

УДК 616.1:004.75+004.03

Создание и внедрение Грид-системы в лечебно-диагностическое кардиохирургическое отделение

Г. В. Кнышов¹, А. С. Коваленко², Е. А. Настенко³, С. О. Сиромеха¹
А. В. Демин⁴, С. Я. Свистунов⁵, А. А. Пезенцали², А. В. Яковенко³, О. А. Романюк²

¹ Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии им. Н. М. Амосова НАМН Украины, Киев

² Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины, Киев

³ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

⁴ Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, Харьков

⁵ Институт теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова НАН Украины, Киев

Резюме

Введение. В настоящее время происходит интенсивное использование информационных технологий в медицине. Одной из таких технологий является Грид-система.

Цель. Для сбора и обработки медицинских цифровых изображений больших объемов необходимы системы, что способны накапливать большие объемы данных, полученные при диагностических исследованиях, и проводить их автоматизированную обработку в сжатые сроки.

Результаты и обсуждение. Интеллектуальный анализ необходим для идентификации пациентов с высоким риском развития осложнений сердечной недостаточности после операции, что необходимо для улучшения и изменения тактики лечебного процесса в целом, и мотивирует врачей к информационному накоплению и анализу данных.

Заключение. Развитие Грид-технологий в медицине является актуальным и перспективным для получения новых научных знаний и для облегчения ежедневной практики медицинского персонала.

Ключевые слова: Грид-система; цифровые изображения; интеллектуальный анализ данных; базы данных; информационная система.

Клин. информат. и Телемед. 2014. Т.10. Вып.11. сс.45–53

Введение

Большие объемы цифровых медицинских изображений (ЦМИ) (десятки и сотни ТБ в год) требуют использования большого дискового пространства для хранения и значительных вычислительных мощностей для обработки, кроме того, они должны соответствовать современным международным стандартам.

Сегодня происходит интенсивное использование информационных технологий в медицине, которые способны накапливать и обрабатывать такие объемы цифровой информации, где интенсивно развиваются Грид-системы. Грид – это компьютерная инфраструктура нового типа, которая обеспечивает глобальную интеграцию информационных и вычислительных ресурсов [1, 2]. Суть инициативы Грид состоит в создании набора стандартизированных служб для обеспечения надежного, совместимого, дешевого и безопасного доступа к распределенным высокотехнологичным информационным и вычислительным ресурсам: отдельным компьютерам, кластерам и суперкомпьютерным центрам, хранилищам информации, сетям, научному инструментарию и т.п.

Целью данной работы было описание этапов создания, с поддержкой интеллектуального анализа данных (ИАД) и внедрение Грид-системы для хранения и использования ЦМИ диагностическими отделениями ГУ «Национальный

институт сердечно-сосудистой хирургии им. Н. М. Амосова» НАМНУ (НИССХ).

Основной задачей при создании и внедрении Грид-технологии стало: получение первичных цифровых изображений в формате DICOM от различных диагностических приборов института, их долговременное хранение, а также интеллектуальный анализ данных, что необходимо для выявления пациентов с высоким риском развития осложнений недостаточности кровообращения после хирургического лечения и систематизация факторов риска, и связанных с ними признаков, характеризующих состояние больных. Последнее необходимо для совершенствования и изменения тактики лечебного процесса в целом.

Материал и методы исследования

Большие объемы ЦМИ Национального института сердечно-сосудистой хирургии (НИССХ) (более 120 ТБ в год) требуют использования большого дискового пространства для хранения и качественных ресурсов для их обработки. Таким образом, хранение ЦМИ на базе PACS НИССХ ограничено. Для дальнейшего хранения архивов ЦМИ было предложено использовать

Грид-технологии, одной из задач которых является создание распределенных систем хранения медицинской информации в защищенной среде PACS различных медицинских информационных систем (МИС).

Основными составными элементами доступа к ГРИД-системе хранения ЦМИ являются:

- диагностические аппараты, или модальности;
- PACS (используется Conquest), с которой модальности связываются по стандарту сетевого протокола DICOM III и обмениваются с ней медицинскими изображениями;
- анонимизатор, который удаляет и восстанавливает персональную информацию;
- Web-портал Грид-системы;
- Грид-хранилище;
- МИС, которая проводит регистрацию и идентификацию пациентов, сохраняет персональную информацию о пациентах и руководит PACS и анонимизатором.

