

#### **ENTWICKLUNG VON PROGRAMMEN**

zum Auslesen und Kalibrieren eines neuartigen Detektorsystems

16. April 2018 | Alexander Steffens | Forschungszentrum Jülich – PGI/JCNS



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

### **INHALTSVERZEICHNIS**

#### Einleitung

- WLSF-Szintillationsdetektor
- Jülich-Münchener Standard
- Implementierung des Detektorservers
- Kalibrierung des Detektors
- Zusammenfassung und Ausblick



### **INHALTSVERZEICHNIS**

#### Einleitung

WLSF-Szintillationsdetektor

Jülich-Münchener Standard

Implementierung des Detektorservers

Kalibrierung des Detektors

Zusammenfassung und Ausblick



### **EINLEITUNG**

PGI/JCNS - "Instrumenttechnologie"

 Realisierung von Hard- und Softwarelösungen f
ür wissenschaftliche Experimente



### **EINLEITUNG**

#### PGI/JCNS - "Instrumenttechnologie"

- Realisierung von Hard- und Softwarelösungen f
  ür wissenschaftliche Experimente
- Unterstützung durch andere Jülicher Institute
  - ⇒ u. a. Entwicklung von Detektorsystemen zur Nutzung bei Neutronenstreuinstrumenten des JCNS



### **EINLEITUNG**

#### PGI/JCNS – "Instrumenttechnologie"

- Realisierung von Hard- und Softwarelösungen für wissenschaftliche Experimente
- Unterstützung durch andere Jülicher Institute
  - ⇒ u. a. Entwicklung von Detektorsystemen zur Nutzung bei Neutronenstreuinstrumenten des JCNS
- Aufgabenstellung:
  - Implementierung eines TANGO-Servers zur Bedienung des Detektors mit NICOS
  - Entwicklung eines automatisierten Kalibrierungsalgorithmus
  - ⇒ Ziel: Inbetriebnahme des Detektors bei SAPHiR



### **INHALTSVERZEICHNIS**

#### Einleitung

WLSF-Szintillationsdetektor

Jülich-Münchener Standard

Implementierung des Detektorservers

Kalibrierung des Detektors

Zusammenfassung und Ausblick



Aufbau des Detektors

 Lithiumfluorid-Zinksulfid-Szintillator als Detektionsfläche





#### Aufbau des Detektors

- Lithiumfluorid-Zinksulfid-Szintillator als Detektionsfläche
- Zwei übereinanderliegende, orthogonale WLSF-Ebenen





#### Aufbau des Detektors

- Lithiumfluorid-Zinksulfid-Szintillator als Detektionsfläche
- Zwei übereinanderliegende, orthogonale WLSF-Ebenen
- Verbindung beider Enden einer WLSF mit einem Kanal eines MaPMTs





#### Aufbau des Detektors

- Lithiumfluorid-Zinksulfid-Szintillator als Detektionsfläche
- Zwei übereinanderliegende, orthogonale WLSF-Ebenen
- Verbindung beider Enden einer WLSF mit einem Kanal eines MaPMTs
- Ausleseelektronik zur Verarbeitung der Daten





#### **Detektion von Neutronen**

• Absorption eines auftreffenden Neutrons im Szintillator





#### **Detektion von Neutronen**

- Absorption eines auftreffenden Neutrons im Szintillator
- Einfangen vom Szintillator emittierter Photonen in WLSF





#### **Detektion von Neutronen**

- Absorption eines auftreffenden Neutrons im Szintillator
- Einfangen vom Szintillator emittierter Photonen in WLSF
- Detektion austretender Photonen mit vergrößerter Wellenlänge im MaPMT





#### **Detektion von Neutronen**

- Absorption eines auftreffenden Neutrons im Szintillator
- Einfangen vom Szintillator emittierter Photonen in WLSF
- Detektion austretender Photonen mit vergrößerter Wellenlänge im MaPMT



• Erzeugung von Elektronen durch Absorption der Photonen in Photokathode



#### **Detektion von Neutronen**

- Absorption eines auftreffenden Neutrons im Szintillator
- Einfangen vom Szintillator emittierter Photonen in WLSF
- Detektion austretender Photonen mit vergrößerter Wellenlänge im MaPMT



