

Handbuch
Pulse Recorder & Analyser
PRA
Version 16.0.1.2

Marek Dolleiser, Sydney 2017.07.24

deutsche Übersetzung H. Gerling 10.01.2018

Inhaltsverzeichnis

3

Allgemeine Informationen

- Einleitung
- Änderungen in Version 16.0.1.1.2
- Anforderungen
- Installation
- Kontaktperson
- Hardware

Menü

- Datei
- Aktion
- Ansicht
- Einstellungen
- Hilfe

Fenster

- Hauptfenster
- Zählgeschwindigkeit vs. Zeit
- Zählrate Histogramm
- Intervall-Histogramm
- Pulsbreiten-Histogramm
- Pulshöhen-Histogramm
- Audio-Eingang
- Datenerfassung und -analyse
- Einstellungen der Audio-Schnittstelle
- Pulsform-Editor
- Kalibrierung
- Erweiterter Impulsfilter

Mathematik in PRA

- Impulserkennung
 - Baseline Methode
 - Pulsform-Verfahren
- Kalibrierung
- Gefälle anpassen
- Linearität anpassen
- Interpolation
- Totzeitberechnungen
- „Region von Interesse“ Statistik
- Gaußsche Korrelationsfilter
- Toleranzkorrektur

Tastaturkürzel

Dateistrukturen

Allgemeine Informationen

Allgemeine Informationen

- Einleitung
- Änderungen in Version 16.0.1.1.2
- Anforderungen
- Installation
- Kontaktperson
- Hardware

Einleitung

Die Anwendung **Pulse Recorder und Analyser (PRA)** verwendet den Soundadapter des Computers, um in Echtzeit Signale zu analysieren, die von verschiedenen Detektoren empfangen werden, wie z.B. Geigerzähler, Proportionalgaszähler, Szintillationszähler, Halbleiterdetektoren etc. Mit dieser Software können Sie Ihren Computer in den Multi-Channel Analyser (MCA), Scaler oder einfachen Zähler umwandeln, ohne teure Spezialhardware kaufen zu müssen. Offensichtlich gibt es einige Einschränkungen in der Funktionalität eines solchen Instruments, hauptsächlich wegen der Abtastrate, die normalerweise auf 48000 Samples/s begrenzt ist. Wenn die Zählfrequenz jedoch relativ niedrig ist (weniger als 1000 Impulse/s), sind die Ergebnisse sehr gut. PRA wurde für den Einsatz in Experimenten mit schwach radioaktiven Quellen konzipiert, wie sie in Lehlaboris üblich sind.

Änderungen in Version 16.0.1.1.2

1. Geändert: Die maximale Anzahl der ROIs wurde auf 32 erhöht. Die in dieser Version von PRA erstellten Dokumente sind nicht abwärtskompatibel mit früheren PRA-Realisierungen, aber Dokumente, die in PRA Version 10 oder höher erstellt wurden, können in der aktuellen Version ohne Originaleinstellungen geöffnet werden. Alle ROIs werden durch die gleiche Farbe (blau) gekennzeichnet, mit Ausnahme derjenigen, die den Cursor enthalten (dunkelgelb). Exportierte ROIs werden aufsteigend nach Positionen sortiert.
2. Geändert: Wenn Sie während des Datenerfassungsprozesses eine F1-Verknüpfung verwenden, um die Daten "on the fly" zu speichern, werden nach Beendigung des Datenerfassungsprozesses alle Daten in der Datei unter dem zuletzt verwendeten Namen gespeichert. Es gilt nur für.pls-Dateien, nicht für Textexporte.
3. Hinzugefügt: Fortsetzen des Menüs Datenerfassung. Es startet die Datenerfassung, ohne vorhandene Daten zu verwerfen.
4. Hinzugefügt: Datum und Uhrzeit jeder Datenerfassungssitzung werden automatisch in die Datenerfassung und -analyse eingefügt → Kommentare im Format <Anfang, Ende>, wobei "Anfang" ein Datum, eine Uhrzeit und eine Datenerfassungsperiode (in Sekunden) ist, wenn der Datenerfassungsprozess gestartet wurde und "Ende" ein Datum, eine Uhrzeit und eine Datenerfassungsperiode, wenn er gestoppt wurde. Wenn Sie die Datenerfassung mit dem Befehl Action → Start Data Acquisition starten, wird der gesamte Text in den Kommentaren gelöscht und ein neuer "<Anfang" geschrieben. Wenn Sie die Datenerfassung mit dem Befehl Continue DataAcquisition starten, bleibt der Text in den Kommentaren unberührt und "<Anfang" wird angehängt.

Anforderungen

PRA kann auf jedem Computer mit Sound-Adapter und WindowsXP oder höher, der als Haupt- oder Page 3a-Virtual (unter Verwendung von VMware oder ähnlicher Virtualisierungssoftware unter Linux oder Macintosh) installiert ist, ausgeführt werden. Es läuft auch auf Linux-Boxen unter Wine, aber es hängt davon ab, wie gut Ihre Audio-Hardware von Linux unterstützt wird. PRA benötigt ≈ 600 MB RAM, um maximal 10 000 000 Impulse pro Kanal zu speichern.

Installation

PRA benötigt keine spezielle Installation, kopieren Sie einfach die Dateien "PRA.exe" und "PRA.pdf" in einen Ordner Ihrer Wahl und starten Sie die Anwendung. Es handelt sich um eine rein portable Anwendung, die von jedem beliebigen Standort aus betrieben werden kann. Manchmal benötigen Sie Administratorrechte, um PRA in speziellen Windows-Ordern wie z.B. "Programme" zu installieren. Der Einfachheit halber können Sie auf Ihrem Desktop oder im Windows-Menü eine Verknüpfung zu PRA herstellen, aber Sie sind dafür verantwortlich, diese zu entfernen, wenn Sie sich entscheiden, das Programm zu deinstallieren. Um PRA zu deinstallieren, löschen Sie einfach die Dateien "PRA.exe", "PRA.pdf" und "PRA.ini". Das PRA-Programm selbst schreibt keine Informationen in die Windows-Registrierung. PRA gibt es in zwei Versionen: 32 Bit und 64 Bit. Die 64-Bit-Version funktioniert nur auf 64-Bit-Betriebssystemen. Die 32-Bit-Version funktioniert sowohl auf 32-Bit- als auch auf 64-Bit-Betriebssystemen. Um die "PRA.pdf"-Datei lesen zu können, benötigen Sie eine PDF-Reader-Anwendung, die auf Ihrem System verfügbar ist. Wenn Sie das PRA-Programm automatisch öffnen möchten, wenn Sie mit der Maus auf die Datei ".pls" oder ".wav" klicken, müssen Sie diese Art von Dateien mit dem PRA-Programm verknüpfen. Klicken Sie dazu einfach mit der rechten Maustaste auf die Dokumentdatei und wählen Sie aus dem Menü Öffnen mit → Wähle Programm... und dann Durchsuchen... und wählen Sie PRA-Programmdatei aus. Um Ihre Assoziation dauerhaft zu machen, kreuzen Sie "Immer das ausgewählte Programm verwenden, um diese Art von Datei zu öffnen" an und bestätigen Sie Ihre Wahl.

Für Anwender, die die typische Windows-Installationsprozedur bevorzugen, bieten wir auch den PRA-Installer an...

Kontaktperson

Sollten Sie Fragen, Kommentare oder Anregungen zu PRA haben, senden Sie uns bitte eine E-Mail an marek.dolleiser@sydney.edu.au

Eine neue Version der PRA-Anwendung (falls vorhanden) finden Sie unter <http://www.physics.usyd.edu.au/~marek/pr/index.html>

Hardware

PRA verwendet einen Sound-Adapter und eine Signalquelle, die im Menü unter Einstellungen → Audio-Schnittstelle ausgewählt werden können.

Darüber hinaus müssen Sie unter Umständen auch die Einstellungen für die Audio-Schnittstelle in Ihrem Windows-Betriebssystem ändern, indem Sie das Audio-Control-Panel verwenden, das mit Ihrem Audio-Interface geliefert wird, oder die Windows-Aufnahmesteuerung verwenden. Um auf die Aufnahmesteuerung zuzugreifen, verwenden Sie Einstellungen → Systemsteuerung aus dem Hauptmenü von Windows und wählen Sie dann Sound and Audio Devices controller. Alternativ können Sie auch mit der rechten Maustaste auf das Lautsprechersymbol klicken und Audio-Eigenschaft anpassen wählen. Ich verwende normalerweise CD-Player oder Line In-Eingang. Die Pulse, die von den meisten Detektoren erzeugt werden, sind recht schmal und lassen sich mit einem Soundadapter kaum genau abtasten. Um dieses Problem zu beheben, verwende ich einen einfachen Tiefpassfilter am Eingang. Diese Lösung funktioniert gut mit Geigerzähler und NaI-Szintillationsdetektor. Für den Gas-Proportionalzähler zur Detektion von Röntgenstrahlen baue ich einen einfachen Vorverstärker mit dem Operationsverstärker OPA129, der hauptsächlich dazu dient, die hohe Ausgangsimpedanz des Detektors an die niedrige Eingangsimpedanz des Audioeingangs anzupassen und das Signal auf den Line-Pegel zu verstärken.

Histogramme

Die PRA-Anwendung analysiert die Daten, indem sie Histogramme der Zählfrequenz, des Intervalls, der Pulsbreite und der Pulshöhe erstellt. Nur wenige statistische Parameter werden von PRA berechnet. Für genauere und anspruchsvollere Berechnungen exportieren Sie Ihre Histogramme in eine gute Datenanalyse-Software. Ich benutze QtiPlot.

Menü

Menü

- Datei
- Aktion
- Ansicht
- Einstellungen
- Hilfe

Datei (File)

Das Menü Datei enthält die folgenden Punkte:

1. **Öffnen (Open)** - öffnet Daten, die zuvor in einer Datei gespeichert wurden. Die Standarderweiterung der Datei ist ".pls". Sie können auch die Sounddatei ".wav" öffnen und sie wird sofort mit den aktuellen Einstellungen analysiert, so als ob das Signal an den Eingang der Soundkarte angeschlossen wäre. Diese Art der Datenerfassung ist nur dann sinnvoll, wenn Sie Triggereinstellungen vornehmen, da die ".wav"-Datei in der Regel größer ist als die ".pls"-Datei. Der Vorteil der Verwendung der ".wav"-Datei besteht darin, dass Sie dieselbe Datei mit unterschiedlichen Einstellungen öffnen und die Analyseergebnisse vergleichen können. Die ".wav"-Datei kann mit der InTune-Anwendung aufgezeichnet werden. Um Stereodateien aufzunehmen, verwenden Sie ein gutes Tonaufzeichnungsprogramm wie z.B. Audacity und speichern Sie es im Windows PCM-Format (.wav).
2. **Daten laden (Load Data)** - öffnet die Datendatei, ohne die aktuellen Audioeinstellungen, die Pulsform und die interessierenden Regionen zu verändern.
3. **Pulsform aus Klangdatei ermitteln (Obtain Pulse Shape from Sound File)** - verwendet eine vorhandene Klangdatei, um die Pulsform zu bestimmen. Es ist eine Alternative zur Pulse Shape Acquisition Methode.
4. **Speichern (Save)**- speichert alle erfassten Daten und Einstellungen in einer Datei, die später von PRA geöffnet werden kann.
5. **Export Zählrate vs. Zeit (Counting Rate vs Time)** - speichert die Zählrate vs. Zeit-Histogramm als Textdatei, die zur weiteren Datenanalyse in andere Anwendungen importiert werden kann. Das Spaltentrennzeichen ist das "tab"-Symbol. Die exportierten Daten hängen von den Einstellungen ab.
6. **Export Zählratenhistogramm (Counting Rate)** - wie oben, aber ein anderes Histogramm.
7. **Export Intervall-Histogramm (Interval)** - wie oben.
8. **Export Pulsbreiten-Histogramm (Pulse Width)** - wie oben.
9. **Export Pulshöhen-Histogramm (Pulse Height)** - wie oben.
10. **Export Regionen von Interesse (Regions of Interest)** - speichert ROIs als Textdatei, die im Histogramm Pulshöhen-Histogramm ausgewählt wurden.
11. **Export Koinzidenzпульshöhe (Coincident Pulses Height)** - speichert als Textdatei die Höhe der gleichzeitigen Impulse des linken und rechten Kanals.
12. **Exit** - beendet die Anwendung, was dem Schließen des Hauptfensters entspricht.