Первичной информацией являются цифровые изображения, полученные с помощью современных диагностических систем 5 модальностей: DX – цифровая рентгенография (Digital Radiography); CT – компьютерная томография (Computed Tomography); MR – магнитно-резонансная томография (Magnetic Resonance); US – ультразвуковая диагностика (Ultrasound); XA – рентгеновская ангиография (X-Ray Angiography). Все они поддерживают международный стандарт представления ЦМИ DICOM III.

Типичным решением сохранения и архивирования ЦМИ является внедрение систем хранения цифровых изображений (PACS), которые позволяют хранить и обмениваться цифровыми медицинскими изображениями 35 видов диагностических аппаратов-модальностей в стандарте DICOM.

Модуль хранения цифровых медицинских изображений (PACS-система) имеет следующую структуру рис. 1.

Как видно из рис. 1 все изображения сохраняются в стандарте DICOM III. Было использовано PACS-ConQuest, имеющий

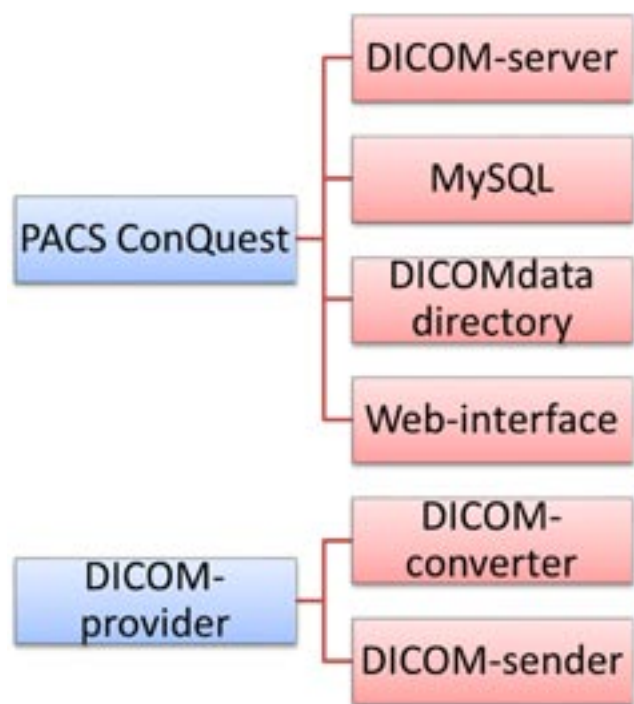


Рис. 1. Структура модуля хранения цифровых медицинских изображений.

web-интерфейс и возможность конвертировать изображения в DICOM-формат.

Информация о принятых и упорядоченных ЦМИ хранится в метабазе. Сами же объекты DICOM проходят процедуру обязательной деперсонализации и записи в PACS-систему.

Данные с PACS направляются в Грид-хранилища, откуда врач отделения может получить медицинские изображения для просмотра через МИС, в которой проводится регистрация и идентификация пациентов, сохраняется персональная информация о пациентах и руководствуется PACS и анонимизатором.

Модуль интерфейса PACS-МИС разработан в рамках концепции трехуровневой системы хранения и обработки ЦМИ:

1. Первый уровень – лечебно-диагностическая система (ЛДС), где изображение формируется, а данные изображения могут храниться в базе данных (БД) или архиве ЛДС до заполнения дискового пространства с последующим созданием архивов на носителях.

2. Средний уровень – временное хранилище, где хранятся изображения DICOM-формата, к которым открывается доступ для использования в лечебно-диагностическом процессе НИССХ. Временное хранилище является системой PACS с DICOM-сервером.

3. Верхний уровень – длительного хранения изображений на основе Грид-системы с большими и надежными каналами связи, дисковым пространством, вычислительными мощностями.

Программное обеспечение в котором реализовано МИС, разработано в среде Delphi. База данных разработана в средах MySQL и SQLite.

Необходимо обеспечить доступ к системам хранения различного типа, которые установлены и используются в ресурсных центрах – от простых файловых систем к устройствам массового хранения данных. Чтобы не иметь дела с особенностями каждого индивидуального устройства хранения данных, каждый, включенный в Грид-инфраструктуру ресурс хранения данных, должен поддерживать стандартный интерфейс. В настоящее время наиболее распространенным интерфейсом является менеджер ресурсов хранения данных (Storage Resource Manager, SRM). При управлении данными в Грид-системах главным образом имеют дело с файлами. Хранение данных в виде файлов является типичным в научных исследованиях и является удобным во многих других случаях, когда нужно обрабатывать очень большие объемы данных.

