hohe Verbreitung des Nintendo Wii Spielesystems in Kombination mit der kostenfreien Software auch die Tür zu spannenden Heimexperimenten der Schüler öffnet, sollte die Software, statt auftretende Probleme automatisch zu beseitigen, dazu anregen sich selbst intensiv damit zu beschäftigen. So wurde beispielsweise auch der „Zauberknopf“, der aus der Beschleunigung die Geschwindigkeit und Strecke berechnet, gezielt mit dem Integralsymbol versehen, und darauf verzichtet, dass Korrekturanpassungen bei der numerischen Berechnung automatisch passieren.

Da auch die Arbeitsweise des Sensors mit Hilfe von Schulphysik erklärbar ist, sollte auch die Software so transparent arbeiten, dass das Messsystem nicht als Black Box genutzt wird.

Der Fokus der Messungen liegt klar auf Unterrichtsversuchen von maximal einigen Minuten, welche mit einer möglichst hohen Genauigkeit gemessen werden sollen. Im Zuge der Funktionsreduzierung wurde deshalb auch auf eine Möglichkeit der Einstellung der Messauflösung verzichtet. Das heißt jedoch nicht, dass längere Messungen nicht möglich wären, die Auswertung oder Speicherung derselben ist jedoch in der Regel sehr rechenintensiv und auf durchschnittlichen Rechnern mit Wartezeiten verbunden.

Die Verwendung von mehreren Wii Remotes ermöglicht es an mehreren Messpunkten am selben Objekt oder mehreren Objekten zeitgleich Messdaten aufzunehmen. Zu diesem Zweck können bis zu vier Sensoren gleichzeitig verbunden werden.

Systemvoraussetzungen

Dank der Umsetzung in der plattformunabhängigen Sprache Java läuft PhyMote auf einer Vielzahl von Systemen. Probleme ergeben sich allerdings bei der Bluetoothverbindung, welche je nach Betriebssystem unterschiedlich gehandhabt wird. Soll hingegen nur eine Nachbearbeitung oder Auswertung von bereits gespeicherten Daten stattfinden, so ist Systemunabhängig nur das Sun Java Runtime Environment (JRE), mindestens Version 5, notwendig.

Hardware

- Mehrkernprozessor
- 1 GB Hauptspeicher

Anmerkungen Die oben genannten Hardwareangaben sind Empfehlungen, mit denen sich bei kürzeren Versuchen angenehm mit der Software arbeiten lässt. Bei Langzeitmessungen von mehr als einer halben Stunde Dauer und Bearbeitung bzw. Auswertung derselben ist deutlich mehr Speicher notwendig und auch die rechenintensive Grafikanzeige profitiert von schnellen Prozessoren.

Jedoch ließ sich auch auf schwachen Maschinen, beispielsweise dem eee-PC, bei Nutzung einer einzigen Wii Remote, in typischen Unterrichtsversuchen ausreichend arbeiten.

Windows

- Windows XP oder Windows Vista
- einen Bluetooth-Adapter mit WIDCOMM-Treibern (Broadcom)
- Sun Java 5 oder Java 6 Runtime Environment (JRE)

Anmerkungen Der Betrieb der Software unter Windows hat sich leider als etwas instabil und unzuverlässig herausgestellt. Als einzig stabile Variante haben sich Bluetooth-Chips der Firma Broadcom erwiesen. Bluecove kann mit dem mitgelieferten „WIDCOMM“-Treiberstack deutlich besser zusammenarbeiten als mit dem Windows-eigenen (Winsock) oder BlueSoleil.

Trotzdem gab es auch mit anderen Adaptern erfolgreiche Verbindungen. Ob ein bestehender Chip aber gut funktioniert lässt sich nicht pauschal vorhersagen und muss selbst getestet werden. Ausführliche Hinweise zur Kompatibilität mit verschiedenen Treiberstacks und Whitelists mit funktionierenden Modellen finden sich auf den Webseiten von Bluecove (bluecove.org) und im Wiki des WiLi-Projektes (wiili.com).

Im Zweifelsfall empfiehlt sich die Verwendung der Linux Live-CD (siehe unten).