Aktion

Das Aktionsmenü enthält folgende Punkte:

1. **Datenerfassung starten (Start Data Acq.)** (Tastaturkürzel A) - startet die Datenerfassung. Alle aktuellen Daten werden verworfen.
2. **Datenerfassung fortsetzen (Continue Data Acq.)** (Tastaturkürzel C) - startet die Datenerfassung und fügt die Ergebnisse an die vorhandenen Daten an. Diese Option sollte nicht verwendet werden, wenn die Konsistenz der Zeitabhängigkeit wichtig ist.

3. **Datenerfassung stoppen (Stop Data Acq)** (Tastaturkürzel **S**) - wenn Sie mit der Datenerfassung beginnen, werden alle zuvor erfassten Daten verworfen, also speichern Sie Ihre Daten immer in der Datei, nachdem die Datenerfassung gestoppt wurde. Die Datenerfassung stoppt automatisch, wenn die Anwendung eine der Grenzen der Datenerfassung erreicht (siehe Einstellungen). Dieser Menüeintrag funktioniert auch dann, wenn die Datenerfassung über Start Pulse Shape Acquisition gestartet wurde. In diesem Fall öffnet sich das Fenster Pulsform bearbeiten mit den angewandten neuen Pulsform-Parametern.
4. **Starte Pulsformfassung (Start Pulse Shape Acquisition)** - startet die Datenerfassung mit dem Ziel, eine automatisch gemittelte Pulsform zu erzeugen. Sie können diese Option verwenden, wenn Sie viele Pulse mitteln möchten. In diesem Modus verwendet das Programm immer die Grundlinientriggerung und der Pulsform-Mittelpunkt ist die Spitze des Pulses. Wenn Sie diese Option verwenden und Ihre Pulsschwelle kleiner als 10 Arb.u. ist, werden automatisch höhere Einstellungen der Triggerschwelle angewendet (10 Arb.u. bis 90 Arb.u.). Bitte achten Sie darauf, dass die Polarität der Impulse durch das Vorzeichen der Impulsschwelle korrekt angezeigt wird.
5. **Sound On/Off** (Tastaturkürzel Leerzeichen) - schaltet die Wiedergabe in Echtzeit ein und aus und stellt die ankommenden Impulse dar. Größere Pulse werden mit einer höheren Tonhöhe gespielt. Dieses in PRA v7 implementierte Feature ist in erster Linie für sehbehinderte Menschen gedacht, kann aber auch für andere recht unterhaltsam sein. Es ist durchaus möglich, viele der einfachen radioaktiven Quellen durch Anhören des Schalls zu erkennen. Mit dem NaI-Detektor kann ich 54 Mn, 57 Co, 60 Co, 133 Ba, 109 Cd und 137 Cs erkennen.

Ansicht

Das Menü **Ansicht** enthält folgende Elemente:

1. **Zählrate vs. Zeit (Counting Rate vs Time)** - öffnet das Fenster Zählrate vs. Zeit.
2. **Histogramm der Zählrate (Counting Rate H.)** - öffnet das Fenster Histogramm der Zählrate.
3. **Intervall-Histogramm** - öffnet das Fenster Intervall-Histogramm.
4. **Pulsbreiten-Histogramm (P. Width H.)** - öffnet das Fenster Pulsbreiten-Histogramm.
5. **Pulshöhen-Histogramm (P. Height H.)** - öffnet das Fenster Pulshöhen-Histogramm.
6. **Audio Input** - öffnet das Fenster Audioeingang.

Einstellungen

Das Menü **Einstellungen** enthält folgende Punkte:

1. **Datenerfassung und -analyse (Data Acq. and Analysis)** - öffnet das Fenster Datenerfassung und -analyse.
2. **Kalibrierung (Calibration)** - öffnet das Fenster Kalibrierung.
3. **Audio Interface** - öffnet das Fenster Audio Interface Settings.
4. **Pulsform (Pulse Shape)** - öffnet das Fenster Pulsform-Editor.
5. **Advanced Filter** - öffnet das Fenster Erweiterte Pulsfilter.
6. **Einstellungen laden (Load Settings)** - öffnet und übernimmt gespeicherte Programmeinstellungen.
7. **Save Settings** - speichert die aktuellen Programmeinstellungen in der Standardkonfigurationsdatei "PRA.ini". Diese Datei wird im PRA-Programmverzeichnis gespeichert und der Benutzer benötigt Schreibrechte für diesen Ordner.
8. **Einstellungen speichern unter...(Save Settings As...)** - speichert die aktuellen Programmeinstellungen in eine Datei am gewählten Ort, die Sie später mit dem Befehl "Einstellungen laden..." übernehmen können.

Hilfe

Das Menü **Hilfe** enthält die folgenden Punkte:

1. **Hilfethemen** - öffnet die Hilfedatei "PRA.pdf".

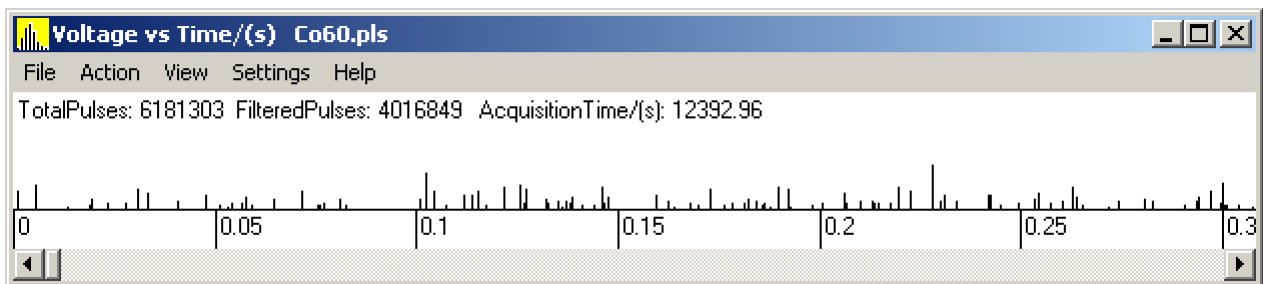
2. **About** - zeigt Versions- und Copyright-Informationen über die PRA-Anwendung an.

Fenster

Fenster

- Hauptfenster
- Zählgeschwindigkeit vs. Zeit
- Zählrate Histogramm
- Intervall-Histogramm
- Pulsbreiten-Histogramm
- Pulshöhen-Histogramm
- Audio-Eingang
- Datenerfassung und -analyse
- Einstellungen der Audio-Schnittstelle
- Pulsform-Editor
- Kalibrierung
- Erweiterter Impulsfilter

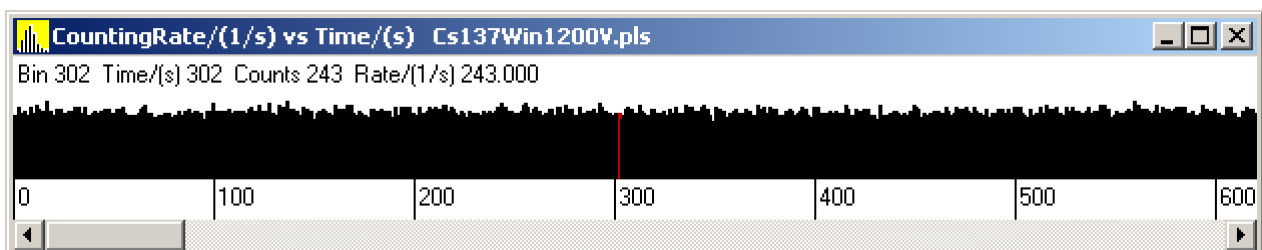
Hauptfenster



Dieses Fenster zeigt vereinfachte Impulse (nur Breite und Höhe) auf der Zeitskala. Die wichtigsten Elemente des Fensters sind: der Titel des Fensters, der auch den geöffneten Dateinamen enthält (wie alle anderen Histogrammfenster), das Menü der Anwendung, die Zeitskala, die mit den Tasten \uparrow und \downarrow auf der Tastatur geändert werden kann (wenn das Fenster aktiv ist), und die Informationsleiste, die eine Gesamtzahl der aufgezeichneten Pulse, eine Anzahl gefilterter Pulse (die durch die Auswahl der Analysedaten im Fenster Datenerfassung und Analyse beeinflusst wird) und die Gesamtdatenerfassungszeit anzeigt.

Das Schließen dieses Fensters beendet die Anwendung.

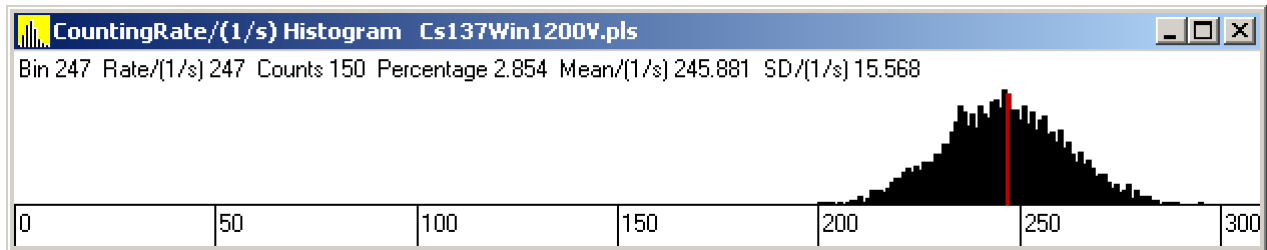
Zählgeschwindigkeit vs. Zeit



In diesem Fenster wird die Zählrate als Funktion der Zeit angezeigt. Grafisch sieht es wie ein Histogramm aus, ist es aber nicht. Im Histogramm auf der horizontalen Achse (Abszisse) befinden sich Behälter mit Werten der Messgröße und auf der vertikalen Achse (Ordinate) Häufigkeit (Auftreten) von Ereignissen (Anzahl der Zählungen) in jedem Behälter. Auf dieser Anzeige stellt die Abszisse die

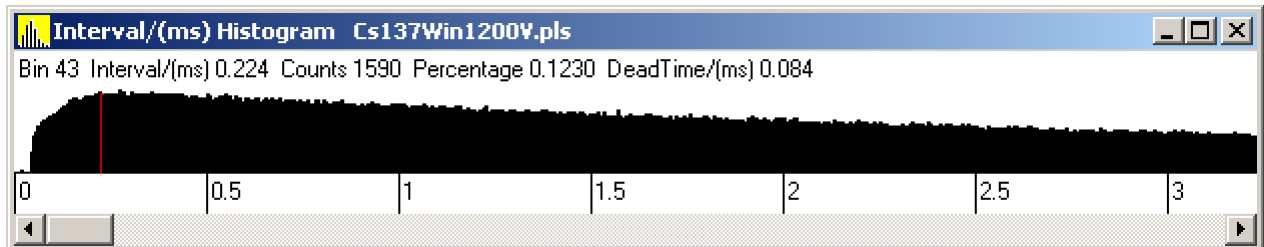
zeitliche Abfolge der Behälter (Schritte) und die Ordinate die Frequenz der Impulse (Zählfrequenz) dar. Die Zählrate über der Zeit ist sehr wichtig bei der Analyse des Zerfalls radioaktiver Stoffe. In diesem Fall sollte der Parameter Zeitschritt kleiner als die Halbwertszeit eines radioaktiven Isotops eingestellt werden, aber groß genug, um möglichst keine Behälter mit Nullzählungen zu verwenden. Unterhalb der Titelleiste werden Informationen über den ausgewählten Lagerplatz (rot markiert) angezeigt.

