

Медицинская Информатика Medical Informatics

Олег Пьяных, PhD
opiany@gmail.com



Раздел 2

Making a good image

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[Часть 1: Получение изображения]

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[Ich habe meinen Tod gesehen!]



1895 год: первый
рентгеновский снимок

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

1898: Аликс



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Получение данных в МИ

- Задача получения данных в МИ сводится к как можно более быстрому и безопасному/комфортному для пациента получению максимально полной диагностической информации о его состоянии
- Получение диагностических изображений пациента является наиболее емким способом сбора информации
- Изображения могут получаться как достаточно классическими методами (рентген), так и методами требующими значительных вычислений (томография)

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

На чем основана томография?

- Томография позволяет получать изображение объема из его проекций
- В основе компьютерной томографии (КТ) лежит теорема (преобразование) Радона
- Основанная на математике, томография сама стала неиссякаемым источником математических задач

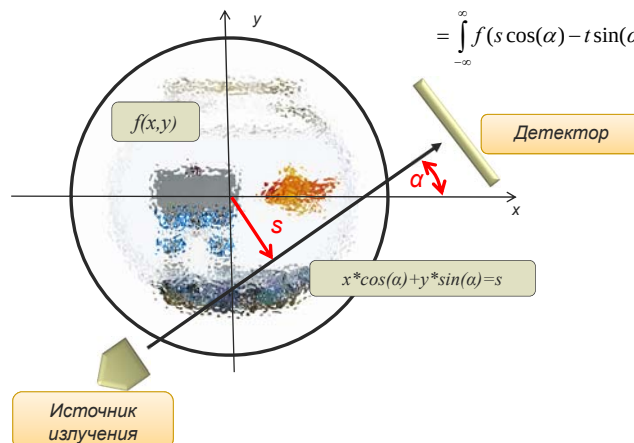


Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Задача Радона

Вычисляем интеграл $f(x,y)$ вдоль произвольной линии L

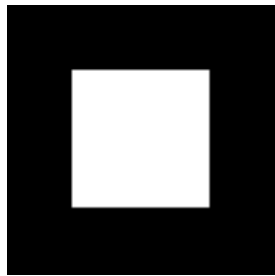
$$p(s, \alpha) = p(-s, \alpha + \pi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cos(\alpha) - t \sin(\alpha), s \sin(\alpha) + t \cos(\alpha)) dt$$



Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

Пример: проекции плотности куба

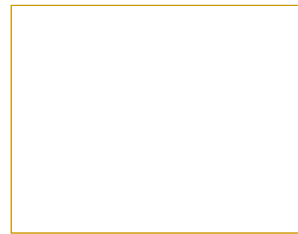
Постройте график
проекции



$\alpha=0$

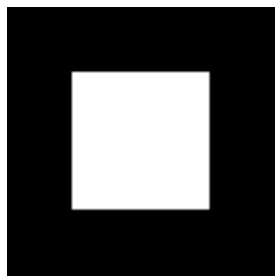


$\alpha=45$

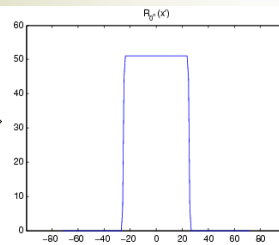


Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

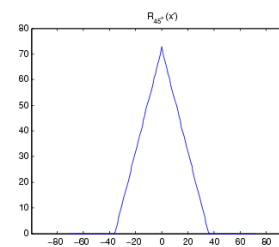
Пример: квадрат



$\alpha=0$



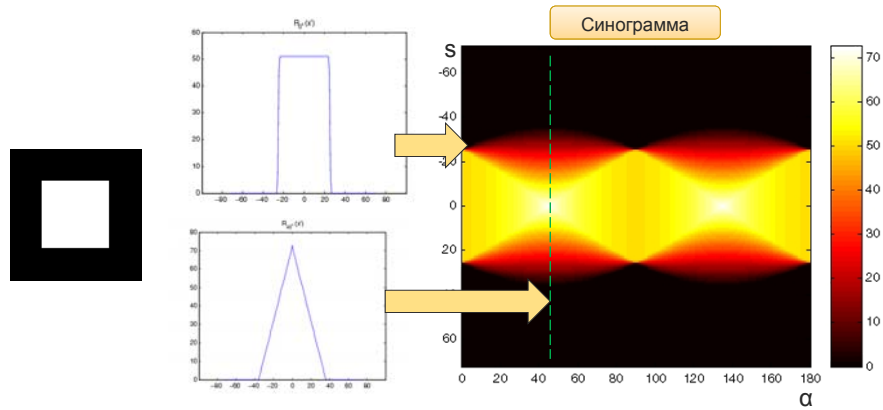
$\alpha=45$



Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

Синограмма

- Синограмма показывает функцию проекций $p(s, \alpha)$:

