

Литература

1. Rui, Y. Image Retrieval: Current Techniques, Promising Directions, and Open Issues [Text] / Yong Rui, Thomas Huang, Chang Shih-Fu // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 1999. – Vol. 10, Issue 1. – P. 39- 62. doi: 10.1006/jvci.1999.0413
2. Rafael, C. Gonzalez Digital Image Processing [Text] / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. – Ed. 3. – Prentice Hall, 2007. – 976 p.
3. Tamilpavai, G. Multiple Representation of Perceptual Features for Texture Classification [Text] / G. Tamilpavai, B. Aarthy, S. Tamilselvi // International Conference in Recent Trends in Computational Methods, Communication and Controls. – 2012. – Issue 1. – P. 1- 5.
4. Zhang, D. A Comparative Study on Shape Retrieval Using Fourier Descriptors with Different Shape Signatures [Text] / D. Zhang, G. Lu // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 2003. – Issue 14. – P. 41- 60.
5. Sung-Huyk, C. Comprehensive Survey on Distance/Similarity Measures between Probability Density Functions [Text] / C. Sung-Huyk // International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Science. – 2007. – Vol. 1, Issue 4. – P. 300–307.
6. Reynolds, B. Taxicab Geometry [Text] / B. Reynolds // The Pi Mu Epsilon Journal. – 1980. – Vol. 7, Issue 2. – P. 77–88.
7. Liu, C. A unified Bayesian framework for face recognition [Text] / C. Liu, H. Wechsler // Image Processing, IEEE International Conference. – 1998. –Vol. 1. – P. 151–155. doi: 10.1109/ICIP.1998.723447
8. Van Trees, H. Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part I: Detection, Estimation, and Linear Modulation Theory [Text] / H. Van Trees. –John Wiley & Sons, 2001. – 710 p.
9. Ososkov, G. Face Recognition By a New Type of Neural Networks [Text] / G. Ososkov, A. Stadnik // Proceedings of World Scientific and Engineering Society, 2001. – P. 304–308.
10. Lin, Z. MatchSim: A Novel Similarity Measure Based on Maximum Neighborhood Matching [Text] / Z. Lin., M. R. Lyu, I. King // Knowledge and Information Systems. – 2012. – Vol. 32, Issue 1. – P. 141–166.

УДК 615.47

СПОСОБ РЕКОНСТРУКЦИИ ИНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ХИРУРГИЧЕСКИХ ДОСТУПОВ

М. Ю. Тымкович
Аспирант*

E-mail: maxim_tymkovich@ukr.net

О. Г. Аврунин

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: gavrun@list.ru

Х. И. Фарук

Аспирант*

E-mail: bykh@kture.kharkov.ua

*Кафедра биомедицинской инженерии
Харьковский национальный
университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

У статті описується спосіб побудови інтактної поверхні хірургічних доступів та її візуалізація. Відмінність представленого способу полягає у врахуванні, на етапі передопераційного планування, положення стереотаксичної цілі при реконструкції інтактної поверхні. Представлене відображення дає змогу сумістити дані розрахунків ризиків хірургічного доступу з геометрією черепа пацієнта, забезпечуючи цим осмислений вибір хірургічного доступу хірургом-спеціалістом

Ключові слова: стереотаксис, нейрохірургія, ризик хірургічного доступу, ризикова мапа, реконструкція полігональної поверхні

В статье описывается способ построения интактной поверхности хирургических доступов и её визуализация. Отличие представленного способа заключается в учете, на этапе предоперационного планирования, положения стереотаксической цели при реконструкции интактной поверхности. Данное отображение позволяет совместить расчетные данные о рисках хирургического вмешательства с геометрией черепа пациента, тем самым обеспечивая осмысленный выбор хирургического доступа хирургом-специалистом

Ключевые слова: стереотаксис, нейрохирургия, риск хирургического доступа, рискованная карта, реконструкция полигональной поверхности