Zählrate Histogramm



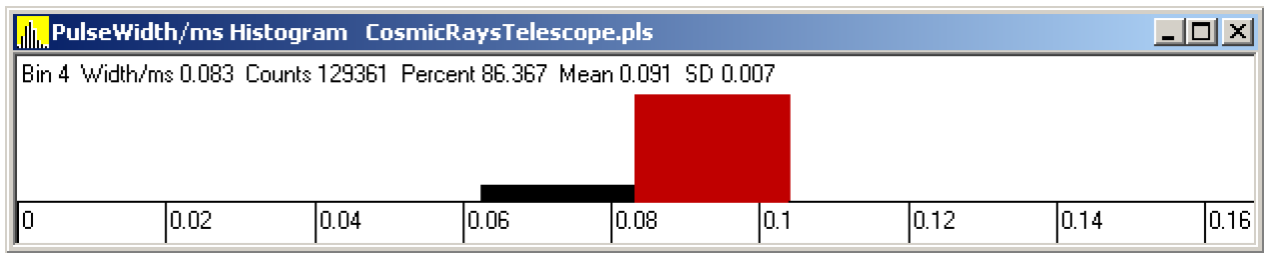
Dieses Histogramm zeigt die Verteilung der Daten, die im Fenster Zählrate vs. Zeit angezeigt werden. Es ist wichtig, die richtigen Parameter für die Größe des Behälters und den Zeitschritt in Zählrate vs. Zeit einzustellen, um ein Histogramm zu erstellen, das die Daten am besten repräsentiert. PRA berechnet die minimale Größe des Behälters in diesem Histogramm und die Größe des Behälters kann die einzige Vielzahl dieses Wertes sein. Die angezeigten Informationen beziehen sich auf den ausgewählten Behälter (rote Farbe) und den Mittelwert und die Standardabweichung der Zählratenverteilung.

Intervall-Histogramm



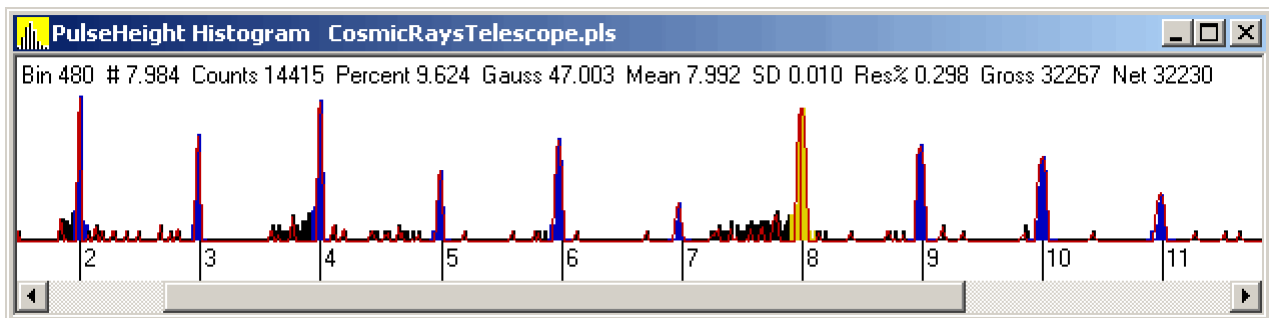
In diesem Fenster wird ein Histogramm des Zeitintervalls der Impulse angezeigt. Wenn der Parameter S-fold auf eins gesetzt ist, stellt er die Verteilung eines Intervalls zwischen aufeinanderfolgenden Impulsen dar. In diesem Fall, wenn keine Totzeit vorhanden ist (was zumindest aufgrund einer endlichen Pulsbreite nicht der Fall ist) und die durchschnittliche Zählfrequenz konstant ist, sollte das Histogramm eine exponentielle Zerfallsform haben. Der größte Wert sollte im ersten Lagerplatz liegen. Für reale Daten beobachten wir in der Regel weniger Impulse in wenigen ersten Bins als erwartet. PRA verwendet die Intervallverteilung, um die Totzeit des Datenerfassungssystems zu berechnen. Die angezeigten Informationen beziehen sich auf den ausgewählten Behälter, der durch die rote Farbe gekennzeichnet ist. Auch wenn S-fold gleich eins ist, wird der ungefähre Wert der Totzeit angezeigt.

Pulsbreiten-Histogramm



Dieses Fenster zeigt ein Histogramm der Pulsbreite. Die Pulsbreite wird in PRA während der Datenerfassung als der Zeitraum von der ersten Probe, wenn die Spannung den Schwellwert überschreitet, bis zur ersten Probe, wenn die Spannung unter den Schwellwert fällt, erkannt. Bei einer solchen Definition hängt die Impulsbreite von allen Parametern für die Impulsauslösung ab. Auch wenn es nicht viel über die tatsächliche Pulsbreite aussagt (vor allem, wenn der Puls durch einen Tiefpassfilter am Eingang des Audioadapters durchgelassen wird), kann es trotzdem nützlich sein. Wenn die Option Formtoleranzmethode aktiviert ist, wird eine Pulsbreite auch durch den Schwellenwert der Form beeinflusst (siehe Checkbox Formtoleranzmethode) und führt in der Regel zu einer sehr kurzen Pulsbreite, die keine erwartete physikalische Bedeutung der Pulsbreite hat. In einem solchen Fall ist die Pulsbreite ein guter Indikator für die Zeitspanne, in der linke und rechte Kanalimpulse als zufällig betrachtet werden. Die angezeigten Informationen beziehen sich auf den ausgewählten Behälter, der durch die rote Farbe gekennzeichnet ist.

Pulshöhen-Histogramm



In diesem Fenster wird das Histogramm der Pulshöhe angezeigt. Bei vielen Detektoren ist die Pulshöhe proportional zur Energie, die von einem Elementarteilchen wie Elektron, Proton, Alpha usw. im Detektor¹ abgelagert wird. Die Pulshöhe wird von PRA bei der Datenerfassung erkannt. Die Triggerungsmethode und die Triggerparameter können im Fenster Einstellungen eingestellt werden. Die Pulshöhe wird in beliebigen Einheiten gemessen (100 arb.u entspricht dem Maximalwert, den ein Audioadapter abtasten kann) und muss vor dem Einsatz als Mehrkanalanalysator kalibriert werden. Die angezeigten Informationen beziehen sich auf den ausgewählten Behälter, der durch die rote Farbe gekennzeichnet ist.

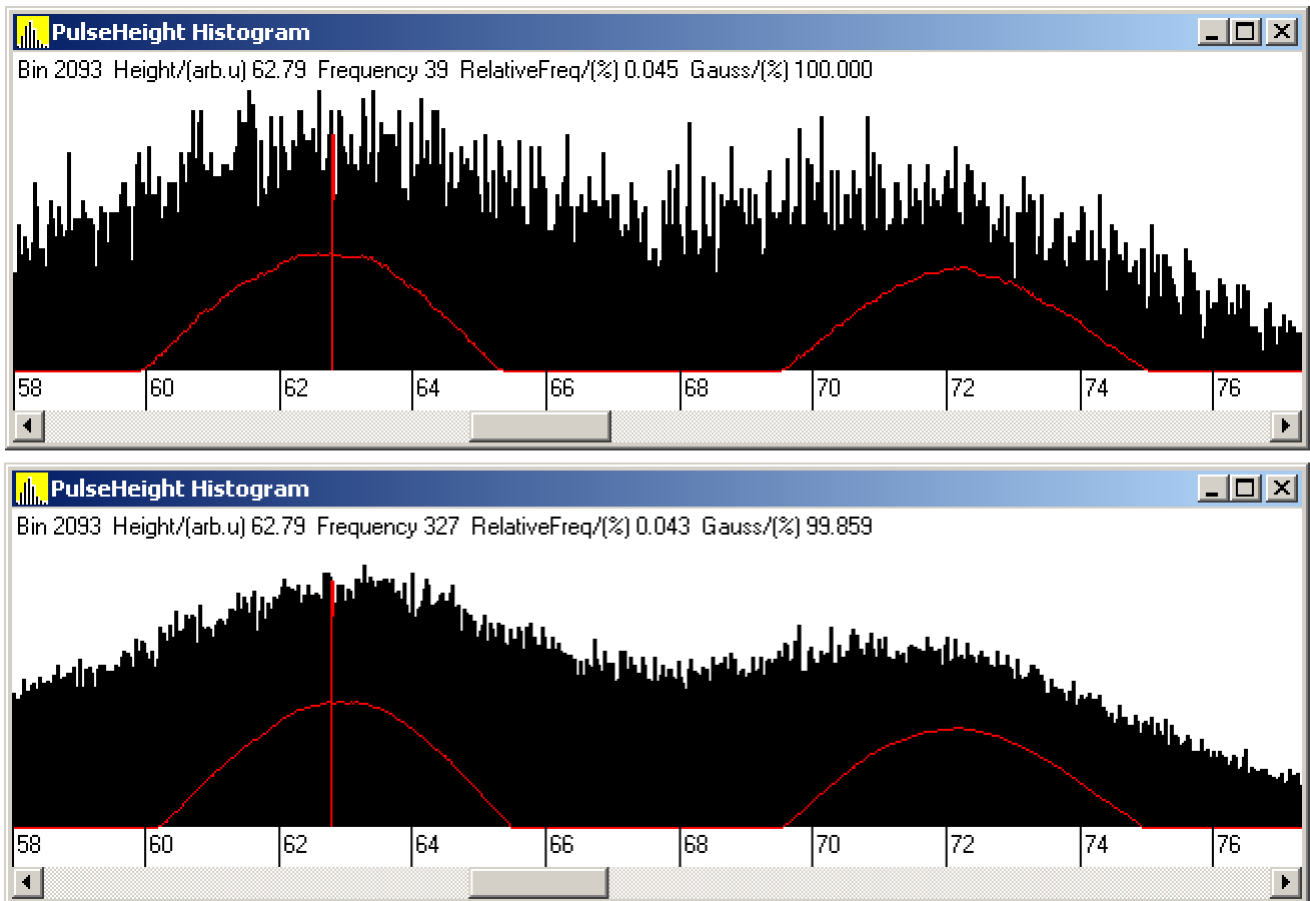
Darüber hinaus kann der Anwender bis zu 32 „Regionen von Interesse“ (ROI) in jedem Kanal definieren. Um dies zu tun, stellen Sie den aktuellen Speicherplatz ein, in dem die ROI beginnen soll, und drücken Sie dann die Taste **B** und bewegen Sie den Cursor an eine Stelle, an der die ROI enden soll, und drücken Sie dann die Taste **E**. Alternativ können Sie die ROI mit der Maus auswählen. Drücken Sie die **Strg**-Taste und halten Sie dann die linke Maustaste an der Stelle gedrückt, an der die ROI beginnen soll, ziehen Sie den Cursor an die Stelle, an der die ROI enden soll, und lassen Sie die Maustaste los. Überschneidet sich eine neue ROI mit einer bestehenden ROI(s), wird die letzte ROI automatisch gelöscht. Sie können ROI auch löschen, indem Sie den aktuellen Lagerplatz innerhalb einer ROI

¹ Die Höhe des Pulses vom Detektor hängt von der Energie des detektierten Partikels ab, ist aber nicht von der Energie des detektierten Partikels abhängig. Beispielsweise können 662 keV-Photonen aus ¹³⁷Cs Quelle eine breite Verteilung von Pulsen erzeugen, einschließlich Gauß'scher Photospitze und großem Compton-Effektteil.

auswählen und die **Entf**-Taste drücken. ROIs sind durch die blaue Farbe gekennzeichnet. Befindet sich der aktuelle Bin innerhalb des ROI, wechselt die Farbe in ein dunkles Gelb. Zusätzlich wird unter der Titelleiste eine Information über die Statistik des Peaks angezeigt. Dies kann nützlich sein, um genauere Parameter für ausgewählte Peaks (oder Tiefen) zu erhalten. Die Parameter werden mit Hilfe einer statistischen Standardanalyse der Nettozählungen berechnet. Die Nettozählungen werden durch Subtraktion des Hintergrundes von der Spitze ermittelt. Der Hintergrund wird als eine gerade Linie geschätzt, die die erste und letzte Probe im ROI verbindet.