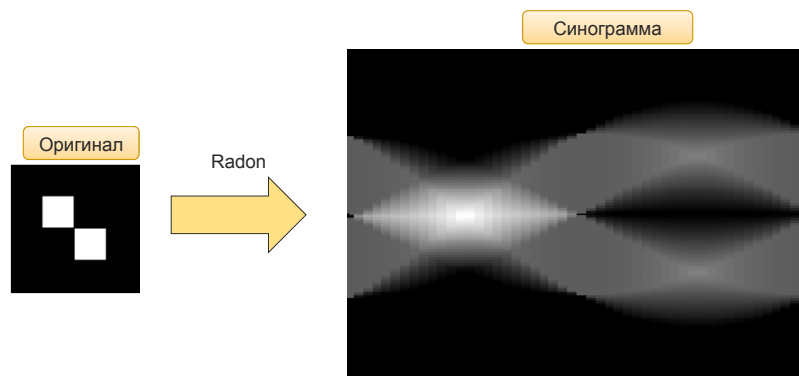


See <http://www.mathworks.com/help/toolbox/images/f21-25938.html>

Oleg Pinykh

opinykh@bidmc.harvard.edu

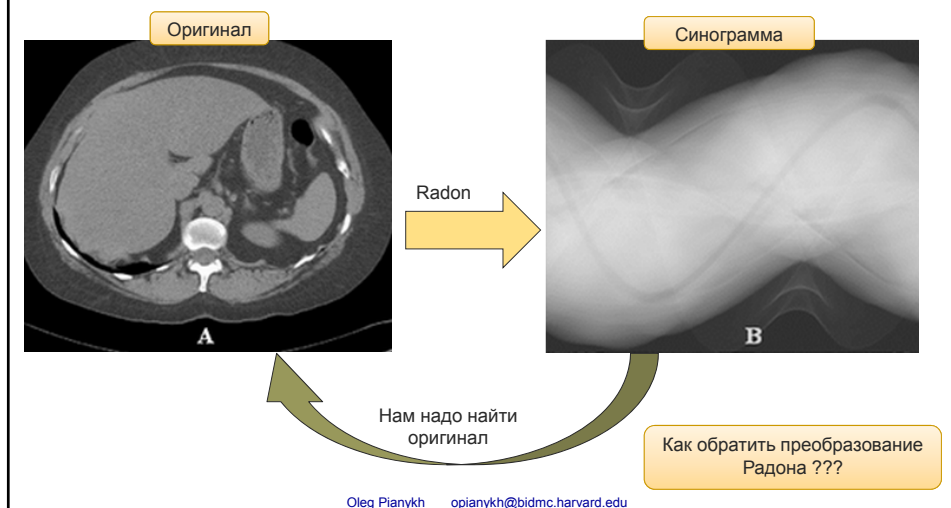
Пример посложнее



Oleg Pinykh

opinykh@bidmc.harvard.edu

[Реальный мир]



[Теорема Радона (1917)]

- Определим

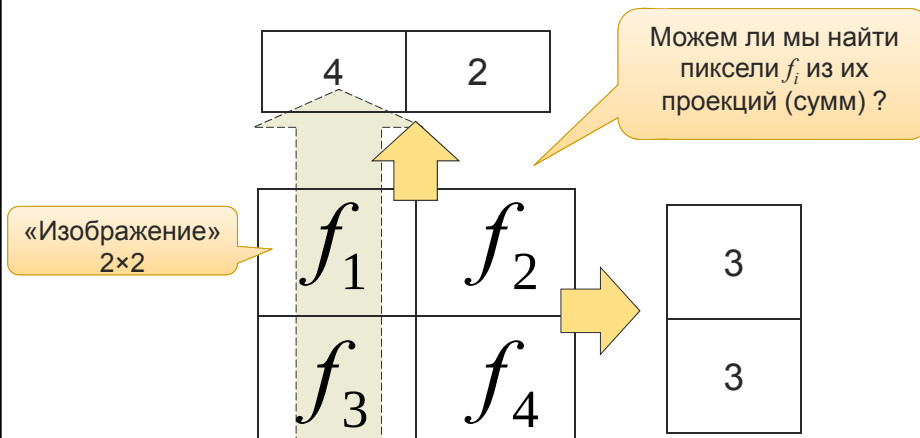
$$p_r(R) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x \cos(\alpha) + y \sin(\alpha) + R, \alpha) d\alpha$$

- Тогда мы можем найти значения $f(x,y)$ из ее проекций как

$$f(x, y) = -\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{dp_r(R)}{R}$$

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

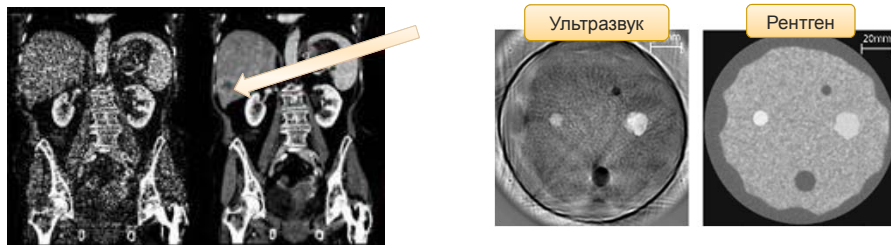
[Очень простой пример: проекция как сумма]



Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

[Томография в медицине]

- Томография может использовать различные модели реконструкции изображений:
- Томография может использовать различные методы получения изображений (рентген, ультразвук):



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Томография за пределами медицины



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Часть 2: Задачи улучшения качества данных

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

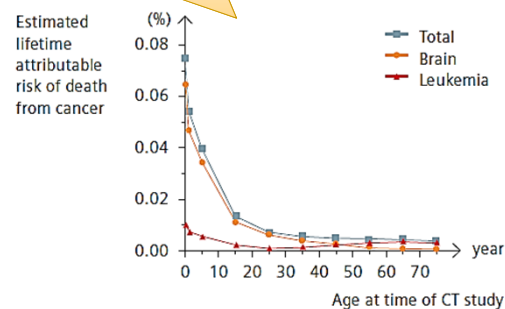
Чем ограничено качество медицинских изображений?