Mac OS X

- Mac OS X 10.5 (Leopard)
- einen beliebigen Bluetooth-Adapter, welcher mit Mac OS X 10.5 kompatibel ist (Bluetooth 1.2)
- Sun Java 5 Runtime Environment (JRE) (32 Bit)

Anmerkungen Im Test ergaben sich bei Verwendung von Java 6 regelmäßig Verbindungsprobleme, es wird empfohlen statt dessen Java 5 zu nutzen. Auf einem der Testsysteme konnte außerdem aus ungeklärten Gründen nur eine einzige Wii Remote verbunden werden.

Linux

- einen BlueZ-kompatiblen Bluetooth-Adapter
- die Entwicklungsdateien für BlueZ (bluez-libs) - in Ubuntu im Paket libbluetooth-dev
- Java 6 Runtime Environment (JRE)

Anmerkungen Tatsächlich zeigt sich Linux am unkompliziertesten bei der Koppelung. Jeder Bluetoothadapter, welcher sich unter Linux nutzen lässt, sollte sich auch per Java mit der Wii Remote verbinden lassen.

Es liegt für Linux eine alternative Version der PhyMote-Software bei, welche statt auf den plattformübergreifenden Bluecove-Stack auf AvetanaBluetooth setzt. Dieser Bluetoothstack hat sich im Test als deutlich stabiler und schneller erwiesen und wird deshalb auf Linuxsystemen empfohlen.

Linux Live-CD

Aufgrund der einfacheren und stabileren Funktion unter Linux wird empfohlen bei Problemen die Linux Live-CD zu verwenden. Sie enthält eine bootfähige Linuxdistribution (SLAX) mit sämtlichen benötigten Treibern und dem Sun Java Runtime Environment. Nach dem Bootvorgang befindet sich auf dem Desktop eine Verknüpfung für den Start der Software.

Anleitung

Installation und Start

Eine Installation der Software ist nicht notwendig. Kopieren sie einfach das Verzeichnis an einen Ort ihrer Wahl. Auch der Start von CD stellt kein Problem dar, jedoch werden in diesem Fall die Kalibrierungsdaten nicht gespeichert.

Für den Start unter Windows und Mac OS-X sollte bei korrekter Installation des Java Runtime Environments ein Doppelklick auf die Datei „phymote_win32.jar“ ausreichen. Alternativ empfiehlt sich die Nutzung der beigelegten Verknüpfung „run_PhyMote“ oder der Kommandozeile:

```
java -jar phymote_win32.jar
```

Die oben genannte phymote_win32.jar ist auch unter Linux lauffähig. Für den Start ist oben genannter Aufruf notwendig. Nichtsdestotrotz empfiehlt sich für Linux eine alternative Version, welche sich aufgrund eines anderen Bluetoothstacks als deutlich stabiler erwiesen hat und durch den Befehl

```
java -jar phymote_linux.jar
```

starten lässt. Je nach verwendeter Desktopumgebung ist auch hier ein Start durch Doppelklick oder ähnlichem möglich.

Auf der Linux Live-CD befindet sich direkt auf dem Desktop eine Verknüpfung mit der sich PhyMote starten lässt.

Anmerkungen Die Software ist sowohl in Deutsch als auch in Englisch lauffähig. Die Sprache wählt die Java-Umgebung anhand der Systemsprache aus. Sollte dies nicht erwünscht sein, kann man bei Programmstart durch den Parameter

-Duser.language=en bzw. -Duser.language=de

die Sprache entsprechend auswählen. Eine Lokalisierung für andere Sprachen ist möglich (siehe ??).