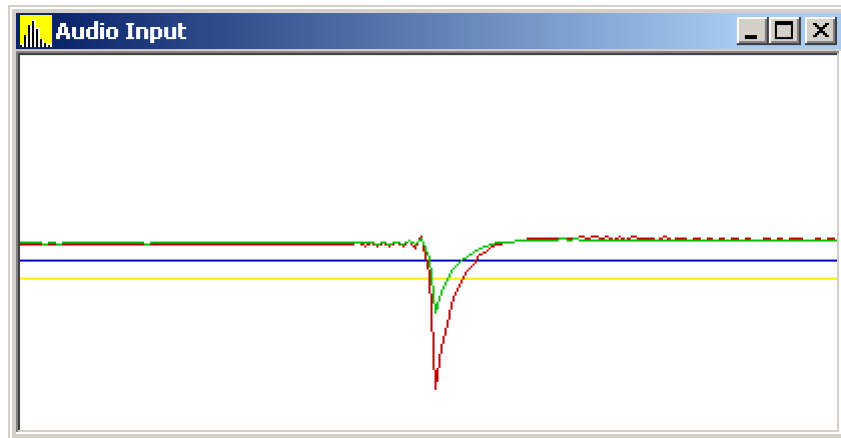
Sie können alle ROIs als Textdatei exportieren, indem Sie im Menü Datei den Befehl Regionen von Interesse exportieren verwenden.

Wenn das Kontrollkästchen *Gaußsche Korrelation anzeigen* im Dialog *Datenerfassung und Analyse* aktiviert ist, dann wird auch die „Gaußsche Korrelation“ (eigentlich handelt es sich um eine Korrelation zwischen der normalisierten diskreten Gaußschen Funktion im Bereich $(-2\sigma, 2\sigma)$ und dem Histogramm der Pulshöhe) berechnet und im Histogrammfenster der Pulshöhe angezeigt. Die meisten Kerndetektoren weisen eine einfache Abhängigkeit von der Standardabweichung (der Ausbreitung) des Peaks und dessen Mittelwert auf. Die Standardabweichung ist proportional zur Quadratwurzel des Mittelwerts. Die folgenden Abbildungen zeigen die Histogramme der Pulshöhe für die kleine und große Anzahl von Zählimpulsen. Wenn sich der aktuelle Bin an einer Position befindet, an der der Gaußsche Korrelationswert größer als Null ist, können Sie den ROI schnell auswählen, indem Sie die **D**-, **F**-, **G**- oder **H**-Taste drücken (jeder von ihnen wählt eine andere Breite des ROI um den Peak herum).



In beiden Fällen ist die Gaußsche Korrelationskurve (rote Farbe) ziemlich glatt, auch wenn das erste Histogramm mit einer um ein Vielfaches geringeren Anzahl von Zählungen als das zweite aufgebaut ist. Sie können die Positionen der lokalen Maxima dieser Kurven verwenden, um ziemlich genau die Mittelwerte der Histogrammspitzen ohne ROI zu schätzen (oder um herauszufinden, welcher Teil des Histogramms ausgewählt werden soll).

Audio-Eingang



Dieses Fenster zeigt ein Signal an den Eingängen des Audio-Interfaces. Rote und grüne Linien zeigen jeweils den linken und rechten Kanal. Gelbe und blaue horizontale Linien entsprechen den Auslöseschwellen. Die volle Höhe des Displays entspricht dem vollen ADC-Bereich Ihres Sound-Interfaces. Das Bild zeigt das gleiche Signal des BGO-Szintillationsdetektors, das sowohl für den linken als auch für den rechten Kanal verwendet wird, wobei die Boost-Verstärkung für den linken und rechten Kanal auf 2 bzw. 1 eingestellt wurde. Mit der Taste "T" kann der Benutzer zwischen den normalen Auto-Trigger-Modi (Standard beim Start von PRA) umschalten, die wie beim Standardoszilloskop funktionieren.

Datenerfassung und -analyse

Data Acquisition and Analysis

Pulse recognition

Height threshold: 10 Tolerance threshold: 10 Correction: 0 Boost gain: 1

Left channel: 1 Right channel: 1 Use shape tolerance

Data acquisition limits

Acquisition time /s: 86400 Number of pulses: 10000000

Analysed data selection

Beginning time /s: 0 Duration time /s: 86400 Channel selection: Left All Use advanced filter

Counting rate vs Time

Bin size /s: 1 Show in logarithmic scale

Counting rate histogram

Bin size / (1/s): 1 Show in logarithmic scale

Interval histogram

Bin size /ms: 0.0208 S-fold: 1 Show in logarithmic scale

Pulse width histogram

Bin size /ms: 0.0208 Show in logarithmic scale

Pulse height histogram

Bin size /arb.u.: 0.1 Use calibration Show Gaussian correlation Show in logarithmic scale

Apply

Comments

Wichtig: Bedienelemente in dieser Dialogbox, deren Namen im statischen Rahmen stehen, sind nur bei der Datenerfassung von Bedeutung. Eine Änderung der Werte nach dem Sammeln der Daten hat keinen Einfluss auf die analysierten Daten. Ihre Werte sollten vor Beginn der Datenerfassung eingestellt werden. Zu Testzwecken können sie jedoch während der Datenerfassung geändert werden, ohne die Aktion zu unterbrechen. In einem solchen Fall sind die ermittelten Daten nicht konsistent. Das Fenster **Datenerfassung und -analyse** ist in 9 Gruppen unterteilt:

1. **Impulserkennung (Pulse recognition)**- Sie können zwischen zwei verschiedenen Impulserkennungsmethoden wählen, die auf einer Formanalyse oder einem Absolutwert basieren. Wenn die Methode *Formtoleranz (use shape tolerance)* verwendet ausgewählt ist, sind alle acht Parameter dieser Gruppe von Bedeutung. In diesem Fall berechnet die Anwendung die Pulshöhe als Wert der Kreuzkorrelationsfunktion (die Summe der Produkte) aus abgetasteten Werten und Werten, die durch die Pulsform definiert sind. Überschreitet er den *Höhenschwellenwert (Height threshold)*, so werden die aktuelle Impulsform und die definierte Impulsform durch die Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den beiden Formen verglichen. Ist die Summe der Differenzen kleiner als der *Toleranzschwellenwert (Tolerance threshold)*, wird ein Impuls gezählt. Der Wert der Formtoleranz sollte zwischen 0 und 100 liegen. Der Wert 0 entspricht der Form des Stromimpulses, der mit dem vordefinierten identisch ist. Der Wert von 100 entspricht der sehr schlechten Korrelation zwischen dem aktuellen Impuls und der vorgegebenen Form. Die richtige Einstellung des Formtoleranzwertes hängt von der definierten Impulsform ab, aber der Wert 10 als Startpunkt ist eine gute Wahl. Um eine sehr gute Pulshöhenauflösung zu erhalten, sollte der Toleranzwert sehr klein sein, z.B. 0,2. Leider filtert dieser kleine Toleranzwert einen Großteil der Impulse heraus. Die Version 9 von PRA versucht dieses Problem zu lösen, indem sie Korrekturparameter einführt, die die Pulshöhe entsprechend der Genauigkeit der Pulsform

korrigieren. Mit diesen Parametern kann man mit einem Schwellwert von 10 fast die gleiche gute Auflösung erreichen wie mit dem Schwellwert 0,1 ohne Korrektur. Sie erhöht die Anzahl der Zählungen, insbesondere bei niedrigen Impulshöhen (niedrigere Energie), bei denen die Impulse aufgrund des geringen Signal-Rausch-Verhältnisses häufig verworfen werden. Ich habe festgestellt, dass Korrekturparameter im Bereich von 50 bis 100 die besten Ergebnisse liefern, aber es hängt natürlich von der Pulsform ab und sollte in jedem Fall optimiert werden. Mit der Version 10 von PRA können Sie die Daten mit einem hohen Wert der Toleranzschwelle erfassen, bei der die meisten Impulse akzeptiert werden, und später mit dem "Advanced Pulse Filter" den gewünschten Bereich auswählen. Wenn Sie die Pulshöhenkorrektur nicht mögen, setzen Sie sie auf 0.

Wenn das Kontrollkästchen „*Formtoleranzmethode verwenden (Use shape tolerance method)*“ nicht aktiviert ist, werden nur die Parameter der Schwellenwerte für die Impulshöhe berücksichtigt, um den Impuls auszulösen. In diesem Fall wird der Wert der Grundlinie über viele Samples berechnet und eine Differenz zwischen der Spitze des Pulses und der Grundlinie wird zu einer Pulshöhe.

Das Vorzeichen der Schwelle entscheidet über die Polarität der getriggerten Impulse: Plus für positiv und Minus für negativ. Nachfolgend ist beispielhaft eine typische Impulsform aus dem Gas-Proportionalzähler dargestellt. Die Form ist größtenteils abhängig vom Vorverstärker. Um eine schnelle Pulsform zu erzeugen, können Sie den Befehl *Action* → *Start Pulse Shape Acquisition* verwenden.

Neu in Version 11 sind die *Boost Gain* Parameter. Ihre Werte können im Bereich von 1 bis 100 eingestellt werden. Es handelt sich dabei um eine zusätzliche Einstellung der Verstärkung der Tonschnittstelle, die die im Schaltschrank eingestellte Verstärkung nicht verändert. Diese Funktion kann nützlich sein, wenn die beobachteten Impulse kleiner als 10 arb.u sind. und der Gain-Regler ist bereits auf Maximum eingestellt. Auch die Feineinstellung der Verstärkung im linken und rechten Kanal kann praktisch sein.