- Erzeugung von Elektronen durch Absorption der Photonen in Photokathode
- Verstärkung des elektrischen Signals im MaPMT, das in Ausleseelektronik verarbeitet wird



#### Ausleseelektronik

 Fünf MaPMTs mit insgesamt 320 Kanälen (X: 192, Y: 128)





#### Ausleseelektronik

- Fünf MaPMTs mit insgesamt 320 Kanälen (X: 192, Y: 128)
- Verbindung der MaPMT-Ausgangskanäle mit 64 analogen MAROC-Eingängen





#### Ausleseelektronik

- Fünf MaPMTs mit insgesamt 320 Kanälen (X: 192, Y: 128)
- Verbindung der MaPMT-Ausgangskanäle mit 64 analogen MAROC-Eingängen
- Anschluss von fünf MAROC-Platinen über serielles Protokoll mit einem Konzentrator





#### Ausleseelektronik

- Fünf MaPMTs mit insgesamt 320 Kanälen (X: 192, Y: 128)
- Verbindung der MaPMT-Ausgangskanäle mit 64 analogen MAROC-Eingängen
- Anschluss von fünf MAROC-Platinen über serielles Protokoll mit einem Konzentrator



Optische Schnittstelle von Konzentrator- zu SIS/PSF1100-Platine



#### Ausleseelektronik

- Fünf MaPMTs mit insgesamt 320 Kanälen (X: 192, Y: 128)
- Verbindung der MaPMT-Ausgangskanäle mit 64 analogen MAROC-Eingängen
- Anschluss von fünf MAROC-Platinen über serielles Protokoll mit einem Konzentrator



- Optische Schnittstelle von Konzentrator- zu SIS/PSF1100-Platine
- Anschluss eines Rechners über PCI-Schnittstelle



#### Ausleseelektronik

- Fünf MaPMTs mit insgesamt 320 Kanälen (X: 192, Y: 128)
- Verbindung der MaPMT-Ausgangskanäle mit 64 analogen MAROC-Eingängen
- Anschluss von fünf MAROC-Platinen über serielles Protokoll mit einem Konzentrator



- Optische Schnittstelle von Konzentrator- zu SIS/PSF1100-Platine
- Anschluss eines Rechners über PCI-Schnittstelle
- Central Clock über Twisted-Pair zur zentralen Signalverteilung



Ausleseelektronik – MAROC-Platine

 MAROC3: Digitalisierung des Eingangssignals mithilfe von Vorverstärker, Diskriminator und ADC





Ausleseelektronik – MAROC-Platine

- MAROC3: Digitalisierung des Eingangssignals mithilfe von Vorverstärker, Diskriminator und ADC
- FPGA: Hinzufügen eines
   Zeitstempels





Ausleseelektronik – MAROC-Platine

- MAROC3: Digitalisierung des Eingangssignals mithilfe von Vorverstärker, Diskriminator und ADC
- FPGA: Hinzufügen eines
   Zeitstempels



Schreiben erhaltener Daten in FIFO-Speicher nach Kanalnummer sortiert



Ausleseelektronik – MAROC-Platine

- MAROC3: Digitalisierung des Eingangssignals mithilfe von Vorverstärker, Diskriminator und ADC
- FPGA: Hinzufügen eines
   Zeitstempels



- Schreiben erhaltener Daten in FIFO-Speicher nach Kanalnummer sortiert
- Autonomes Senden des FIFO-Inhalts über serielles Protokoll an Konzentrator



Ausleseelektronik – Konzentrator-Platine

 Sicherung der MAROC-Daten in Eingangs-FIFO





Ausleseelektronik – Konzentrator-Platine

- Sicherung der MAROC-Daten in Eingangs-FIFO
- Sortierung nach zeitlicher Rechenfolge im FPGA





Ausleseelektronik – Konzentrator-Platine

- Sicherung der MAROC-Daten in Eingangs-FIFO
- Sortierung nach zeitlicher
   Rechenfolge im FPGA
- Datenreduktion durch
   Koinzidenzalgorithmen im FPGA





