УДК 37.01+621.317+577.359+616-073.75+616-006.6-089+616-71+615.84+615.47+004.92

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© Леонид Михайлович Макаров[1], Дмитрий Олегович Иванов[2], Александр Владимирович Поздняков[2], Анна Андреевна Разинова[2], Майя Михайловна Гребенюк[2], Ольга Федоровна Позднякова[2], Татьяна Владимировна Мелашенко[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22, к. 1
[2] Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет
194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., 2

Контактная информация: Леонид Михайлович Макаров — кандидат технических наук, профессор, кафедра конструирования и производств радиоэлектронных средств. E-mail: elfbio@gmail.com

Резюме. Представлен системный подход к анализу данных, полученных в УЗИ и МРТ-исследованиях, продуцирующих визуальные образы. Используя понятия и определения геометрического моделирования, создан набор вычислительных процедур конструирования и воспроизведения иллюстративного образа фрагментов биологического объекта в интерактивном режиме компьютерной графики. Установлена возможность сопряженного позиционирования информационных визуальных образов, исполненных в базисе разных физических принципов формирования изображений, обеспечивающая формирование адекватного медицинского суждения.

Ключевые слова: медицинская диагностика, модель, визуализация данных.

COMPUTER VISUALIZATION OF RESULTS BIOMEDICAL RESEARCH ARTICLE TITLE

© Leonid M. Makarov[1], Dmitry O. Ivanov[2], Alexander V. Pozdnyakov[2], Anna A. Razinova[2], Maya M. Grebenyuk[2], Olga F. Pozdnyakova[2], Tatiana V. Melashenko[2]

[1] Saint Petersburg State University of Telecommunications prof. M.A. Bonch-Bruevich
193232, St. Petersburg, Bolshevikov Ave., 22, building 1
[2] Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, St. Petersburg, Litovskaya str., 2

Contact Information: Leonid M. Makarov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Design and Manufacturing of Radioelectronic Means. E-mail: elfbio@gmail.com

Abstract. A systematic approach to analysis of data obtained in ultrasound and MRI studies producing visual images is presented. Using the concepts and definitions of geometric modeling, a set of computational design procedures was created and an illustrative image of fragments of a biological object was reproduced in interactive computer graphics. The possibility of conjugate positioning of information visual images executed in the basis of different physical principles of image formation is established, providing the formation of adequate medical judgment.

Keywords: Medical diagnosis, model, data visualization.

ВВЕДЕНИЕ

Восприятие событий окружающего пространства живыми организмами осуществляется посредством сенсорных систем. Биофизика зрительного восприятия для различных живых организмов хорошо изучена и представлена многочисленными моделями, способствующими глубокому пониманию работы нейронных структур, осуществляющих формирование визуального образа.

Визуализация, как процесс реализуется посредством естественных способностей живого организма воспринимать — фиксировать зритель-

ные образы объектов и явлений окружающего пространства. Инсталлируемые для зрительного восприятия образы могут существовать в окружающем пространстве как природные объекты, а также создаваться искусственно, посредством технических средств.

В таком понимании использования технических средств для визуализации функционального состояния биообъектов актуализируется проблема практической реализации возможностей использования формальных методов сопоставления визуальных образов, созданных в разных физических базисах.

Поиск формальных принципов сопоставления визуальных образов, созданных на разных технических аппаратах, способствует созданию адекватных медицинских суждений. Это справедливо, поскольку мысленное, осознанное восприятие зрительных образов для медицинского специалиста способствует формированию смыслового контекста изучаемого процесса, явления. Современные технические средства позволяют воспроизводить изображения — информационные зрительные образы, создаваемые компьютерной техникой на экране монитора, что способствует адекватному формированию профессионального медицинского заключения. Различная степень детализации и цветовое многообразие элементов такого изображения позволяет оперировать сложными понятиями и определениями, столь необходимыми при изучении большого количества биофизических процессов в живых организмах.

Аппаратно-программные комплексы, реализующие биофизические исследования внутренних структур организма, обеспечивают формирование визуальных образов в виде фреймов, либо в формате массивов данных, которые при необходимости могут трансформироваться в изображения [1, 4]. На практике применяют различные дистанционные методы исследования внутренних подсистем организма: ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерную томографию (КТ), компьютерную магниторезонансную томографию (МРТ), сцинтиграфическое сканирование, которые воспроизводят изображения, представленные набором фреймов [2].