1. Введение

При операционном вмешательстве на головном мозге человека для решения широкого круга задач все чаще используют стереотаксический метод [1]. Ос-

новным преимуществом стереотаксиса является его точность, которая в сочетании с правильным предоперационным планированием, основанным на предоперационном томографическом исследовании, обеспечивает меньшую опасность хирургической процедуры

и, как следствие, исход операционного вмешательства [2]. В настоящее время широко используются как классическая стереотаксическая хирургия, так и стереотаксическая радиохирurgia [3, 4]. Суть классического стереотаксического метода заключается во введении хирургического инструмента к цели, по четко заданным координатам используя данные томографического исследования. Этот метод используется как при функциональной нейрохирургии, так и при биопсии тканей головного мозга. Стереотаксический подход проведения хирургической операции совмещает в себе как медицинскую, так и техническую составляющую [5]. Из-за своей междисциплинарности подход сопровождается как трудностями разработки стереотаксических систем, так и сложностями их применения.

Поэтому разработка методов и средств, используемых при планировании стереотаксических вмешательств, является необходимым условием для повышения успеха оперативных вмешательств.

Реконструкция интактной поверхности является такой составной частью, позволяющей совместить значения риска вмешательства с трехмерной поверхностью черепа при предоперационном планировании.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В настоящее время ведутся работы по минимизации риска хирургического вмешательства с учетом недопущения повреждения, как основных мозговых артерий, так и других кровеносных сосудов головного мозга [6, 7]. В данных работах прослеживается направленность на формализованное решение проблемы поиска оптимального хирургического вмешательства в численном виде. Кроме того, в работе [7] осуществляется визуализация рисковой карты непосредственно на реконструированной поверхности, но в работе не рассматривается её получение. Также, при построении поверхности, не учитываются возможные хирургические доступы, а лишь её геометрия.

Следует также отметить появление публикаций [8] на темы, связанные с моделированием поведения тканей мозга под воздействием хирургических инструментов. В работах пытаются совместить как подходы, связанные с обработкой и анализом медицинских изображений, так и с физическим моделированием реконструированных полигональных объектов.

В настоящее время компьютерная графика имеет достаточное количество инструментов, позволяющих решать задачи по реконструкции трехмерной модели, исходя из объемного представления данных. Наиболее широко применяется в программном обеспечении по медицинской визуализации алгоритм шагающих кубов [9, 10]. К сожалению, данный подход к построению поверхности не учитывает направленности хирургического доступа.

3. Цель и задачи исследования

Риск стереотаксического доступа является комплексной величиной, которая зависит от внутренней структуры головного мозга конкретного пациента [5].

Представление риска в числовом значении согласно определенной рисковой шкале позволяет оценивать риск конкретного хирургического доступа, и, следовательно, выделить наиболее оптимальный хирургический доступ. Следует принять во внимание, что возможен случай появления доступов с равноценными низкими значениями риска хирургического доступа. В данном случае система планирования стереотаксического доступа должна позволить отобразить наглядно возможные хирургические доступы, что бы хирург, пользуясь своим индивидуальным опытом, выбрал наиболее удобный операционный доступ.

Целью исследования является повышения качества проведения хирургических операционных вмешательств за счет включения, на этапе планирования, информации о интактной поверхности, которая бы совместно с данными о инвазивности конкретного доступа, служили хирургу наглядным источником данных.

Для этого необходимо решить задачу реконструкции трехмерной поверхности, которая бы описывала интактные точки хирургических доступов, согласно данным томографических исследований конкретного пациента.

4. Результаты реконструкции интактной поверхности

Визуализация карты рисков согласно хирургическим доступам является наиболее простым подходом к отображению инвазивности. Подход основывается на окраске полусферы, которая описывает все возможные риски хирургического вмешательства в соответствии со значением риска соответствующего доступа (рис. 1).