Ausleseelektronik – Konzentrator-Platine

- Sicherung der MAROC-Daten in Eingangs-FIFO
- Sortierung nach zeitlicher
   Rechenfolge im FPGA
- Datenreduktion durch
   Koinzidenzalgorithmen im FPGA



 Übermittlung gesammelter Zeit- und Ortsinformationen an einen Rechner über optische Schnittstelle zur SIS/PSF1100-Platine



#### Ausleseelektronik - SIS/PSF1100-Platine

 PLX-Chip 9656 als Schnittstelle zwischen Rechner und Platinen durch Implementierung einer PCI-Schnittstelle





#### Ausleseelektronik – SIS/PSF1100-Platine

- PLX-Chip 9656 als Schnittstelle zwischen Rechner und Platinen durch Implementierung einer PCI-Schnittstelle
- Kommunikation mit Elektronik über PLX-Treiber und PLX-API





#### Ausleseelektronik – SIS/PSF1100-Platine

- PLX-Chip 9656 als Schnittstelle zwischen Rechner und Platinen durch Implementierung einer PCI-Schnittstelle
- Kommunikation mit Elektronik über PLX-Treiber und PLX-API



 Ansteuerung des PLX-Chips über Spartan-6 FPGA, der das SIS-Protokoll implementiert



### **INHALTSVERZEICHNIS**

#### Einleitung

WLSF-Szintillationsdetektor

#### Jülich-Münchener Standard

Implementierung des Detektorservers

Kalibrierung des Detektors

Zusammenfassung und Ausblick



#### Motivation

- Vereinheitlichung aller Kontroll- und Datenerfassungssysteme f
  ür Neutroneninstrumente des JCNS
  - ⇒ Verwendung des TANGO-Kontrollsystems und Entangle-Frameworks f
    ür die Server
  - ⇒ Zugriff auf TANGO-Schnittstellen mit Steuerungssoftware NICOS



#### Motivation

- Vereinheitlichung aller Kontroll- und Datenerfassungssysteme f
  ür Neutroneninstrumente des JCNS
  - ⇒ Verwendung des TANGO-Kontrollsystems und Entangle-Frameworks f
    ür die Server
  - ⇒ Zugriff auf TANGO-Schnittstellen mit Steuerungssoftware NICOS
- Einsatz des WLSF-Szintillastionsdetektors bei SAPHiR und möglicherweise auch anderen JCNS-Instrumenten
  - ⇒ Ziel: Implementierung der Detektorsteuerung in TANGO zur späteren Nutzung mit NICOS



Struktur der Kontrollsysteme des JCNS



16. April 2018

TANGO-System und Entangle-Framework

#### TANGO-Kontrollsystem

- Quelloffenes Projekt mehrerer Forschungsinstitute (TANGO Consortium)
- Objektorientierte Kontrollsystem
- Repräsentation eines Geräts durch mindestens ein Objekt
- Definition von Properties, Attribute und Kommandos
- Konfigurationsdaten in mySQL-Datenbank
- Client-Server-Kommunikation mittels CORBA und ZeroMQ



TANGO-System und Entangle-Framework

#### TANGO-Kontrollsystem

- Quelloffenes Projekt mehrerer Forschungsinstitute (TANGO Consortium)
- Objektorientierte Kontrollsystem
- Repräsentation eines Geräts durch mindestens ein Objekt
- Definition von Properties, Attribute und Kommandos
- Konfigurationsdaten in mySQL-Datenbank
- Client-Server-Kommunikation mittels CORBA und ZeroMQ

#### Entangle-Framework

- Basisklassen für gängige Geräte
- Mehrere Klassen pro Gerät anstelle von neuen Schnittstellen



### **INHALTSVERZEICHNIS**

#### Einleitung

WLSF-Szintillationsdetektor

Jülich-Münchener Standard

Implementierung des Detektorservers

Kalibrierung des Detektors

Zusammenfassung und Ausblick



### **IMPLEMENTIERUNG DES DETEKTORSERVERS**

#### Softwarestruktur (1)

#### Modellierung der Hardware

- Abstraktion wesentlicher
   Funktionen in PlxDevice
- Gegenseitiger Zugriff über private Attribute
- Kapselung durch Singletonklasse Worker
- Worker: Kontrolle des Zugriffs auf Hardware, u. a. über PLX-Schnittstellen