В терминологическом отношении фрейм следует отождествлять с некоторым участком на плоскости наблюдения (изображения), обладающим замкнутым контуром. Это своего рода обрамленный участок области, представляющей интерес для исследования, в плоскости изображения. Акцентируя внимание на таком понятии фрейма, многие производители медицинской исследовательской аппаратуры создают сервисные процедуры по вычислению геометрических показателей формы. В этом случае компьютерная технология синтеза изображения объекта и выделения фреймов оперирует понятием пикселя на плоскости и вокселя, как единичного элемента, в трехмерном пространстве. По умолчанию геометрическая форма пикселя принимается квадратной, а форма вокселя — кубической.

Можно сказать, что, оперируя простыми геометрическими объектами, обладающими как минимум двумя параметрами, замещающими в компьютерной модели анализа реальные материальные элементы биологической структуры, создаются правдоподобные суждения. Расширяя эти представления, для современной медицинской практики, актуализируется проблема получения количественных оценок анализируемых объектов, на основе формализованных методов компьютерного анализа изображения или отдельных фреймов.

Современные компьютерные комплексы позволяют воспроизводить визуальные образы, позиционируемые средствами двухмерной или трехмерной графики. Несмотря на наличие некоторого модельного упрощения топологии реальной структуры исследуемого биологического объекта, компьютерный комплекс позволяет воспроизвести расчетные показатели площади или объема. Оценка площади визуального образа в двухмерной системе координат создается на основе прямоугольных размеров пиксельных элементов. В случае рассмотрения размеров объекта в трехмерном пространстве оперируют представлениями об элементарном объеме, создаваемом в форме куба — вокселя.

Для УЗИ характерна организация исследовательских процедур с пространственными объектами — биообъектами. Современные информационные технологии исследования автоматически определяют объем и площадь выделенного исследователем фрагмента биообъекта на изображении.

Для определенности полагаем, что вычисление объема и площади фрагмента исследуемого объекта проводится по выражениям:

$$V_{\text{сферы}} = 4/3\pi R^3;\ S_{\text{сферы}} = 4\pi R^2$$
$$R = \sqrt{\frac{S}{4\pi}}, \quad (1)$$

где R — радиус сферы.

Данные показатели геометрической формы исследуемого объекта представим в виде идентификатора $\mu_{\text{УЗИ}}$:

$$\mu_{\text{УЗИ}} = \frac{V_{\text{сферыУЗИ}}}{S_{\text{сферыУЗИ}}} = \frac{1}{3}R \qquad (2)$$

Оперируя представлениями об объеме исследуемого объекта и проводя исследование посредством МР-томографа, используется метрика вокселя. В этом случае в избранной области изображения формируется показатель объема, вычисляемый для куба $V_{\text{куба (воксель)}} = a^3$, где a — ребро куба.

Сочетание понятия объема куба и объема сферы, с вписанным в сферу кубом (рис. 1), позволяет записать:

$$V_{\text{сферы}} = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi a^3}{6}; \qquad (3)$$

$$S_{\text{сферы}} = \pi a^2;\ a = 2R$$

Представленные показатели объема и площади вычисляются для сферы, в которую погружен воксель (рис. 1).

Объем вокселя $V = a^3$.

Для МРТ-исследования идентификатор $\Omega_{\text{МРТ}}$ вычисляется по выражению:

$$\Omega_{\text{МРТ}} = \frac{V_{\text{сферыМРТ}}}{S_{\text{сферыМРТ}}} = \frac{1}{6}a \qquad (4)$$

Принимая во внимание соотношение: $a = 2R$, имеем:

$$\Omega_{\text{МРТ}} = \frac{V_{\text{сферыМРТ}}}{S_{\text{сферыМРТ}}} = \frac{1}{6}a = \frac{1}{3}R \qquad (5)$$

Полученное соотношение свидетельствует о наличии возможности сопоставления разных зрительных образов, например, УЗИ и МРТ, при условии использования двух сопряженных понятий: радиуса сферы и ребра куба. Для случая использования исключительно только радиуса сферы, в которой может размещаться куб (воксель), для УЗИ и МРТ-исследования получаем равнозначные идентификационные показатели.

Действительно имеем:

$$\mu_{\text{УЗИ}} = \Omega_{\text{МРТ}} = 1/3R \qquad (6)$$

Представленные принципы формирования визуального образа, на примере УЗИ и МРТ-исследования позволяют расширить современные представления о сопоставимости различных по физической природе и методике исполнения натурных исследований биологических объектов.

Проиллюстрируем возможности сопоставления результатов разных исследований УЗИ и МРТ на модели, основу которой составляют выражения (1), (3), (5) и типичные данные (табл. 1). В качестве основы примем площадь фрагмента на изображении УЗИ [2, 3].