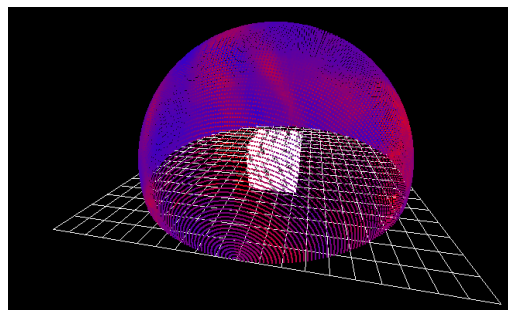


Рис. 1. Иллюстрация визуализации рисков вмешательства на поверхности полусферы

При этом нет необходимости произведения дополнительных вычислений. Данный способ отображения имеет главное преимущество – простота, в то же время из-за того, что при этом не учитывается геометрия головы пациента, данный способ является менее информативным для нейрохирурга.

Поэтому построение поверхности рисковой карты решено производить на основании объемных данных с учетом цели хирургического доступа. Построение поверхности осуществляется следующим образом (рис. 2), сфера, описывающая объем томографического исследования, с центром в точке цели стереотаксического доступа (Т), представляет собой трехмерную поверхность с регулярно-расположенными вершинами. На рис. 2, а изображена схема подхода в

двумерном виде, рис. 2, б отображает подход в трехмерном виде.

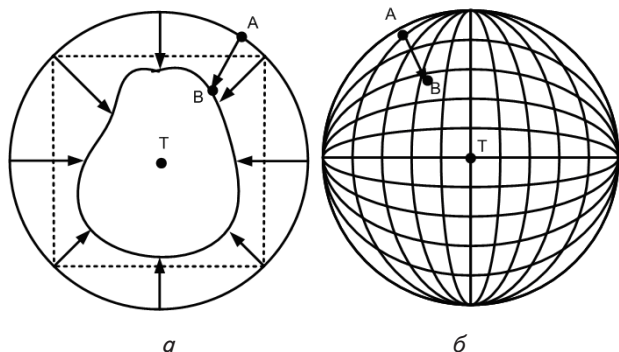


Рис. 2. Схема построения поверхности рисковой карты: а – двумерный вид; б – трехмерный вид

Данные о вершинах хранятся в двумерном массиве, ячейка которого точно соответствует одной вершине сферы. Координаты начальной точки А рассчитываются исходя из выражения:

$$\begin{cases} x_A = R \cdot \sin(\Delta\beta \cdot i) \cdot \cos(\Delta\alpha \cdot j), \\ y_A = R \cdot \sin(\Delta\beta \cdot i) \cdot \sin(\Delta\alpha \cdot j), \\ z_A = R \cdot \cos(\Delta\alpha \cdot j), \end{cases} \quad (1)$$

где x_A, y_A, z_A – координаты вершины А; R – радиус сферы; $\Delta\alpha, \Delta\beta$ – шаг азимутального и полярного углов; i, j – номер по порядку.

Радиус R определяется как наибольшее евклидовое расстояние между точкой цели T и вершинами визуализируемого объема.

Путем движения вершины А согласно вектору $|\overline{TA}|$ единичной длины, образовывается новое положение вершины в точке В. Критерием (2) перемещения точки А в точку В является объемные данные томографического исследования, которые свидетельствуют о пересечении рентгенплотного объекта – живого тела пациента, а, следовательно, и о том, что текущая позиция является интактной. Таким образом, вершина А сферической поверхности изменяет свое положение на интактную вершину В.

$$V(x_A + n|\overline{TA}|_x, y_A + n|\overline{TA}|_y, z_A + n|\overline{TA}|_z) < T, \quad (2)$$

где n – номер шага; T – порог интенсивности допустимой рентгеновской плотности, НУ.

