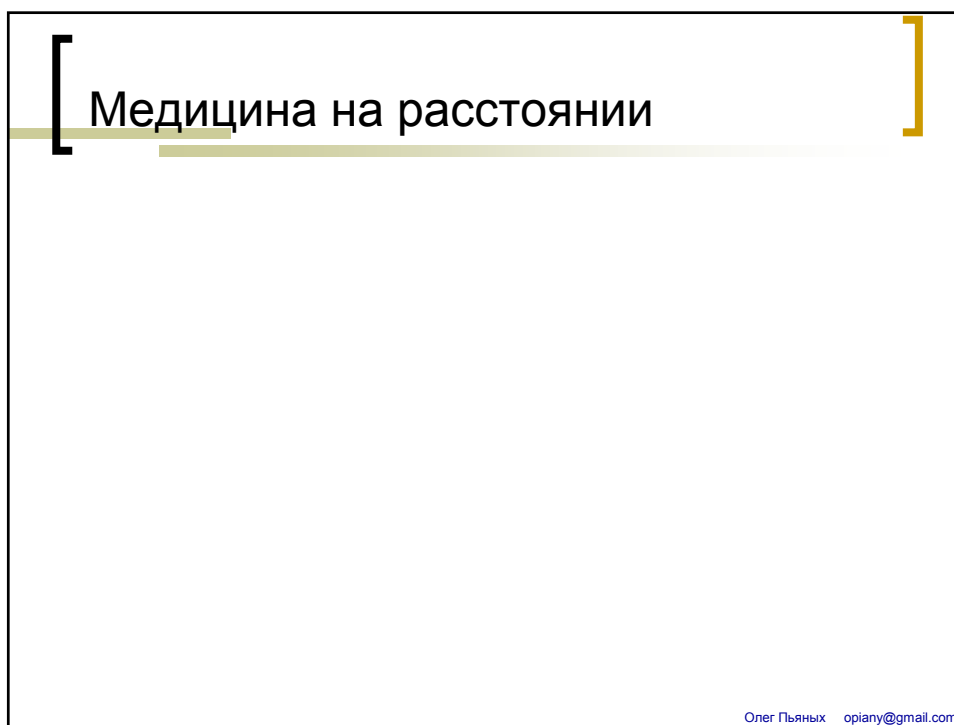


Медицинская Информатика
Medical Informatics

Олег Пьяных, PhD
opiany@gmail.com



Медицина на расстоянии

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Часть 1: Удаленный доступ

Олег Пьяных opiany@gmail.com

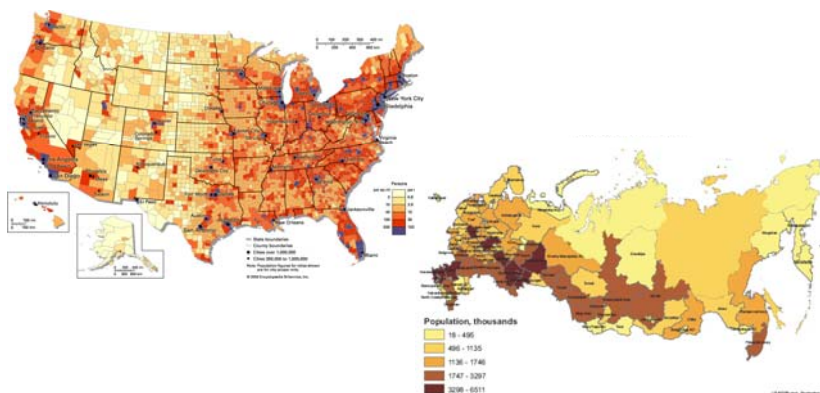
Почему врач должен работать удаленно?

Почему, как вам кажется, врач должен иметь возможность работать удаленно?

1. ?
2. ?
3. ?
4. ?
5. ?

Олег Пьяных opiany@gmail.com

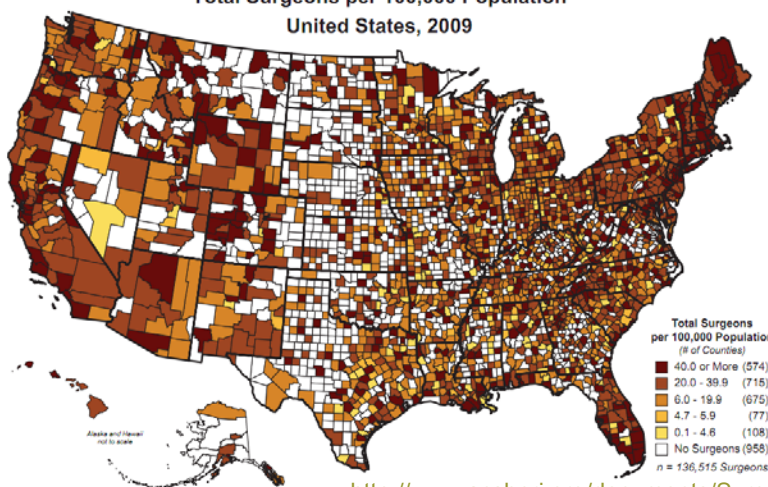
Плотность населения



Oleg Pianykh opiany@gmail.com

Плотность врачей

Total Surgeons per 100,000 Population
United States, 2009



http://www.acshpri.org/documents/SurgeonAtlas_BOOK.pdf

Oleg Pianykh opiany@gmail.com

Проблема доступа к пациенту

- Вызов специалиста – не всегда возможно
- Специалист на каждом месте – неэффективно
- Пересылка медицинских данных по электронной почте, видео – неэффективно и искажает данные
- Форум в Интернете? *«Пожилый мужчина, 77 лет..., спутанность сознания, на внешние раздражители реагирует вяло... Вызвал скорую, но она всё не едет. Подскажите доктор, что может быть?»*