Результаты и обсуждение

На первом этапе разработки Грид-системы необходимо было исследовать бизнес-процессы и информационные потоки клинической части Института сердечно-сосудистой хирургии им. Н. М. Амосова.

Процесс регистрации пациентов, направленных в приемное отделение института базируется на учетной форме Ф-003/о «Медицинская карта стационарного больного». Этот документ состоит из нескольких разделов: идентификационные данные, диагноз при поступлении, дневник, врачебные назначения, протокол операций, которые являются отдельными учетными формами (рис. 2).

После этого пациент направляется в соответствующее отделение стационара, где делается назначение, связанное с уточнением диагноза и установлением функционального состояния человека. Пациент получает направление на диагностические обследования, после чего он попадает в диагностическое отделение (рис. 3).

Врач специалист обращается к базе данных пациентов, структура которой представлена на рис. 4.

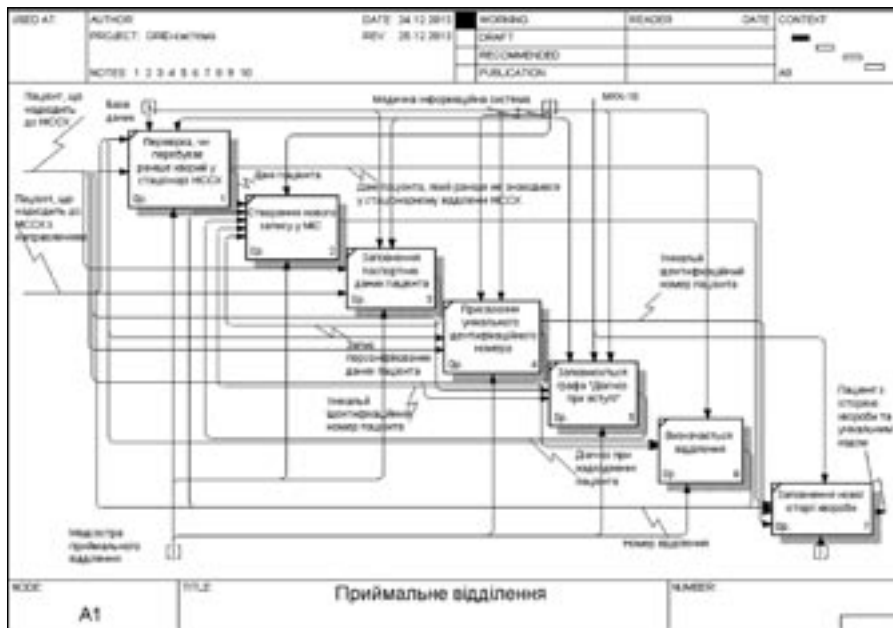


Рис. 2. Описание бизнес-процессов приемного отделения НИССХ.

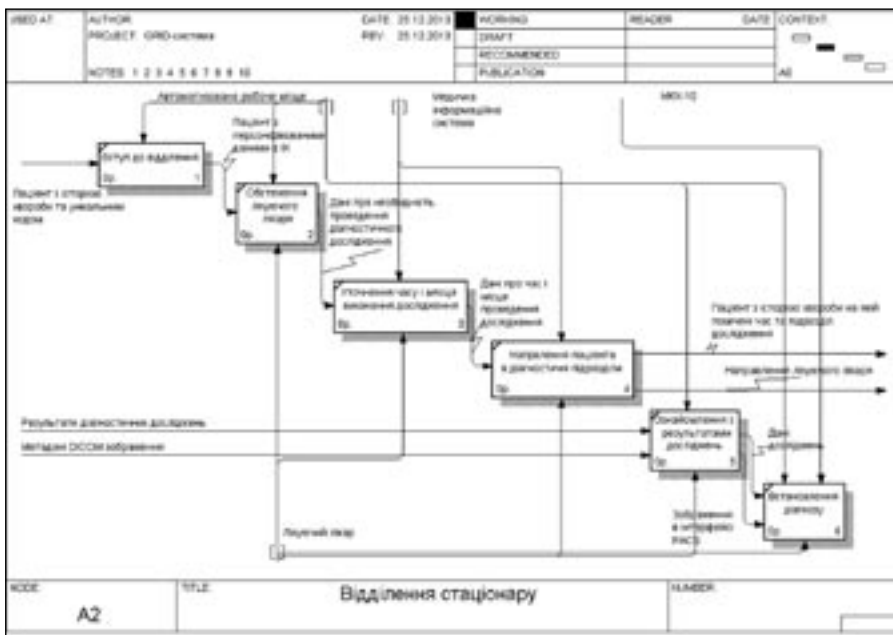


Рис. 3. Описание бизнес-процессов отделения стационара НИССХ.

