

О.Г. АВРУНИН, канд. техн. наук (г. Харьков)

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

У роботі розглядаються принципи розробки програмного забезпечення для відображення інтроскопічних даних. Висвітлюються основні питання вторинної обробки томографічних зображень, а також створення об'ємних реконструкцій внутрішньомозкових структур. Виконуються обґрунтування основних медико-технічних вимог щодо сучасного програмного забезпечення для візуалізації даних томографічних досліджень.

The work is devoted to design of visualisation software for medical visualisation. The root principles of design, main issues of imaging processing and structure of actual tomography visualisation software are described. Main medical-technical requirements for tomography visualisation software are justified.

Актуальность темы. Одним из главных направлений современной радиологии является совершенствование компьютерных технологий для повышения эффективности интроскопических исследований [1, 2]. При этом переход на качественно новый уровень диагностики возможен путем уменьшения лучевой нагрузки на пациента, повышения информативности и снижения общей стоимости обследования. В настоящее время все большая роль в диагностике патологий внутренних органов отводится томографическим методам исследования: рентгеновской компьютерной (РКТ) и магнито-резонансной (МРТ) томографии, позволяющим реконструировать объемные структуры по множеству параллельных сечений.

Диагностические данные, полученные в результате томографического обследования пациента, являются наиболее значимыми для выбора тактики лечения особенно при патологиях головного мозга [2 – 4]. При этом на первый план выступает процесс зрительного восприятия интроскопической картины, полученной в результате работы специализированных вычислительных процедур. Поэтому актуальной является задача разработки методов, алгоритмов и соответствующего программного обеспечения, позволяющего с высокой достоверностью визуализировать реконструированные анатомические структуры, а также выполнять обработку данных для получения необходимой диагностической информации.

Постановка задачи. Проведенный анализ доступных программных продуктов ведущих фирм производителей томографической техники показал, что большинство программных средств не позволяют обеспечить работу с объемным представлением анатомических объектов, а также объединять в себе функции двумерной и трехмерной визуализации с соответствующими возможностями автоматизированной и/или интерактивной постобработки первичных интроскопических данных. Поэтому в предлагаемой работе, на основании опыта разработки нескольких программных продуктов для медицинской визуализации [5], проводится обоснование медико-технических требований к программному обеспечению для отображения томографических данных, рассматриваются принципы разработки и основные характеристики, которыми должны обладать соответствующие программные средства.

Этапы разработки программного обеспечения для визуализации томографических данных. Процесс разработки программного продукта для отображения интроскопических данных можно разделить на несколько этапов:

- этап концептуального проектирования, во время которого формулируются медико-технические требования к разрабатываемому продукту, проводится предварительная оценка стратегии обработки данных и основных возможностей программы;
- этап методологической разработки, на котором проводится обоснование и выбор методов и алгоритмов для реализации конкретных функций разрабатываемого программного обеспечения;
- этап практической реализации, при завершении которого создаются законченные программные модули и β -версия программного продукта;
- этап тестирования и отладки программного обеспечения, во время которого устраняются все выявленные недоработки и создается законченная α -версия программного продукта с комплектом соответствующей документации.

Дальнейшее совершенствование программного продукта проводится с учетом его использования в медицинской практике.

Основные медико-технические требования, предъявляемые к программному обеспечению для визуализации томографических данных. Структурную организацию программных продуктов данного типа можно представить в виде 3-х основных функциональных модулей (см. рис. 1):

- интерфейсного модуля, обеспечивающего взаимодействие с пользователем, медицинскими базами данных, а также реализующего коммуникационные возможности телемедицинских функций [6];
- модуля обработки данных, выполняющего вторичную обработку исходных томографических данных, включающую различные виды коррекции и сегментации изображений томографических срезов, формирование структур для последующей визуализации, проведение измерительных процедур;

– модуля визуализации, выполняющего непосредственное отображение структур, сформированных в блоке обработки данных, с максимально возможным приближением к реальности.

Рассмотрим подробно медико-технические требования, предъявляемые к вышеуказанным модулям.

Интерфейсный модуль должен реализовывать принципы работы с пользователем (специалистом-радиологом) в интерактивном режиме с максимальным удобством и отсутствием неиспользуемых в контексте выполняемой задачи интерфейсных элементов. Загромождение главной формы различными интерфейсными элементами и наличие большого числа немодальных окон, как правило, приводит к снижению эффективности работы интерфейса.