- Предлагаем ответы:

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Рискованная радиация

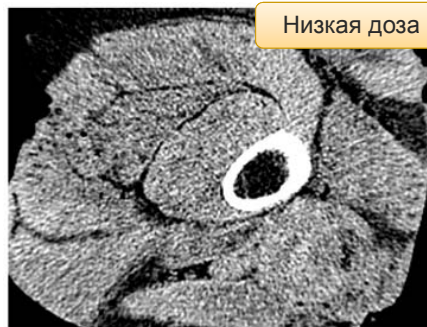
Риск заболеваемости раком в результате КТ



International Commission on Radiological Protection (ICRP) в 1990 оценил риск заболеваемости раком в 5 % на Sv. Как пример, КТ-исследование в 10 mSv увеличивает риск смертности от рака на 0.05 %.

Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

Пример: низкая и высокая дозы



Понижение дозы облучения в томографии приводит к значительному ухудшению качества снимка (снимок без «вспышки»)

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

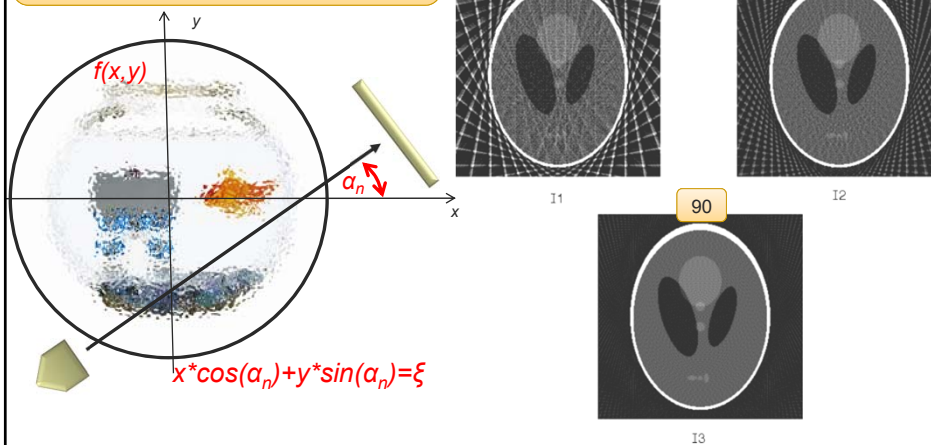
Как можно понижать радиационную нагрузку в КТ?

- Мы можем снизить облучение за счет:
 - Меньшего числа изображений?
 - Более эффективного сканирования (сканер подстраивает дозу под толщину и плотность органов – модуляция)
- Снижения числа проекций
 - Лучших алгоритмов обращения преобразования Радона
 - Лучших алгоритмов удаления артефактов из изображений

Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

Снижение числа проекций

Уменьшение числа проекций α_n понижает облучение пациента



Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

Пример улучшенного обращения преобразования Радона

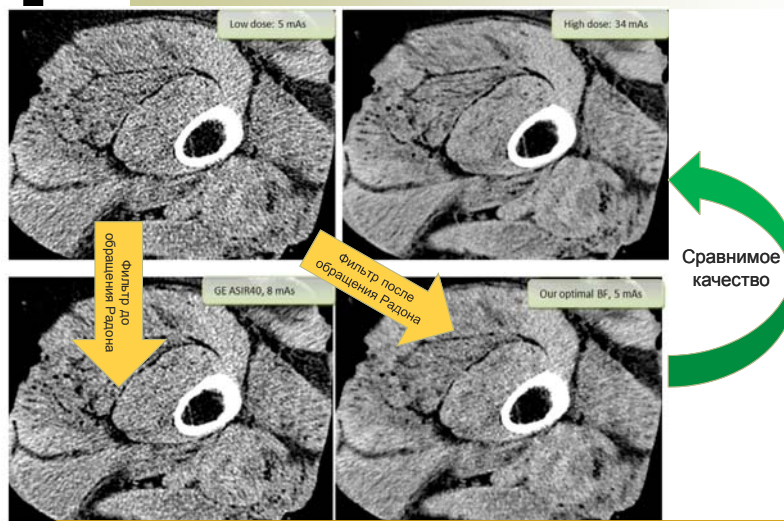
- Выбор алгоритма обратного преобразования Радона имеет огромное значение



See http://www.purdue.edu/newsroom/research_park_foundation/2011/111130GE-ND-Purdue.html

Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

Удаление шума низкой дозы

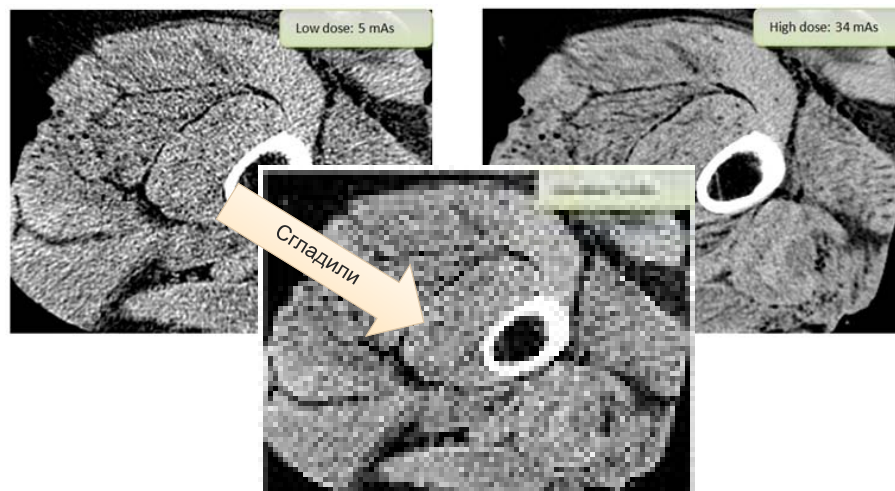


Возникающий при низких дозах шум может быть удален нелинейными фильтрами

Постановка задачи фильтрации

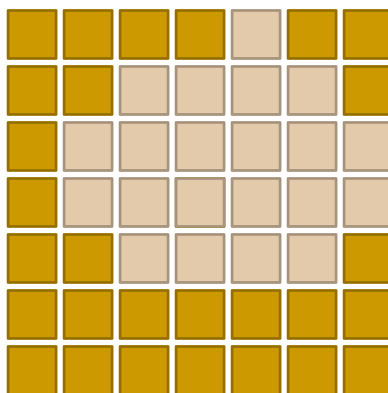
- Как получить изображение высокого качества из данных низкого качества?
- Можно ли предложить вычислительные алгоритмы, которые доведут качество снимков, полученных при *меньшем* облучении, до качества «полной дозы»?

Удалить шум сглаживанием? Нет:



Может посмотреть вокруг пиксела?

- Корректируем пиксел по соседям:



Окрестность пиксела



Oleg Pinykh opianykh@bidmc.harvard.edu

Фильтрация как регуляризация

- Нелинейные *билатеральные фильтры* (*bilateral filters*, BF) используются для эффективного улучшения снимков.
- Задача фильтрации рассматривается как математическая задача *регуляризации данных* – придания данным таких дополнительных «хороших» свойств, как гладкость.
- Для данного изображения X (величины пикселей x_n), постоянных $u_{nk} > 0$, окрестности пикселя N_r и параметра регуляризации λ , BF определяют «профильтрованное изображение» Y через минимизацию функции $E()$:

$$E(y) = \sum_n \left[(x_n - y_n)^2 + \lambda \sum_{k \in N_r} u_{nk} (y_k - y_n)^2 \right]$$

[Идея фильтрации]

Коэффициент регуляризации λ :
 $\lambda=0$ означает $X=Y$,
 $\lambda>0$ означает Y регулярнее X

$$E(y) = \sum_n \left[\underbrace{(x_n - y_n)^2}_{\text{Изображение } Y \text{ близко к оригиналу } X} + \lambda \sum_{k \in N_r} \underbrace{u_{kn} (y_k - y_n)^2}_{\text{Изображение } Y \text{ гладкое}} \right]$$

Изображение Y
 близко к оригиналу X

Изображение Y
 гладкое

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[Формула билатерального фильтра]

$$y_n = \frac{x_n + \sum_{N_r} w_{nk} y_k}{1 + \sum_{N_r} w_{nk}}$$

где w_{nk} больше для тех y_k , которые ближе к y_n по яркости и в пространстве, например

$$w_{nk} = \frac{\lambda}{1 + (y_n - y_k)^2} \frac{1}{1 + \text{dist}(y_n - y_k)}$$

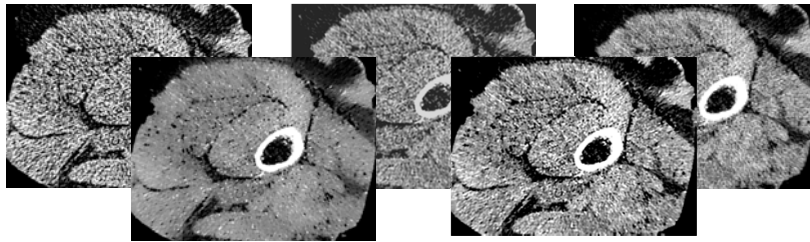
Расстояние между яркостями пикселей

Расстояние между пикселями на плоскости

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

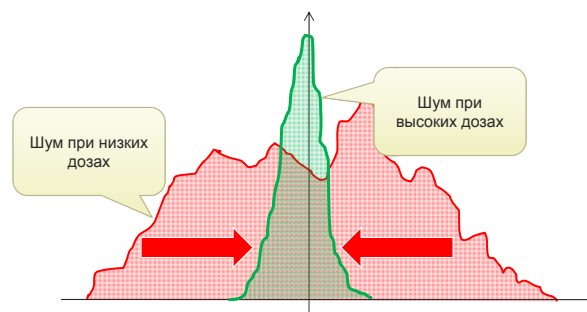
Роль параметров регуляризации

- Работа BF и их результат зависят от их параметров
- Выбор параметров (λ , u_{nk} , N_r) может разительно сказываться на качестве удаления шума в снимке. Снимки внизу иллюстрируют фильтрацию одного и того же исходного снимка (слева) с разными параметрами BF:

