

Основные принципы разрешения и обнаружения



Физика

Современная физика

Природа рентгеновского излучения и его применение



Уровень сложности

твёрдый



Размер группы

2



Время подготовки

45+ Минут



Время выполнения

45+ Минут

PHYWE
excellence in science

Общая информация

Описание

PHYWE
excellence in science

Экспериментальная установка

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.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE
excellence in science

Предварительные

знания



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

Принцип



В рентгеновской визуализации важным фактором является разрешение. Оно определяет резкость изображений и детализацию наблюдаемого образца. В этом эксперименте исследуются различные факторы, которые определяют разрешение.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE
excellence in science

Обучение

цель

Цель этого эксперимента - познакомиться с принципами разрешения и детектирования.



Задачи

1. Изучите разрешение в зависимости от биннинга детектора.
2. Исследуйте возможность обнаружения деталей.
3. Изучите разрешение в зависимости от SOD.

Теория (1/7)

Биннинг детектора

Xris представляет собой цифровой датчик, состоящий из 1000×1000 пикселей (элементов изображения). Каждый рентгеновский фотон, взаимодействующий с детектором, генерирует сигнал в виде заряда, который собирается пикселем, соответствующим месту взаимодействия. Во время считывания суммарный заряд, собранный каждым пикселем за время экспозиции, преобразуется в цифровой сигнал с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Этот сигнал отображается как оттенок серого в массиве 1000×1000 для формирования изображения размером 1 Мпикс.

В режиме 1000×1000 биннинг не применяется, в то время как для режима 500×500 4 пикселя сгруппированы вместе для создания 500^2 пикселей изображения, а для режима 250×250 сгруппированы вместе 16 пикселей.

Теория (2/7)

Преимущество биннинга заключается в том, что размер изображений становится намного меньше, и это очень интересно для компьютерной томографии, поскольку регистрируется и реконструируется большое количество изображений.



Теория (3/7)

Определение контрастности

Контрастность - это разница в яркости, которая позволяет различить объект. Существует множество возможных определений и способов вычисления контрастности, которые используются в разных ситуациях. Также в рентгеновской визуализации контраст может иметь различные значения и измеряться различными способами.

В целом, наиболее характерным способом выражения контрастности (C) между двумя объектами на рентгенограмме является абсолютная разница в их пропускании: $C = T_{\text{obj1}} - T_{\text{obj2}}$ с T_{obj1} пропускание объекта 1 и T_{obj2} пропускание объекта 2.

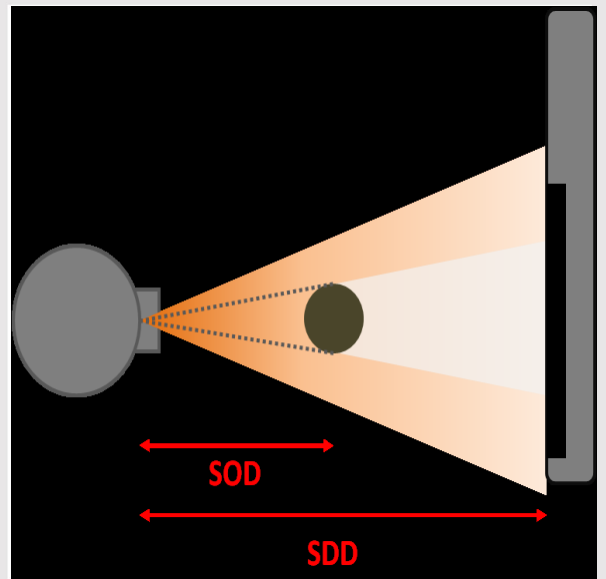
Наилучший возможный контраст существует, когда один объект не имеет поглощения ($T = 1 - A = 1$), а другой объект не имеет пропускания ($T = 1 - A = 0$). Значение контрастности (C) может быть выражено либо как значение между 0 и 1, либо в процентах (0 - 100). В этих экспериментах поглощение воздуха учитывается при калибровке детектора, поэтому воздух не имеет поглощения ($T_{\text{air}} = 1 - A_{\text{air}} = 1$).