### **IMPLEMENTIERUNG DES DETEKTORSERVERS**

#### Softwarestruktur (2)

#### 2 Threadklassen

- Idee von PlxDeviceThread: Modularisierung, einfacher Datenaustausch, Existenz nur bei Notwendigkeit
- DaqThread: Auslese und Verarbeitung der Rohdaten
- SaveDataThread: kontinuierliches Sichern der Rohdaten, nach Messende auch 1D- und 2D-Daten
- UpdateThread: Überwachen der Bedingung zum Beenden einer Messung





### **IMPLEMENTIERUNG DES DETEKTORSERVERS**

#### Softwarestruktur (3)

#### 3 TANGO-Klassen

- MAROCDetector mit Entangle-Klassenelementen: Prepare(), Start(), Stop(), State(), value, active, preselection
  - ⇒ Einbindung in NICOS ohne zusätzliche Klassen möglich
- MAROCDebug: daqTime, timeActive, dataPath, lastFilename
- Gemeinsamer Zugriff auf Singletonklasse Worker
  - ⇒ Sicherer Hardwarezugriff durch Kapselung und Mutex





### **INHALTSVERZEICHNIS**

#### Einleitung

WLSF-Szintillationsdetektor

Jülich-Münchener Standard

Implementierung des Detektorservers

#### Kalibrierung des Detektors

Zusammenfassung und Ausblick



#### **Motivation**

- Trennung von Rauschen und durch Neutronen erzeugter Signale
- Homogenisierung der Nachweiswahrscheinlichkeit





#### Motivation

- Trennung von Rauschen und durch Neutronen erzeugter Signale
- Homogenisierung der Nachweiswahrscheinlichkeit
- Ziel: Optimierung von
  - 1 Diskrimatorschwelle,
  - 2 Vorverstärkung und
  - 3 Hochspannung





Einstellung der Diskriminatorschwelle – Erste Näherung





Einstellung der Diskriminatorschwelle – Erste Näherung

- Schwelle zu niedrig: Keine oder nur sehr wenige erhaltene Daten
- Sukzessives Erhöhen der Schwelle bis Single-Photonenpuls erkennbar





#### Einstellung der Diskriminatorschwelle – Mögliches Optimum

- Approximation einer Gaussverteilung an Single-Photonenpuls
- Vergleich von Werten der Dichtefunktion mit gemessenen Werten an Quantilen der Normalverteilung
- Ergebnis: Ab 0, 2-Quantil kaum noch Rauschen
- Jedoch: Praktische Restriktionen durch die Elektronik bei der Umsetzung





Einstellung der Vorverstärkung – Vorgehen

- Angleichung der Pulshöhenspektren, sodass Maxima in demselben Spannungsbereich liegen
  - ⇒ Gleiche Auswirkung der Schwelle auf jedem Kanal



#### Einstellung der Vorverstärkung – Vorgehen

- Angleichung der Pulshöhenspektren, sodass Maxima in demselben Spannungsbereich liegen
  - ⇒ Gleiche Auswirkung der Schwelle auf jedem Kanal

#### Überlegungen:

- Bildung von Mittelwert und relativer Abweichung
- Berechnung des Einflusses von Vorverstärkung auf erfasste Spannung
- Anpassung der Vorverstärkung mithilfe der relativen Abweichung
- Kontrollwerte: durchschnittliche und maximale, relative Abweichung



#### Einstellung der Vorverstärkung – Vorgehen

- Angleichung der Pulshöhenspektren, sodass Maxima in demselben Spannungsbereich liegen
  - ⇒ Gleiche Auswirkung der Schwelle auf jedem Kanal
- Überlegungen:
  - Bildung von Mittelwert und relativer Abweichung
  - Berechnung des Einflusses von Vorverstärkung auf erfasste Spannung
  - Anpassung der Vorverstärkung mithilfe der relativen Abweichung
  - Kontrollwerte: durchschnittliche und maximale, relative Abweichung
- Ansatz: Aktuelle Vorverstärkung entspricht gewünschter Vorverstärkung unter Hinzunahme der relativen Abweichung