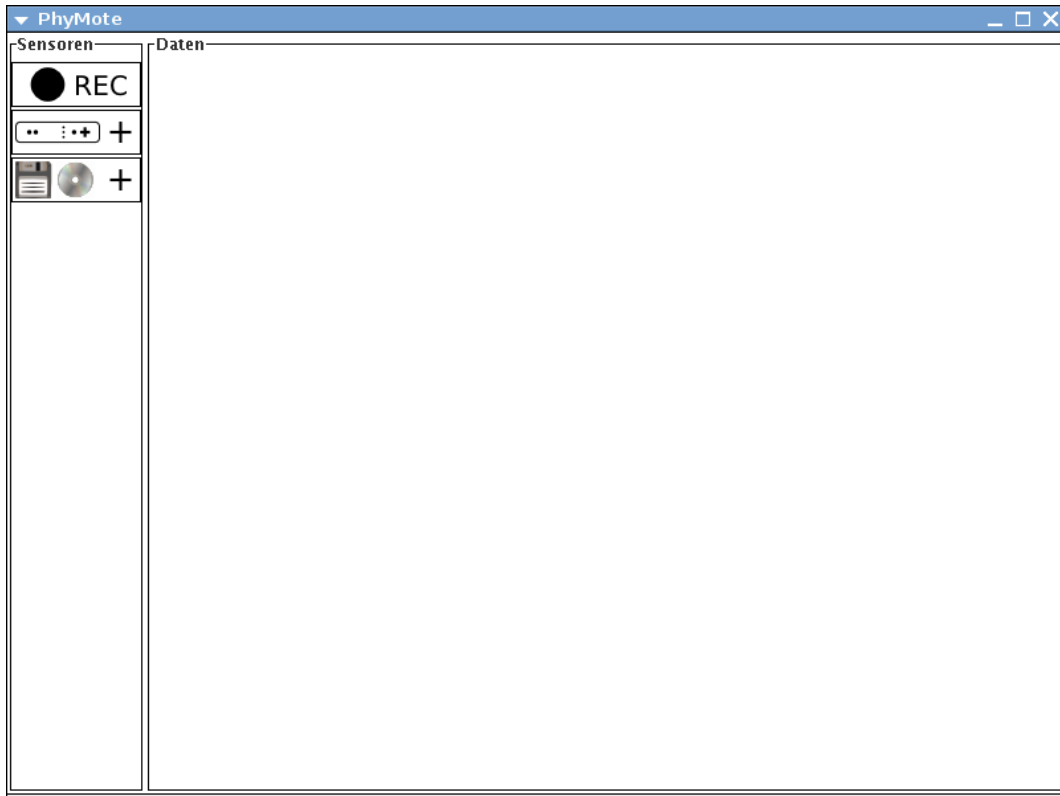





Abbildung 2: Leeres PhyMote-Fenster nach dem Start

Bedienelemente

Hauptfenster Nach dem Start der Software öffnet sich das Hauptfenster, welches in zwei Sektionen unterteilt ist. Der deutlich größere rechte Teil des Fensters dient der Bearbeitung und Visualisierung der Daten in Form weiterer Fenster. Auf der linken Seite hingegen befindet sich der Bereich zur Anzeige der verbundenen Wii Remotes und geladener Datensätze. Folgende Funktionen stehen zu Verfügung:

 **REC** Startet die Aufnahme der Beschleunigungsdaten aller verbundenen Wii-Sensoren. Ist keine Wii Remote verbunden, so ist der Knopf funktionslos.
Bei Aufnahme gehen alle bisherigen, ungesicherten Messdaten verloren. Um Datenverlusten vorzubeugen, muss man jede neue Messung in einem Dialogfenster bestätigen.
Während einer laufenden Messung blinkt der Knopf rot, ein weiterer Klick auf ihn beendet die Aufnahme.

 **+** Hinzufügen einer neuen WiiMote. Dieser Knopf öffnet ein Dialogfenster zur Verbindungsaufnahme mit einer weiteren Wii Remote (siehe unten). Nach erfolgter Koppelung wird unterhalb dieses Knopfes das Fenster um ein Bedienfeld erweitert, welches zur Steuerung des hinzugefügten Sensors dient. (siehe unten)

 **+** Lädt einen gespeicherten Datensatz. Nach erfolgtem Laden steht unterhalb ein Bedieninterface zur Anzeige des Datensatzes zur Verfügung.

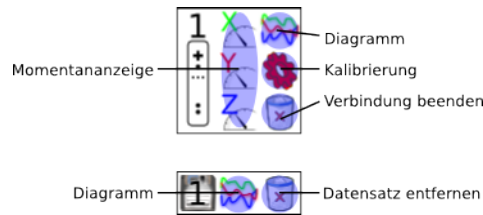


Abbildung 3: Steuerblöcke für WiiMote und gespeicherte Datensätze

Steuerblöcke Für jede verbundene Wii Remote steht in der linken Spalte ein Block mit Funktionen zur Verfügung. Die Nummerierung entspricht der Adresse der WiiMote und wird auch in der LED-Zeile derselben angezeigt. Die sechs Schaltflächen haben folgende Funktionen:



Öffnet ein Fenster mit einem Zeigermessinstrument für die Anzeige der Momentanbeschleunigung der jeweiligen Richtung (X-/Y-/Z-Achse). Das Instrument zeigt nur während einer aktiven Messung die Messwerte an.