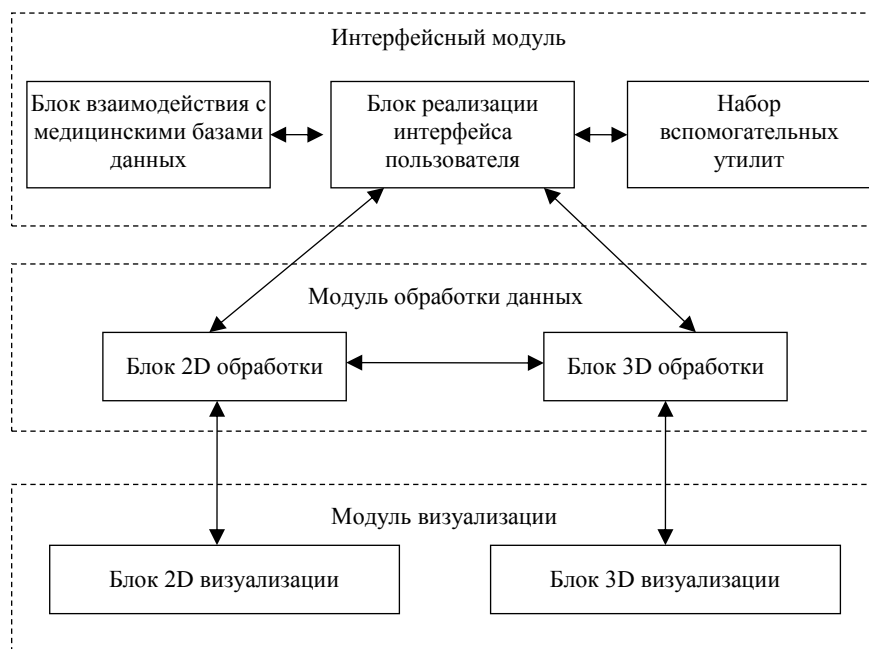


Рис. 1. Обобщенная структурная схема программного обеспечения для визуализации томографических данных

Пример организации интерфейса пользователя разработанной автором программы 3D VIEW приводится на рис. 2. Главное рабочее окно программы поделено на 3 области: в главном меню происходит выбор основных режимов работы и базовых функций программы; в левой части окна (в зависимости от режима работы и типа исходных данных) в 4-х окнах просмотра выполняется двухмерное (2D) отображение томографических срезов и мультипланарных реконструкций, а также построение трехмерных (3D) изображений с возможностями динамического изменения размеров окон, центрирования и панорамного просмотра, геометрического преобразования изображений; в правой части окна располагаются наборы контекстных (адаптивно изменяющихся в зависимости от выбранного режима) управляющих интерфейсных элементов. Дополнительными функциями данного модуля являются поддержка протоколов взаимодействия с медицинскими базами данных (локальными и удаленными), телемедицинских функций и работа со специализированными медицинскими (DICOM) и стандартными (BMP, TIFF и др.) форматами графических файлов.

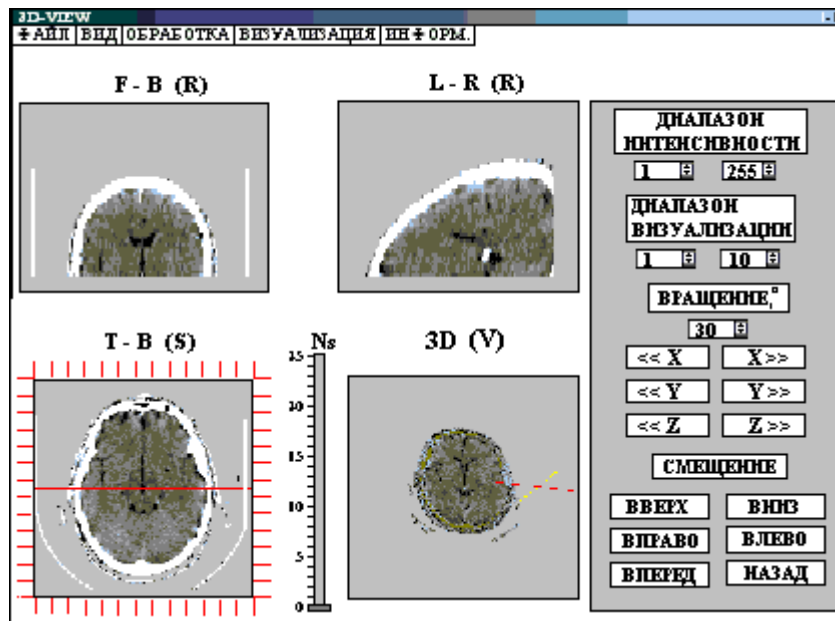


Рис. 2. Расположение основных интерфейсных элементов в рабочем окне программы 3D VIEW

В модуле обработки данных реализуются методы двумерных (2D) и трехмерных (3D) преобразований исходных томографических изображений, содержащих полутоновую информацию об интенсивности отдельных пикселей. Двухмерная обработка предусматривает работу с изображениями отдельных томографических срезов и включает в себя различные виды яркостно-контрастной коррекции, методы линейной и нелинейной фильтрации изображений, настраиваемых в соответствии с пользовательскими установками. Обработка данных, помимо улучшения визуального восприятия изображений, должна обеспечивать возможность проведения процедуры сегментации – выделения на изображении областей, принадлежащих структурам, обладающим общими свойствами, в качестве которых для томографических изображений выбираются: интенсивность, конфигурация, размеры и локализация.