Результаты, проведенного врачом, диагностического исследования вносятся в части метаданных программного обеспечения. Туда же он вносит номер медицинской карты стационарного больного и его паспортные данные, а также вносит свои данные. Автоматически данные переносятся из диагностического прибора на PACS-систему (рис. 5).

Имеющаяся технология обращения диагностических ЦМИ базируется на формировании и использовании изображения на АРМах лечебно-диагностической системы, для анализа и постановки предварительного диагноза или для визуализации течения лечебных процедур. Полученные изображения

сохраняются в локальной базе ЛДС, а для использования на следующих этапах лечебно-диагностического процесса делается запись на оптический носитель ЦМИ вместе с программой просмотра. Диски передаются на руки пациенту (лечащему врачу) и могут пересматриваться на любом компьютере, оснащенном CD/DVD приводом.

Типичным решением сохранения и архивирования ЦМИ является внедрение систем PACS, позволяющих сохранять и обмениваться ЦМИ.

PACS является системой, которая встроена в клиент-серверную архитектуру и работает в локальной сети НИССХ.

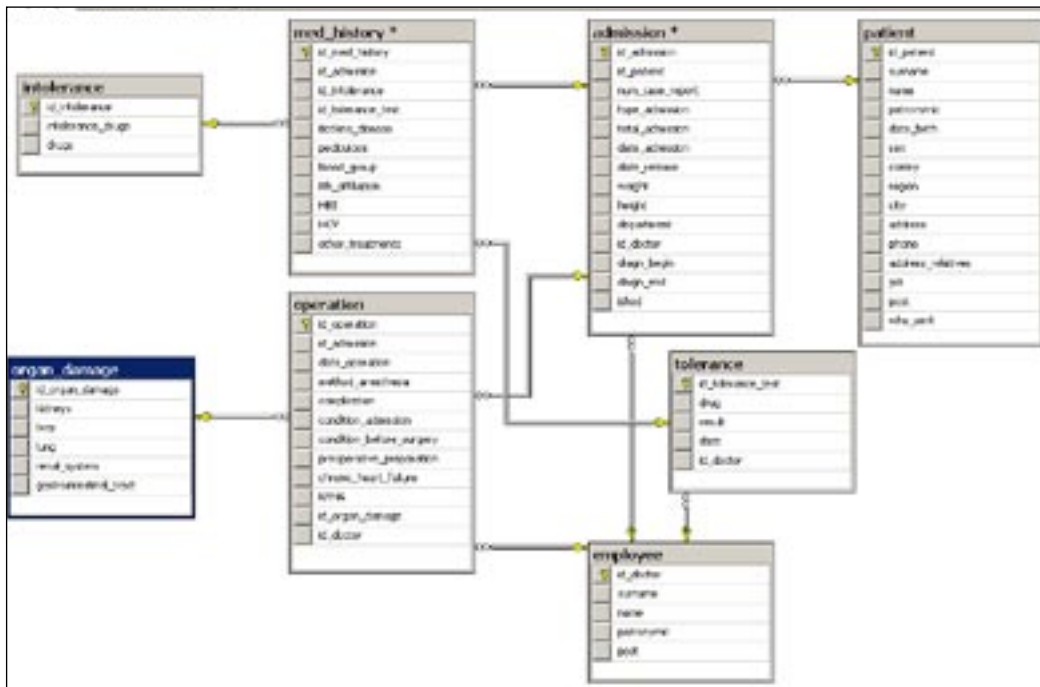


Рис. 4. Структура базы данных пациентов.