Öffnet ein Fenster mit dem Messwertdiagramm. Dieses Fenster erlaubt sowohl während der Aufnahme die Messung zu beobachten, als auch nach erfolgter Messung den Datensatz auszuwerten (siehe unten).



Öffnet ein Fenster zur Kalibrierung des Beschleunigungssensors. Jede WiiMote sollte regelmäßig kalibriert werden, um präzise Messwerte zu erhalten. Die Kalibrierungsdaten werden im Startverzeichnis der Software in der Datei „phymote-settings.xml“ gespeichert, um eine Neukalibrierung bei jedem Programmstart zu vermeiden.



Trennt die Verbindung zur Wii Remote und entfernt das Steuerelement aus der Steuerspalte. Achtung: Nicht gespeicherte Messwerte werden hierbei gelöscht!

Die Notwendigkeit einer Kalibrierung ist bei gespeicherten Messwerten ebenso wenig gegeben wie die Live-Anzeige von Momentanbeschleunigungen. Dadurch reduziert sich für gespeicherte Datensätze das Bedienfeld auf zwei Schaltflächen:



Öffnet ein Fenster mit dem Messwertdiagramm zur Auswertung der gespeicherten Messung (siehe unten).



Entfernt das Bedienelement aus der Steuerspalte. Achtung: Ungespeicherte Messwerte gehen hierbei verloren!

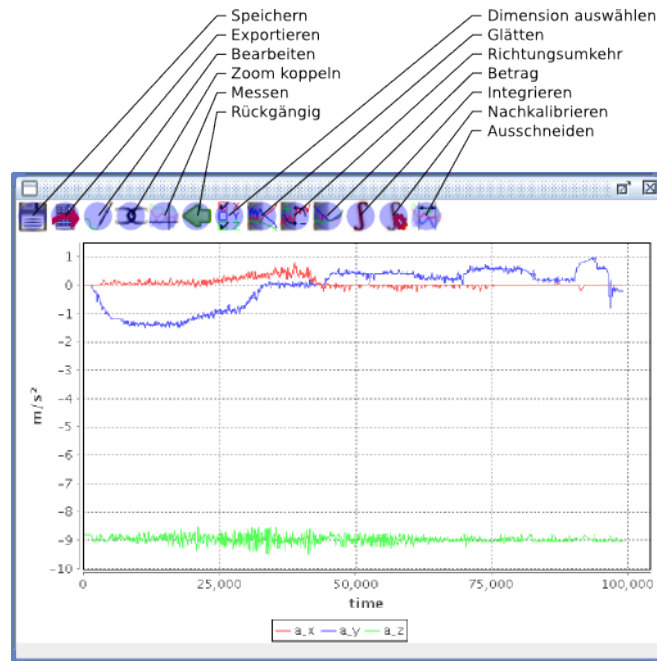


Abbildung 4: Diagrammfenster: Beschreibung der Funktionsknöpfe

Diagramme Ein Großteil der Auswertung, Analyse und Nachbearbeitung der aufgenommenen Daten bzw. der geladenen Datensätze findet in dem Diagrammfenster statt. Hierbei unterscheiden sich das Diagrammfenster von real existierenden WiiMotes von dem für geladene oder kopierte - virtuelle - Datensätze. Begründet liegt das in der unterschiedlichen Zielsetzung als auch in den unterschiedlichen zugrunde liegenden Datentypen. Da das Hauptaugenmerk bei der Datenaufnahme auf Geschwindigkeit und Datenqualität liegt, werden exakt die von der WiiMote gesendeten Rohdaten gespeichert. Dieser Datentyp reicht für eine reine Betrachtung der auftretenden Beschleunigungen vollkommen aus. Für Nachbearbeitungen, wie Glätten der Daten, ist jedoch ein präziserer Datentyp notwendig - welcher dann auch für die dauerhafte Speicherung der Daten genutzt wird.

Optisch unterscheiden sich die Diagrammfenster durch das Fehlen einiger Funktionsknöpfe. Die restliche Steuerung ist jedoch identisch, weshalb hier gleichzeitig auf beide Varianten eingegangen wird.

