# Принципы цифровой рентгенографии







# Общая информация

#### Описание





Большинство применений рентгеновских лучей основано на их способности проходить сквозь вещество. Поскольку эта способность зависит от плотности вещества, становится возможным получение изображений внутренних частей объектов и даже людей. Это находит широкое применение в таких областях, как медицина или безопасность.

Экспериментальная установка



Robert-Bosch-Breite 10 37079 Göttingen

## Дополнительная информация (1/2)



#### Предварительные

знания



Предварительные знания, необходимые для этого эксперимента, приведены в разделе "Теория"

Принцип



При цифровой рентгенографии фотоны рентгеновского излучения, которые взаимодействуют с детектором, преобразуются в цифровой сигнал. Это позволяет записывать цифровые рентгенограммы. В этом эксперименте изложены принципы работы цифровых детекторов для рентгеновской визуализации.

## Дополнительная информация (2/2)





Обучение

цель



Задачи

2. Откалибруйте детектор.

цифровой рентгеновской визуализации.

1. Определите хорошее время экспозиции.

3. Сделайте несколько рентгенограмм объекта и обработайте изображения с помощью программы просмотра изображений.

Цель этого эксперимента - познакомиться с принципами, лежащими в основе



## Теория (1/4)



#### Насыщение детектора

При цифровой рентгеновской визуализации рентгеновские фотоны, взаимодействующие с детектором, преобразуются в цифровой сигнал. Такой цифровой детектор состоит из растра пикселей (элементов изображения), и каждый пиксель можно рассматривать как бакет. При каждом взаимодействии рентгеновского фотона с детектором в пикселе, соответствующем месту взаимодействия фотона, образуется серия электронов. Эти электроны накапливаются в пикселе, постепенно заполняя бакет. Через заданный промежуток времени, "время экспозиции", содержание электронов в пикселе измеряется путем его опустошения. При одинаковой интенсивности рентгеновского излучения более длительное время экспозиции приводит к большему количеству пикселей в бакете.

Каждый цифровой детектор имеет ограниченный размер бакета, который называется "полная емкость" детектора. При достижении этого уровня заполнения дополнительные электроны отбрасываются, так как детектор насыщен. Насыщенный детектор приводит к непоследовательным измерениям, поэтому этого следует избегать.

## Теория (2/4)



#### Калибровка детектора

Каждый цифровой детектор имеет различное и переменное смещение и выходной сигнал, зависящий от пикселя. Во время калибровки эти отклонения будут измерены и использованы при последующем построении изображений.

Даже без включения рентгеновских лучей детектор будет генерировать считываемое значение, отличное от 0, которое называется "темное изображение" или "офсетное изображение". У этого есть несколько причин, основными из которых являются электронное смещение и шум считывания. При определении интенсивности луча  $I_0$  важно вычесть это смещение ( $I_D$ ) из измеренного значения ( $I_{0,M}$ ).

 $I_0=I_{0,\mathrm{M}}-I_{\mathrm{D}}$ 



#### Теория (3/4)

**PHYWE** excellence in science

PHYWE excellence in science

Другой существующей проблемой является то, что чувствительность каждого пикселя детектора немного отличается, что приводит к широкому разбросу значений  $I_0$  для каждого пикселя. Во время калибровки эти отклонения записываются. После калибровки значение пропускания для каждого пикселя I пересчитывается на основе интенсивности луча для этого пикселя в данный момент времени ( $I_M$ ), интенсивности луча во время калибровки ( $I_{0,M}$ ) и интенсивности темного тока ( $I_D$ ) во время калибровки.

$$\mathrm{T}=rac{\mathrm{I}_{\mathrm{M}}-\mathrm{I}_{\mathrm{D}}}{\mathrm{I}_{0,\mathrm{M}}-\mathrm{I}_{\mathrm{D}}}$$

Если калибровка была выполнена успешно, то после калибровки изображения будут иметь значения серого от 0 до 1.