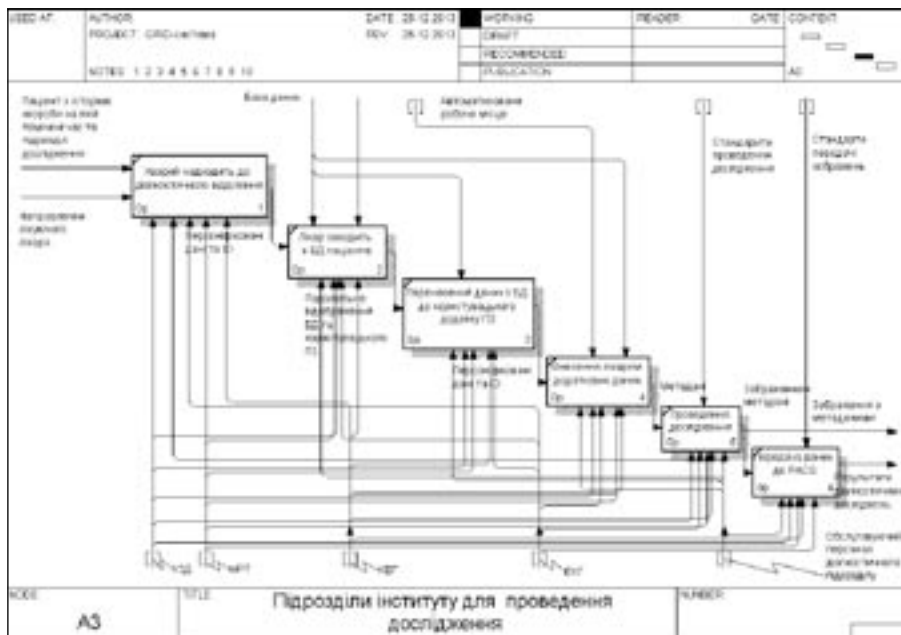


Рис. 5. Модель бизнес-процессов, происходящих в диагностических подразделениях НИССХ.

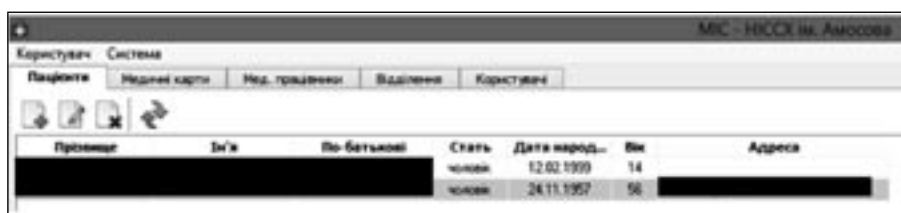


Рис. 6. Главное окно программы.

Локальная сеть НИССХ рассматривается, как защищенная корпоративная среда обращения медицинской информации.

Модуль интерфейса PACS-МИС предназначен для передачи ЦМИ с ЛДС в хранилище НИССХ, сопровождающееся согласованием персональных данных пациента в метаданных ЦМИ данным БД МИС, с последующим представлением верифицированных метаданных в формате, поддерживаемом выбранной PACS.

Рассматривались два возможных режима передачи медицинских изображений в хранилище:

1. Передача ЦМИ (одного или пакета), инициированная оператором ЛДС при работе с изображениями. Требуется дополнительное инструктаж операторов ЛДС.

2. Забор пакета изображений по плану, инициированный со стороны PACS. Требуется планирования внештатной работы ЛДС и обслуживающего персонала PACS, наладки серверной части модуля, квалифицированного администрирования внедряемого модуля.

Работа с МИС начинается с авторизации пользователя. После прохождения авторизации открывается главное окно программы (рис. 6). На главной форме программы отображается окно со списком пациентов и возможностью сортировки по различным столбцам. Все изменения, сделанные в программе пользователем, запоминаются. Также есть такие закладки: медицинская карта, медицинские работники, отделение, пользователь.

Для функционирования программного обеспечения, необходимо сформировать ряд справочников и классификаторов, к которым относятся Международный классификатор болезней (МКБ-10), справочник врачей института, справочник отделений института, справочник хирургических операций и т. п.

Далее можно заполнить форму электронного документа Ф-003/о «Медицинская карта стационарного больного» (рис. 7). Те данные, которые были заполнены в карточке пациента, автоматически переносятся в медицинскую карту пациента. Если обязательные поля не будут указаны, программа автоматически подскажет и не позволит сохранить медицинскую карту стационарного больного.

Если у пациента были проведены исследования, они будут отображаться в медицинской карточке. После этого врач отделения открывает карточку пациента, видит перечень сделанных исследований и может ознакомиться с ними (рис. 8).

Ограничение дискового пространства хранилища временного хранения накладывает ограничения на время хранения ЦМИ в хранилище. Продолжительность хранения изображений в хранилище должна определяться продолжительностью лечебно-диагностического процесса и отчетного периода работы НИССХ (около 1 года).

Рассматривается два вида использования ЦМИ с Грид-хранилищем:

1. Использование анонимизированных ЦМИ для научных исследований с целью защиты персональных данных пациентов НИССХ. ЦМИ, которые передаются в Грид-хранилище, должны подвергаться предварительной обработке и анонимизации медицинских данных.

