

Применение OpenIGTLink при разработке интерактивного нейрохирургического фантома

С. А. Авакян^{1,2}, В. А. Песков¹, Д. С. Кукунин², С. А. Парфенов³, А. А. Кузин³

¹ ООО «Стереотаргет», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет Телекоммуникаций им. профессора М. А. Бонч-Бруевича», Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Основная идея работы заключается в интеграции протокола OpenIGTLink в систему стереотаксического медицинского фантома для передачи данных между всеми компонентами разработанной архитектуры. Вместе с этим в статье показан результат времени, затраченного на отправку транзакций между компонентами созданного аппаратно-программного комплекса и представлен его функционал.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нейрохирургический фантом, фантом головы, OpenIGTLink, 3D Slicer, передача данных, стереотаксис.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

OpenIGTLink integration in the development of an interactive neurosurgical phantom

S. A. Avakian^{1,2}, V. A. Peskov¹, D. S. Kukunin², S. A. Parfenov³, A. A. Kuzin³

¹ Stereotarget LLC, Saint Petersburg, Russia

² M. A. Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, Saint-Petersburg, Russia

³ Military Medical Academy named after S. M. Kirov of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

SUMMARY

The main idea of the work is to integrate OpenIGTLink protocol into the stereotactic medical phantom system for data transfer between all components of the developed architecture. At the same time, the article shows the result of the time spent on the transfer of transactions between the components of the created hardware-software complex and presents its functionality.

KEYWORDS: neurosurgical phantom, head phantom, OpenIGTLink, 3D Slicer, data transfer, stereotaxis.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

Введение

В ходе реализации гранта Фонда содействия инновациям (№ 4931ГС1/83532) был создан прототип нового типа интерактивного антропоморфного фантома [1] с системой бесконтактной оценки позиционирования инструмента (СБОПИ) для отработки навыков проведения функциональных стереотаксических вмешательств.

Данный инновационный стереотаксический фантом с обр-ратной связью способен оценивать эффективность проводимых нейрохирургических операций и обеспечивает возможность использования данных нейровизуализации головного мозга человека при планировании стереотаксических процедур.

Интерфейсы взаимодействия компонентов аппаратно-программного комплекса используют протокол OpenIGTLink.

Описание технологий

OpenIGTLink – это сетевой коммуникационный интерфейс с открытым исходным кодом. Его цель – обеспечить унифицированную связь в реальном времени (Unified Real-Time Communications – URTC) по принципу «включай и работай» в операционных комнатах для хирургической

навигации, где совместно работают сканеры, датчики, хирургические роботы и компьютеры разных производителей. Такая связь обеспечивает бесперебойную передачу данных между компонентами системы и формирует замкнутый процесс планирования и контроля.

Примеры использования URTC включают, помимо прочего, стереотаксическое хирургическое наведение с использованием оптического датчика положения и программного обеспечения для визуализации медицинских изображений. Также URTC играет важную роль в интраоперационном управлении с использованием MPT в реальном времени и роботизированных вмешательствах с использованием роботизированных устройств и программного обеспечения для планирования хирургических операций.

Спецификация OpenIGTLink открыта и может использоваться без какого-либо лицензионного соглашения, следовательно, OpenIGTLink подходит как для промышленных, так и для академических разработчиков [2].

Существуют различные программные пакеты, инструментари и навигационные системы, в которых используется OpenIGTLink и один из них 3D Slicer. Это бесплатное