Сегментация выполняется в соответствии с выражением [1]:

$$\begin{cases} b(x, y) \rightarrow c(x, y); \\ c(x, y) = \alpha_i \text{ при } (x, y) \in D_i, i = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (1)$$

где $b(x, y)$ и $c(x, y)$ – исходное и сегментированное изображения; α_i – идентификатор плоской области D_i ; n – количество областей. Результирующее изображение $c(x, y)$ согласно выражению (1) будет представлять собой конечное множество поименованных однородных областей, пригодных для дальнейшего анализа. Также к методам 2D-обработки можно отнести процедуры измерения геометрических характеристик (расстояний, угловых величин) и показателей плотности в указываемых областях интереса.

В блоке 3D-обработки выполняется реконструкция трехмерных данных методами представления поверхностей или объема. В первом случае построение поверхностей выполняется путем лофтинга контурных сечений объектов, полученных в результате 2D-сегментации. Для работы с объемными данными используются различные по информационному содержанию воксельные модели (voxel – volume element), представляющие собой отображение пространства в виде трехмерного растра [8]. Так как томографические изображения содержат полутоновую информацию об интенсивности отдельных пикселей (а также известна толщина среза), то первичной моделью представления объемных данных является полутоновая воксельная модель, содержащая информацию об интенсивности в каждом элементе объема. Следующим этапом является построение сегментированного объемного представления, содержащего информацию о принадлежности элементов объема конкретному объекту, оно называется обобщенной воксельной моделью:

$$\begin{cases} v(x, y, z) \rightarrow u(x, y, z); \\ u(x, y, z) = \lambda_i \text{ при } (x, y, z) \in U_i, i = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (2)$$

где $v(x, y, z)$ и $u(x, y, z)$ – исходное и сегментированное изображения; λ_i – идентификатор пространственной области U_i . Частным случаем обобщенной воксельной модели (2) является бинарная воксельная модель $w(x, y, z)$, которая необходима, например, при визуализации костных повреждений:

$$\begin{cases} v(x, y, z) \rightarrow w(x, y, z); \\ w(x, y, z) = \begin{cases} 1; & \text{при } (x, y, z) \in U_i; \\ 0; & \text{при } (x, y, z) \notin U_i. \end{cases} \end{cases}$$

В модуле визуализации выполняется отображение исходных и результирующих данных, а также реализуется возможность интерактивной коррекции, полученных на предыдущих этапах моделей. К двумерным методам визуализации относится алгоритм создания мультипланарных реконструкций (MPR), позволяющий выполнять формирование сечений исследуемого объекта произвольной плоскостью, задаваемой пользователем. Трехмерное отображение томографических данных выполняется согласно алгоритмам реалистичной поверхностной (SSD) и объемной (VR) визуализации с возможностью вывода только выделенных структур, объединения нескольких объектов в одной полупрозрачной модели, формирования частичного разреза. С помощью соответствующих аффинных преобразований реализуются функции масштабирования, смещения и вращения визуализируемых объектов. В модуль также необходимо включить алгоритмы визуализации проекций максимальной интенсивностей для отображения сосудов при ангиографических исследованиях, а также реализацию режима псевдорентгеновского изображения.

Выводы. Разработка и совершенствование программного обеспечения для визуализации томографических данных имеет большое практическое значение, так как от наглядности отображения информации во многом зависит правильность постановки диагноза и последующих лечебных мероприятий. При этом синтез реалистичных трехмерных изображений анатомических структур является первоочередной методологической задачей. Алгоритмическая основа программного обеспечения должна быть ориентирована на максимальную степень автоматизации с минимальным числом параметров, определяемых вручную. Интерфейс программного продукта должен моделировать логику пользователя, освобождая его от множества рутинных операций. Практическую реализацию алгоритмов трехмерной визуализации целесообразно выполнять с помощью мощной графической библиотеки, например, OpenGL, DirectX. Перспективой работы является разработка методологии и соответствующего программного обеспечения для проведения виртуального операционного планирования.

Список литературы: 1. Лучевая диагностика: клиничко-организационное руководство / Под ред. А.А. Важенина, М.В. Ростовцева. – Челябинск: Изд. “РЕКПОЛ”, 2004. – 152 с. 2. Jannin P., Fleig O. A data fusion environment for multimodal and multi-informational neuronavigation // Comput. aided surg. – 2000. – Vol. 5. – № 1. – P. 1 – 10. 3. Привалова Е.С. Возможности компьютерной томографии в нейрохирургической практике // Украинський медичний часопис. – 2000. – № 4 (18). – С. 81 – 89. 4. Туркин А.М., Белова Т.В. Использование трехмерной реконструкции в нейрорентгенологии // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2000. – № 3. – С. 23 – 26. 5. Аврунин О.Г., Семенец В.В., Масловский С.Ю. Визуализация вентролатерального ядра таламуса головного мозга человека // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – № 1–2. – С. 132 – 134. 6. Пронин И.Н., Родионов П.В. и др. Программное обеспечение для работы с данными в формате DICOM на IBM PC в нейрорентгенологии // Медицинская визуализация. – 2002. – № 2. – С. 138 – 144. 7. Путькин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. – М.: Машиностроение, 1990. – 330 с. 8. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2002. – 1088 с.

Поступила в редакцию 14.04.2006