Теория (4/7)

Принцип разрешения рентгеновских изображений

В источнике рентгеновского излучения все рентгеновские фотоны исходят из одного места на мишени источника, это место называется фокусным пятном источника. Генерируемые рентгеновские лучи покидают фокусное пятно во всех возможных направлениях, и часть луча освещает детектор, эта часть луча называется полем зрения. Поскольку источником рентгеновских лучей является точка, а поле зрения луча имеет коническую форму, каждый объект, помещенный между источником и детектором, увеличивается на детекторе. Степень увеличения (M) - это отношение между расстоянием объекта до источника (SOD) и детектора до источника (SDD).

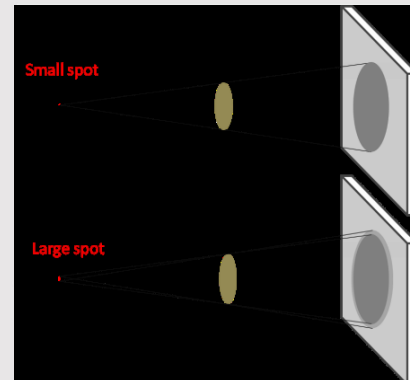
$$M = \frac{SDD}{SOD}$$



Теория (5/7)

Разрешение рентгеновской системы в основном определяется разрешением детектора и разрешением размера фокусного пятна.

- Разрешение детектора: Максимально возможное разрешение детектора - это размер его пикселя. У XRIS размер пикселей составляет $48\text{ }\mu\text{m}$ в режиме биннинга 1000×1000 . Когда детектор используется в режиме биннинга 500×500 , то четыре пикселя группируются в один, и разрешение становится в два раза ниже до $96\text{ }\mu\text{m}$. На самом деле разрешение немного уступает этому, потому что взаимодействие одного рентгеновского фотона может вызвать сигнал более чем в одном пикселе.
- Размер фокусного пятна: Чем меньше размер фокального пятна, тем четче рентгенограмма. Когда фокальное пятно имеет определенный размер, рентгеновская проекция объекта в поле зрения немного размывается. Эта размытость пропорциональна размеру пятна и увеличению.



Теория (6/7)

Связь между размером пикселей детектора (d), размером фокусного пятна (s) и разрешением системы (R) можно описать с помощью этой формулы:

$$R = \frac{d}{M} + s(1 - \frac{1}{M})$$

Если объект расположен очень близко к детектору ($M = 1$), разрешение равно размеру пикселя. Чем ближе объект приближается к источнику, тем большее значение приобретает размер пятна. Если размер пятна больше размера пикселя, приближение объекта к источнику увеличит его, но ухудшит резкость изображения.

Теория (7/7)

Разрешающая способность в сравнении с детектируемостью

Само по себе разрешение - довольно расплывчатый термин, поскольку его можно определить по-разному. Но важно отличать разрешающую способность от детектируемости (обнаружения деталей). Возможность обнаружения деталей относится к способности идентифицировать одну деталь. Даже если деталь меньше одного пикселя, она часто может быть идентифицирована, если ее сигнал достаточно сильно отличается от окружающего. Само по себе разрешение - это способность различать два небольших объекта, расположенных очень близко друг к другу.

Самый простой способ проверить разрешение системы - использовать шаблон (образец) разрешения.

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

PHYWE
excellence in science

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).

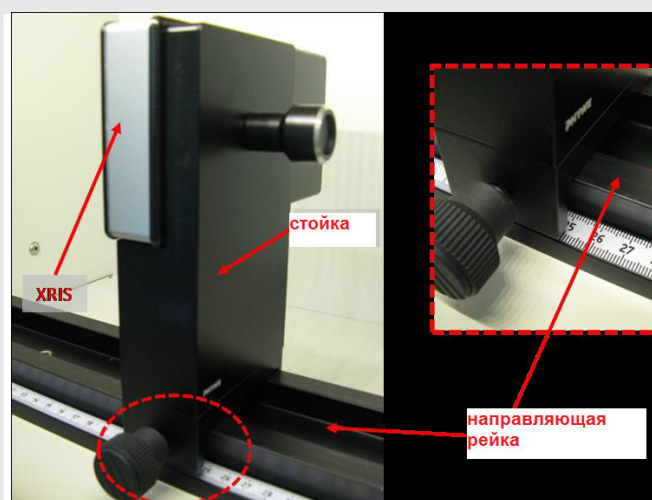


Рис. 1: Установка XRIS

Выполнение работы (1/2)

PHYWE
excellence in science

- 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)



Рис. 2: Подключение компьютера

Выполнение работы (2/2)

PHYWE
excellence in science

- 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.