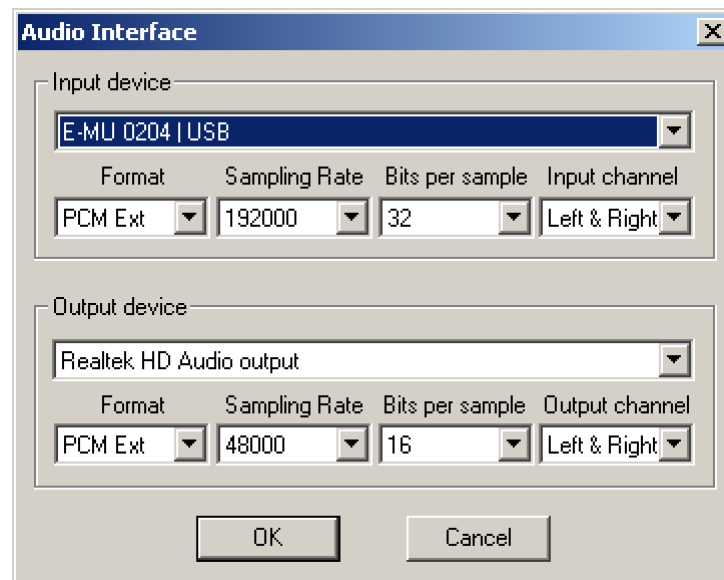
2. **Datenerfassungsgrenzen (Data acquisition limits)**- Sie können einen Maximalwert für die Erfassungszeit oder eine Anzahl von Impulsen einstellen. Wenn Ihr Datenerfassungsprozess eine dieser Grenzen überschreitet, wird er sofort gestoppt.
3. **Auswahl der analysierten Daten (Analysed data selection)**- Sie können den Beginn und die Dauer der Daten, die Sie für die Analyse auswählen möchten, festlegen. Es ist in der Regel empfehlenswert, mit der Datenerfassung früher zu beginnen, als ein interessantes Ereignis eintritt (z.B. eine plötzliche Erhöhung der Zählfrequenz) und nach dem Stoppen der Datenerfassung einen nur interessanten Ausschnitt der erfassten Daten auszuwählen. Außerdem können Sie den Audiokanal auswählen, aus dem Histogramme erstellt und angezeigt werden. Wenn Sie z.B. nur die Impulse des linken Kanals sehen möchten, die gleichzeitig mit einem anderen Impuls des rechten Kanals auftreten (Zeitkoinzidenz), wählen Sie *Left if Right*. Die erweiterte Ereignisfilterung einschließlich Pulshöhe, Pulsverzerrung und Pulsbreite ist möglich, indem Sie im Dialogfenster "Advanced Pulse Filter" das Kontrollkästchen "Use advanced filter" aktivieren und die Einträge bearbeiten.
4. **Zählrate vs. Zeit (Counting rate vs Time)**- es gibt nur einen Parameter, den Sie ändern können: den Zeitraum, den Sie zur Berechnung der Zählrate verwendet haben. Es gibt auch ein Kontrollkästchen, mit dem Sie Statistiken in logarithmischer Skala anzeigen können.
5. **Histogramm der Zählrate (Counting rate histogram)**- wie bei allen anderen folgenden Histogrammen gibt es den Parameter *Bin size* und das Kontrollkästchen *Show in logarithmischer Skala*, das Sie bearbeiten können.
Dieses Histogramm verwendet die *Zählrate vs. Zeit*-Daten und wird durch den Parameter *Zeitschritt* beeinflusst. Für radioaktive Strahlenquellen, die ihre Intensität nicht verändern, kann die Zählfrequenz als Gauß- oder Poissonverteilung bezeichnet werden, je nach Größe und Intensität der Strahlenquelle.
6. **Intervall-Histogramm** - Sie können zusätzlich den Parameter *S-fach (S-fold)* ändern. Wenn der Parameter *S-fold* gleich eins ist, dann wird der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen gezählt, wenn er gleich zwei ist, dann wird der Abstand zwischen jedem ersten und

dritten Impuls gezählt usw. Möglicherweise wird nach dem Öffnen der ".pls"- oder ".wav"-Datei und nach dem Starten der Datenerfassung mit einer neuen Abtastrate automatisch die kleinste Behältergröße ausgewählt.

7. **Pulsbreiten-Histogramm (Pulse width histogram)** - Sie können zwei Einstellungen wie bei anderen Histogrammen ändern. Die Lagerplatzgröße wird automatisch auf die gleiche Weise eingestellt wie beim *Intervall-Histogramm*. Wenn Sie die Puls-Shapeanalyse verwenden, ist die Pulsbreite sehr kurz (in der Regel eine oder zwei Abtastzeiten) und entspricht nicht der tatsächlichen Pulsbreite.
8. **Pulshöhen-Histogramm (Pulse height histogram)** - die Einstellungen sind identisch mit denen des *Pulsbreiten-Histogramms*, jedoch wird die Pulshöhe anstatt der Pulsbreite analysiert. Zusätzlich gibt es zwei Kontrollkästchen: *Energiekalibrierung verwenden* und *Gaußsche Korrelation anzeigen*. Wenn das Kontrollkästchen *Energiekalibrierung verwenden* aktiviert ist, verwendet das *Pulshöhen-Histogramm* Parameter aus dem Dialogfeld *Energiekalibrierung*, in dem Sie Parameter für den linken und rechten Audiokanal festlegen können. Dieses Kontrollkästchen wirkt sich auch auf Daten aus, die über das Menü *Pulshöhen-Histogramm exportieren* exportiert werden. Wenn die Option *Gaußsche Korrelation anzeigen* aktiviert ist, wird die Ergebnis-Korrelationskurve der vorhergesagten Gaußschen Verteilung und des Pulshöhen-Histogramms auch im Fenster *PulseHeight Histogram* angezeigt.
9. **Kommentare** - enthalten einen Text, der mit den Daten gespeichert wird. PRA schließt automatisch den Beginn und das Ende aller Datenerfassungssitzungen mit ein, z.B.: <2017/07/23 16:45:46 0, 2017/07/23 16:45:51 5.5><2017/07/23 16:46:20 5.5, 2017/07/23 16:46:28 13.5>. Dies deutet darauf hin, dass die Datenerfassung in zwei Sitzungen durchgeführt wurde, eine begann am 23. Juli 2017 um 16:45:46 Uhr und endete am selben Tag um 16:45:51 Uhr und die zweite Datenerfassung begann am selben Tag, aber um 16:46:20 Uhr und endete um 16:46:28 Uhr. Die erste Sitzung war 5,5 s lang und die zweite Sitzung verlängerte die gesamte Erfassungszeit auf 13,5 s. Natürlich können Sie Kommentare nach Ihren Wünschen bearbeiten, bevor Sie die Daten speichern.

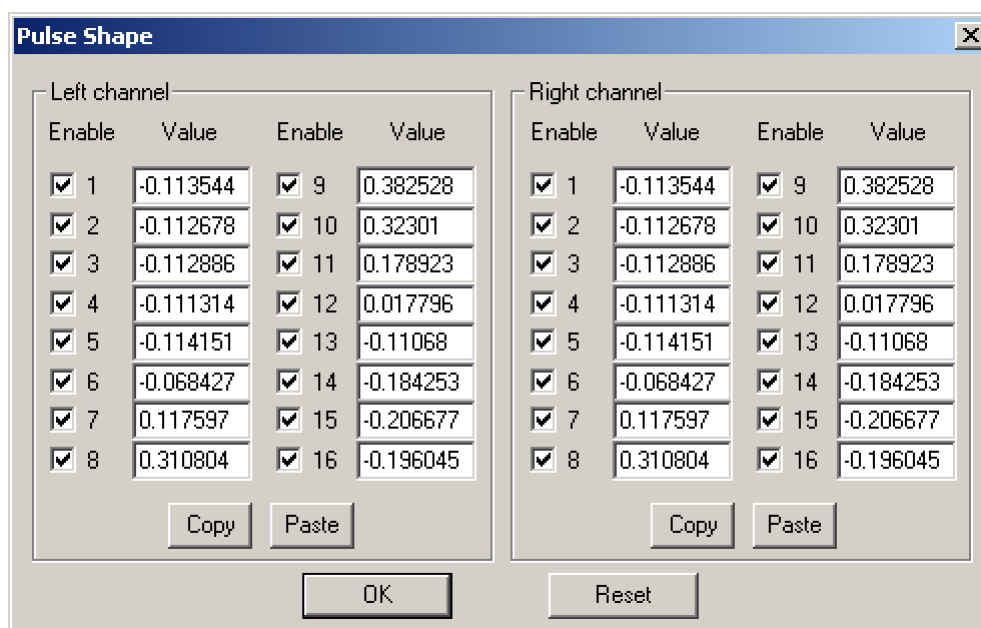
Mit der Schaltfläche *Apply* werden die Einstellungen übernommen und mit der Schaltfläche *Save* zusätzlich als Standard in der Datei "PRA.ini" gespeichert. Mit der Schaltfläche *Speichern unter (save as)* können Sie die PRA-Einstellungen unter einem anderen Namen speichern. Diese Datei kann später über die Schaltfläche *Laden* geladen werden. Ab Version 4.2 enthält die Einstellungsdatei auch ROIs, ab Version 5.0 auch Audioeinstellungen und ab Version 6.0 Kalibrierdatenpunkte und Kommentare. Dies kann manchmal zu einem Problem führen, wenn Ihr Audiogerät geändert wurde. Löschen Sie in diesem Fall einfach eine "PRA.ini"-Datei und starten Sie das Programm erneut.

Einstellungen der Audio-Schnittstelle



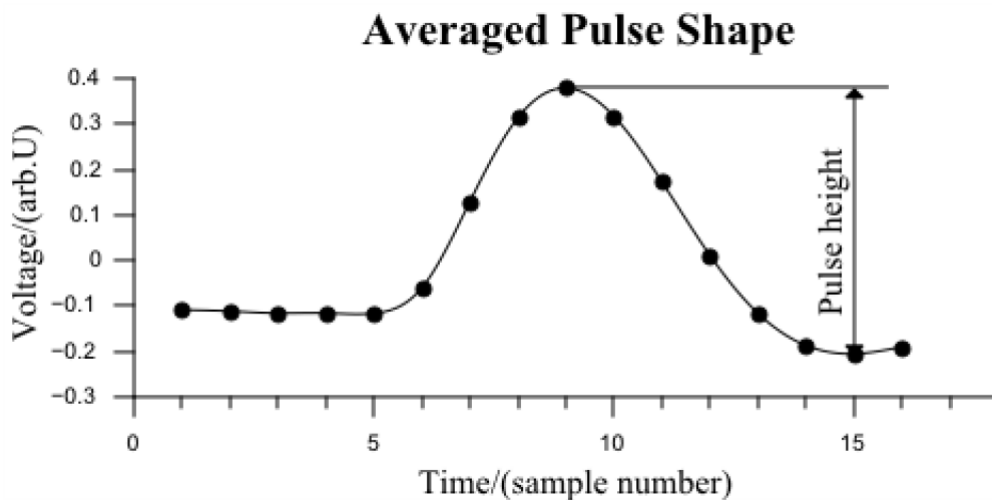
In dieser Dialogbox können Sie das Audiogerät und seine Parameter für die Datenerfassung und -wiedergabe auswählen. Höhere Abtastraten am Eingang werden bevorzugt, um eine bessere Auflösung der Höhenimpulse und höhere Zählfrequenzen zu erzielen. Wenn Ihr Audiogerät nicht wirklich höhere Samplingraten unterstützt, sollten Sie diese Option² nicht verwenden. Es ist interessant, dass einige Einstellungen nicht wie von der Hardware-Spezifikation erwartet unterstützt werden. Als ich zum Beispiel mein "E-MU 0204"-Interface ausprobierte, unterstützte es gut alle Optionen, wenn Bits pro Sample auf 16 gesetzt waren, aber nur der Stereomodus funktionierte für 24 Bit und 32 Bit. Für die Ausgabe empfehle ich 48000 Sampling-Rate und vorzugsweise auf den verschiedenen Ausgabegeräten zu verwenden, um Klangverzerrungen zu vermeiden, wenn Ihre Hardware nicht in der Lage ist, flüssig zu spielen. Populäre Sound-Schnittstellen, die in das Motherboard eingebaut sind, leisten gute Arbeit, sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausgabe, die auf 48000 Samples pro Sekunde eingestellt sind.

Pulsform-Editor



² Windows-Treiber unterstützen manchmal künstlich eine höhere Abtastrate, indem sie zusätzliche Samples interpolieren.