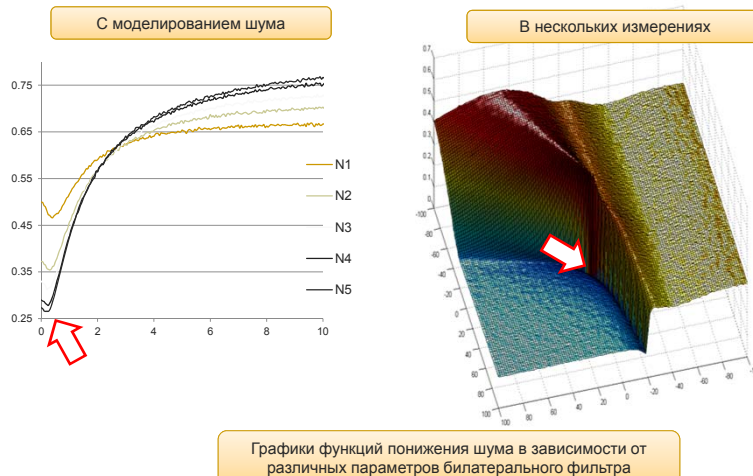


Оптимизация параметров

- Для объективного определения оптимальных величин параметров BF необходимы свои собственные алгоритмы. Один из вариантов – определять параметры так, чтобы распределение шума «профильтрованного» снимка соответствовало распределению шума при высоких дозах

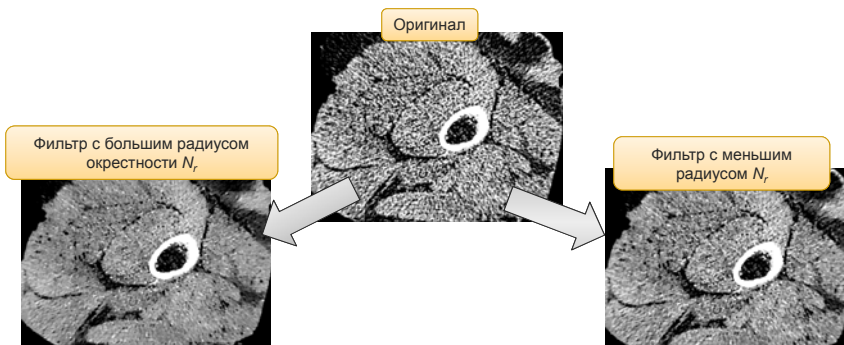


Примеры оптимизации параметров

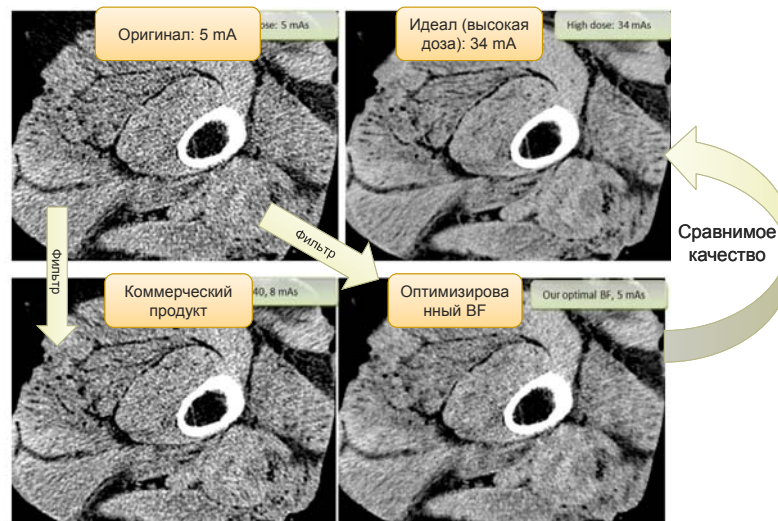


Сложнее $\neq$ лучше

- Наиболее сложные фильтры (например, при больших N_r) совсем не гарантируют лучшее качество фильтрации
- Повторное применение фильтров тоже может заметно ухудшать качество изображений

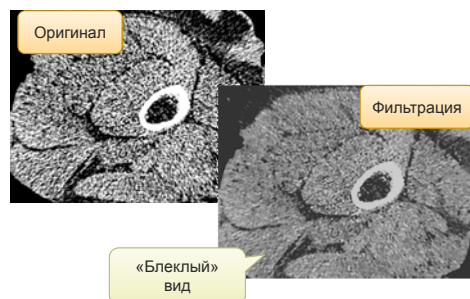
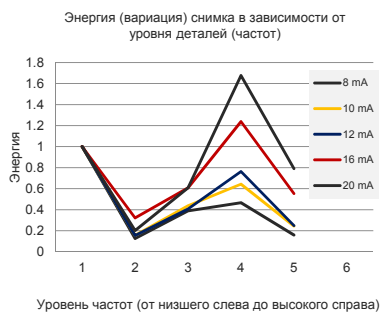