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Телерадиология

- **Телерадиология:** рентгенология на расстоянии. Опирается на качественный просмотр и анализ удаленных изображений пациента для определения диагноза.
- **Телемедицина:** удаленное наблюдение за состоянием пациента
- **Зачем нужна телерадиология?**
 - Оптимизация ресурсов (15% - прирост исследований, 2% - прирост рентгенологов)
 - Экстренные консультации (даже на смартфонах)
 - Обеспечение доступа к пациентам и экспертам, где бы они ни были. Экспертные сети, сети VRN (Virtual Radiology Network)



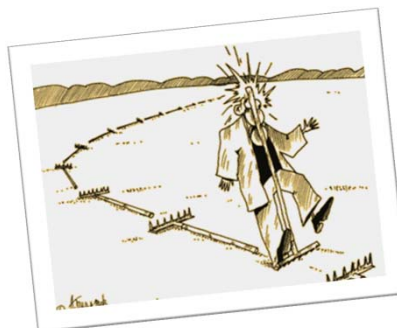
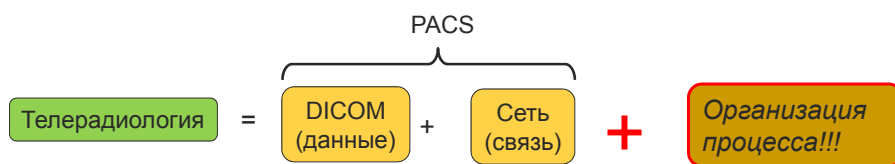
Олег Пьяных opiany@gmail.com

Уходим из «локального»

- Концептуально, PACS и телерадиология – одно и то же, НО
 - PACS создавались ориентированными на локальную сеть
 - RIS создавались ориентированными на локальную сеть
 - Организация работы предполагала локальность, досягаемость, контролируемость.
- Как результат, телерадиология требует не только технического переоснащения PACS, но и пересмотра всех звеньев медицинской «цепочки».

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Так ли все просто?



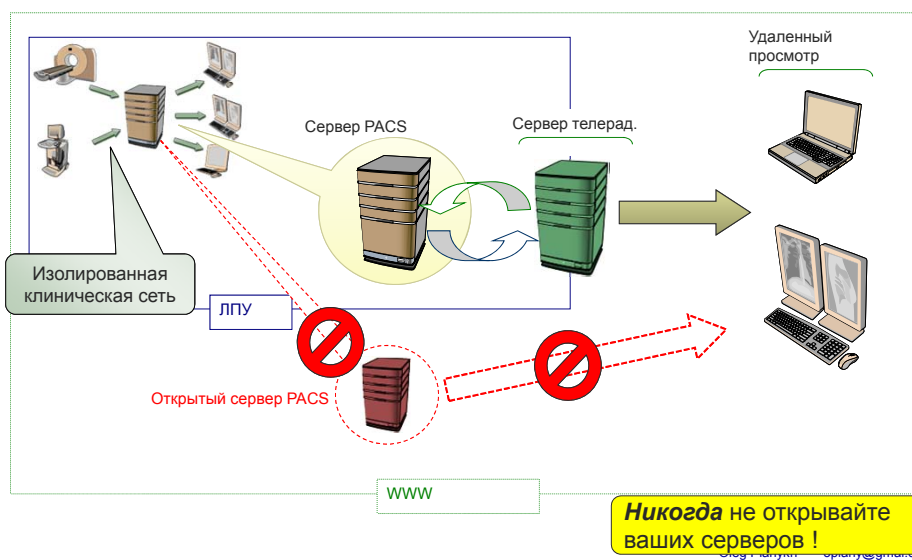
Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Телерадиология: организация работы