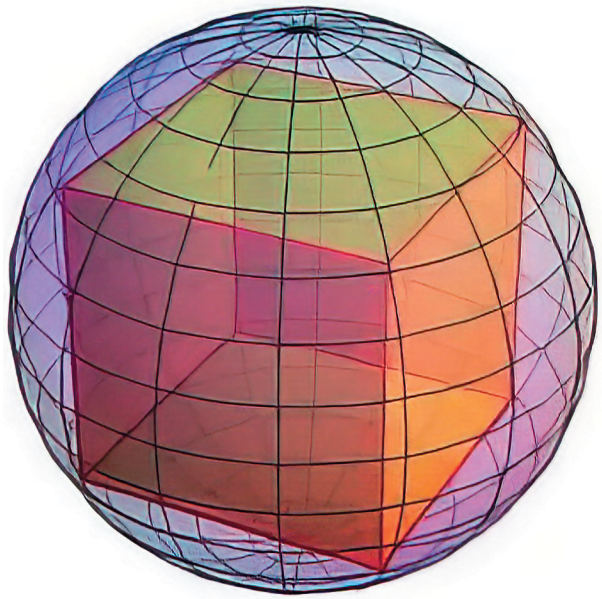


Рис. 1. Элемент объема, представленный вокселем

Таблица 1

Исходные данные модели

	Задано $S = 200$ $R = 1/2a$	Расчет		
УЗИ	3,989	$V_{\text{сфера}}$	$S_{\text{сфера}}$	
		265,961	200,0	
МРТ	$a = 2R$	$V_{\text{сфера}}$	$S_{\text{сфера}}$	$S_{\text{куба}}$
	7,978	265,961	200,0	381,971

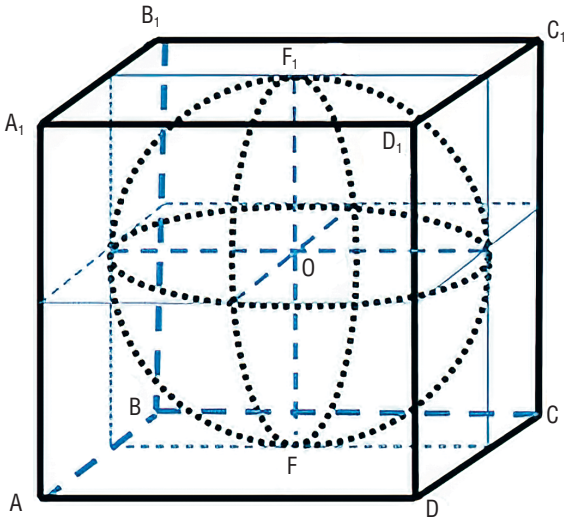


Рис. 2. Схема расположения элементов объема

Полагаем, что и наблюдается в действительности, известно значение площади избранного в интерактивном режиме фрагмента исследуемого

объекта. Значение площади $S_{\text{сферы}}$ фрагмента на изображении УЗИ соотносим со сферической поверхностью, для которой определяем радиус $R_{\text{сферы}}$ (1).

Построение визуального образа проводим по выражению:

$$X(t) = (e+f)\cos(t) - f\cos\left(\frac{e+f}{f}t\right)$$
$$Y(t) = (e+f)\sin(t) - f\sin\left(\frac{e+f}{f}t\right) \quad (7)$$

Для УЗИ воспроизводим визуальный образ на показателях объема сферы $e = V_{\text{сфера}}$ и площади поверхности $f = S_{\text{сфера}}$ сферы.

Для МРТ воспроизводим образ на показателях площади поверхности $e = S_{\text{куба}}$ и объема $f = V_{\text{сфера}}$ сферы.

Представленные результаты (рис. 3 и рис. 4) моделирования двух визуальных образов, полученных на основе УЗИ и МРТ-исследования, обладают подобием, можно сказать сходством. Этот тезис позволяет декларировать наличие формальных процедур построения только одного фрагмента изображения, например, УЗИ. В таком случае констатируем, что для избранного исследователем фрагмента биообъекта, всегда можно воспроизвести другой аналогичный фрагмент, но посредством другого технического средства, например, в МРТ-исследовании, и, естественно, на основе других исходных данных. И в том и другом случае визуальные образы подобны.

Несмотря на различия базовых принципов формирования изображений — УЗИ и МРТ, имеем возможность декларировать наличие равных значений идентификационных показателей. Это чрезвычайно важно для медицинской диагностики. Взаимная информационная связь полученных результатов, установленная в базисе геометрической топологии, отчетливо демонстрирует необходимость использования методов профессионального визуального анализа, убедительно свидетельствующего в пользу синтеза адекватных медицинских суждений, создаваемых на основе разных по физическим принципам исследований.