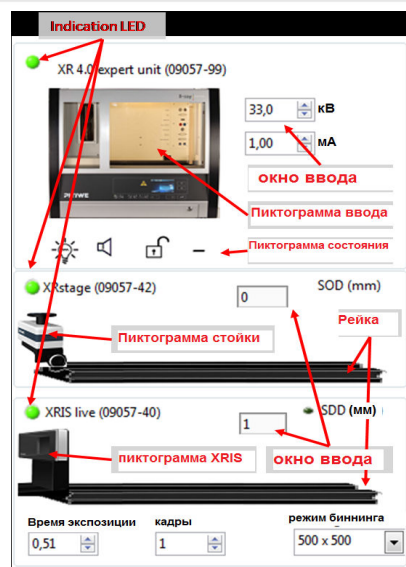
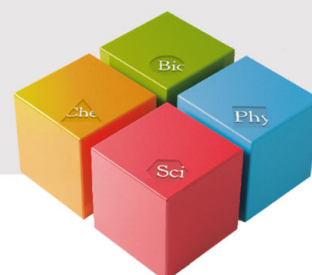


Рис. 3: Часть интерфейса программного обеспечения

PHYWE
excellence in science



Проведение эксперимента

Определение разрешения в зависимости от биннинга

PHYWE
excellence in science

- Отрегулируйте настройки XRIS и рентгеновской установки в соответствии с рис. 4 или загрузите конфигурацию из заранее определенного файла СТО 'Эксперимент 3' (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.

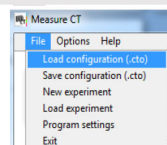
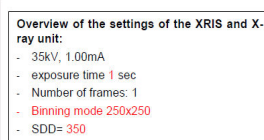


Рис. 4:

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

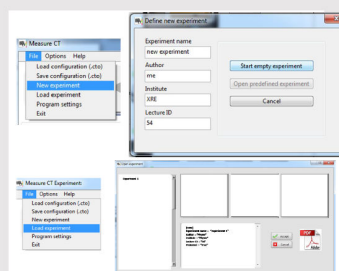


Рис. 5: Как создать новый или открыть существующий эксперимент

Определение разрешения в зависимости от биннинга (часть 2) **PHYWE** excellence in science

- Проверьте, не насыщен ли детектор для максимальной мощности (35 кВ, 1 мА) (см. эксперимент 1).
- Откалибруйте детектор (см. эксперимент 1)
- Поместите объект хх в детектор цветной стороной к источнику. Этот объект содержит образец разрешения в центре.
- Сделайте рентгеновский снимок объекта и сохраните его как 'binning250_350' в формате tif.
- Удалить объект.

Настройте биннинг детектора (см. рис. 6) от 250 x 250 до 500 x 500 (от 500 x 500 до 1000 x 1000) и повторите предыдущие шаги, сохраняя изображение как 'binning500_350' ('binning1000_350').

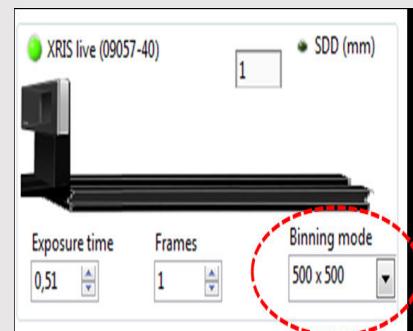


Рис. 6: Как изменить биннинг

Определение разрешения в зависимости от биннинга (часть 3) **PHYWE** excellence in science

- Откройте программу просмотра (см. Эксперимент 1) и выберите каталог с сохраненными изображениями.
- Начните с изображения 'binning250_350'. Поэкспериментируйте с верхним и нижним уровнями гистограммы, чтобы четко увидеть все отметки, и измените средний цвет на белый.
- Начните с области 1000 $\mu\text{м}$ (см. рис. 7), это отверстия в шаблоне разрешения с диаметром 1000 $\mu\text{м}$ и таким же расстоянием между краями отверстий. Отрегулируйте курсоры и посмотрите на профиль линии (при необходимости увеличьте область). Переместите изображение к области 500 $\mu\text{м}$ и повторите процедуру для всех областей. Определите, для какой области круглые отверстия все еще видны по отдельности, это и есть разрешение данной конфигурации.
- Определите, какова контрастность между центром отверстия и металлической пластиной самого шаблона разрешения для всех видимых серий отверстий, используя профиль линии.
- Повторите эту операцию для двух других изображений и сравните результаты.