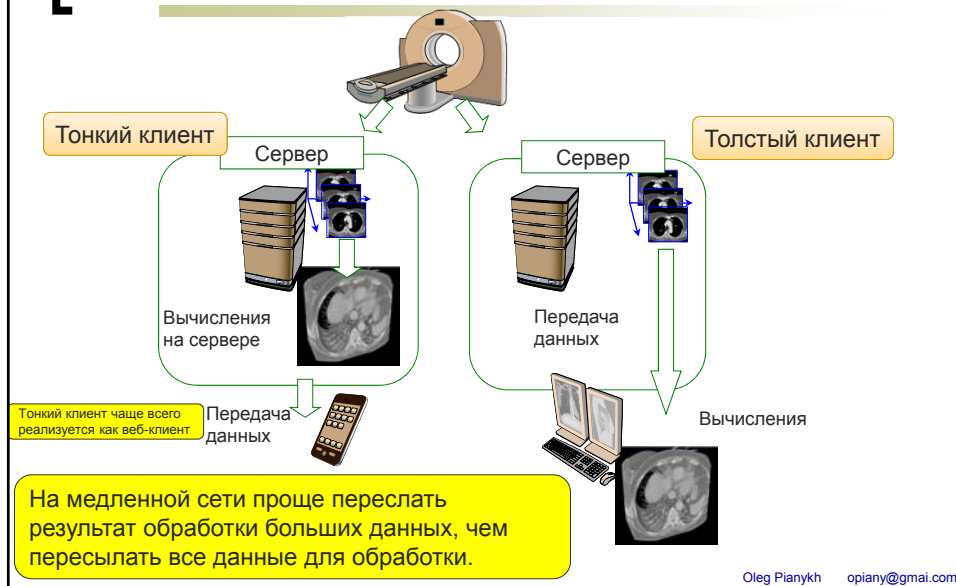
- Диагностическое сжатие изображений: предельное сжатие, или максимальное качество изображений?
- Организация потока данных на ограниченных сетях: «prefetch» (предзагрузка), региональные серверы, “cloud computing”
- Поддержка широкого спектра доступного оборудования (ПК, мониторы, мультимедиа)
- Защита содержания и целостности информации (программная, а не физическая!): криптография, цифровая подпись, антивирусы, брандмауэры, пр.
- Административные вопросы.
- Менеджмент, организация бизнеса.
- Цифровой оборот всех документов.

Олег Пьяных oriany@gmail.com

Уходим из «локального»



Балансировка нагрузки



Web-интерфейс и его задачи

Web как основная технология тонкого клиента

Поддержка любых платформ и компьютеров (включая смартфоны)

Полная информация: изображения, заключения, лабораторные данные...

Диагностическое качество

"Zero footprint" – данные не остаются на компьютере

Диагностические изображения

Заключение о пациенте

Oleg Pianykh opiany@gmail.com

Чем ограничен веб-просмотр?

- Назовите возможные ограничения на веб-просмотр медицинских данных:

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Web-интерфейс и его ограничения

Ограничения на вычислительную мощность

Ограничения на память

Универсальность исключает сложную функциональность

Требует отказа от стандартов (DICOM), или создания их "веб-версий"



Олег Пьяных, opiany@gmail.com; www.algom.com

Проблемы веб-просмотра

Showing studies that match your search criteria

Source	Patient Name	Patient ID	Date
All Studies		745986451	

Diagnostic Viewer
LAUNCH

Basic Viewer
LAUNCH

Export all 1 to CSV

В рамках веб-клиента сложнее добиться полной реализации сложных стандартов

Не смог показать снимок

Oleg Pianykh opiany@gmail.com

Проблемы веб-просмотра

Showing studies that match your search criteria

Source	Patient Name	Patient ID	Date	Date End	Referring Institution	Type	State	Description	Referring Physician	Attachments	Patient Birthdate
All Studies		745986451				Any	Any				
Diagnostic Viewer	KOSTLY, BRIAN O.	745986451				Any	Any				

