

16. Анисимов С.И., Имас Я.А., Романов Г.С., Ходыко Ю.В. Действия излучения большой мощности на металлы. М.: Наука. 1970. 272с.
17. Рэди Дж. Действие мощного лазерного излучения. М.: Мир. 1974. – 378с.
18. Апасов А.М. Взаимодействие концентрированных потоков лазерного излучения с трещиной в стали. Физика и химия обработки материалов, 2000. № 4. – С.34-38.
19. Апасов А.М. Анализ разрушения сварных соединений в процессе сварки // Дефектоскопия, 1996. № 10. – С. 24-30.
20. Корляков В.К. Акустический контроль глубины проплавления металла при импульсной лазерной сварке // Сварочное производство, 1983. № 9

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ ДО ЭТАПА ДИСКРЕТИЗАЦИИ И ЕГО ПРОВЕРКА НА ТОМОГРАФЕ PHOENIX NANOTOM

Ивашков Д.В., Батрагин А.В., Мамырбаев Т.А.
Томский Политехнический Университет

Введение

В радиографии и рентгеновской томографии качество получаемого изображения определяется двумя главными параметрами: пространственным разрешением и контрастной чувствительностью. Оба параметра функционально связаны между собой. С увеличением одного параметра другой неизбежно снижается. Данная зависимость определяется как функция передачи модуляции (ФПМ), которая описывает характер передачи сигнала системы в зависимости от пространственной частоты [1, 2]. ФПМ используется для оценки производительности радиографических и томографических систем. Итоговое значение ФПМ определяется всеми этапами передачи сигнала, поэтому анализ ФПМ позволяет установить источник сильных искажений сигнала в цепи передачи [3, 4]. Для установления предельно достижимого значения ФПМ на конкретной установке желательно исключить влияние как можно большего числа источников искажений. С этой целью применяется метод измерения ФПМ до этапа дискретизации сигнала детектором [5]. Полученное значение ФПМ будет определяться влиянием источника излучения, геометрией пучка и детектором. Влияние таких источников искажений, как аналого-цифровой преобразователь детектора, точность позиционирования объекта, алгоритм реконструкции и ряда других будет исключено. В данной работе приведены результаты измерения ФПМ до этапа дискретизации и показано влияние трех факторов: источника, расходимостью пучка и детектора на конечное значение ФПМ. В настоящей работе был проведена качественная оценка, т.к. количественный анализ требует сложных процедур позиционирования.

Материалы и методы

Для измерения ФПМ до этапа дискретизации сигнала детектором получают линейные профили изображения резкой грани объекта, находящейся под небольшим ($1-3^\circ$) углом к вертикали или горизонтали (рис.1). Профили группируют таким образом, чтобы избежать влияния на ФПМ пространственной дискретизации сигнала детектором. Детали процедуры измерения ФПМ при таком подходе описаны в [5, 6]. Стоит отметить, что не все условия, описанные в соответствующих статьях, были выполнены в виду отсутствия необходимых инструментов позиционирования. В качестве тестового объекта был использован стальной канцелярский нож толщиной примерно 0,5 мм.