Результат: улучшение КТ



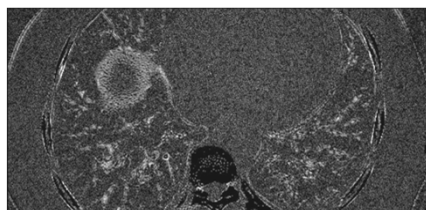
Побочные проблемы

- Фильтрация шума может сопровождаться побочными проблемами. Например, удаление шума соответствует удалению значительной части данных («энергии» снимка), что может привести к эффекту поблекшего изображения



Разностные снимки

Разностные снимки (отфильтрованный минус оригинал) показывают то, что было удалено фильтром. Мы не должны терять диагностическую часть снимка.



Фильтр удалил не только шум, но и детали органов (границы). Плохо!



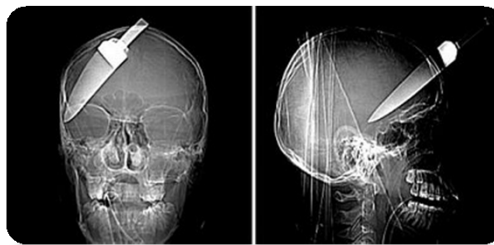
Фильтр удалил преимущественно шум

Применение в клинике



Часть 3: Повышение диагностической ценности данных

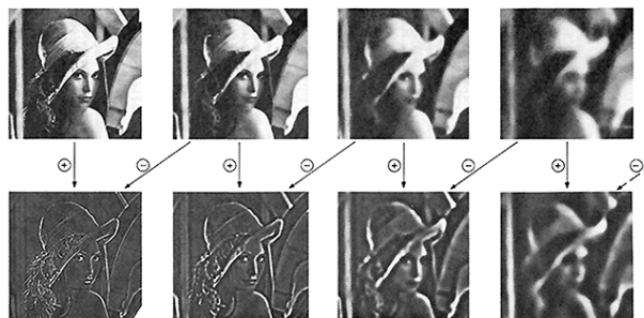
- Информация в данных может быть богаче, чем это кажется на первый взгляд
- Как сделать диагностическую информацию предельно видимой?



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Пример: Балансировка частот

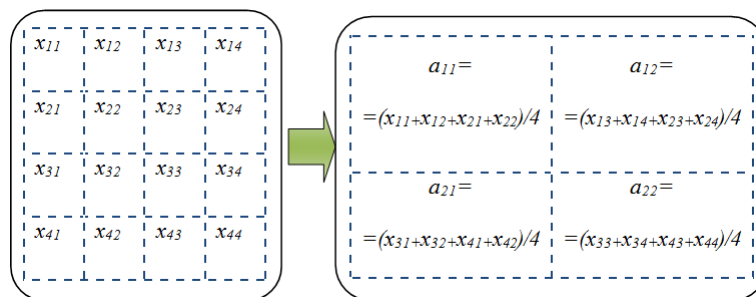
- Изображение (как любой цифровой сигнал) состоит из компонент разной частотности. Низкие частоты соответствуют плавным элементам, высокие – резко-меняющимся деталям



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Пирамида Лапласа

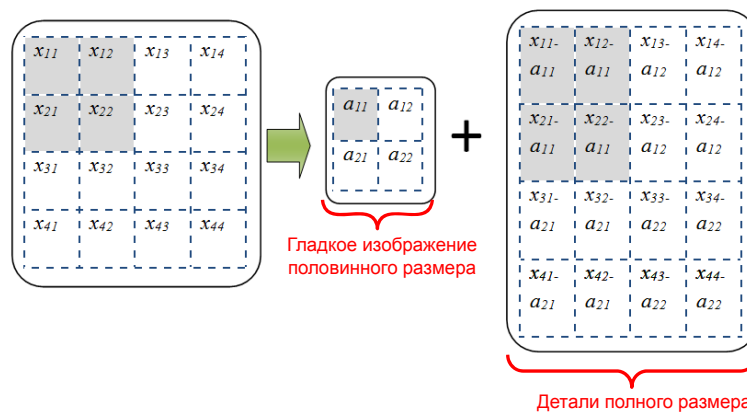
- Шаг 1: усреднение (сглаживание)



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Пирамида Лапласа

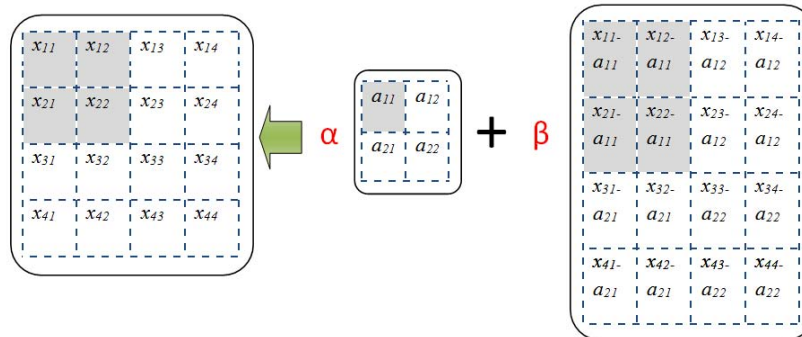
- Шаг 2: разложение на низкие и высокие частоты