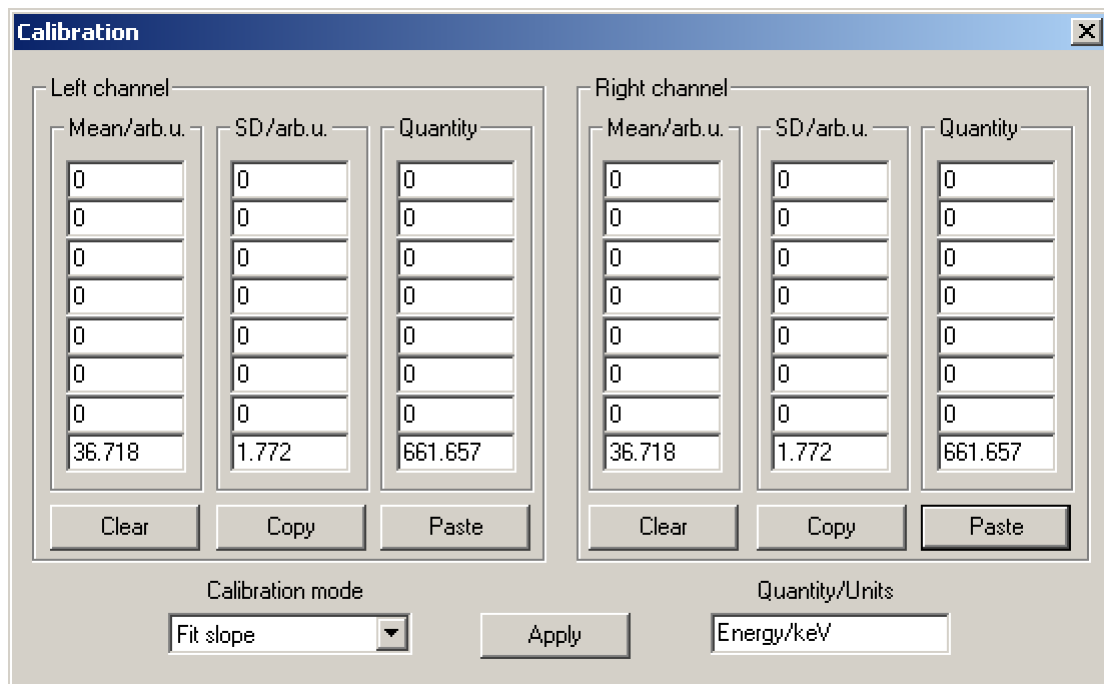
Im Fenster Pulsform bearbeiten können Sie die Pulsform des Pulses bearbeiten, mit der Sie die Wellenform analysieren können. Für jeden Kanal gibt es 16 aufeinanderfolgende Abtastwerte, von denen mindestens zwei verschiedene Werte aktiviert werden sollten. Um alle Daten eines Kanals zu kopieren oder einzufügen, verwenden Sie die Schaltflächen *Kopieren* oder *Einfügen*. Die eingefügten Daten sind auf die Matrix 1x16 beschränkt, wenn die Zwischenablage mehr Spalten oder Zeilen enthält. Die Werte werden automatisch³ normiert, wenn Sie auf die Schaltfläche OK klicken. Die aktuelle Pulsform wird mit dem Befehl *Speichern* (oder *Speichern unter*) aus dem Fenster *Datenerfassung und Analyse* in der Datei "PRA.ini" gespeichert und beim nächsten Öffnen der Anwendung automatisch geladen. Ab Version 5.0 von PRA enthält auch die Datendatei ".pls" die Pulsform und wird beim Öffnen der zuvor gespeicherten Datei zur aktuellen Pulsform. Der Reset-Knopf verwirft alle Änderungen und setzt die zuletzt akzeptierten Werte. die Pulsform, die im obigen Bild gezeigt wird, wurde von meinem NaI-Detektor genommen, wobei der linke Kanal über einen Tiefpassfilter und der rechte Kanal direkt mit dem Audioeingang verbunden ist. Vergleicht man die ersten fünf Samples in jeder Kanalform, so fällt auf, dass kleine Schwingungen⁴ im rechten Kanal im linken Kanal fast vollständig unterdrückt werden.



Die im obigen Bild dargestellte Pulsform wurde durch Mittelung einiger Pulse aus der mit der InTune-Anwendung aufgezeichneten Wellenform konstruiert. Um einen ähnlichen Effekt zu erzielen, kann man das Menü *Aktion* → *Start Pulse Shape Acquisition* verwenden. Die Form kann so eingestellt werden, dass sie nach der führenden oder fallenden Flanke des Pulses sucht. Der Zweck der Pulsformanalyse ist es, die Auflösung des Spektrums zu erhöhen, indem schlecht geformte Pulse (wie in einem Fall mit teilweise überlappenden Pulsen) aus der Statistik ausgeblendet werden. Außerdem kann das Rauschen (in der Regel durch die Maskierung von Impulsen mit geringer Amplitude) deutlich reduziert werden.

Kalibrierung

-
- 3 Der Mittelwert der Datenpunkte ist 0 und die Summe ihrer Quadrate ist eine Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Wert der Datenpunkte.
 - 4 Diese Schwingungen werden durch ein digitales Anti-Aliasing-Filter im Audio-Interface eingeleitet, um Frequenzen oberhalb der halben Abtastrate (Nyquist-Frequenz) zu entfernen.



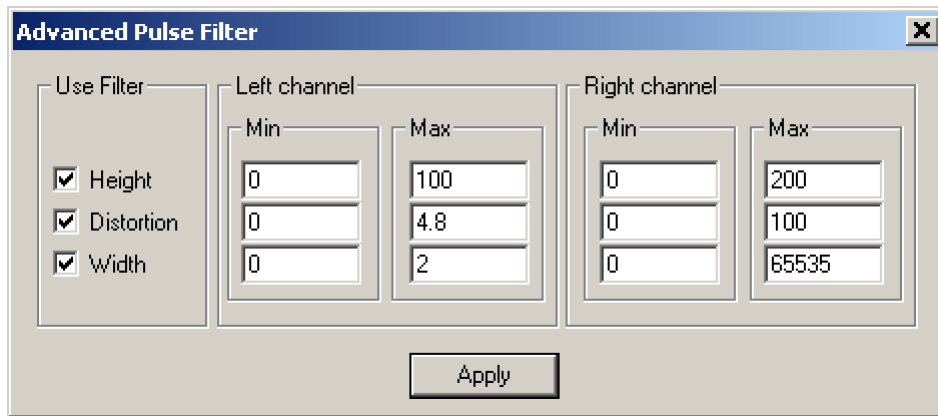
In dieser Dialogbox können Sie für jeden Kanal bis zu acht Kalibrierdatenpunkte festlegen. *Clear*-Tasten setzen alle Werte im entsprechenden Kanal auf Null. Um alle Daten eines Kanals zu kopieren oder einzufügen, verwenden Sie die Schaltflächen *Kopieren(Copy)* oder *Einfügen(Paste)*. Beim Kopieren sind die Daten in der Zwischenablage in Textform, die aus drei durch Tabulatoren getrennten Spalten besteht. Die Funktion Einfügen arbeitet mit einer Zwischenablage, die Text enthält, dessen Spalte durch Tabulatoren, Leerzeichen und Semikolons getrennt ist. Die Anzahl der Spalten und Zeilen, die aus der Zwischenablage eingefügt werden, ist auf 3x8 Matrix beschränkt. Außerdem können Sie den Kalibriermodus aus den Optionen Steilheit anpassen, Linear anpassen und Interpolieren auswählen. Die populäre und für die meisten Detektoren empfohlene Methode ist die lineare Anpassung.

Ähnlich wie bei der linearen Anpassung ist die Steilheit, bei der die Kalibrierlinie gezwungen wird, den (0,0)-Punkt zu durchlaufen. Dies kann z.B. nützlich sein, wenn Sie Ihr System mit einer Quelle kalibrieren, die nur Spitzenwerte bei höherer Energie hat und keine Spitzenwerte bei niedrigerer Energie zur Verfügung stehen. PRA verwendet auch die Standardabweichung von Kalibrierpeaks (Spalte SD) für die Gewichtung von Kalibrierpunkten und für Gaußsche Korrelationsparameter.

Die Option Interpolation dient zur Kalibrierung von Detektorsystemen, bei denen die Abhängigkeit zwischen Energie und Pulshöhe nichtlinear ist. PRA verwendet einfache lineare Interpolation zwischen Kalibrierpunkten. Die Energie, die über den letzten Kalibrierpunkt hinausgeht, wird aus den beiden größten Daten extrapoliert. Wenn Sie nur einen Kalibrierpunkt haben, erhalten Sie bei allen drei Methoden das gleiche Ergebnis. Im Textfeld Menge/Einheiten können Sie einen anderen Namen (maximal 31 Zeichen) für die Menge und die Einheiten vergeben, die Sie verwenden. PRA wird hauptsächlich für die Erfassung von Energiespektren verwendet, aber Sie haben die Freiheit, andere Größen und Einheiten zuzuordnen. Wenn Sie z.B. automatisch die Größe von kleinen Partikeln messen, indem Sie ein elektronisches Gerät verwenden, das ihren Durchmesser in Pulse umwandelt, deren Höhe von der Partikelgröße abhängt, können Sie Quantity/Units text auf Diameter/ μm setzen. Wenn Sie auf die Schaltfläche Übernehmen klicken, werden alle Eingaben auf Konsistenz⁵ 5 geprüft und die akzeptierten Werte in das Histogramm der Pulshöhe übertragen.

Erweiterter Impulsfilter

⁵ Alle drei Werte in jeder Zeile können gleichzeitig Nullen oder Nicht-Null sein und größere Impulshöhen müssen einer größeren Energie entsprechen. Mindestens eine Zeile für jeden Kanal muss Daten enthalten, die ungleich Null sind.



In dieser Dialogbox haben PRA-Anwender die Möglichkeit, zusätzliche Parameter der Pulse auszuwählen, mit denen alle Histogramme erstellt werden können. Dies ist ein Filter, der keine Informationen in der *.pls-Datei verändert. Insbesondere die Auswahl von Impulsbreitenbereichen und Impulsverzerrungen kann hilfreich sein, um geeignete Werte für die "Toleranzkorrektur" zu finden, um die Auflösung des Pulshöhen-Histogramms zu erhöhen. Dieses Filter, wenn es während der Datenerfassung verwendet wird, wirkt sich auch auf die 'gespielten' Pulse aus.

Mathematik in PRA

Mathematik in PRA

Impulserkennung

Baseline Methode

Pulsform-Verfahren

Kalibrierung

Gefälle anpassen

Linearität anpassen

Interpolation

Totzeitberechnungen

„Region von Interesse“ Statistik

Gaußsche Korrelationsfilter

Toleranzkorrektur

In diesem Kapitel möchte ich⁶ mathematische Formeln zeigen, die hinter den Kulissen von PRA arbeiten. Einige von ihnen sind allgemein bekannt und einige sind von mir speziell für den Einsatz in PRA entworfen worden. Ich denke, dass dies für PRA-Anwender nützlich sein könnte, um besser zu verstehen, wie das Programm funktioniert, und für Programmierer, um ähnliche Lösungen in ihrer eigenen Software zu verwenden.

Impulserkennung

Baseline Methode

In PRA sind zwei Methoden implementiert, um Pulse zu erkennen und zu analysieren. Die erste Methode ist Standard. Zuerst suchen wir nach der Basislinie des Eingangssignals. In PRA wird die Baseline als Mittelwert aller Proben in einem Puffer (in der Regel einige hundert Proben) berechnet, die kleiner als Null sind (vorausgesetzt, dass die Impulse positiv sind).

$$base = \frac{\sum_{i=1}^{i=max} y_i \cdot \varepsilon_i}{\sum_{i=1}^{i=max} \varepsilon_i}$$

wobei:

max ist die Anzahl der Samples im Puffer,

y_i ist der Wert der i^{ten} Probe,

ε_i ist gleich 1, wenn $y_i < 0$ und andernfalls 0.

Dann prüft PRA, ob $y_i - base$ die Pulsschwelle überschreitet, wenn ja, entsprechend wird i als Pulsanfang markiert. Nun sucht PRA nach dem Maximalwert der $y_i - base$, bis dieser kleiner als die Pulsschwelle wird. Dann wird das entsprechende i zum Ende des Pulses und der Maximalwert von $y_i - base$ seine Höhe. Diese Methode der Impulserkennung ist einfach, schnell und funktioniert gut für die Impulzzählung, wenn eine gute Impulshöhenauflösung nicht wichtig ist (Geiger-Müller-Zähler). Eine schlechte Pulshöhenauflösung ist das Ergebnis von Änderungen des Basiswertes und der Tatsache, dass nur eine Probe über die Pulshöhe entscheidet.

⁶ Es könnte Freude und Herausforderung für Studenten und andere mathematisch orientierte PRA-Anwender sein, einige dieser Formeln zu prüfen.