$$\Rightarrow gain(c) = gain'(c) + f(c) \cdot gain'(c)$$



#### Einstellung der Vorverstärkung – Berechnungsvorschrift

$$\begin{aligned} gain(c) &= (1 + f(c) \cdot scaling) \cdot gain'(c) \\ \iff gain'(c) &= \begin{cases} \frac{gain(c)}{1 + f(c) \cdot scaling}, & \text{für } f(c) \neq -\frac{1}{scaling} \\ gain_{max}, & \text{für } f(c) = -\frac{1}{scaling} \end{cases} \end{aligned}$$

mit scaling = 0, 25 und  $gain_{max} = 255$ 

c : Kanalnummer einer MAROC-Platine

f(c) : relative Abweichung von maxADC(c) zu  $\overline{maxADC}$ gain(c) : aktuelle Verstärkung von cgain'(c) : neu berechnete Verstärkung von c

Ergebnis: kontinuerliche Verbesserung

 $\Rightarrow\,$  nach fünf Iterationen durchschnittliche Abweichung unter  $3.5\,\%$  und max. Abweichung um ein Drittel auf ca. 20 % gesunken



### **INHALTSVERZEICHNIS**

#### Einleitung

- WLSF-Szintillationsdetektor
- Jülich-Münchener Standard
- Implementierung des Detektorservers
- Kalibrierung des Detektors
- Zusammenfassung und Ausblick



#### Ergebnisse

Entwicklung einer vielseitig einsetzbaren Schnittstelle zur Steuerung des Detektors



#### Ergebnisse

- Entwicklung einer vielseitig einsetzbaren Schnittstelle zur Steuerung des Detektors
- Implementierung eines TANGO-Servers unter Berücksichtigung des Entangle-Frameworks



#### Ergebnisse

- Entwicklung einer vielseitig einsetzbaren Schnittstelle zur Steuerung des Detektors
- Implementierung eines TANGO-Servers unter Berücksichtigung des Entangle-Frameworks
- 3 Entwicklung eines automatisierten Kalibrierungsalgorithmus



#### Ergebnisse

- Entwicklung einer vielseitig einsetzbaren Schnittstelle zur Steuerung des Detektors
- Implementierung eines TANGO-Servers unter Berücksichtigung des Entangle-Frameworks
- 3 Entwicklung eines automatisierten Kalibrierungsalgorithmus

#### Weitere mögliche Projekte



#### Ergebnisse

- Entwicklung einer vielseitig einsetzbaren Schnittstelle zur Steuerung des Detektors
- Implementierung eines TANGO-Servers unter Berücksichtigung des Entangle-Frameworks
- 3 Entwicklung eines automatisierten Kalibrierungsalgorithmus

#### Weitere mögliche Projekte

Implementierung des TOF-Modus



#### Ergebnisse

- Entwicklung einer vielseitig einsetzbaren Schnittstelle zur Steuerung des Detektors
- Implementierung eines TANGO-Servers unter Berücksichtigung des Entangle-Frameworks
- 3 Entwicklung eines automatisierten Kalibrierungsalgorithmus

#### Weitere mögliche Projekte

- 1 Implementierung des TOF-Modus
- 2 Performanceuntersuchungen



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



### **EXPERIMENTSYSTEM SAPHIR**



- <u>Six Anvil Press for High Pressure Radiography</u> and Diffraction
- Flugzeitneutronenbeugung (TOF) und Neutronenradiographie an polykristallinen und flüssigen Proben unter extremen Druck- und Temperaturbedingungen
- Nutzung thermischer Neutronen
- Herzstück: Sechsstempelpresse mit Presskraft von bis zu 23.5 MN
- Beugungs- und Radiographiedetektoren



Hardwarezugriff

- Abbilden physikalischer Speicherbereiche in virtuellen Adressbereich
- Setzen von Zeigern auf Startadressen der Register
  - ⇒ Änderung der Registereinträge durch Modifikation der Datenstrukturen
- Weitere API-Funktionen: Herstellen und Trennen von Verbindungen, DMA-Verwaltung