Изменяя количество вершин в исходной сфере, можно получить поверхность различной детализации. На рис. 3 изображен синтетический пример реконструированной поверхности куба с различным количеством вершин, образующими данную поверхность. Так, на рис. 3, а представлена реконструированная поверхность с малой детализацией, в то же время поверхность с большой детализацией (рис. 3, б) позволяет отображать поверхность очень точно. Рис. 3, в отображает компромиссное решение исходя из точности и вычислительной сложности.

Следует принять во внимание, что в медицинской практике, при томографическом обследовании, широко встречается случаи с наличием помех на получаемом изображении, которые, например, образуются из-

за присутствия металлических зубных имплантатов (рис. 4).

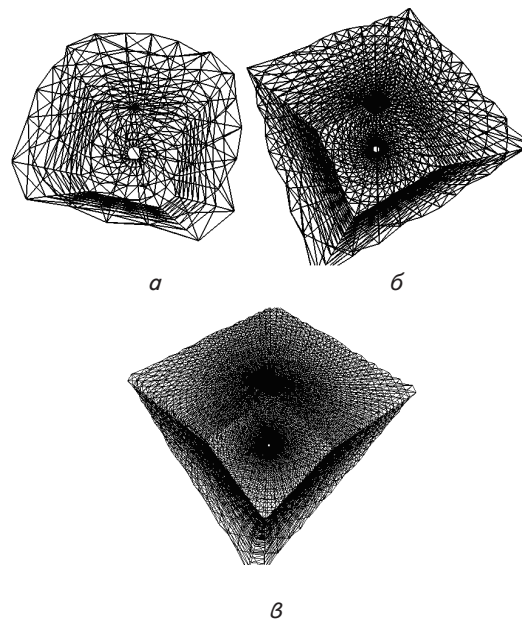


Рис. 3. Результат реконструкции поверхности куба с различной степенью детализации: а – 400 вершин; б – 1600 вершин; в – 10000 вершин

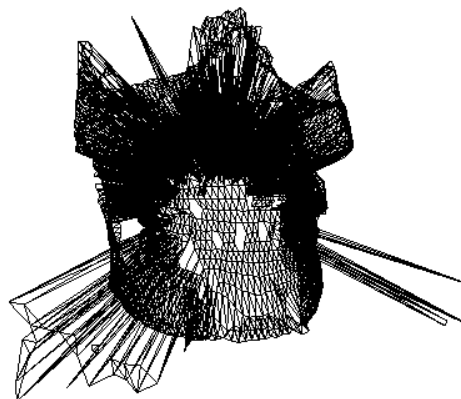


Рис. 4. Результат реконструкции поверхности объема с артефактом вызванным наличием зубных имплантатов

Одним из наиболее очевидных решений по борьбе с данной преградой является фильтрация исходного изображения, но во многих случаях избавиться от артефакта на данном этапе не является возможным. В то же время, образованная поверхность является не обычным набором треугольников, а связным списком вершин, из которых можно извлечь информацию о соседних вершинах. Поэтому возможно применение низкочастотного фильтра (3) к положениям исходных вершин.

$$G[i, j] = \sum_{u=-k}^k \sum_{v=-k}^k H[u, v] F[i-u, j-v], \quad (3)$$

где G – массив результирующих позиций вершины после фильтрации; H – массив начальных позиций вершины до фильтрации; F – ядро фильтра; i, j – номер вершины в массиве

На рис. 5 представлены результаты подавления помехи с использованием усредняющего фильтра различного размера. Высокочастотная помеха (рис. 4) подавляется уже с использованием фильтра 3x3 (рис. 5, а) и почти исчезает при использовании фильтра 5x5 (рис. 5, б), но использование фильтров большой размерности приводит к потере полезной информации (рис. 5, в)