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

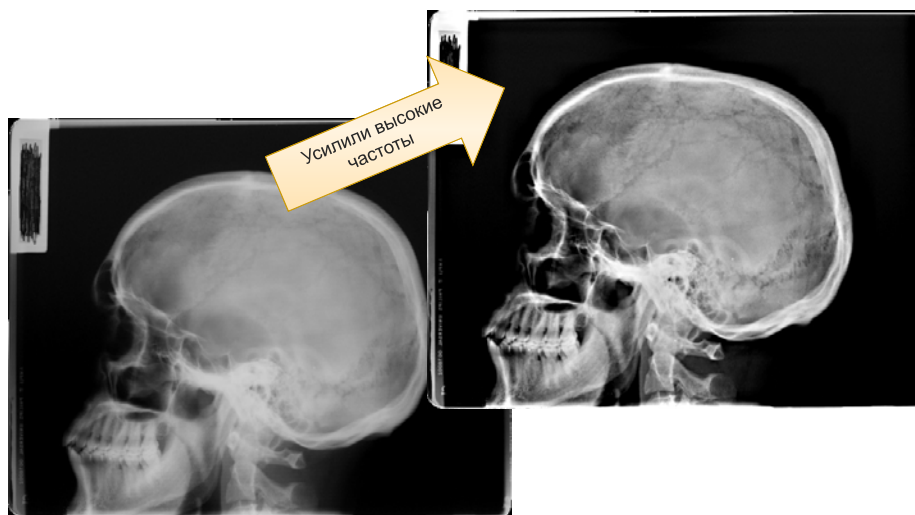
Пирамида Лапласа

- Синтез в обратную сторону, с усилением или ослаблением заданных частот



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Пример



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[Пример]

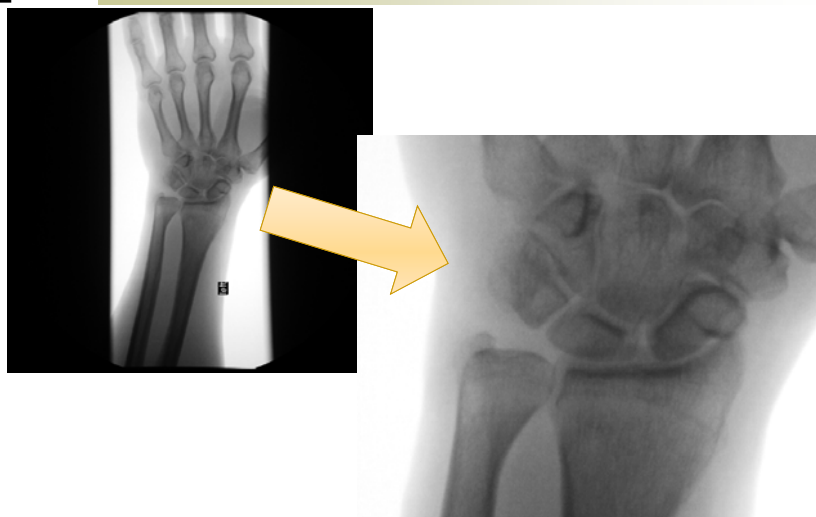


Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[Другие способы улучшения диагностического качества]

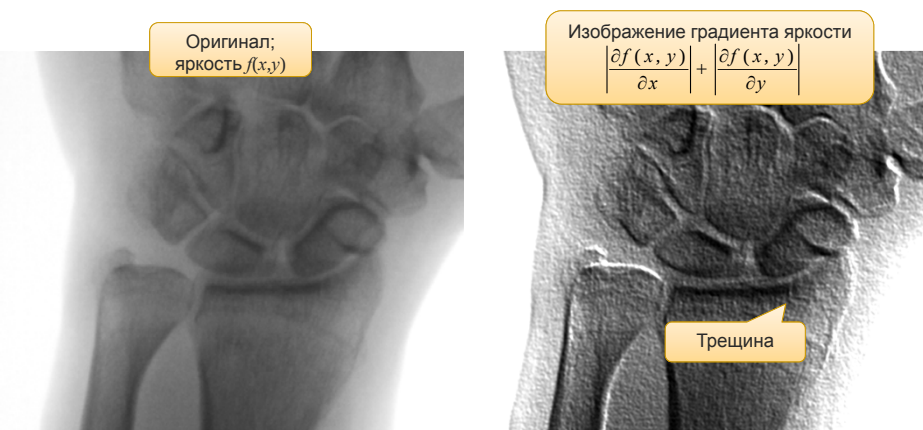
Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Пример: боль в руке



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Находим трещину в кости с помощью градиента яркости:



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[Компенсация неравномерной толщины или плотности]