#### Fehlerbehandlung

- Fehlercodes in unterer Programmierebene
- Ausnahmen in Schnittstellen zu TANGO
- Vier Logging-Modi: Error, Warning, Info, Debug

 Tango warning @ 09.08.2017 13:59:29.705066

 Error reason = [MAROC 2] Error while comparing written and read serial data arrays

 Device [0]
 : Register [0x0] changed: WR 0x511F45F3 -> RD 0x510EC5F3

 Origin
 : PLX\_STATUS MAROC\_ns::Maroc::\_compareWRRegisterArrayWithLink(U32, bool)

Tango error @ 09.08.2017 14:18:53.514733						
Exception catched in MAROCDetector	: [Worker] Error while trying to start data acquisisiton					
Error reason	= Prepare command was not executed beforehand.					
Result	: Detector is now in ALARM state.					
<u>O</u> rigin	: virtual void MAROCDetector_ns::MAROCDetector::start()					



Konfigurationsdateien

- Größtenteils unveränderliche Parameter
  - Koinzidenzparameter der Konzentratoren
  - MAROC3-Konfiguration
  - ⇒ Separate Schnittstellen nicht sinnvoll
- Lösung: INI-Dateien für alle Platinen
  - INI-Format: Sektionen und Schlüssel-Wert-Paare
- LoadSettings() und SaveSettings() als TANGO-Kommandos



#### Statusverwaltung





Einstellung der Diskriminatorschwelle – Derzeitiges Optimum

 Setzen der Schwelle auf 0, 2-Quantil nicht möglich

#### Vermutung:

Verzögerungszeit im FPGA bei hoher Schwelle zu kurz

- Alternative: Erhöhen der Schwelle solange sinnvolle Daten ausgelesen werden
- Prüfung aller Kanäle mit ermittelter Schwelle





#### Einstellung der Vorverstärkung – Ergebnisse

Iteration	Gemessene Impulse pro Kanal	Standard- abweichung	Ø relative Abweichung	betragsmäßig größte, relative Abweichung
1	1000	199	4.96 %	33.9 %
2	2000	184	4.49 %	19.4%
3	3000	158	3.86 %	23.8 %
4	4000	150	3.66 %	21.7%
5	5000	142	3.47 %	20.4 %



Einstellung der Hochspannung

- Verfahren identisch zur Vorverstärkung
- **Unterschiede:** Berechnung von neuem Skalierungsfaktor, anderer Wertebereich
- Problem: Änderung der Hochspannung anscheinend nicht korrekt in Elektronik umgesetzt
  - ⇒ Tests lediglich mit zwei Platinen möglich
- Ergebnis: Differenz zwischen Maxima der Pulshöhenspektren bereits sehr gering (unter 2.5 %)
  - ⇒ Bei derzeitigem Entwicklungsstand keine weiteren Tests zur Verbesserung der Hochspannung möglich



Angleichung der Nachweiswahrscheinlichkeit – Überlegungen

- Motivation: Ausgleich der Schwankungen in den Photokathoden der MaPMTs bezüglich der Nachweiswahrscheinlichkeit eines Photons
  - Unterschiedliche Sensitivität der Photokathoden
  - ⇒ Unterschiedliche Emissionswahrscheinlichkeit für ein Elektron pro Photon

#### Idee:

- Vermessen aller MaPMT-Kanäle mit speziell gepulster LED
- Vergleich der detektierten Impulse pro Kanal

$$h(m,c) \cdot f(m,c) \stackrel{!}{=} \frac{1}{M \cdot 64}$$
$$\iff f(m,c) = \frac{1}{h(m,c) \cdot M \cdot 64}$$

-

$$\label{eq:mit_h} \min h(m,c) = \frac{counts(m,c)}{\sum\limits_{i=1}^{M}\sum\limits_{j=1}^{64} counts(i,j)}$$

- $M: \ensuremath{\mathsf{Anzahl}}\xspace$  vorhandener MaPMTs
- h(m,c) : Anteil detektierter Photonen
- $f(\boldsymbol{m},\boldsymbol{c}):$  Faktor zur Anpassung von  $h(\boldsymbol{m},\boldsymbol{c})$