Diagnostic Viewer
LAUNCH

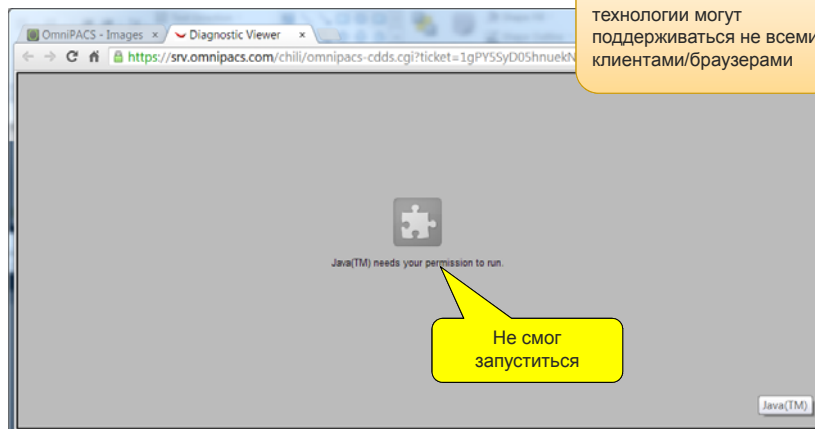
Basic Viewer
LAUNCH

Export all 1 to CSV

Не смог показать имя пациента

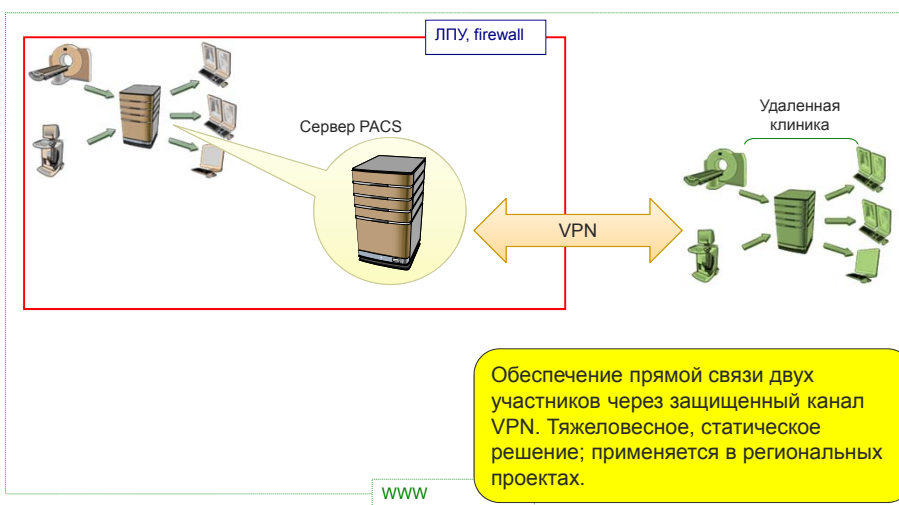
Oleg Pianykh opiany@gmail.com

Проблемы веб-просмотра



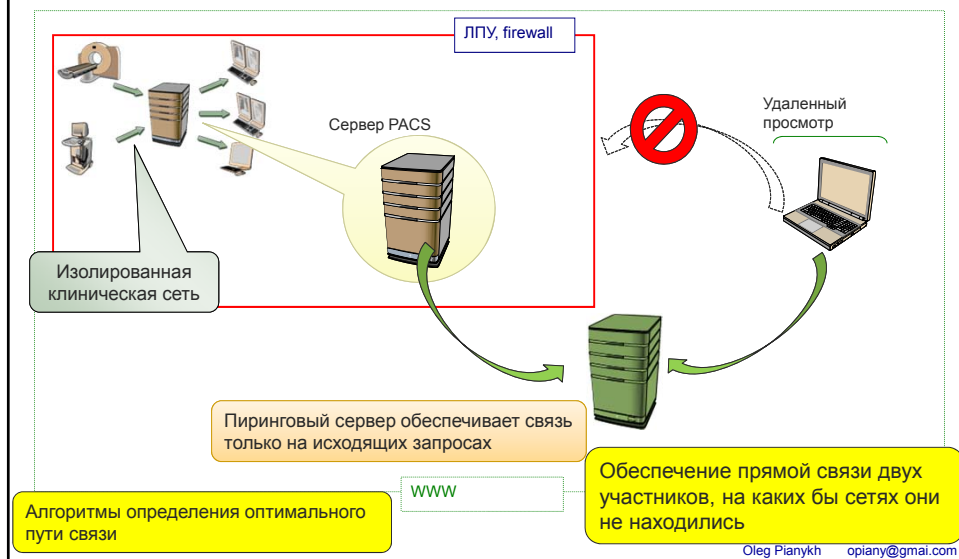
Олег Пьяных opiany@gmail.com

Альтернатива веб-клиенту: PACS-сети

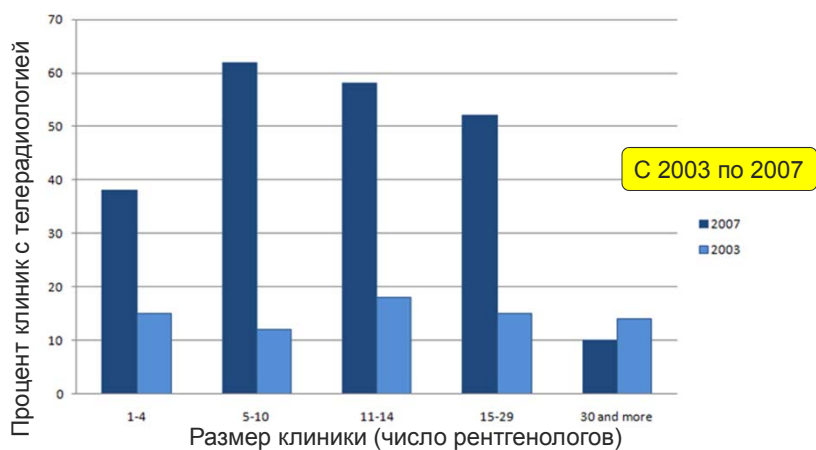


Олег Пьяных opiany@gmail.com

Альтернатива веб-клиенту: пиринговые сети



Пример: телерадиология в США



Сжатие: простое и диагностическое

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Кто знает, как работает сжатие изображений?

- Варианты:
 - А: Уменьшает размер (количество пикселей) в изображении
 - Б: Уменьшает яркость (количество оттенков) в изображении
 - В: Записывает пиксели изображения в более компактном формате

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Зачем нужно что-то сжимать, если:

- Цена за единицу хранения падает
- Скорость сетей растет
- Самые большие системы хранения стали доступны простым потребителям

Так зачем же сжимать данные???