Pulsform-Verfahren

Die zweite Methode der Pulsanalyse wurde entwickelt, um die bestmögliche Auflösung der Pulshöhe zu erreichen. Ich nenne es eine "Pulsform-Methode". Diese Methode beruht auf dem Vergleich einer speziell vorbereiteten "Standard Pulsform-Funktion" mit einem kleinen Teil aufeinanderfolgender Signalabtastungen. Der Vergleich ist eine einfache Punktmultiplikation von Standard-Pulsformvektor- und Signalabtastwerten. PRA verwendet bis zu 16 Punkte lange⁷ diskrete Standard-Impulsform-Funktionen, die von Hand editiert oder automatisch vom Signaleingang bezogen werden können. Durch die manuelle Bearbeitung der Pulsform kann der Anwender ähnliche Effekte der Pulserkennung erzielen wie bei der vorherigen (Baseline-Subtracting) Methode oder bei der kommerziellen MCAs Puls-Integrationsmethode. Am stärksten ist jedoch das Verfahren, bei dem die Darstellung der Pulsform automatisch aus dem Signal gewonnen wird. In diesem Fall sucht PRA nach lokalen Maxima in Eingangsstichproben und speichert sie zusammen mit 8 Stichproben vor dem Maximum und 7 Stichproben nach dem Maximum. Alle diese Samples werden gemittelt und dann "normalisiert", um eine brauchbare Standarddarstellung der Pulsform zu erhalten. Bei der PRA-Normalisierung handelt es sich um eine lineare Funktion, die auf die Pulsform angewendet wird, um zwei besondere Eigenschaften zu erreichen:

1. Die Summe aller 16 Impulsform-Zahlen muss gleich Null sein. Dies geschieht durch Subtraktion des Mittelwerts. Diese Eigenschaft der Pulsform-Funktion macht das Ergebnis des Punktprodukts unabhängig von einer konstanten Verschiebung der Grundlinie.
2. Die Länge des Impulsformvektors (Summe der Quadrate aller Impulsform-Werte) muss gleich der Differenz zwischen seiner maximalen und minimalen Komponente⁸ sein. Dies macht die Pulshöhe zu einem ähnlichen Wert wie die Pulshöhe, die mit der Basislinienmethode ermittelt wurde.

Auf eine formaleren mathematischen Art und Weise kann dies durch Formeln dargestellt werden:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{k=0}^{k=15} s_k}{16}$$

$$S_k = \frac{(s_k - \bar{s}) \cdot h}{\sum_{k=0}^{k=15} (s_k - \bar{s})^2}$$

wobei:

s_k ist der k -te Wert der Impulsform vor der Normalisierung,

S_k ist der k -te Wert der Impulsform nach der Normalisierung,

h ist eine Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Wert der Impulsform (die Höhe der Impulsform selbst). Der Leser kann überprüfen, dass nach diesem Normalisierungsvorgang

$h = \sum_{k=0}^{k=15} S_k^2$ bei der Normalisierung invariant wird (er ändert sich nach der nächsten Normalisierung nicht) und der Differenz zwischen der maximalen und minimalen Komponente des Standard-Pulsformvektors entspricht.

⁷ Die Zahl 16 ist willkürlich gewählt, um eine gute Impulshöhenauflösung und eine relativ geringe Rechenlast zu erreichen.

⁸ Normalerweise werden Vektoren auf eins normiert.

Jetzt können wir unsere Pulsform nutzen, um ein Punktprodukt aus unserer Standardpulsform und einem Vektor, der aus 16 aufeinanderfolgenden Proben besteht, zu finden:

wobei:

i ist ein laufender Index entlang von Samples im Eingangspuffer,

h_i ist ein Punktprodukt aus Standard-Pulsformvektor und 16 aufeinanderfolgenden Abtastwerten.

PRA verwendet h_i als neuen Wert der Probe und sucht, ob sie größer als die Pulsschwelle ist, um den Beginn eines Pulses zu markieren und dann Pulshöhe und Pulsbreite auf die gleiche Weise wie bei der Basislinienmethode ($base=0$) zu bestimmen.

Die mit der Pulsform-Methode berechnete Pulshöhe ist genauer als bei der Basislinien-Methode, aber trotzdem kann sie Pulse zählen, deren Form stark verzerrt ist. Um dieses Problem zu beheben, verwendet PRA Pulsform-Filter, um nur die Pulse zu zählen, deren Form der Standard-Impulsform ähnlich ist. Das Verfahren ist sehr einfach. Jedes Mal, wenn sich herausstellt, dass h_i die Pulsschwelle überschreitet, normalisiert PRA 16 Proben ab y_i auf die gleiche Weise wie die Standardpulsform. Dann werden diese 16 Proben von der Standardform subtrahiert, jede Differenz quadriert und addiert. Das Ergebnis ist ein gutes Maß für die Ähnlichkeit von Standard- und Strompulsform. Wenn es Null ist, sind die Formen identisch. Ist dieser Wert größer als die Toleranzschwelle der Impulsform, wird der Impuls verworfen.

wo:

Y_{i+k} ist ein normierter Vektor mit 16 aufeinanderfolgenden Abtastwerten (ausgehend von der i -ten Probe),

t_i 'Toleranz' ist ein Maß für die Differenz zwischen den aktuellen Proben und den Standardformen.

Kalibrierung

Signalproben des Soundadapters, die von PRA analysiert werden, liegen in der Regel als 16-Bit-, 24-Bit- und 32-Bit-Integer-Zahlen vor. PRA wandelt sie alle in eine reelle Zahl aus dem Intervall (-100, +100) um. Diese Zahlen haben keine physikalischen Einheiten (sie sind proportional zur Eingangsspannung) und PRA verwendet für sie sogenannte Arbitrary Units (Arb.u.). Die Pulshöhe wird auch in willkürlichen Einheiten ausgedrückt. Die Höhe des Pulses, der vom Detektor kommt, hängt in der Regel von der Energie ab, die von den Elementarteilchen im Inneren des Detektors abgelagert wird⁹. Diese Abhängigkeit ist nicht sehr streng und für bestimmte Energie, die im Detektor hinterlegt ist, gibt es die ganze Bandbreite der Ausgangsimpulshöhen, die einen Spitzenwert im Histogramm der Impulshöhe erzeugen. Die Form dieses Peaks kann durch die sogenannte Normal- oder Gauß-Verteilung beschrieben werden. Unter Kalibrierung versteht man die Abhängigkeit der Position dieses Peaks und der entsprechenden Energie, die im Detektor hinterlegt ist (was sehr oft eine volle kinetische Energie des detektierten Partikels ist). Zum Beispiel produziert die bekannte Quelle Cs 137 Gammas mit der Energie von 662 keV. Wenn dieses Gamma mit dem Detektor interagiert und seine gesamte Energie abgelagert wird, dann bilden die diesem Ereignis entsprechenden Impulse einen Gaußschen Peak auf dem Histogramm der Pulshöhe. Wenn der Mittelwert dieses Peaks 20 Arb. dann weist unsere Kalibrierfunktion 662 keV bis 20 arb.u. zu. und PRA zeigt Abszissenwerte auf dem Histogramm der Pulshöhe in keV statt in willkürlichen Einheiten an. PRA verwendet drei Methoden der Kalibrierung.

Gefälle anpassen

Dies ist die einfachste (und sehr gute) Methode, um den Detektor zu kalibrieren. Die meisten Detektoren weisen eine recht gute Proportionalität zwischen der im Detektor abgelagerten Energie und der Pulshöhe auf. In diesem Fall ist die Funktion $y = a \cdot x$ eine gute Wahl. PRA verwendet die Methode der gewichteten kleinsten Quadrate, um den Parameter a zu finden. In der Dialogbox Kalibrierung haben wir bis zu 8 Kalibrierungseinträge für jeden Kanal: (Mittelwert des Peaks in beliebigen Einheiten, Standardabweichung SD in beliebigen Einheiten, Menge in Mengeneinheiten).

Benennen wir es wie folgt ($x_i \pm \sigma_i$, y_i).

Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate können wir folgendes finden

wobei i über alle (ungleich Null) Kalibrierdatenpunkte läuft.

Linearität anpassen

In diesem Fall ist die Anpassungsfunktion linear: $y = a \cdot x + b$. Dies ist eine allgemeinere Form als die Anpassungsneigung und sollte verwendet werden, wenn Sie einige Kalibrierpunkte mit niedriger Energie kennen.

Die Parameter a und b werden mit Hilfe von Formeln berechnet:

⁹ Dies ist die häufigste Verwendung von PRA, aber Sie können einen anderen Wandler verwenden, der Impulse erzeugt, die von verschiedenen physikalischen Größen abhängig sind, nicht aber von der benötigten Energie.

Interpolation

Diese Kalibrierungsmethode sollte verwendet werden, wenn Ihr Detektor nicht linear ist, z.B. wenn die Steilheit der Kalibrierfunktion von niedrigen Energien zu hohen Energien wechselt. In diesem Fall verwendet PRA eine einfache lineare Interpolation zwischen Kalibrierdatenpunkten, einschließlich des Anfangspunktes (0,0) und der Extrapolation des letzten Paares von Kalibrierdatenpunkten für höhere Energien. Lineare Interpolation für x , die zwischen zwei Kalibrierdatenpunkten liegt $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ kann ausgedrückt werden als: $y =$.

Totzeitberechnungen

Totzeit ist eine unvermeidbare Eigenschaft eines jeden Detektors und Datenerfassungssystems. Die Totzeit ist eine Mindestzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen, die vom Datenerfassungssystem erkannt wird. Die Totzeit des Systems kann durch den Detektor selbst (als Erholungszeit im GM-Zähler, Szintillationszeit im NaI-Kristall oder Plastikszintillator), analoge Elektronik (Verstärker, Filter und Formgebungsgeräte) und digitale Elektronik (einschließlich ADC, Datenspeicherzeit usw.) beeinflusst werden.

Bei unserem Programm "PRA" ist die Zugfeder zur Totzeit die Breite des Pulses, die nicht zu klein sein kann, um von der Soundkarte des Computers richtig abgetastet zu werden. PRA verwendet Zeitintervallstatistiken, um die Totzeit des Systems zu ermitteln. Eine Manifestation von Totzeitphänomenen in Zeitintervall-Histogrammen sind leer und weniger bevölkert als zu Beginn erwartet. Wenn die Zählfrequenz konstant ist, erwarten wir, dass die Verteilung des Zeitintervalls der exponentiellen Zerfallskurve mit dem Maximum des ersten Bin folgt.

Wie analysiert PRA dieses Histogramm, um eine Totzeit des Gerätes zu finden?