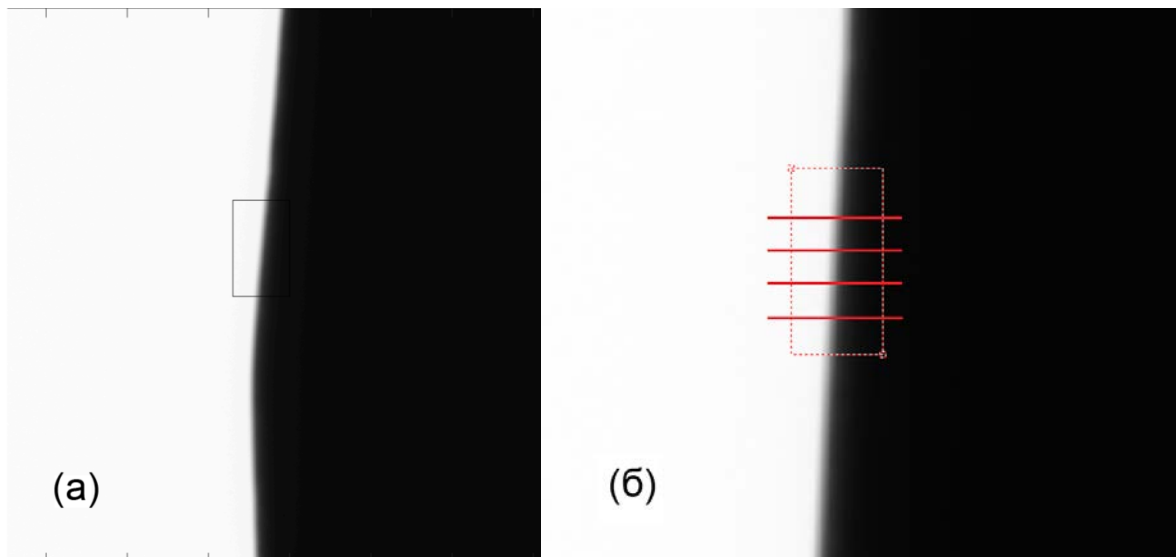


Рис. 1. Пример исходного изображения с рассматриваемой областью для исследования ФПМ (а); линейные профили измеряются вдоль красных линий (б).

Таблица 1. Параметры и результаты проверки размера пикселя детектора

Эксперимент	Расстояние «источник-детектор», мм	Расстояние «источник-объект», мм	Принятый размер вокселя, мкм	Фактический размер вокселя, мкм	Относительная ошибка для размера вокселя, %
1	500	50	5	5.075	1.5
2	200	20	5	5.04	0.8

Процедура проверки размера вокселя была произведена с использованием двух стандартных рубиновых шариков (табл. 1). Полученная ошибка мала и в дальнейшем считается независимой от параметров измерения в условиях рассматриваемой задачи. Было решено использовать размер вокселя, вычисляемый программным обеспечением для сбора данных в качестве размера пикселя двумерных изображений.

О точности эксперимента

По техническим причинам оказалось невозможным позиционирование объекта, необходимое для точного количественного анализа. Для оценки присущей методу ошибки подверглось исследованию влияние на ФПМ следующих параметров:

Наклон объекта в плоскости детектора (рис. 2).

Вращение объекта вокруг оси вращения привода (рис. 3).

Из рис. 2 и 3 очевидно, что данные параметры оказывают существенное влияние на ФПМ и приводят к систематической ошибке: смещению к «худшей» ФПМ. Таким образом, точный количественный анализ невозможен. В связи с тем, что позиционирование объекта было неизменным на протяжении эксперимента (кроме случая изменения расстояния «источник-детектор»), возможно установление качественных зависимостей ФПМ от различных факторов.

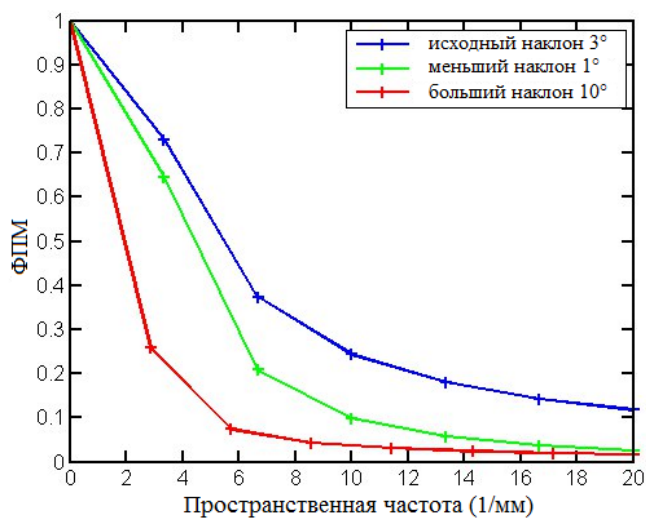


Рис. 2. Кривые ФПМ для различного наклона тестового объекта в плоскости детектора: 3° (исходный) – синий, 1° - зеленый, 10° - красный.

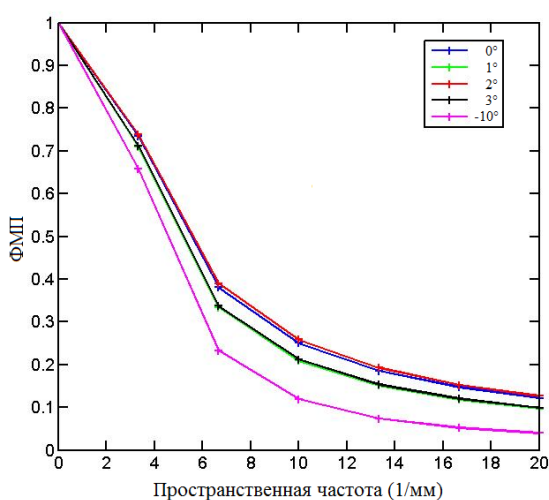


Рис. 3. Кривые ФПМ для различного угла поворота объекта вокруг оси вращения привода: 0° (исходный) – синий, 1° - зеленый, 2° - красный, 3° - черный, -10° - пурпурный. Максимальные значения ФПМ при 0 и 2 градусах объясняются, по всей видимости, неоднородной формой объекта.