2. Для использования ЦМИ в НИССХ после превышения срока хранения во временном хранилище (PACS НИССХ) (например, при повторном обращении пациента) необходимо ввести механизмы идентификации и поиска анонимизированных ЦМИ соответствующего пациента в Грид и, воспроизвести персональные данные пациента на базе НИССХ, режимы хранения и обращения восстановленных с Грид ЦМИ.

Процесс передачи изображения в Грид-систему на хранение происходит следующим образом. Каждая из модальностей передает изображение в PACS в DICOM формате (рис. 9).

После получения изображений, PACS записывает их на локальный диск в виде DICOM-файлов. Имена файлов, которые

записаны на диск, передаются анонимизатору. Анонимизатор считывает заданные DICOM-файлы, удаляет из них персональную информацию, помещает деперсонифицированные файлы в spool-очередь и запускает фоновым процессом сетевой клиент для передачи файлов из спула на Web-портал Грид-системы.

После окончания передачи файла, анонимизатор получает от Web-портала уникальный идентификатор (ID) этого файла, сохраненного в Грид-систему и изображение QR-кода, в котором закодирован как этот ID, так и полная ссылка, по которой можно будет получить этот файл в деперсонифицированном виде. Врач, консультирующий в другом медицинском учреждении, может иметь доступ к сохраненному в Грид-системе медицинскому изображению. ID, QR-код и заголовок DICOM-файла, который содержит персональную информацию, помещаются в базу данных МИС вместе с информацией о том, что данный пациент прошел диагностическое обследование. После окончания передачи анонимизатор помещает в выходную папку файл с отчетом, в котором указан для каждого DICOM-файла из входного списка статус размещения в Грид-систему (выполнено, или не выполнено), сообщения об ошибках, если они были, ID и QR-код, если файл успешно записан в Грид и некоторую сопутствующую информацию.

Также возможен обратный процесс передачи медицинских изображений из Грид-системы. После записи пациента на прием, его госпитализации в стационар или назначения диагностического визуализированного обследования амбулаторно, МИС определяет какие из предыдущих исследований данного пациента хранятся в Грид-хранилище и отсутствуют в локальной PACS, выбирает все ID таких исследований и размещает во входящую папку деанонимизатора, список этих ID и путь на локальном диске, куда необходимо будет поместить DICOM-файлы с Грид-хранилища.

Web-портал обеспечивает функции приема DICOM файлов по протоколу http, передачи их в Грид-хранилище, занесение метаданных DICOM в базу данных и выборки по ней, обратную передачу файлов из Грид по http запросу. Также с помощью портала можно запустить в Грид вычислительную задачу и передать ей ссылку на файл в Грид-хранилище, данные из которого необходимо обработать.

Важной задачей при обработке данных разработанной Грид-системы является интеллектуальный анализ [3], основанный на методах бинарной логистической регрессии (БЛР) [4] и дискриминантного анализа (ДА) [5], а также для нахождения взаимосвязей между факторами признаков, метод снижения факторной размерности – Multifactor Dimensionality Reduction MDR [6]. Для оценки чувствительности и специфичности построенных моделей, полученных по результатам этих методов, была использована кросс-проверка (cross validation test), т.е. метод оценки модели и ее поведения на независимых данных.

С применением фильтров информационной системы может быть осуществлен отбор тематических больных для последующего применения методов интеллектуального анализа данных при проведении научных исследований.

При повторных обращениях больных из Грид-хранилища загружаются анонимизированные данные предыдущих исследований, которые анализируются в совокупности с данными клинических исследований, хранящихся в информационной системе института. Далее формируется решение по дальнейшему лечению больного.

Результаты анализа могут быть использованы при построении моделей для выявления больных высокой степени риска [7].

В результате анализа данных, выполненном по отдельным годам, и их связи со структурой основных осложнений хирургического лечения, могут формироваться решения по совершенствованию лечебного процесса путем выявления

Рис. 7. Форма электронного документа Ф-003/о «Медицинская карта стационарного больного».



Рис. 8. Пример вывода цифрового медицинского изображения в интерфейсе PACS.

факторов, влияние которых недостаточно компенсируется лечебными мероприятиями перед, во время и после хирургических вмешательств.

Заключение

Грид-технологии позволяют накапливать большие объемы данных, полученные при диагностических исследованиях, и проводить их автоматизированную обработку в сжатые сроки.

