**Исследование алгоритмов автоматического совмещения мультимодальных трёхмерных томографических изображений**

***Коляскин Л.Ю.*1,3*, Гильманов М.И*2,3*, Бугай О.А*1,2,3*, Чукалина М.В.*3,4*, Берловская Е.Е.*1**

1*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*2*Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва, Россия*3*ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия*

4*Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия  
E–mail*: *koliaskin.li20@physics.msu.ru*

Совмещение трёхмерных изображений объектов, получаемых из измерений с разной модальностью, таких как компьютерная, магнитно-резонансная, нейтронная томографии и другие, открывает новые возможности для клинических [1] и индустриальных [2] исследований. Существуют функционально различные подходы к решению задачи совмещения изображений [3,4,5], однако передовые методы не всегда позволяют добиться идеального результата, и исследование границ их применимости остается актуальной задачей наряду с разработкой новых методов автоматического совмещения.

Целью настоящей работы является разработка методов оценки качества и исследования границ применимости алгоритмов автоматического совмещения в рамках различных прикладных задач. В работе были проведены эксперименты по совмещению мономодальных и мультимодальных трёхмерных изображений с использованием методов, основанных на различных алгоритмах с открытыми реализациями. Так, для исследования были выбраны алгоритмы принципиально различных классов: (1) итеративный метод плотного сопоставления из библиотеки SimpleITK (SITK) [6] и (2) метод разреженного сопоставления, на основе поиска и сопоставления особых точек изображений (SIFT) [7]. SITK использует градиентный спуск для оптимизации метрики взаимной информации изображений и потенциально обладает высокой точностью совмещений при работе с данными разной модальности. Методы на основе SIFT после этапа поиска и описания особых точек, требуют этапа поиска объёмного преобразования для сопоставления пар особых точек, которое в нашем случае выполнялось методом RANSAC [8]. Метод SIFT+RANSAC потенциально обладает высокой устойчивостью к шуму и выбросам, а также к большим вариациям относительной начальной ориентации и положения изображений.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Изображение выглядит как черно-белый  Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки. Изображение выглядит как круг, черно-белый  Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки. Изображение выглядит как Медицинская визуализация, радиология, рентгеновская пленка, черно-белый  Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки. | | |  |
| a) МРТ с T1 контрастом | б) КТ | в) Результат совмещения |  |
| ***Рис. 1.*** Срезы на одинаковой высоте трёхмерных данных мультимодальных исследований головы пациента с помощью а) МРТ и б) КТ; в) срез трёхмерного изображения, полученного в результате совмещения алгоритмом SITK. | | | |

Эксперименты проводились для мультимодальных изображений КТ и МРТ головного мозга (рисунок 1) из открытых датасетов [9]; для экспериментов по измерению точности, границ применимости и сравнения результативности методов при мономодальных совмещениях была взята реконструкция компьютерной томограммы ореха (рисунок 2), как модельного объекта, имитирующего головной мозг.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Изображение выглядит как искусство, рисунок, зарисовка  Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки. Изображение выглядит как зарисовка, искусство, рисунок, черно-белый  Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки. Изображение выглядит как риф, искусство, Детское искусство, Графика  Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки. Изображение выглядит как искусство, Графика  Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки. | | | |  |
| a) SIFT+RANSAC | б) SITK | в) Фрагмент, SIFT+RANSAC | г) Фрагмент, SITK |  |
| ***Рис. 2.*** Сравнение срезов а), б) трёхмерных изображений, полученных в результате совмещения алгоритмами SIFT+RANSAC и SITK. Исходное и преобразованное изображения записаны в R и GB каналах RGB изображения. в), г) Увеличенные области срезов а), б) соответственно. | | | | |

В результате работы по исследованию методов совмещения был подготовлен набор данных, включающий синтетические и реальные трехмерные изображения, полученные в разных модальностях и реализующие различные практические сценарии совмещения. Также предложена метрика для оценки качества совмещения на основе геометрических расхождений по сравнению с идеальным совмещением. Проведены эксперименты по мономодальным и мультимодальным совмещениям. Показано, что SITK позволяет добиться лучшей точности чем SIFT+RANSAC в диапазоне малых поворотов [0°,40°] независимо от смещения, достигая визуальной неразличимости при сопоставлении реальных данных и значений измеренной ошибки совмещения на синтетических данных в пределах 0,05 вокселя. Хотя SIFT+RANSAC не позволяет добиться совмещений того же качества, но позволяет производить совмещения с меньшей точностью в более широком диапазоне исследованных параметров отклонений.

**Литература**

1. Сороковикова Т.В., Морозов А.М., Жуков С.В., Рыжова Т.С., Морозова А.Д., Хорак К.И., Беляк М.А. Роль неинвазивных методов исследования в современной клинической практике. // Современные проблемы науки и образования. 2022. №2
2. Федосов А.В., Гайнуллина Л.А. Методы неразрушающего контроля // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. №2.
3. J.B. Antoine Maintz, Max A. Viergever. A survey of medical image registration // Medical Image Analysis. 1998. V. 2, Issue 1. P. 1-36.
4. Barbara Zitová, Jan Flusser. Image registration methods: a survey // Image and Vision Computing. 2003. V. 21. Issue 11. P. 977-1000.
5. Mani, V.R.s & Selvaraj, Arivazhagan. Survey of medical image registration // Journal of Biomedical Engineering and Technology. 2013. V. 1. P. 8-25.
6. B. C. Lowekamp, D. T. Chen, L. Ibáñez, D. Blezek. The Design of SimpleITK // Front. Neuroinform. 2013. V. 7 P. 45.
7. Rister B, Horowitz MA, Rubin DL. Volumetric Image Registration From Invariant Keypoints // IEEE Trans Image Process. 2017. Oct, 26(10). Р. 4900–4910.
8. Martin A. Fischler, Robert C. Bolles. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Communications of the ACM. 1981. V. 24 (6). P. 381–395.
9. West J et al. Comparison and evaluation of retrospective intermodality image registration techniques // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 1996. V. 2710. P. 332-347.