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Но в то же время:

- Объем данных неуклонно растет (например, разрешение изображений)
- Потребность в передачи данных по сетям растет (teleradiology, и telecommuting в целом)
- Скорость сети в новомодных гаджетах не так уж высока (смартфоны с 3G – порядка 20 Mbit/sec)

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Примеры размеров мед. изображений

Image modality	Typical image matrix (height width, bytes per pixel)	Image size, kilobytes (KB)	Typical number of images in a study ¹	Typical study size, megabytes (MB)
Nuclear medicine, NM	128 × 128 × 1	16	100	1.5
Magnetic resonance, MR	256 × 256 × 2	128	200	25
Computed tomography, CT	512 × 512 × 2	512	500	250
Color ultrasound, US	600 × 800 × 3	1400	500	680
Computed radiography, CR	2140 × 1760 × 2	7356	4	30
Color 3D reconstructions ²	1024 × 1024 × 3	3000	20	60
Digital mammography, MG	Up to 6400 × 4800 × 2	60000	4	240

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Итак, сжатие необходимо как и прежде

- Сжатие информации основано на переводе ее в более компактную форму
- Сжатие может быть с потерями, и без потерь
- Силу сжатия описывает коэффициент сжатия, $R = (\text{Исходный размер}) / (\text{Сжатый размер})$
- Степень сжимаемости определяется *энтропией* сигнала

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Пример сжатия без потерь (текст)

- Исходная строка данных:
1000, 1001, 1002, 1002, 1000, 1000, 1001, 1057,.....
- Выберем наиболее частую строку, и заменим ее наиболее коротким кодом. Например, закодируем 1000 кодовым «словом» **a**:
a, 1001, 1002, 1002, **a**, **a**, 1001, 1057,.....
- уже короче
- Мы сохраняем закодированную строку, и небольшой «словарь»: **a**=1000. В таком виде информацию можно сохранить более компактно, и раскодировать когда надо

Пример: ZIP, RAR

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Пример сжатия с потерями (видео)

- Сжатие с потерями = (Приближение данных с ошибкой) + (Сжатие приближенных данных без потерь)
- Исходная строка данных:
1000, 1001, 1002, 1002, 1000, 1000, 1001, 1057,.....
- Допустим, мы можем ошибаться в значении с погрешностью в 1. Тогда
 - Мы можем заменить 1001 и 1000 на **a**
 - Применить сжатие без потерь, получим:
a, **a**, 1002, 1002, **a**, **a**, **a**, 1057,.....
- еще короче

Пример: JPEG, JPEG2000

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Пределы сжимаемости

- Информация сжимаема настолько, насколько она информативна:
 - *blah-blah-blah-blah-blah* – строка с практически нулевой информацией, легко сжать
 - *Medical informatics is cool!* – куда больше информации (меньше *повторяемости*), сложнее что-то сжать
- Степень информативности данных измеряется *энтропией*.

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Энтропия

- Shannon в 1948 предложил формулу энтропии как меру неопределенности (информативности) последовательности из n событий («слов»). Рассмотрим события e_1, \dots, e_n с вероятностями p_1, \dots, p_n , тогда их энтропия

$$H = \sum_i p_i \log \frac{1}{p_i} = - \sum_i p_i \log p_i$$

- Заметим что
 - $p_i = 1$ означает 100%-вероятное событие, и оттого не содержит никакой информации, $H=0$
 - Менее вероятные события (меньшие p_i), соответствуют большей информативности $\log(1/p_i)$
 - Когда все вероятности равны ($p_i = p_j$), мы имеем наивысшую информативность (неопределенность), т.е. максимальную H

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Энтропия

- Пример: язык младенца

Маленький		Побольше	
мама	0.35	мама	0.05
папа	0.2	папа	0.05
кошка	0.2	кошка	0.02
а-а-а	0.25	машина	0.02
$H_1=1.96$		еда	0.02
		молоко	0.02
		нет	0.8
		$H_2=1.25$	

- $H_1 > H_2$, так как в случае H_2 мы практически всегда слышим “нет”

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Выводы

- Чем больше повторяемости в данных, тем сильнее их можно сжимать (т.е. тем меньше в них информации)
- Если снизить диапазон возможных значений данных, то это увеличит их повторяемость, и как следствие - сжимаемость

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Уменьшаем разброс значений

- Исходная строка данных:
1000, 1001, 1002, 1002, 1000, 1000, 1001, 1057,....
- А если вычесть из каждого предыдущее:
1000, 1, 2, 0, -2, 0, 1, 56,....
- строка становится короче уже за счет вычитания! Мы уменьшили разброс значений
- Концепция «предсказания» значения из предыдущих значений

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Predictive models

- Концепция «предсказания» пикселя из предыдущих пикселей:



- В итоге мы сжимаем ошибки ε вместо самих значений пикселей
- Чем лучше (точнее) «предсказания» пикселя из предыдущих пикселей, тем меньше ε , и тем сильнее сжатие

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Пример: исходный сигнал

- Гладкий снимок (ряд значений пикселей)

100

101	102	103	103	102	101	100	100	99	98	97	97	98	99
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----	----	----

- Его энтропия

Value	Freq.
97	2
98	2
99	2
100	2
101	2
102	2
103	2

$$H_0 = -\sum_1^7 \frac{2}{14} \log_2 \left(\frac{2}{14} \right) = -\log_2 \left(\frac{1}{7} \right) = \log_2 7 = 2.81\dots$$

- Энтропия $H=2.81$ просто означает, что сигнал можно закодировать, расходуя в среднем 2.81 бита на пиксель. Например, 10000 пикселей изображения дадут 28100 бит.