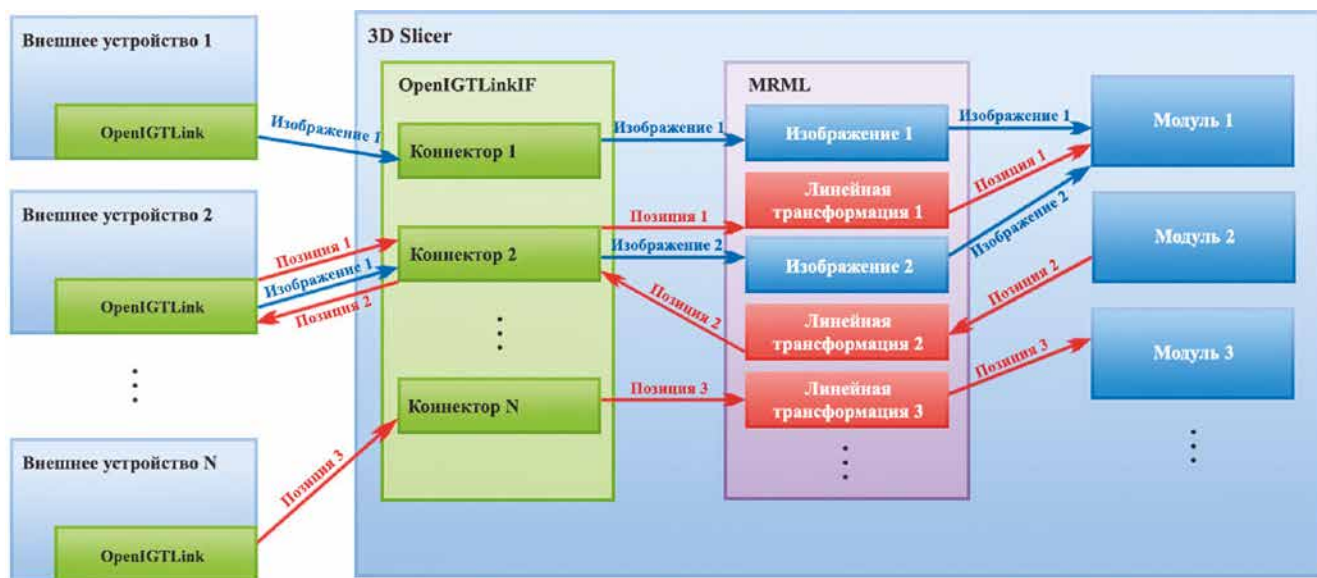


Рисунок 1. Схема взаимодействия устройств с 3D Slicer через интерфейс OpenIGTLink

программное обеспечение с открытым исходным кодом для визуализации, обработки, сегментации, регистрации и анализа медицинских, биомедицинских и других трехмерных изображений или объектов, а также для планирования процедур под визуальным контролем [3]. В особенности программы входит плагин, который реализует интерфейс взаимодействия с протоколом OpenIGTLink, что обеспечивает возможность эффективной работы со сторонним программным обеспечением и оборудованием [4].

Таким образом система получает следующие функции [5]:

- импорт данных
- экспорт данных
- мультисоединение
- визуализация локатора
- управление срезами MPT

Рассмотрим пример (рис. 1), который демонстрирует процесс взаимодействия нескольких устройств с ПО 3D Slicer посредством интерфейса OpenIGTLink.

Видно (рис. 1), что каждый разъем назначен своему сетевому устройству, поддерживающему стек протоколов TCP/IP. Коннекторы служат интерфейсами между внешними устройствами и сценой MRML для преобразования сообщения OpenIGTLink для узла MRML [6]. Сам OpenIGTLink представляет собой простой и расширяемый протокол для одноранговой сети, разработанный для проведения вмешательств под визуальным контролем. Данный протокол используется на прикладном уровне в пакетной сети и определяет пять типов сообщений по умолчанию, которые часто используются в большинстве сценариев IGT:

- IMAGE
- POSITION
- TRANSFORM
- STATUS
- CAPABILITY

Помимо имеющихся типов данных разработчики приложений могут определять свои собственные с именами в дополнение к существующим по умолчанию.

Интеграция OpenIGTLink

Разработка фантома головы интегрирующего СБОПИ подразумевала визуализацию процесса в проведении стереотаксической операции.

В задачу разработанного АПК должно входить непрерывное отслеживание инструмента с последующей отправкой его матрицы преобразования и координат кончика инструмента на устройство с 3D Slicer.

Также на базе протокола OpenIGTLink был разработан пользовательский интерфейс нейрохирурга с сетевым взаимодействием для передачи различных команд непосредственно фантому.

Поддержка различных устройств обеспечивается клиент-серверной архитектурой. К таким устройствам относятся, в частности, программные модули IGT.

На рисунке 2 показан прототип АПК для повышения навыков проведения стереотаксических операций, схема взаимодействия компонентов которого (рис. 3) конкретизирует общую архитектуру (рис. 1).