1. Wir suchen den Behälter mit einer maximalen Anzahl von Zählimpulsen. Nennen wir das entsprechende Zeitintervall T .
2. Als nächstes zählen wir alle Ereignisse in den Regionen $[0, T]$, $[T, 2T)$, und $[2T, 3T)$. Nennen wir sie s_0 , s_1 und s_2 entsprechend.
3. Jetzt können wir die Totzeit W mit Hilfe einer Formel berechnen:

„Region von Interesse“ Statistik

Region Of Interest (ROI) ist ein beliebiger Bereich von aufeinanderfolgenden Bins im Pulshöhen-Histogramm. Normalerweise verwenden wir es, um einen Peak auszuwählen. Die interessantesten Parameter, die von PRA berechnet werden, sind der Mittelwert, die Standardabweichung, die Bruttoanzahl der Zählungen und die Nettoanzahl der Zählungen. Die Bruttoanzahl der Counts in ROI ist nur die Summe aller Counts in der ausgewählten Region. Normalerweise wird der Peak nicht mit der Basis auf Null gebaut, sondern sitzt auf der Spitze dessen, was wir einen Hintergrund nennen (nicht notwendig, wenn man von einer Hintergrundstrahlung ausgeht). Unter Hintergrund versteht man ein sich langsam veränderndes Profil des Histogramms. Die Nettoanzahl der Zählungen wird berechnet, indem

man die Hintergrund-Zählungen von den Bruttozählungen subtrahiert. PRA geht davon aus, dass sich der Hintergrund unter dem Peak linear verändert. Um die Parameter dieser Linie zu berechnen, nehmen wir zunächst einige wenige (10% der Breite des ROI) Stichproben um den Anfang herum und berechnen ihren Mittelwert und machen das Gleiche am Ende des ROI. Als nächstes subtrahieren wir die Fläche des Trapezes, die auf diesen neuen Punkten aufgebaut ist, von der Bruttozahl der Zählungen, um die Nettozahl der Zählungen zu erhalten. Der Mittelwert und die Standardabweichung werden anhand von Nettozählungen berechnet, die aussagekräftiger sind als die Rohzählungen. Genauer gesagt, können wir den gesamten Prozess mit Hilfe von Formeln beschreiben:

Gaußsche Korrelationsfilter

In vielen Fällen besteht der einzige Zweck des Histogramms der Pulshöhe darin, charakteristische photoelektrische Spitzen zu finden, die helfen können, radioaktive Isotope in Ihrer Quelle zu identifizieren. Die beste Methode ist, die Daten so lange zu sammeln, dass das Histogramm der Pulshöhe zu einer sehr glatten Kurve wird und alle Spitzen deutlich sichtbar werden. Das Problem mit dieser Methode liegt auf der Hand; in der Regel müssen Sie Ihre Daten sehr lange sammeln. Dies führt zu einem weiteren Problem mit der Langzeitstabilität und Temperaturabhängigkeit Ihres Detektors. Einige Leute versuchen, dieses Problem zu lösen, indem sie die Daten mit Hilfe von simplen Mittelwertbildung aufeinanderfolgenden Bins glätten. Obwohl es manchmal helfen kann, Peaks zu erkennen, die unter normalen statistischen Datenfluktuationen versteckt werden können, führt es in der Regel aber auch zur Identifizierung falscher Peaks und verschmiert die Daten. Diese Methode ist äquivalent zu nur größeren Behältern. Eine neue Methode, die von PRA verwendet wird, ist die Filtration der Pulshöhen-Histogrammdaten auf wissenschaftlichere Weise. Die meisten Kerndetektoren arbeiten nach einem einfachen Prinzip; die Anzahl der detektierbaren Partikel, die im Detektor erzeugt werden, ist proportional zur kinetischen Energie des Primärpartikels, der in den Detektor eintritt. Bei Szintillationsdetektoren handelt es sich um eine Anzahl von Photonen, die bei der Szintillation erzeugt werden, bei Gasproportionalzählern um eine Anzahl von positiven Ionen und Elektronen oder bei Halbleitern um eine Anzahl von Elektronen-Loch-Paaren. Ein am Detektor befestigter Wandler (Photomultiplier, Dünndrahtanode oder Elektrode) erzeugt ein Signal, das proportional zur Anzahl der detektierbaren Partikel ist. Diese Zahl unterliegt gewissen statistischen Schwankungen, die man als Poisson-Verteilung bezeichnen kann. Dies ist eine Verteilung, die eine sehr einfache und nützliche Eigenschaft hat; ihre Standardabweichung ist eine Quadratwurzel aus dem Mittelwert. Wir werden diese Eigenschaft verwenden, um die Peaks in unserem Pulshöhen-Histogramm zu identifizieren. Wenn die Anzahl der detektierten Partikel in einem Puls groß ist, kann die Poisson-Verteilung einfach durch eine normale (Gaußsche) Verteilung ersetzt werden, was für Berechnungen bequemer ist. Wir gehen nach wie vor davon aus, dass die Peak-Standardabweichung proportional zur Quadratwurzel des Mittelwertes (Mittelwert des Peaks oder der Energie des detektierten Partikels) ist. PRA führt alle Berechnungen automatisch in Echtzeit durch, Sie müssen lediglich die Standardabweichung für Peaks angeben, die Sie für die Kalibrierung verwenden (dies ist der Hauptgrund für eine neue Spalte in der Kalibrierdialogbox). Für das Filtern von Peaks verwendet PRA eine ähnliche Technik wie für das Filtern von Pulsen aus dem Schallsignal, es führt lediglich eine Punktproduktoperation der Pulshöhen-Histogrammdaten und insbesondere der normalisierten Gaußform durch.¹⁰ Wir verwenden die diskrete Gaußsche Form im Bereich $(-2\sigma \leq x \leq 2\sigma)$, die 95% des Peaks abdeckt. Die Gaußsche Form wird so normalisiert, dass die Summe aller ihrer Werte Null ist (subtrahierter Mittelwert) und die Summe aller Quadrate der (neuen) Werte Eins ist. Aufgrund dieser Normalisierung und der Tatsache, dass Gauß'scher Mittelwert symmetrisch ist, ist das Punktprodukt nicht abhängig von der Datenverschiebung nach oben oder unten sowie davon, ob ein Peak auf der Steigung liegt oder nicht. Dies macht unser Betriebsergebnis unempfindlich gegenüber den Hintergrundwerten. Das Punktprodukt der Gaußschen Form (mit Standardabweichung abhängig von der Bin-Nummer) wird entlang aller Daten im Pulshöhen-

¹⁰ Diese Operation kann auch als Berechnung der diskreten Korrelation von Histogramm und Gauß-Filter bezeichnet werden.

Histogramm durchgeführt. Das Ergebnis wird hier Gaußsche Korrelation genannt und sein Wert wird auf der gleichen Pulshöhen-Histogramm-Anzeige wie rote Farbpunkte gedruckt. Alle negativen Werte der Gaußschen Korrelation werden als Null dargestellt. Die Gaußsche Korrelationskurve ist in der Regel sehr glatt, auch wenn die Anzahl der Zählungen in den Histogramm-Bins nicht so groß ist, und ihr lokales Maximum zeigt ziemlich genau die Mittelwerte des Peaks an. PRA verwendet die Skalierung, um die Gaußsche Korrelationskurve zusammen mit den Histogramm Daten der Pulshöhe gut sichtbar darzustellen.¹¹ Sie können mit den Tasten "Bild aufwärts" und "Bild ab" die vertikale Skala ändern oder einfach eine logarithmische Skala verwenden, um die Gaußsche Kurve besser sichtbar zu machen. PRA verwendet die Standardabweichung, die aus allen SD-Werten ungleich Null in der Kalibrierdialogbox berechnet wird. Der Abstand zwischen den Punkten, an denen die Gaußsche Korrelationskurve unter dem Peak den Nullpunkt kreuzt, entspricht ungefähr 2,6 Standardabweichungen (etwas größer als FWHM). All dies lässt sich mit Hilfe mathematischer Formeln genauer beschreiben:

Toleranzkorrektur

¹¹ Wenn die Standardabweichung richtig gewählt ist, dann sollte der Gaußsche Korrelationswert in der Mitte des Peaks im Bereich (oder etwas darunter) der Anzahl der Zählungen (abzüglich des Hintergrundes) liegen. Es ist jedoch nicht entscheidend, den richtigen Wert der Standardabweichung zu verwenden. Wenn SD zu klein ist, dann zeigt die Gaußsche Korrelationskurve mehr Unregelmäßigkeiten. Dies kann sogar vorteilhaft sein, wenn man zwei nahe gelegene Gipfel erkennt.

Tastaturkürzel

PRA verwendet folgende Befehle, auf die über eine Tastenkombination zugegriffen werden kann:

1. → (**Pfeil nach rechts**) - erhöht die aktuelle Position in einem aktiven Histogramm um eins.
2. ← (**linker Pfeil**) - verringert die aktuelle Position in einem aktiven Histogramm um eins.
3. ↑ (**Pfeil nach oben**) - horizontales Verkleinern
4. ↓ (**Pfeil nach unten**) - horizontales Vergrößern.
5. **Bild nach oben** - vertikales Vergrößern. Kann auch mit dem Mausrad gedreht werden.
6. **Bild nach unten** - vertikales Verkleinern.
7. **A** - Datenerfassung starten.
8. **C** - Fortsetzung der Datenerfassung.
9. **S** - Stopp der Datenerfassung.
10. **Leertaste** - Startet oder stoppt die Pulse der Wiedergabe.
11. **.** (**Punkt**) - Erhöht die Tonhöhe des abgespielten Tons
12. **>** - Erhöht die Rate der "gespielten Pulse".
13. **,** (**Komma**) - Setzt die Tonhöhe des abgespielten Tons herab.
14. **<** - Verringert die Rate der "gespielten Pulse".
15. **B** - markiert den Beginn von 'Region Of Interest' im Pulshöhen-Histogramm.
16. **E** - markiert das Ende von "Region Of Interest".
17. **K** - markiert alle ROIs im rechten Kanal, die mit den ROIs des linken Kanals identisch sind.
18. **D** - markiert automatisch einen sehr breiten ROI um den Gaußschen Korrelationspeak (D für double).
19. **F** - markiert automatisch einen breiten ROI um den Gaußschen Korrelationsspitzenwert (F für voll).
20. **G** - markiert automatisch den mittleren ROI um den Gaußschen Korrelationsspitzenwert (G für Gauß).
21. **H** - Markiert automatisch einen engen ROI um den Gaußschen Korrelationspeak (H für die Hälfte).
22. **L** - schaltet die automatische Auswahl des letzten Eintrags im Fenster "Zählrate vs. Zeit" um.
23. **T** - schaltet im Fenster "Audio Input" zwischen Normal- und Auto-Trigger-Modus um.
24. **Entf** - löscht den ROI an der aktuellen Position im Histogramm der Pulshöhe.
25. **Entf + Umschaltung** - löscht alle ROIs im Pulshöhen-Histogramm.
26. **Q** - öffnet die Dialogbox Information, in der die Informationen des aktiven Fensters als Text angezeigt werden, der vom Programm "JAWS" gelesen werden kann. Um diese Dialogbox zu verlassen, drücken Sie die Eingabetaste.
27. **F1** - Aktiviert alle Menüpunkte des Menüs "Speichern" während der Datenerfassung ohne Unterbrechung. Dieser Status wird bei einem Neustart der Datenerfassung wieder auf "normal" zurückgesetzt.

Dateistrukturen

Alle aus PRA exportierten Dateien liegen im tabulatorgetrennten Textformat (ASCII) vor.

Andere Dateien sind in binären Formaten wie folgt:

Die Hauptdatendatei *.pls beginnt mit dem Header:

```
typedef struct PlsHeader {
    unsigned long PulseTag; //"Puls"
    unsigned long NumberOfPulses[2];
    long long      AcquisitionTime; //numberOfTimeFrames
    unsigned long PRA version;
    unsigned long DataOffset;
    unsigned long Filler;
    SETTINGS      AllSettings; //5888 bytes
}PLSHEADER; //5920 bytes
```

gefolgt von den Impulsen der Anzahl der Impulse:

```
typedef struct Pulse {
    long long      Begin;
    unsigned long Width;
    unsigned long Height;
    unsigned long Distortion;
    unsigned long Coincidence;
}PULSE; //24 bytes
```

Settings file (*.ini):

```
typedef struct Settings {
    AUDIOSETTINGS CurAudioSettings;//2*16 bytes
    double        SettingsData[18];//18*8 bytes
    char          CheckBox[9];//9 bytes
    char          CoincidenceMode;//1 byte
    char          FilterCheckBox[3];//3bytes
    char          Comment[1007];//1007bytes
    WINDOWPLACEMENT WinPlacement[7];//7*44=308
    double        Filter[2][16];//32*8 bytes
    double        PulseShape[2][16];//32*8 bytes
    char          ShapeCheckBox[2][16];//32 bytes
    double        CalibrationData[2][8][3];//2*8*3*8 bytes
    char          EnergyUnits[31];//31 bytes
    char          CalibrationMode;//1 byte
    ROI           Roi[2][32];//64*56 bytes
}SETTINGS;//5888 bytes
```