Oleg Pianykh opiany@gmail.com

Пример: сжатие без потерь (lossless)

- Вычеты гладкого снимка (пиксель минус предыдущий)

100

101	102	103	103	102	101	100	100	99	98	97	97	98	99
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----	----	----

100

1	1	1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	1	1
---	---	---	---	----	----	----	---	----	----	----	---	---	---

Вычеты

- Энтропия вычетов

Value	Freq.
-1	6
0	3
1	5

$$H_\varepsilon = -\frac{6}{14} \log_2 \left(\frac{6}{14} \right) - \frac{3}{14} \log_2 \left(\frac{3}{14} \right) - \frac{5}{14} \log_2 \left(\frac{5}{14} \right) = 1.53\dots$$

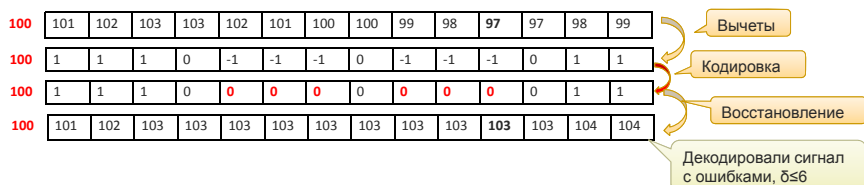
$< H_0 = 2.81\dots$

- За счет простого и обратимого вычитания мы уменьшили «информативность» сигнала почти вдвое !

Oleg Pianykh opiany@gmail.com

Пример: сжатие с потерями (lossy)

- Допустим что вычет (-1) эквивалентен вычету 0:



- Энтропия вычетов

Value	Freq.
0	9
1	5

$$\tilde{H}_\varepsilon = -\frac{9}{14} \log_2 \left(\frac{9}{14} \right) - \frac{5}{14} \log_2 \left(\frac{5}{14} \right) = 0.94$$

$$< H_\varepsilon = 1.53 < H_0 = 2.81$$

- За счет простого и обратимого вычитания мы уменьшили «информативность» сигнала почти вдвое !

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

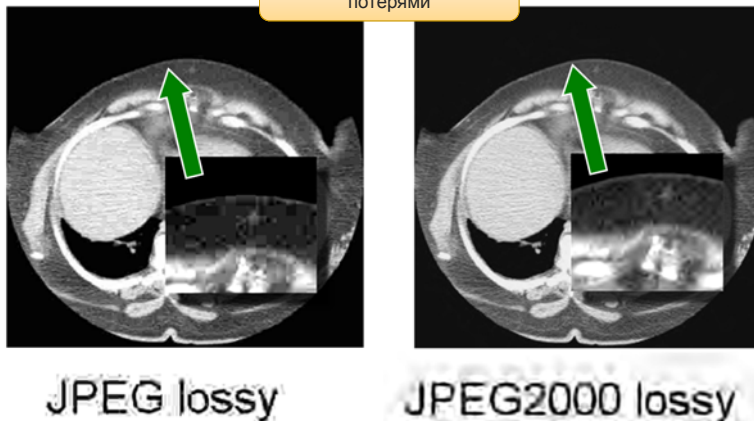
Проблема сжатия в медицине

- Сжатие медицинских изображений становится все более востребованным
- Изображения достигают больших размеров/количества – только сжатие с потерями может дать серьезные преимущества
- Популярные методы сжатия с потерями (JPEG, JPEG2000) определяют ошибку сжатия ε в среднеквадратичном смысле, для группы пикселей. В итоге, ошибка в отдельном пикселе непредсказуема

Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Сжатие в медицине: потери

Артефакты сжатия с потерями



Олег Пьяных opiany@gmail.com

Сжатие в медицине

- Идея диагностического сжатия – алгоритмы сжатия, контролирующие ошибку в каждой точке (пикселе), или в области:

$$\varepsilon < \varepsilon_{\max}$$

- JPEG-LS - пример алгоритма диагностического сжатия: контролирует ошибку в каждой точке.
- JPEG2000 с сохранением диагностических областей - пример алгоритма диагностического сжатия: контролирует ошибку в заданной области. Но кто определяет область?