Кроме того, важным, при обработке данных разработанной Грид-системы, является интеллектуальный анализ, позволяющий выявить пути совершенствования лечебного процесса, дополнительно мотивируя медиков к осмысленному накоплению и анализу данных.

Разработка Грид-технологий в медицине является актуальной и перспективной, как с точки зрения получения новых научных знаний, так и для облегчения ежедневной практической работы медицинского персонала.

Авторы данной статьи – Г. В. Кнышов, А. С. Коваленко, Е. А. Настенко, С. О. Сиромоха, А. В. Демин, С. Я. Свистунов, А. А. Пезенцали, А. В. Яковенко, О. А. Романюк - подтверждают, что у них нет конфликта интересов.

Литература

1. The Grid, Blueprint for a New computing Infrastructure. Ed. by I. Foster, C. Kesselman, *Morgan Kaufmann Publ.*, 1998, 593 p.
2. The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Ed. by I. Foster, C. Kesselman, *Morgan Kaufmann Publ.*, 2004, 748 p.

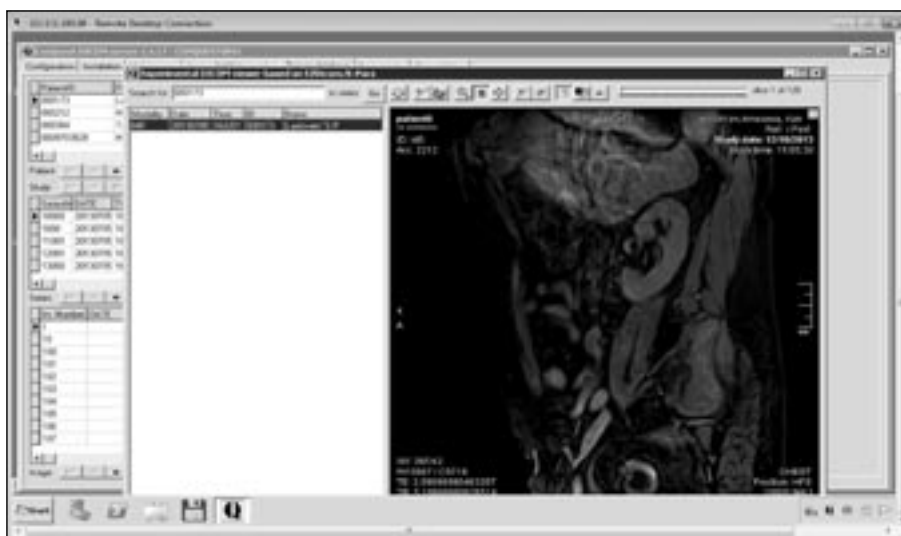


Рис. 9. Визуализация в PACS DICOM-файла, полученного с МРТ.

3. Дюк В., Самойленко А. Data Mining: учебный курс. СПб., Питер, 2001, 368 с.
4. Григорьев С. Г., Юнкеров В. И., Клименко Н. Б. Логистическая регрессия. Многомерные методы статистического анализа категориальных данных медицинских исследований. Уч. пособие. СПб, 2001, сс. 10–21.
5. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч. У., Клекка У. Р. и др.; Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Под ред. И. С. Енюкова. М., Финансы и статистика, 1989, 215 с.
6. Jakulin A., Bratko I. Quantifying and Visualizing Attribute Interactions. *An Approach Based on Entropy, PKDD, 2004*, vol. 3, pp. 229–240.
7. Яковенко А. В., Руденко А. В., Настенко Е. А., Руденко Н. Л., Павлов В. А. Выявление структуры факторов риска развития острой сердечной недостаточности в раннем послеоперационном периоде. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*, 2013, т. 3, вып.10 (63), сс. 4–8.

Створення та впровадження Грид-системи в лікувально-діагностичне кардіохірургічне відділення

Г. В. Книшов¹, О. С. Коваленко², Є. А. Настенко³, С. О. Сіромаха¹
О. В. Демін⁴, С. Я. Свистунов⁵, А. О. Пезенцали², А. В. Яковенко³, О. О. Романюк²

¹Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М. М. Амосова НАМН України, Київ

²Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України, Київ

³Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

⁴Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків

⁵Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України, Київ

Резюме

Вступ. В даний час відбувається інтенсивне використання інформаційних технологій в медицині. Однією з таких технологій є Грид-система.

Мета. Для збору та обробки медичних цифрових зображень великих обсягів необхідні системи, що здатні накопичувати великі обсяги даних, отримані при діагностичних дослідженнях і проводити їх автоматизовану обробку в стислі терміни.