Определение разрешения в зависимости от бининга (часть 4)

PHYWE
excellence in science

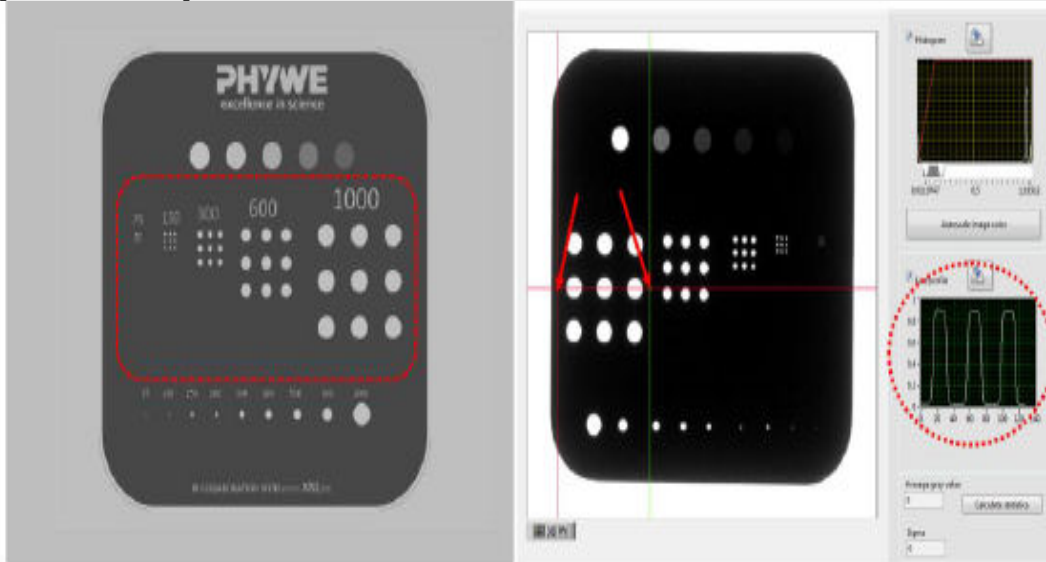
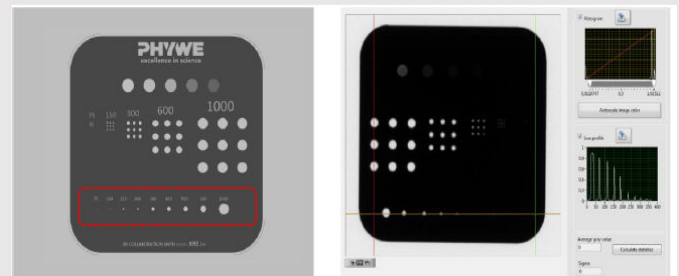


Рис. 7: Диаграмма разрешения и профиль линии через серию отверстий 1000 $\mu\text{м}$.

Исследование возможности обнаружения деталей

PHYWE
excellence in science

- Используйте ранее сохраненные изображения.
- Увеличьте масштаб области с отдельными отверстиями, начните с отверстия с 1000 $\mu\text{м}$. Отрегулируйте курсоры и посмотрите на профиль линии. Переместите изображение к отверстию 500 $\mu\text{м}$ и повторите это для всех отверстий. Определите, какое отверстие все еще видно, это и есть выявление деталей для данной конфигурации.
- Определите, какова контрастность между центром отверстия и металлической пластиной самого шаблона разрешения для каждого отверстия.
- Повторите эту операцию для двух других изображений.



Исследование разрешения в зависимости от SOD

Сохраните детектор в биннинге 1000x1000 и откалибруйте. Поместите объект XX на подставку и сделайте несколько снимков при различных положениях подставки 250 мм, 200 мм, 100 мм. Сохраните изображения как 'bin-ning1000_XXX', где XXX - положение подставки.

Сравните полученные изображения 'binning1000_350', с ранее записанными. Определите разрешение и детектируемость этих изображений.

Примечание: если поместить объект ближе к источнику рентгеновского излучения, проекция объекта на детекторе будет увеличиваться. В этом случае разрешение определяется не только разрешением только детектора, но и разрешением источника рентгеновского излучения. Поскольку разрешение этого источника ниже разрешения детектора, изображение будет размытым и разрешение будет менее хорошим.