Folgende Funktionen stehen zur Verfügung:



Speichert den aktuellen Datensatz. Hierfür öffnet sich ein Dialogfenster, um den Dateinamen und Speicherort festzulegen.



Bietet die Möglichkeit die Daten für die Weiterverarbeitung in eine Tabellenkalkulation oder Ähnliches zu exportieren. Hierfür öffnet sich ein Dialogfenster, welches das Kopieren der Daten in ein Semikolon-separiertes Format ermöglicht. Die gängigen Tabellenkalkulationsprogramme bieten Importmöglichkeiten für dieses Datenformat.



Kopiert den aktuellen Datensatz in einen neuen, hochauflösenden. Dies ist notwendig, um aufgenommene Sensordaten bearbeiten zu können. Es kann unter Umständen auch anderweitig sinnvoll sein an einer Kopie weiterzuarbeiten. Man denke

beispielsweise an die Möglichkeit gleichzeitig Beschleunigungs- und Geschwindigkeitskurve zu präsentieren.



Löst bzw. verbindet die Zoom-Koppelung. Im Regelfall ist es angenehm, wenn bei der Analyse von mehreren gleichzeitigen Messungen mehrerer Wii Remotes die Diagramme alle gemeinsam auf einen Zielbereich zoomen. Wenn das nicht gewünscht ist, kann man es in den nichtmitzusteuernden Fenstern deaktivieren (siehe Zoom).



Schaltet ein Fadenkreuz ein, welches den Mauszeiger im Diagramm ersetzt. Zusätzlich werden sowohl der Zeitwert als auch der angezielte Messwert in der Statuszeile des Diagrammfensters ausgegeben.



Macht die letzte Änderung am Datensatz rückgängig.



Öffnet ein Dialogfenster zur Auswahl der anzuzeigenden Dimensionen. Dies ist unter anderem notwendig, um auszuwählen, welche der Dimensionen bearbeitet werden sollen. Es werden grundsätzlich nur die angezeigten Datenreihen verändert.



Glätten. Bietet die Möglichkeit die sichtbaren Datenreihen durch einen gleitenden Durchschnitt zu glätten. Die Breite der Glättung sowie die Art (links, rechts, zentriert) lassen sich durch ein Dialogfenster festlegen.



Kehrt die Richtung der sichtbaren Datenreihen durch Tausch der Vorzeichen um. Dies ist vor allem hilfreich, wenn der Sensor verkehrtherum angebracht war.



Berechnet den Betrag des durch die angezeigten Beschleunigungskomponenten definierten Beschleunigungsvektors. Hierbei werden die Dimensionsdatenreihen entfernt und durch eine einzige ersetzt. Dies ist vor allem nützlich, wenn der Sensor im Verlauf der Messung rotieren kann, und sich deshalb die Erdbeschleunigung in zeitlicher Abhängigkeit in verschiedenen Richtungskomponenten niederschlägt.



Integriert die sichtbaren Daten numerisch. Dies erlaubt, aus den Beschleunigungsdaten die Geschwindigkeit und, nach zweimaligem Integrieren, auch den Ort zu bestimmen (siehe). Um sinnvolle Ergebnisse zu erzielen, muss vorher der Datensatz auf den zu integrierenden Bereich reduziert werden (siehe Ausschneiden) und der Nullwert korrekt eingestellt sein (siehe Nachkalibrieren). Die Einheiten werden nach Möglichkeit angepasst.



Verschiebt für alle sichtbaren Dimensionen die Daten derart, dass im ausgewählten Zeitabschnitt der Durchschnitt der Messdaten „Null“ ergibt, (siehe Auswählen).



Schneidet alle Daten außerhalb des ausgewählten Zeitabschnitts ab (siehe Auswählen).

Das Diagramm selbst bietet noch einige Funktionen:

ZOOM Durch Markieren eines Bereiches mit der Maus (von oben links nach unten rechts) lässt sich ein Ausschnitt des Diagramms heranzoomen. Um beide Achsen automatisch herauszuzoomen, um den gesamten Datensatz zu zeigen, ist ein beliebiger Bereich in umgekehrter Richtung (also von unten rechts nach oben links) zu markieren.