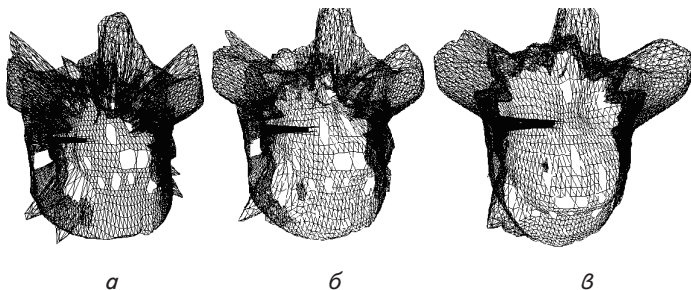


Рис. 5. Результат подавления помехи с использованием усредняющего фильтра применительно к реконструированной поверхности с различным размером фильтра: а – 3x3; б – 5x5; в – 7x7

Для борьбы с этим эффектом следует выбрать наиболее оптимальное соотношение степени детализации и размера фильтра, в зависимости от помехи.

Путем присвоения каждой вершине цвета в соответствии со значением риска хирургического вмешательства производится объединение рисковой карты и интактной поверхности. На рис. 6 изображена визуализация синтетических данных риска, в качестве значения риска используется нормализованное расстояние к точке цели. Светло-серым изображены участки с большим расстоянием к точке цели, а темно-серым – с меньшим расстоянием к точке цели.



Рис. 6. Результат визуализации синтетической рисковой карты

Для каждого визуализируемого треугольника (рис. 7) рассчитывается нормаль \vec{n} (4), значение которой учитывается при трехмерной визуализации с учетом освещения.

$$\vec{n} = \frac{\vec{v}_1 \times \vec{v}_2}{|\vec{v}_1 \times \vec{v}_2|}, \tag{4}$$

где \vec{v}_1, \vec{v}_2 – векторы образованные вершинами треугольника ABC.

Визуализация полученной поверхности может осуществляться как в виде проволочной модели (рис. 8, а), монохромно-окрашенной поверхности без учета освещения (рис. 8, б) или с учетом освещения (рис. 8, в), так и в окрашенном виде (рис. 8, г), что улучшает восприимчивость информации.

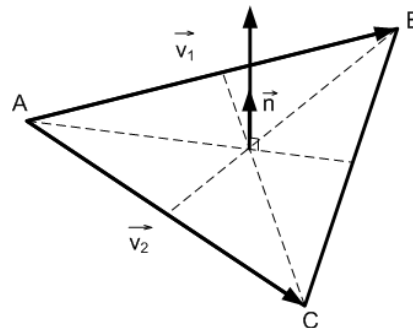


Рис. 7. Иллюстрация расчета нормали \vec{n} к треугольнику ABC

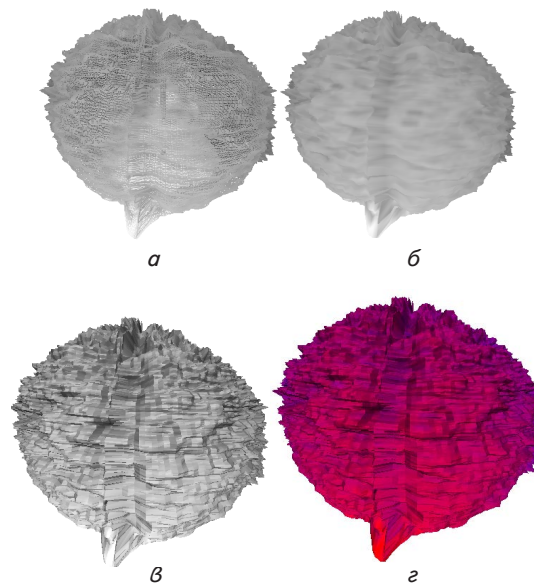


Рис. 8. Результаты визуализации рисковой карты: а – проволочная модель; б – модель без учета освещения; в – модель с учетом освещения; г – окрашенная модель

Полученные вершины реконструированной поверхности однозначно задаются полярными и азимутальными углами и соответствуют интактным точкам стереотаксических доступов. Совместно с данными о риске хирургического вмешательства конкретных доступов они могут быть использованы в системе предоперационного планирования хирургических вмешательств.