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Мобильность и доступность

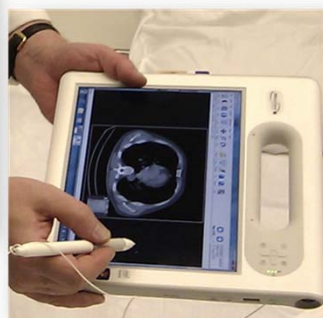
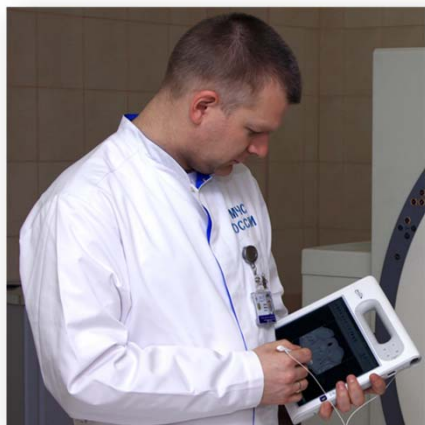
Олег Пьяных opiany@gmail.com

Мобильные станции и модальности



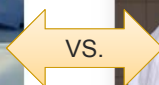
Олег Пьяных opiany@gmail.com

Медицинские мобильные станции



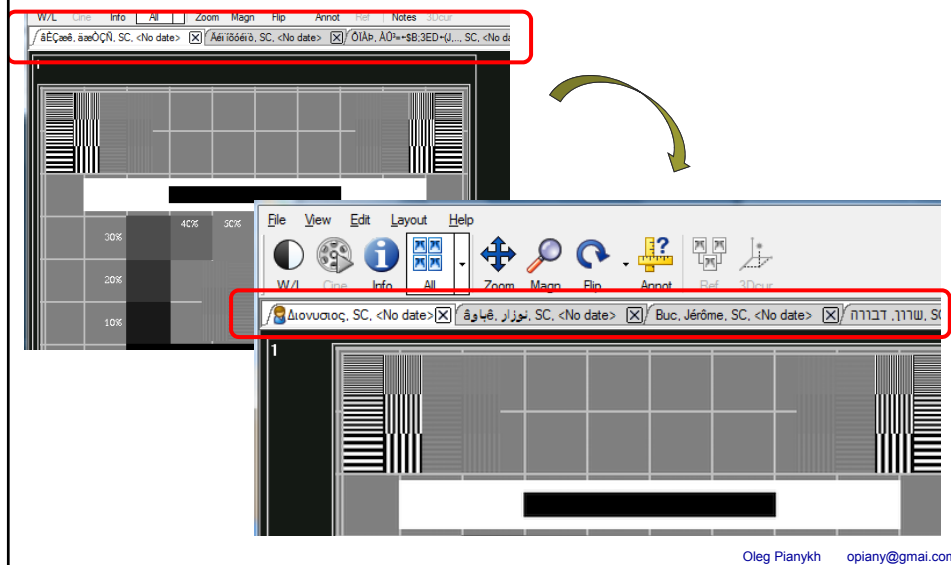
Олег Пьяных opiany@gmail.com

Мода ≠ практичность



Oleg Pinykh opiany@gmail.com

Parlez-vous Deutsch?



Исходное качество данных



Только качественные данные на входе могут гарантировать качественные данные на выходе

Вовлечение пациентов

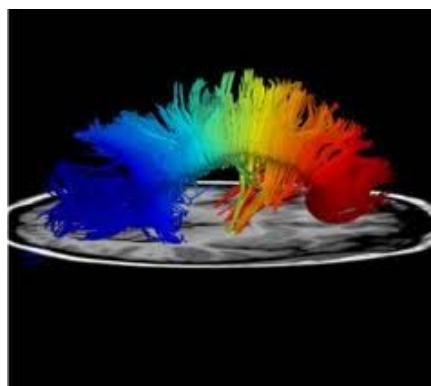
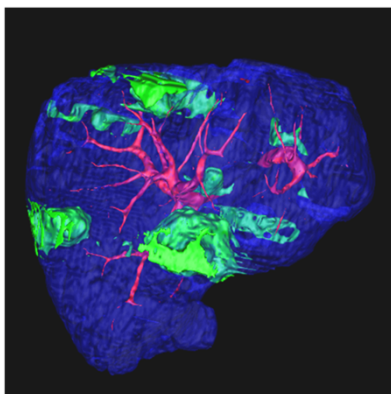
© 2005 Caspious. All Rights Reserved

А Ваша клиника готова к работе с пациентами?

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Удаленный анализ

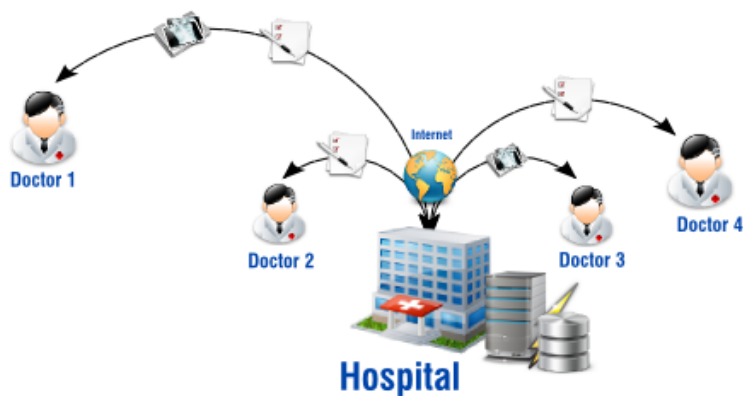
- Удаленные лаборатории все чаще предлагают функции специального анализа медицинских данных