Alternativ lässt sich das Diagramm auch mit dem Scrollrad der Maus zoomen. Als dritte Möglichkeit bieten sich die Punkte “Hineinzoomen”, “Herauszoomen”, und “Autojustage” aus dem Kontextmenu des Diagramms (bei Rechtsklick auf das Diagramm) an.

AUSWÄHLEN Um Bereiche für die Nachkalibrierung oder zum Zuschnitt auszuwählen, aber auch zur Messung von Zeit- oder Wertdifferenzen, gibt es die Möglichkeit einen Bereich innerhalb des Diagramms zu markieren.

Ein Doppelklick setzt hierbei den ersten Markierungspunkt. Ein weiterer Doppelklick den zweiten. Nun werden im Diagramm der markierte Bereich grau hinterlegt und die Differenzwerte in der Statuszeile angegeben. Ein weiterer Doppelklick beendet die Markierung.

GRAFIK SPEICHERN Um das aktuelle Diagramm anderweitig nutzen zu können, existiert die Möglichkeit es zu speichern oder in die Zwischenablage zu kopieren. Beides findet sich im Kontextmenü.

Messung


Sensoren verbinden Jede während einer Messung aufzunehmende Wii Remote muss einzeln mit der Software gekoppelt werden. Dabei hilft ein Dialogfenster, welches nach dem Klick auf  + erscheint. Bisweilen treten bei den Verbindungsversuchen Fehler auf, welche im Textfeld ausgegeben werden. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn der Bluetoothadapter nicht korrekt erkannt wird.

Es ist darauf zu achten, dass möglichst wenig aktive Bluetoothgeräte in der Nähe sind, da sie eine Verbindungsaufnahme behindern, und so unter Umständen die Koppelung nicht innerhalb des Zeitlimits stattfinden kann.

Nach erfolgter Verbindung vibriert die Wii Remote kurz und eine LED zeigt die gekoppelte Adresse an (1 bis 4). Es erscheint unter Angabe dieser Adresse ein Steuerfeld für den Sensor.

Nun können weitere WiiMotes verbunden werden.

Sensoren kalibrieren Bei ungeeichten Sensoren können die Messergebnisse stark von den realen Beschleunigungen abweichen. Daher müssen die Beschleunigungssensoren regelmäßig kalibriert werden. Vor allem bei der ersten Benutzung der Software, bzw. der WiiMote, ist dies eine Notwendigkeit, da noch nicht auf gespeicherte Eichdaten zurückgegriffen werden kann.

Ein Klick auf  startet die Kalibrierung und ein Dialogfenster führt durch den Prozess. Hierzu werden für jede der Achsen aufgenommene Messdaten mit der Erdbeschleunigung


verglichen. Nach Messung aller drei Dimensionen ist somit ein Rohwert für Ruhelage und für den Gravitationszustand bekannt.





Ab sofort werden während der Messung aus den aufgenommenen Daten mithilfe dieser Werte die korrekten Beschleunigungswerte berechnet.

Damit - gerade bei komplexeren Aufbauten - nicht bei jeder Neuverbindung die Kalibrierung erneut durchgeführt werden muss, werden die Eichdaten in einer Datei im PhyMote-Verzeichnis auf dem Rechner gespeichert.


Anmerkungen Die im Kalibrierungsfenster angegebenen Grenzen für die Beschleunigung werden durch die Datenbreite bei der Übertragung berechnet. Im Regelfall sind die verbauten Sensoren jedoch gar nicht leistungsfähig genug, um diese Grenzen zu erreichen (siehe WiiMote). Man wird jedoch in der Messauswertung relativ schnell die realen Grenzen sehen.

Auch der angegebene Fehler bezieht sich auf die digitale Übertragung und gibt im Endeffekt die Differenz zweier nebeneinanderliegender, diskreter Messwerte an.


Messung durchführen Nun kann mit der Messung begonnen werden. Der Knopf  REC startet die Messung. Es werden dann von jeder der verbundenen Wii Remotes die Beschleunigungsdaten aufgenommen.

Man kann die Messung in dem Diagrammfenster des Sensors () sowie mit den richtungsabhängigen Momentanwertanzeigen (, , ) während der Aufnahme verfolgen.