Эксперимент

Все эксперименты в пределах одной группы проводились в случайном порядке во избежание отклонений в связи с неизвестными факторами. Было использовано усреднение по 50 проекциям для улучшения отношения сигнал-шум.

Исследование влияния расстояние «источник-детектор»

В данной серии экспериментов в качестве переменной было рассмотрено расстояние от источника до детектора. Расстояние «источник-объект» и время экспозиции корректировались для каждого эксперимента таким образом, чтобы сохранить геометрическое увеличение и среднее значение уровня сигнала одинаковыми (в случае со средним уровнем сигнала – примерно одинаковым). Остальные параметры не изменялись (табл. 2). Результаты измерений приведены на рис. 4.

Таблица 2. Параметры для исследования влияния расстояния «источник-детектор»

Мишень	Напряжение, кВ	Сила тока, мкА	Биннинг	Размер вокселя, мкм		
Молибден	45	370	2x2	5		
Эксперимент	1	2	3	4	5	7
SDD (мм)	200	250	300	350	400	500
SOD (мм)	10	12,5	15	17,5	20	25

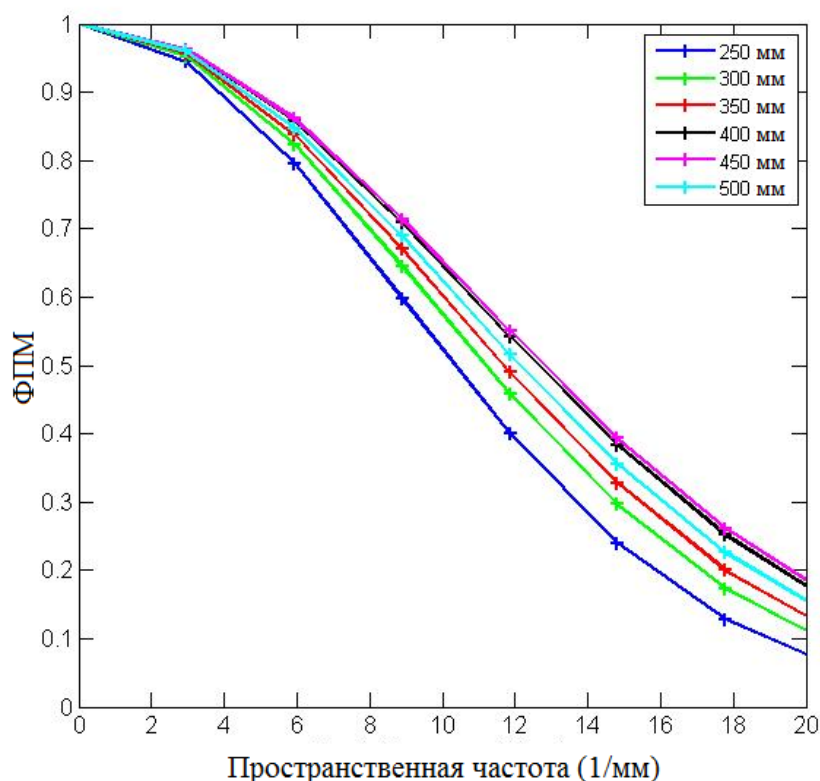


Рис. 4. Кривые ФПМ для различных расстояний «источник-детектор»: 250 мм – синий, 300 мм – зеленый, 350 мм – красный, 400 мм – черный, 450 мм – пурпурный, 500 мм – голубой. ФПМ улучшается с увеличением расстояния.

Исследование влияния силы тока трубки

В данной серии экспериментов в качестве переменной величины выступала сила тока трубки. Время экспозиции корректировалось для каждого эксперимента таким образом, чтобы среднее значение уровня сигнала примерно одинаковым. Остальные параметры не изменялись. Был выбран режим фокального пятна №1, т.к. по заявлению производителя при данном режиме мощность трубки не оказывает влияния на размеры фокального пятна. Таким образом, при изменении тока трубки не должно быть значительного ухудшения разрешения. Были проведены измерения при различном значении тока (табл. 3), и обнаружено, что с увеличением тока значение ФПМ даже немного возрастает (рис. 5).