5. Выводы

Стереотаксическое планирование хирургических вмешательств на головном мозге человека

является сложной процедурой, которая опирается кроме формализованных численных значений также на опыт врача. Для совмещения этих двух подходов необходима интерактивная трехмерная визуализация данных о риске хирургического вмешательства, которая бы позволяла наглядно выбрать из набора близких по численному значению риска наиболее удобный подход, с точки зрения нейрохирурга.

В работе показан и описан способ, позволяющий реконструировать трехмерную интактную поверх-

ность и совместить её с данными о инвазивности хирургических доступов. Данный способ имеет специфическую направленность по отношению к известным методам реконструкции и визуализации.

Перспективой работы является создание программного обеспечения, выполняющего предоперационное планирование риска хирургического доступа, по результатам обработки томографических данных пациента и последующей трехмерной визуализацией соответствующих данных с использованием разработанного подхода.

Литература

1. Lozano, A. M. Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery [Text] / A. M. Lozano, P. L. Gildenberg, R. R. Tasker. – Springer, 2009. – 3288 p.
2. Chen, S.-Y. Stereotactic biopsy for brainstem lesion: Comparison of approaches and reports of 10 cases [Text] / S.-Y. Chen, C.-H. Chen, M.-H. Sun et al. // J of the Chinese Medical Association. – 2011. – Vol. 74, Issue 3. – P. 110–114. doi:10.1016/j.jcma.2011.01.024.
3. Germano, I. M. Surgical Techniques for Stereotactic Implant of Deep Brain Stimulators [Text] / I. M. Germano, D. J. Weisz, A. Silvers [et al] // Seminars in Neurosurgery. – 2001. – Vol. 12, Issue 02. – P. 2013–2023. doi:10.1055/s-2001-17127.
4. Vesper, J. Current Concepts in Stereotactic Radiosurgery – A Neurosurgical and Radiooncological Point of View [Text] / J. Vesper, E. Bolke, C. Wille et al. // European Journal of Medical Research. – 2009. – Vol. 14, Issue 3. – P. 93–101. doi:10.1186/2047-783x-14-3-93
5. Аврунин, О. Г. Определение степени инвазивности хирургического доступа при компьютерном планировании оперативных вмешательств [Текст] / О. Г. Аврунин, М. Ю. Тымкович, Х. И. Фарук // Бионика интеллекта. – 2013. – Т. 81 (2). – С. 101–104.
6. Gent, F. Multi-modality approach to ameliorate stereotactic brain surgery planning in rodents [Text] / F. Gent, G. V. Velde, K. Kuyck et al. – SkyScan user meeting, 2012.
7. Rincon-Nigro, M. GPU-Accelerated Interactive Visualization and Planning of Neurosurgical Interventions [Text] / M. Rincon-Nigro, N. V. Navkar, N. V. Tsekos et al. // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2014. – Vol. 34, Issue 1. – P. 22–31. doi:10.1109/MCG.2013.35.
8. Joshi, A. Novel Interaction Techniques for Neurosurgical Planning and Stereotactic Navigation [Text] / A. Joshi, D. Scheinost, K. P. Vives [et al] // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 2008. – Vol. 14, Issue 6. – P. 1587–1594. doi:10.1109/TVCG.2008.150.
9. Lorensen, W. E. Marching Cubes. A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm [Text] / W. E. Lorensen, H. E. Cline // Computer Graphics. – 1987. – Vol. 21, Issue 4. – P. 163–169. doi:10.1145/37401.37422.
10. Newman, T. S. A survey of the marching cubes algorithm [Text] / T. S. Newman, H. Yi // Computers & Graphics. – 2006. – Vol. 30, Issue 5. – P. 854–879. doi:10.1016/j.cag.2006.07.021