Es ist jedoch nicht zwingend notwendig, eines dieser Fenster geöffnet zu halten - die aufgenommenen Messdaten stehen trotzdem nach Abschluss der Messung zur Verfügung. Dies gestattet beispielsweise bei Langzeitmessungen eine Vermeidung der rechenintensiven Anzeigenberechnung.

Ein weiterer Klick auf den, während der Messung rot blinkenden,  REC -Knopf beendet die Aufnahme. Die Daten stehen zur Auswertung im Diagrammfenster bereit.

Auswertung

Jede Auswertung der aufgenommenen Messdaten führt über das Diagrammfenster. Es lässt sich sowohl bei neu aufgezeichneten, wie auch bei geladenen Daten, über die Schaltfläche  öffnen. Eine Übersicht über die dort vorhandenen Möglichkeiten und die Navigation innerhalb des Graphen findet sich ab Seite 8.

Typischerweise finden folgende Auswertungen statt:

Beschleunigung Im einfachsten Fall interessieren ausschließlich die rohen Beschleunigungsdaten. Diese werden direkt nach dem Öffnen des Diagrammfensters zusammen in einem Graphen angezeigt. Im Regelfall sind maximal zwei Achsen von Interesse, weshalb zur Steigerung der Übersichtlichkeit über den Knopf  die Sichtbarkeit eingeschränkt werden kann.

Die gemessenen Daten lassen sich mit Hilfe des Fadenkreuzes () oder durch Markieren analysieren (siehe oben).

Um bei mehreren gleichzeitig aufgenommenen Messwerten die Sensordaten gegenüberstellen zu können, zoomen alle Diagrammfenster gemeinsam auf die selben Zeitabschnitte.

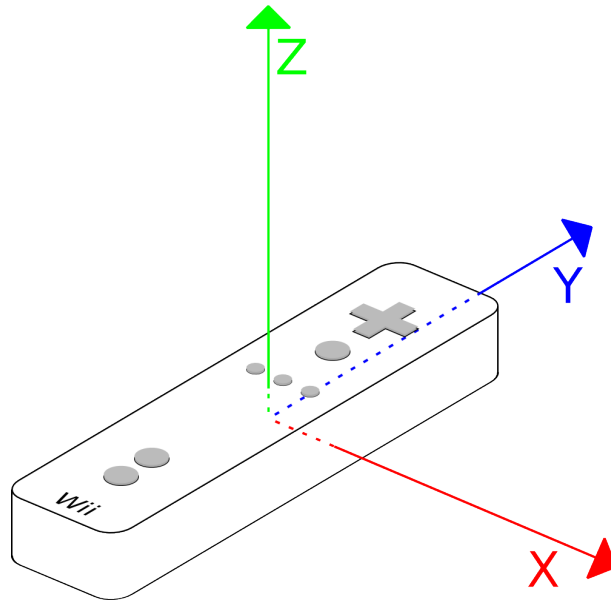




Abbildung 5: Richtungsachsen des Beschleunigungssensors

Dies lässt sich durch Klicken der Schaltfläche  deaktivieren.

Über die Funktion “Glätten” () können unerwünschte Vibrationen sowie störende Messwertschwankungen beseitigt werden. Letztere treten aufgrund der digitalen Übertragung der Messwerte und den damit verbundenen diskreten Messdaten auf: Liegt die eigentliche Beschleunigung zwischen zwei möglichen Werten, so werden von der Wii Remote in entsprechenden Zeitintervallen abwechselnd die beiden Werte übermittelt. Der bei niedriger Breite gemittelte Wert entspricht dann deutlich präziser der Beschleunigung zum Zeitpunkt der Aufnahme.

Betrag Ist die Richtung der Beschleunigung bei der Auswertung unwichtig, so lässt sich durch die Betragsfunktion () die Richtungskomponente der sichtbaren Richtungen eliminieren. Dies kann vor allem hilfreich sein, wenn die Wii Remote während der Messung nicht rotationsfrei war.


Geschwindigkeit / Strecke Aus der Beschleunigung lassen sich einfach Geschwindigkeits- und Streckenänderungen berechnen. Da hierbei sehr wichtig ist, dass die Beschleunigungsdaten korrekt sind, ist folgendes zu beachten:


- Der Sensor sollte korrekt kalibriert sein, da sich Fehler bei der Integrierung potenzieren.
- Die Datengrundlage sollte vorher möglichst ungeglättet sein, da eine Glättung die Daten unnötig verfälscht.