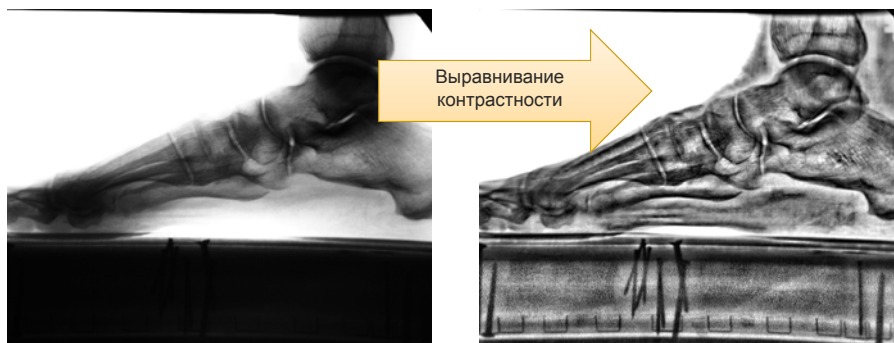
- Равномерная плотность: компенсируем естественно-неоднородную плотность/толщину органа, делая все его части одинаково видимыми:



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[... и еще]

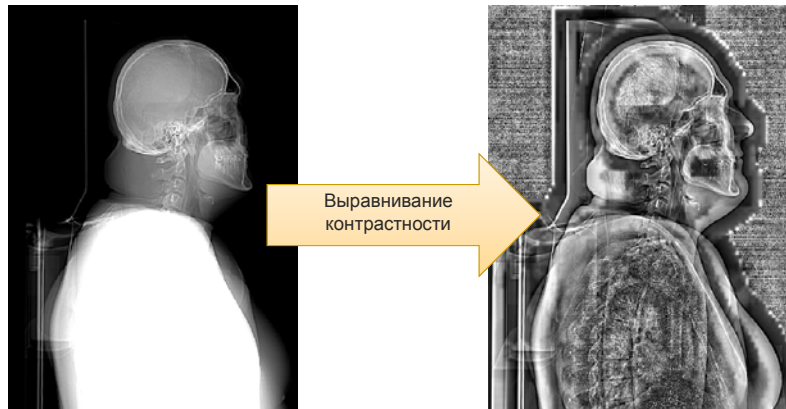
- Алгоритмы нелинейной коррекции контрастности. Локальное преобразование контраста в каждой точке, делающее все детали снимка одинаково контрастными (заметными):



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[...продолжаем...]

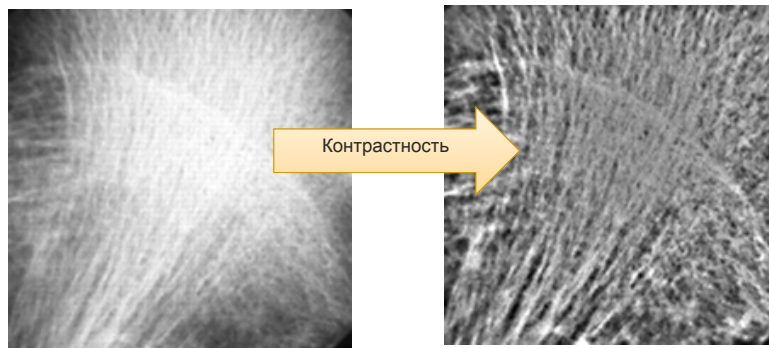
- Еще о выравнивание контрастности



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

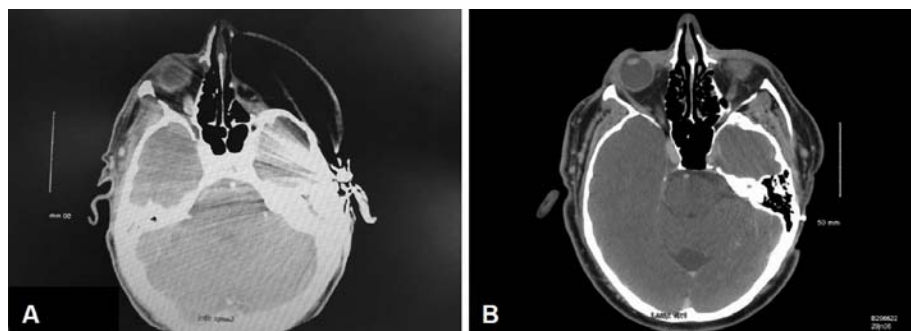
[Анализ текстуры (texture analysis)]

- Визуализация структуры ткани (кости) позволяет оценить нормальность костной ткани



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

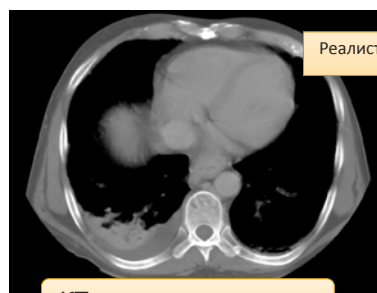
Фильтрация артефактов



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Реалистичная раскраска

Полезна в хирургии: хирург видит
ткани в «правильном» цвете



Реалистичная раскраска



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

[Итог]

- Диагностически-ценные элементы изображений могут быть подавлены шумом, заслонены другими элементами снимка, НО
- Обработка снимков специальными математическими алгоритмами может не только удалять нежелательные артефакты, но и повышать видимость диагностически-важных деталей
- «Умная» обработка данных позволяет:
 - Значительно улучшить качество диагностики
 - Избежать вредных нагрузок на пациента (напр., радиации)

Oleg Pinykh opiany@gmail.com