## Теория (4/4)



При рентгеновской визуализации измеряется прохождение или ослабление рентгеновских лучей через определенный объект. В зависимости от настроек источника, луч с определенной интенсивностью  $I_0$  измеряется детектором, когда между источником и детектором нет никаких объектов. Когда на пути луча помещается объект, этот объект ослабляет луч так, что детектор измеряет меньшую интенсивность I вместо  $I_0$ . Оставшаяся интенсивность по сравнению с исходной  $I_0$  называется пропусканием T, которое противоположно ослаблению A объекта. Для откалиброванного детектора интенсивность луча масштабируется до значения от 1 до 0. При T = 1 для луча без объекта перед детектором ( $I_0$ ).

$$\mathrm{T}_{\mathrm{obj}} = rac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}_0} = 1 - \mathrm{A}_{\mathrm{obj}}$$

$$A_{obj} = \frac{I_0 - I}{I_0} = 1 - T_{obj}$$



#### Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	XR 4.0 X-ray Базовая рентгеновская установка, 35 кВ	09057-99	1
2	XR4 Съёмная рентгеновская трубка Plug-in Cu tube	09057-51	1
3	XR 4.0 XR 4.0 X-ray Рентгеновская компьютерная томография, расширение	09185-88	1



**PHYWE** 

excellence in science



# Подготовка и выполнение работы

#### Подготовка

Присоедините XRIS к его рабочему столу.

Установите цифровой рентгеновский детектор XRIS на направляющую рейку оптической скамьи на расстоянии 25 см. Задняя сторона столика XRIS соответствует его положению на направляющей рейке. Это положение называется SDD "расстояние от источника до детектора" (мм).



Рис. 1: Установка XRIS



Robert-Bosch-Breite 10 37079 Göttingen

P2550106

## Выполнение работы (1/2)

- Подключите рентгеновскую установку через USB-кабель к USB-порту компьютера (нужный порт рентгеновской установки отмечен на рис. 2).
- Подключите USB-кабель детектора к компьютеру
- Запустите программу measureCT. На экране отобразится виртуальная рентгеновская установка, поворотный столик и детектор. Зеленый светодиодный индикатор слева от каждого компонента указывает на то, что его присутствие было обнаружено (рис.3).
- Вы можете изменить высокое напряжение и ток рентгеновской трубки в соответствующих окнах ввода или вручную на установке (рис. 3).
- При нажатии на пиктограмму установки можно получить дополнительную информацию о ней (рис. 3)

# Выполнение работы (2/2)

- Пиктограмма состояния указывает на состояние устройства и может также использоваться для управления устройством, например включения и выключения света или рентгеновских лучей (рис. 3).
- Положение цифрового детектора можно отрегулировать в соответствии с его реальным положением, перемещая пиктограмму XRIS или вводя правильное значение в окно ввода. (Рис. 3).
- Настройки XRIS можно регулировать с помощью окон ввода. Время экспозиции контролирует время между получением двух кадров с детектора, количество кадров определяет, сколько кадров усредняется, а в режиме биннинга усредняется заряд соседних пикселей для уменьшения общего количества пикселей в одном кадре.





Рис. 2: Подключение компьютера



**PHYWE** 

excellence in science



Robert-Bosch-Breite 10

37079 Göttingen

ert unit (09057-99

гſ

Пиктогра

пиктограмма XRIS

1

33,0

1,00

0

1

🚖 кВ

MA окно ввода

Пиктограмма ввода

SOD (mm)

SDD (MM)

окно вв

500 x 500

XR 4

stage (09057-42)

XRIS live (09057-40)

0,51 



**2HYWE** 

excellence in science





# Проведение эксперимента

#### Время экспозиции и насыщенность (часть 1)



- Отрегулируйте настройки XRIS и рентгеновской установки в соответствии с рис. 4 или загрузите конфигурацию из предварительно определенного файла СТО 'Эксперимент 1' (см. рис. 5).
- Начните новый эксперимент, дайте ему уникальное имя и введите свои данные (рис. 5). В качестве альтернативы можно также загрузить этот эксперимент с заранее записанными изображениями и открыть это руководство. Правильная конфигурация будет загружена автоматически, но функциональные возможности программы будут ограничены, чтобы избежать перезаписи существующих данных.



Настройки для этого эксперимента (левая панель), а также метод загрузки и корректировки параметров (правая панель)



Рис. 5: Как создать новый или открыть существующий эксперимент

PHYWE

excellence in science

#### Время экспозиции и насыщенность (часть 2)

- Включите рентгеновскую установку и активируйте режим "Просмотр в реальном времени" (см. рис. 6). Когда активирован режим просмотра в реальном времени, отображается каждое новое изображение, полученное с рентгеновского детектора. Полоса экспозиционной нагрузки детектора (см. Рис. 7) указывает среднюю степень заполнения для каждого пикселя. Очень важно оставаться ниже максимальной степени заполнения детектора. В противном случае детектор будет насыщен и не будет работать должным образом. Если уровень насыщенности достигнут, полоса загрузки станет красной (Более подробное объяснение см. в теории).
- Увеличивайте и уменьшайте время экспозиции детектора в диапазоне от 0,23 до 2 с, наблюдая за полосой нагрузки. Примечание: после настройки времени экспозиции оставьте достаточно времени для того, чтобы детектор физически адаптировался к новым настройкам.