Используя единые методологические принципы поиска адекватных построений математическими средствами визуального образа, установлен обобщенный алгоритм формирования графического образа биологического объекта. Применяя современные информационные технологии анализа данных медико-биологических исследований, ориентированного на активное применение на практике профессиональных знаний и накопленного опыта медицинского персонала, демонстрируется возможность формализованного сопоставления результатов, представленных для визуального анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов И.М., Шаповалов В.В., Иориш А.Е., Иванова Т.И., Миронова Л.И., Рожнов М.А. Значение компьютерных технологий в профилактической педиатрии. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 1999; 44, 4: 7–13.
2. Гребенюк М.М., Поздняков А.В., Мелашенко Т.В., Позднякова О.Ф. Макаров Л.М. Возможности нейровизуализационных методов (УЗИ, МРТ) в оценке постгипоксических изменений головного мозга у недоношенных детей. Визуализация в медицине. 2020; 2 (1): 16–24.
3. Макаров Л.М., Поздняков А.В., Протасеня С.В., Иванов Д.О., Львов В.С., Львов С.Н. Математическое моделирование и численные методы анализа нейронных структур. Труды учебных заведений связи. 2019; 5 (3): 98–107.
4. Печатникова В.А., Трашков А.П., Зелененко М.А. и др. Возможности визуализации при воспроизведении экспе-



Рис. 3. Визуальный образ объекта по данным УЗИ

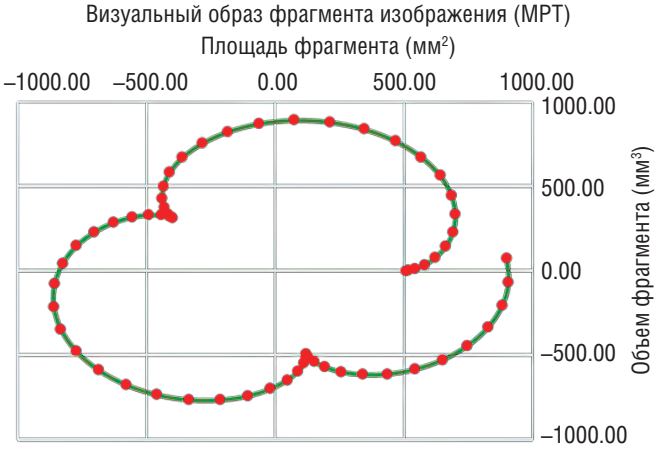


Рис. 4. Визуальный образ объекта по данным МРТ

риментальных онкологических моделей у мелких лабораторных животных. Педиатр. 2018; 9 (4): 105–12. DOI: 10.17816/PED94105-112.

REFERENCES

1. Vorontsov I.M., Shapovalov V.V., Iorish A.Ye., Ivanova T.I., Mironova L.I., Rozhnov M.A. Znacheniye komp'yuternykh tekhnologiy v profilakticheskoy pediatrii. [The value of computer technology in preventive pediatrics]. Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii. 1999; 44, 4: 7–13. (In Russian).
2. Grebenyuk M.M., Pozdnyakov A.V., Melashenko T.V., Pozdnyakova O.F. Makarov L.M. Vozmozhnosti neyrovizualizatsionnykh metodov (UZI, MRT) v otsenke postgipok-sicheskikh izmeneniy golovnogo mozga u nedonoshennykh detey. [Possibilities of neuroimaging methods (ultrasound, MRI) in assessing posthypoxic changes in the brain in premature infants]. Vizualizatsiya v meditsine. 2020; 2 (1): 16–24. (In Russian).
3. Makarov L.M., Pozdnyakov A.V., Protasenya S.V., Ivanov D.O., L'vov V.S., L'vov S.N. Matematicheskoye modelirovaniye i chislennyye metody analiza neyronnykh struktur. [Mathematical modeling and numerical methods for the analysis of neural structures]. Trudy uchebnykh zavedeniy svyazi. 2019; 5 (3): 98–107 (In Russian).
4. Pechatnikova V.A., Trashkov A.P., Zelenenko M.A. i dr. Vozmozhnosti vizualizatsii pri vosproizvedenii eksperimental'nykh onkologicheskikh modeley u melkikh laboratornykh zhivotnykh. [Possibilities of visualization in the reproduction of experimental oncological models in small laboratory animals]. Pediatr. 2018; 9 (4): 105–12. DOI: 10.17816/PED94105-112 (In Russian).