Олег Пьяных opiany@gmail.com

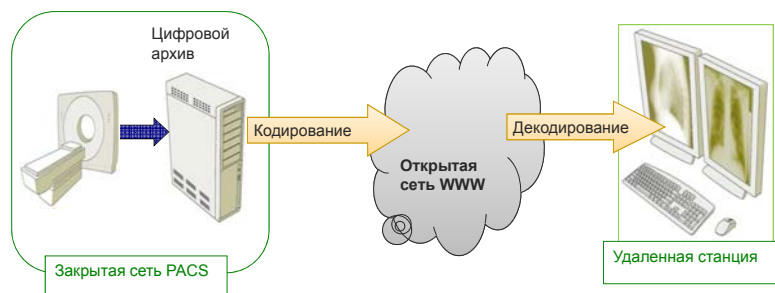
Экспертные сети

- Телерадиология позволяет создавать виртуальные экспертные сети рентгенологов, предоставляющие услуги клиникам



Олег Пьяных opiany@gmail.com

Защита информации



Отсутствие связи не делает вашу систему более безопасной!
Вместо этого, используйте брандмауэры (защита компьютера), VPN (защита доступа к компьютеру), криптографию (защита данных)!
Будьте хозяином вашей сети.

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Защита данных

1.2.840.113619.2.5.1762583153.215519.9789570...

1.2.840 DICOM prefix in file name

DICOM prefix: DICM

1.2.840 DICOM prefix

Study date

Hospital

Physician

Study and series description

Patient name, ID, and date of birth

16 Jun 05 11:00:50 cm

4V1 130mm

General

68dB T1/ 0/2/2

Gain: 20dB A=2

Store in progress

Dist = 11.02cm

Dist = 5.08cm

Lock Set Select Set

Заменить NORMAL на CANCER

Информация как часть снимка

Изменение снимка

Алгоритмы криптографии позволяют надежно защитить информацию в сети

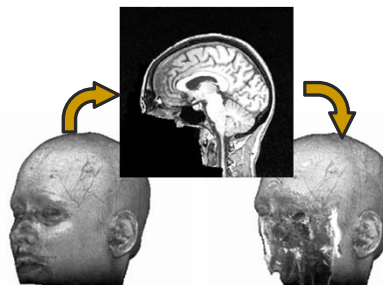
Oleg Pianykh opiany@gmail.com

Защита данных (курьезы)

- Какой монитор лучше ?



- Защита изображения:



Человеческий фактор

- Зачем мне это нужно ?
- Что я с этого имею?
- Телерадиология как форма рейдерства ?
- Телерадиология как полулегальный аутсорсинг ?
(в т.ч. и юридические аспекты)
- Кто и за что отвечает ?
- «Мне и на работе компьютеров хватает»...

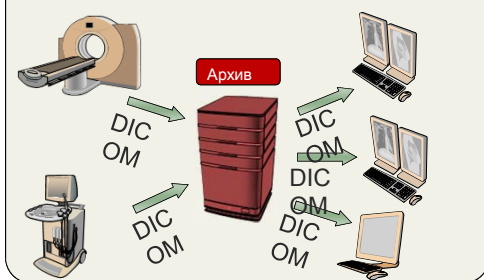
В результате – крайности восприятия:

- Бесконечные рассуждения без дела, или
- «Сделайте мне все под ключ» !

Олег Пьяных, opiany@gmail.com; www.algom.com

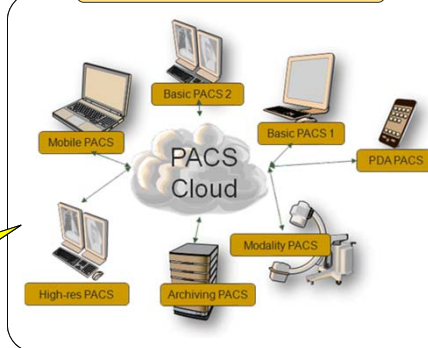
Масштабируемость и облачность

Не-масштабируемая PACS



Системы автоматической рассылки данных рентгенологам, в зависимости от числа исследований

Масштабируемая PACS



Олег Пьяных opiany@gmail.com

Другие аспекты удаленной работы

- Полный цифровой документооборот
- Интеграция систем и стандартов (Integrated Healthcare Enterprise, IHE)
- Человеческие факторы. Например, взаимодействие и взаимопонимание между врачами клиники и удаленными консультантами-рентгенологами. Компенсации.
- Административные и юридические аспекты, т.е. кто и за что отвечает.
- Стандартизация. Чем больше клиник вовлечено в телерадиологический проект, тем больше требований к совместимости их данных и рабочих процессов.
- Оптимизация обработки и передачи данных, создание экспертных сетей.

Олег Пьяных opiany@gmail.com

Заключение

- Работа с удаленными медицинскими данными требует решения широкого спектра математических и информационных задач
- Реализация этих решений в виде программных продуктов должна обладать оптимальными свойствами: надежностью, работой в реальном времени, устойчивостью к сбоям

Олег Пьяных opiany@gmail.com