Als erstes sollte man die Anzeige mit Hilfe von  auf die interessanten Richtungen beschränken.

Nun ist es ratsam eine Nachkalibrierung durchzuführen. Dazu wählt man (durch Doppelklicken - siehe „Auswählen“) einen Zeitabschnitt aus, bei welchem die Wii Remote möglichst nicht bewegt, zumindest jedoch nicht beschleunigt wurde. Anschließend wird mithilfe des

Knopfes  die Nachkalibrierung durchgeführt. Die Messdaten werden dabei entsprechend verschoben.

Anschließend reduziert man das Messwertdiagramm auf den interessanten Bereich. Dazu wählt man den Zielbereich aus und klickt auf das Symbol . Um Aussagen über die absolute Geschwindigkeit machen zu können, muss der Bereich nun entweder während des Stillstandes des Sensors beginnen oder enden. Andernfalls lässt sich nur eine Aussage über die Geschwindigkeitsänderung machen.

Ein Klick auf  integriert nun die Messwerte numerisch, als Ergebnis sieht man nun ein t-v-Diagramm.

Um nun von der Geschwindigkeit auf die zurückgelegte Strecke zu schließen, sind diese Schritte zu wiederholen.

Anmerkungen Die resultierenden t-v- bzw. t-x-Diagramme sind kritisch zu betrachten. Bereits kleine, konstante Abweichungen der Kalibrierung der Beschleunigung resultieren in zeitlinearen Fehlern bei der Geschwindigkeitskurve und gehen entsprechend quadratisch in die Strecke ein. Da das Messsystem für diesen Zweck eine zu geringe Auflösung hat, wird man auch bei „perfekter“ Kalibrierung und Bedienung bei Langzeitmessungen große Fehler erhalten.

Die genauesten Ergebnisse wird man bei kurzen Messungen ($\sim 10s$) und mittleren Beschleunigungen ($1 - 2g$) und der entsprechenden Sorgfalt bei der Auswertung bekommen.

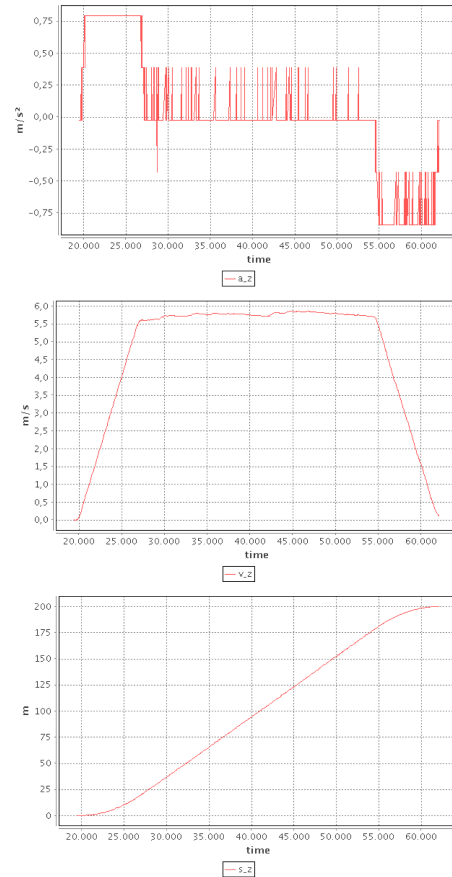


Abbildung 6: Beschleunigung, Geschwindigkeit und Strecke

Anhang

Lizenz

Verwendete Softwarebibliotheken

motej	http://motej.sourceforge.net/	Apache License 2.0
bluecove	http://www.bluecove.org/	Apache License 2.0
bluecove-gpl	http://www.bluecove.org/	GNU General Public License
avetanaBT	http://sourceforge.net/projects/avetanabt/	GNU General Public License
jfreechart	http://www.jfree.org/jfreechart/	GNU Lesser General Public License
jcommon	http://www.jfree.org/jcommon/	GNU Lesser General Public License
jdom	http://www.jdom.org	modifizierte Apache License
slf4j	http://www.slf4j.org/	MIT License

PhyMote

Die Software Phymote selbst ist ebenfalls durch die GNU General Public License (GNU GPL 3) lizenziert.