Рис. 6: Активация режима "Просмотр в реальном времени" и степень заполнения экспозиции детектора

#### Время экспозиции и насыщенность (часть 3)

Степень заполнения детектора линейно зависит от времени экспозиции, а также от интенсивности луча. Эту интенсивность луча можно изменить тремя способами:

- 1. Изменение максимального напряжения кВ
- 2. Изменение силы тока
- 3. Изменение расстояния от источника до детектора
- Измените максимальное напряжение в диапазоне от 10 до 35 кВ для заданного тока и времени воздействия, наблюдая за полосой нагрузки.
- Изменяйте ток от 0,1 до 1 мА для заданного максимального напряжения и времени экспозиции, наблюдая за полосой нагрузки.

ence in science

excellence in science

#### Время экспозиции и насыщенность (часть 4)

- Увеличение степени заполнения не линейно пропорционально регулировке диапазона кВ, см. эксперимент 3 для более подробного объяснения.
- Степень заполнения детектора также зависит от расстояния детектора до источника. Степень заполнения пропорциональна интенсивности луча, падающего на детектор, который сам пропорционален углу его раскрытия. Интенсивность регулируется законом обратных квадратов (см. Эксперимент 3).
- Изменяйте расстояние от источника до детектора, вручную помещая детектор ближе или дальше от источника, и следите за полосой нагрузки:
- 1. Откройте устройство.
- 2. Измените расстояние от источника до детектора.
- 3. Включите рентгеновскую установку и подождите 10 сек.
- 4. Посмотрите на полосу нагрузки.

# Калибровка детектора (часть 1)

После определения желаемой и подходящей для эксперимента конфигурации (рис. 4) детектор необходимо откалибровать. Каждый цифровой детектор имеет различное и переменное смещение и коэффициент усиления для конкретного пикселя (см. теорию). Во время калибровки эти изменения будут измерены и сохранены. Такие исправления выполняются программой автоматически:

- Убедитесь, что между источником и детектором нет никаких объектов, иначе калибровка будет неправильной.
- Отключите функцию "Просмотр в реальном времени"
- Нажмите на "Калибровка" (рис. 7)
- После успешной калибровки красный светодиод в кнопке калибровки загорится зеленым. С этого момента детектор откалиброван, а отображаемые изображения будут скорректированы с учетом смещения и усиления пикселей.



#### Приложения (часть 1)

**PHYWE** excellence in science

После калибровки детектора можно выводить, записывать и сохранять изображения хорошего качества.

- Поместите один из демонстрационных объектов между источником и детектором, включите рентгеновское излучение и активируйте просмотр в реальном времени. Для размещения объекта перед детектором можно использовать подставку. При желании отрегулируйте контрастность.
- Цвета отображаемого изображения можно изменить с помощью трех уровней (низкий, средний и высокий). "Высокий" уровень соответствует пикселям, значение которых выше верхнего маркера контрастности/интенсивности. "Низкий" уровень соответствует пикселям, значение которых ниже нижнего маркера контрастности/интенсивности. "Средний" уровень соответствует пикселям, имеющим значение между верхним и нижним маркером контрастности / интенсивности.



🔌 💌 🌋 📝 💽 Calibrate

#### Приложения (часть 2)

**PHYWE** excellence in science

**PH'WE** 

excellence in science



Рис. 9: Регулировка контрастности/ интенсивности



Рис. 10: Настройка цветов

#### Приложения (часть 3)

 Чтобы сохранить полученное изображение, остановите "Просмотр в реальном времени" и нажмите
"Сохранить". Можно сохранить четыре формата изображений (tif, png, jpg и bmp). Для трех последующих форматов изображений настройки контрастности сохраняются во время сохранения, в то время как для формата tif это не так. Для формата tif изображения сохраняются в необработанном виде. Если изображения будут использоваться для дальнейшей обработки или измерения в программе measureCT, важно сохранить их в формате tif.