Результати та обговорення. Інтелектуальний аналіз необхідний для ідентифікації пацієнтів з високим ризиком розвитку ускладнень серцевої недостатності після операції, що необхідно для поліпшення і зміни тактики лікувального процесу в цілому, і мотивує лікарів до інформаційного накопичення та аналізу даних.

Висновок. Розвиток Грид-технологій в медицині є актуальним і перспективним для отримання нових наукових знань і для полегшення щоденної практики медичного персоналу.

Ключові слова: Грид-система; цифрові зображення; інтелектуальний аналіз даних; бази даних; інформаційна система.

Establishment and implementation of Grid-system in medical diagnostic cardiac department

G. Knyshov¹, A. Kovalenko², E. Nastenka³, S. Siromakha¹
A. Demin⁴, S. Svistunov⁵, A. Pezentsali², A. Yakovenko³, O. Romanuk²

¹Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery NAMS of Ukraine, Kyiv

²International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences (NAS) of Ukraine and Ministry of Education and Science (MES) of Ukraine, Kyiv

³National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic University»

⁴Institute for Scintillation Materials National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv

⁵Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

e-mail: yakovenkoalena@ukr.net

Abstract

Introduction. Currently, there is an intense development of information technology in medicine that can store and process large amounts of digital information. One such technology is the Grid system.

Purpose. For the collection and processing of medical digital images of large amounts for their long-term storage, and data mining it is necessary to create a system that should correspond to the modern international standards.

Results and discussion. The article presents the steps for creating a Grid-system for the collection and processing of medical digital images.

The main task in creation and implementation of Grid-technologies are: the primary digital images, their long-term storage and data mining. Data Mining is needed to identify patients at high risk of complications of heart failure after surgery. This will allow to adjust the treatment process as a whole, and to motivate doctors to accumulation of information and analysis of data.

Conclusion. The development of Grid-technologies in medicine is important and promising for obtaining new scientific knowledge and to facilitate daily practice of medical personnel.

Keywords: Grid-system; Digital images; Data mining; Database; Information system.

©2014 Institute Medical Informatics and Telemedicine Ltd, ©2014 Ukrainian Association of Computer Medicine. Published by Institute of Medical Informatics and Telemedicine Ltd. All rights reserved.

ISSN 1812-7231 *Klin.inform.telemed.* Volume 10, Issue 11, 2014, Pages 45–53

<http://uacm.kharkov.ua/eng/index.shtml?e-klininfo-ujournal.htm>

References (7)

References

1. The Grid, Blueprint for a New computing Infrastructure. Ed. by I. Foster, C. Kesselman, *Morgan Kaufmann Publ.*, 1998, 593 p.
2. The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Ed. by I. Foster, C. Kesselman, *Morgan Kaufmann Publ.*, 2004, 748 p.
3. Dyuck V., Samoylenko A. *Data Mining: uchebnyy kurs* [Data Mining: training course]. SPb., Piter Publ., 2001, 368 c. (In Russ.).
4. Grigoryev S. G., Yunkerov V. I., Klimenko N. B. *Logisticheskaya regresiya. Mnogomernye metody statisticheskogo analiza kategorialnyh danih medicinskih issledovaniy. Uch. posobie*. [Logistic regression. Multivariate statistical analysis of categorical data for medical research. Textbook]. SPb, 2001, pp. 10–21. (In Russ.).
5. Kim Dzh.-O., Myuller C.W., Klekka W.R. et al; Factor, discriminant and cluster analysis. Ed. J. S. Enyukova. Moscow, Finance and Statistics Publ., 215 p. (In Russ.).
6. Jakulin A., Bratko I. Quantifying and Visualizing Attribute Interactions. *An Approach Based on Entropy, PKDD*, 2004, vol. 3, pp. 229–240.
7. Yakovenko A. V., Rudenko A. V., Nastenko E. A., Rudenko N. L., Pavlov V. A. Identifying the structure of risk factors of acute heart failure in the early postoperative period. *Vostochno-evropeyskiy jurnal peredovih tehnologiy* [East European J. of advanced technologies], 2013, vol. 3, iss. 10 (63), pp. 4–8. (In Russ.).

Перепискаассистент **А. В. Яковенко**

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

ул. Маршала Якубовского, 4, кв. 185

Киев, 03191, Украина

тел. +380 (67) 276 30 96

эл. почта: yakovenkoalena@ukr.net