Таблица 3. Параметры для исследования влияния тока трубки

Мишень	Напряжени е, кВ	Расстояние «источник- детектор», мм	Расстояние «источник- объект», мм	Биннин г	Размер вокселя, мкм
Молибден	80	300	12	1x1	2
Эксперимен т	1	2	3	4	5
Сила тока, мкА	180	150	120	90	60

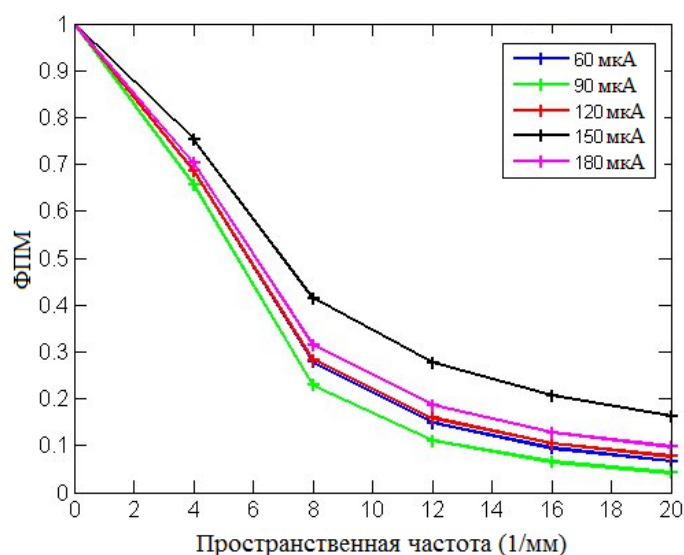


Рис. 5. Кривые ФПМ для различных значений тока трубки: 60 мкА – синий, 90 мкА – зеленый, 120 мкА – красный, 150 мкА – черный, 180 мкА – пурпурный. ФПМ незначительно улучшается с увеличением тока трубки.

Исследование влияния различных режимов биннинга

В данной серии экспериментов в качестве переменной был рассмотрен режим биннинга детектора. Биннинг – это процесс объединения нескольких детектирующих элементов – пикселей, в один. Расстояние «источник-объект» и время экспозиции корректировались для каждого эксперимента таким образом, чтобы сохранить геометрическое увеличение и среднее значение уровня сигнала примерно одинаковыми. Остальные параметры оставались неизменными (табл. 4). Как показано на рис. 6, применение биннинга в режиме «2×2» незначительно влияет на ФПМ.

Таблица 4. Параметры для исследования влияния режима биннинга

Мишень	Напряжение, кВ	Расстояние «источник-детектор», мм	Сила тока, мкА	Размер вокселя, мкм
Молибден	80	300	150	2
Эксперимент	1	2		
Режим биннинга	1×1	2×2		
Расстояние «источник-объект», мм	12	6		

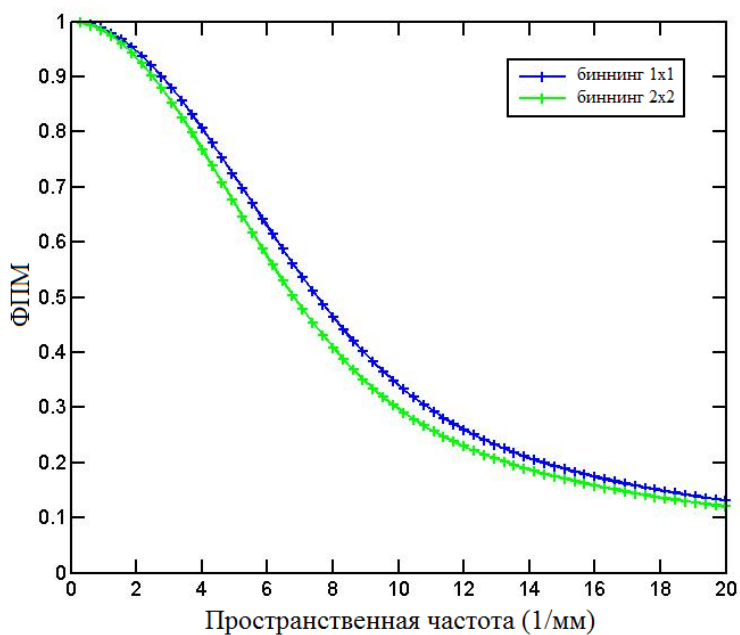


Рис. 6. Кривые ФПМ для двух режимов биннинга: 1x1 – синий, 2x2 – зеленый. ФПМ незначительно изменяется с изменением режима биннинга.