**PH'WE** 

excellence in science

**PHYWE** 

excellence in science

#### Приложения (часть 4)

Чтобы сохранить последовательность изображений, остановите "Просмотр в реальном времени" и щелкните "Последовательность записи". Можно сохранить четыре формата изображений (tif, png, jpg и bmp). Для трех последующих форматов изображений настройки контрастности сохраняются во время сохранения, в то время как для формата tif это не так. Для формата tif изображения сохраняются в необработанном виде. Если изображения будут использоваться для дальнейшей обработки или измерения в программе measureCT, важно сохранить их в формате tif.



Рис. 12: Запись серии изображений

#### Приложения (часть 5)

• Для дальнейшей обработки изображения необходимо открыть программу просмотра изображений. При открытии этой программы, изображение, присутствующее в покадровом отображении, автоматически переносится в программу просмотра изображений. Данную программу можно открыть двумя способами: с панели задач или с помощью кнопки быстрого доступа. По окончании работы с программой просмотра, закройте ее, иначе при следующем ее открытии сохраненное изображение все равно будет присутствовать.



Рис. 13: Откройте программу просмотра изображений.



**PHYWE** 

excellence in science

**DHYWE** 

excellence in science

#### Приложения (часть 6)

Для обработки изображений, сохраненных в формате tif, откройте каталог (папку назначения) (рис. 14). Все изображения в формате tif, имеющиеся в папке, будут отображены в списке. Обычно для удобства просмотра открывается список текущей рабочей папки и текущего рабочего изображения.

🔫 Image viewer	
	Image
	Select image path
	Set play speed
	Set colors
	Exit

Рис. 14: Откройте каталог с изображениями в формате tif

#### Приложения (часть 7)

# В программе просмотра изображений доступно несколько функций.

Перечисляются файлы tif, которые присутствуют в текущем рабочем каталоге (рис. 15.1), а текущее рабочее изображение отображается на дисплее программы просмотра изображений (рис. 15.2). В этом окне отображаются линейки профиля линий (рис. 15.3). Доступ к дополнительным функциям можно получить через меню (рис. 15.4). Справа перечислены гистограмма изображения и настройки контрастности (рис. 15.6), а также данные профиля линии (рис. 15.7) и параметры области (рис. 15.8). Опции сохранения и экспорта доступны с помощью нескольких кнопок (рис. 15.9), также регулируется цвет уровней изображения (рис. 15.10).



Рис. 15: Функциональные возможности программы просмотра изображений





#### Приложения (часть 8)

#### PHYWE excellence in science

**PHYWE** 

excellence in science

С помощью кнопок изображения (рис. 15.5) можно:

- Выбрать функцию линейки (рис. 16.1), которая позволяет изменять линейки профиля линии из положения (рис. 15.3).
- Выбрать нескольких функций масштабирования (рис. 16.2 и рис. 16.4) для увеличения области изображения
- Выбрать функции перемещения (рис. 16.3) для изменения положения изображения после его увеличения.



Рис. 16: Параметры кнопок изображения

#### Приложения (часть 9)

#### Гистограмма

Гистограмма текущего изображения отображается на экране гистограммы (рис. 17.1). Гистограмма представляет собой количество пикселей (шкала Y) с определенным значением серого цвета (шкала X), присутствующих на изображении. Регулируя ручку нижнего и/или верхнего уровня (рис. 17.2), можно изменять контрастность изображения, а с помощью кнопки "Автомасштабирование" (рис. 17.3) нижний и верхний уровень контрастности возвращаются к оптимальным условиям. Гистограмма может быть сохранена в виде файла excel (рис. 17.4).





#### Приложения (часть 10)

PHYWE excellence in science

**PH'WE** 

excellence in science

#### Профиль линии

Функция профиля линии вычисляет значение серого цвета каждого пикселя вдоль линии от центра одной линейки до центра другой линейки (рис. 15.3). Результат отображается на экране профиля линии (рис. 18.1). Профиль линии можно сохранить в виде файла excel (рис. 18.2).



#### Приложения (часть 11)

#### Параметры областей

Линейки профиля линии определяют квадратную область. При нажатии на кнопку "Расчет параметров области" (рис. 19) вычисляется среднее значение серого и разброс этой области. С помощью кнопки воспроизведения (рис. 20.1) последовательно отображаются изображения, перечисленные в каталоге, начиная с первого выбранного изображения. Можно сохранить одно изображение в другом формате или с другими цветами (рис. 20.2). Серию выбранных изображений можно сохранить как avi-фильм с помощью кнопки "AVI" (рис. 20.3), а серию изображений можно преобразовать в другой формат файла с помощью кнопки "Конвертировать" (рис. 20.4).



#### 

Robert-Bosch-Breite 10 37079 Göttingen