Анализ результатов

По результатам проведенных измерений можно сделать следующие общие выводы и предположения:

- 1) ФПМ улучшается с увеличением расстояния «источник-детектор». Эффект наиболее выражен в области высоких пространственных частот. Возможная причина – увеличение рассеяния в сцинтилляционном слое детектора при уменьшении расстояния и соответствующем увеличении угла расхождения пучка.
- 2) Увеличение тока трубки незначительно улучшает ФПМ. Это, по всей видимости, подтверждает заявления производителя о независимости размера фокального пятна от мощности трубки при режиме работы № 1. Небольшое улучшение ФПМ при увеличении тока трубки, вероятнее всего, связано с нелинейным откликом детектора при различном времени экспозиции.
- 3) ФПМ практически не изменяется при смене режимов биннинга с «1×1» на «2×2». Некоторое падение разрешения при работе в режиме «2×2» может быть связано с уменьшением расстояния «источник-объект» и вызванным этим повышенным рассеянием излучения на объекте.

Благодарности

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

Авторы благодарят коллег из университета прикладных наук Верхней Австрии, г. Вельс, Австрия за возможность проведения эксперимента и активное участие в подготовке данной работы.

Список использованных источников

1. Williams T L 1999 *The optical transfer function of imaging systems* Institute of Physics Publ., Bristol
2. Batranin A, Ivashkov D and Stuchebrov S 2015 Performance evaluation of micro-ct scanners as visualization systems *Advanced Materials Research* 1084 694-97.
3. Buzug T M 2008 *Computed tomography: from photon statistics to modern cone-beam ct* Springer, Berlin
4. Ивашков Д. В., Батранин А. В. Исследование производительности томографических сканеров как систем визуализации// *Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов,*

аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 14-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 1 - С. 95-96.

5. Buhr E, Günther-Kohfahl S and Neitzel U 2003 Simple method for modulation transfer function determination of digital imaging detectors from edge images *Physics of Medical Imaging SPIE* 5030 877–84
6. Samei E, Flynn M J and Reimann D A A 1998 method for measuring the presampled mtf of digital radiographic systems using an edge test device *Med. Phys.* 25 102-13

ПРОБЛЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБЪЕМНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

Мамырбаев Т. А., Батрагин А. В., Ивашков Д. В.
Томский политехнический университет

Введение

Рентгеновская компьютерная томография (КТ) является неразрушающим методом визуализации внутренней структуры твердых объектов. КТ используется для исследования и контроля различных материалов, таких как горные породы, керамика, металлы.

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом является основой КТ метода. Рентгеновские лучи после прохождения через объект ослабляются по закону Бира для комплексных материалов, данное ослабленное излучение регистрируется детектором. В КТ набор теневых проекций объекта получают с разных углов. Затем набор проекций реконструируют и получают объемное распределение коэффициентов ослабления. Для томографической реконструкции используются различные математические алгоритмы и программные обеспечения на их основе. Целью специального программного обеспечения является не только реконструкция, но так же уменьшение артефактов и основных операций визуализации, которые необходимы для дальнейшей обработки, таких как: сегментация и количественный анализ [1, 2]. Само распределение коэффициентов ослабления имеет ограниченный практический смысл. Как правило, полученные томографические данные подвергаются сегментации. Эта операция преобразует полутоновые изображения в бинарные при определенном пороговом значении, выбранном вручную или с помощью некоторого алгоритма. На этой стадии встречаются неизбежные трудности, вызванные нелинейностью и сложностью процесса взаимодействия излучения с веществом. После сегментации наиболее распространенной процедурой является количественный анализ, который позволяет анализировать отдельные бинарные объекты, полученные в результате сегментации.

Материалы и методы

В институте неразрушающего контроля, который является частью Томского политехнического университета, был разработан высокоэнергетический рентгеновский томограф. Исследовательская группа опубликовала свои первые успешные результаты в области сборки и тестирования томографов [3, 4].

Основными компонентами рассматриваемой системы являются детектор рентгеновского излучения на основе сцинтиллятора, рентгеновский аппарат и поворотный механизм. В томографе используется рентгеновский аппарат MXR-451HP (производства Comet, Швейцария) в качестве источника излучения. Напряжение рентгеновской трубки изменяется в диапазоне 20-450 кВ, размер фокусного пятна трубки может быть 0,4 или 1 мм в зависимости от выбранного режима. Рентгеновский детектор – плоскочастотный детектор XRD 1622 (производства Perkin Elmer, США), имеющий 2048×2048 детектирующих элементов – пикселей. Шаг пикселей составляет 200 мкм. Сцинтиллятор