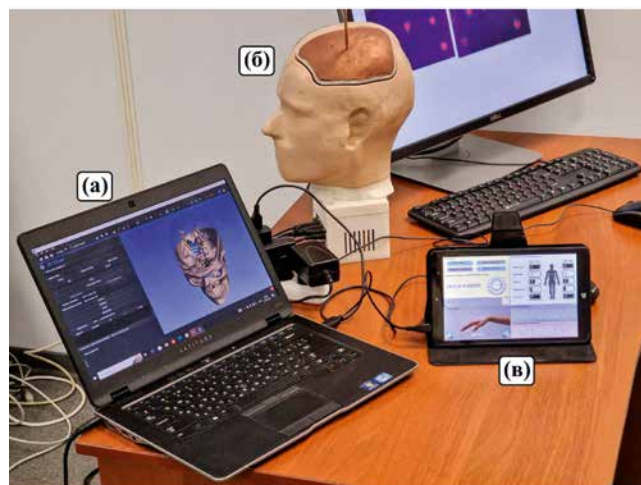


Рисунок 2. Архитектура устройств сетевого взаимодействия: (а) рабочее место для визуализации проведения операции; (б) фантом головы с системой бесконтактной оценки позиционирования инструмента; (в) интерфейс взаимодействия с фантомом

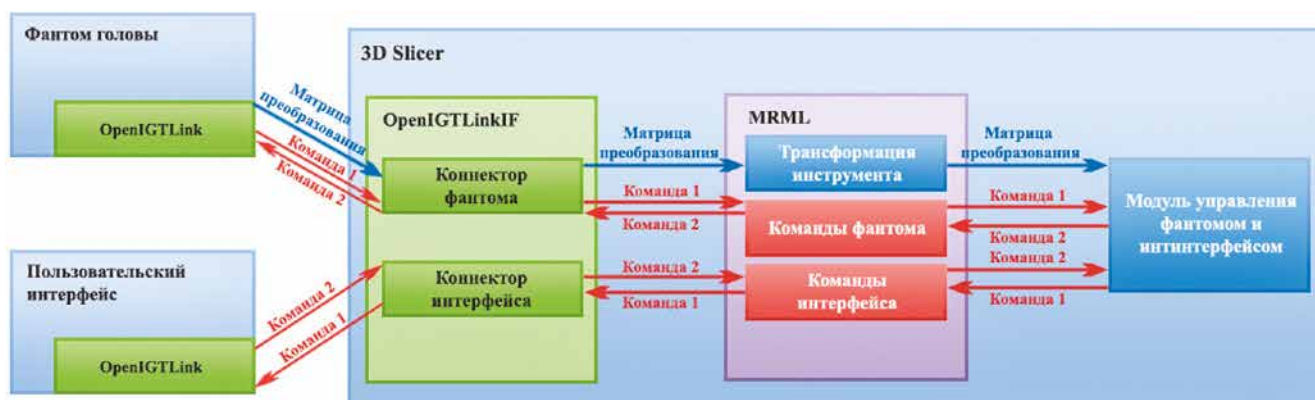


Рисунок 3. Схематическая диаграмма обмена данными между устройствами архитектуры

В данной архитектуре разработанный модуль в 3D Slicer работает как сервер, получая команды оператора, основным инструментом которого является планшет [7]. Сервер обрабатывает поток специализированных данных с фантома головы, при этом непрерывно отслеживая положение инструмента [8]. Разработанный модуль также синхронизирует получаемые данные между всеми компонентами архитектуры, предотвращая потенциальные проблемы в случае потери соединения любого из устройств.

В модуль входят базовые функции и настройки для управления фантомом. На *рисунке 4* показан результат работы модуля, визуализирующего проведение операции. Помимо этого, модуль используется для сохранения,

редактирования и удаления полученных траекторий при отслеживании стереотаксического оборудования [9].

Апробация системы

Был проведен эксперимент с последующим анализом времени, затраченного на отправку транзакций. В данном сценарии рассматривалась передача данных матрицы преобразования, которая используется для визуализации инструмента в Slicer. Для этого была разработана программа симулятор, отправляющая те же данные, которые используются при работе с фантомом. В общем было отправлено 10^6 пакетов с планшета на ноутбук со Slicer, после зафиксированного времени передачи данные были разделены на 100 выборок с интервалом выборки 10^4

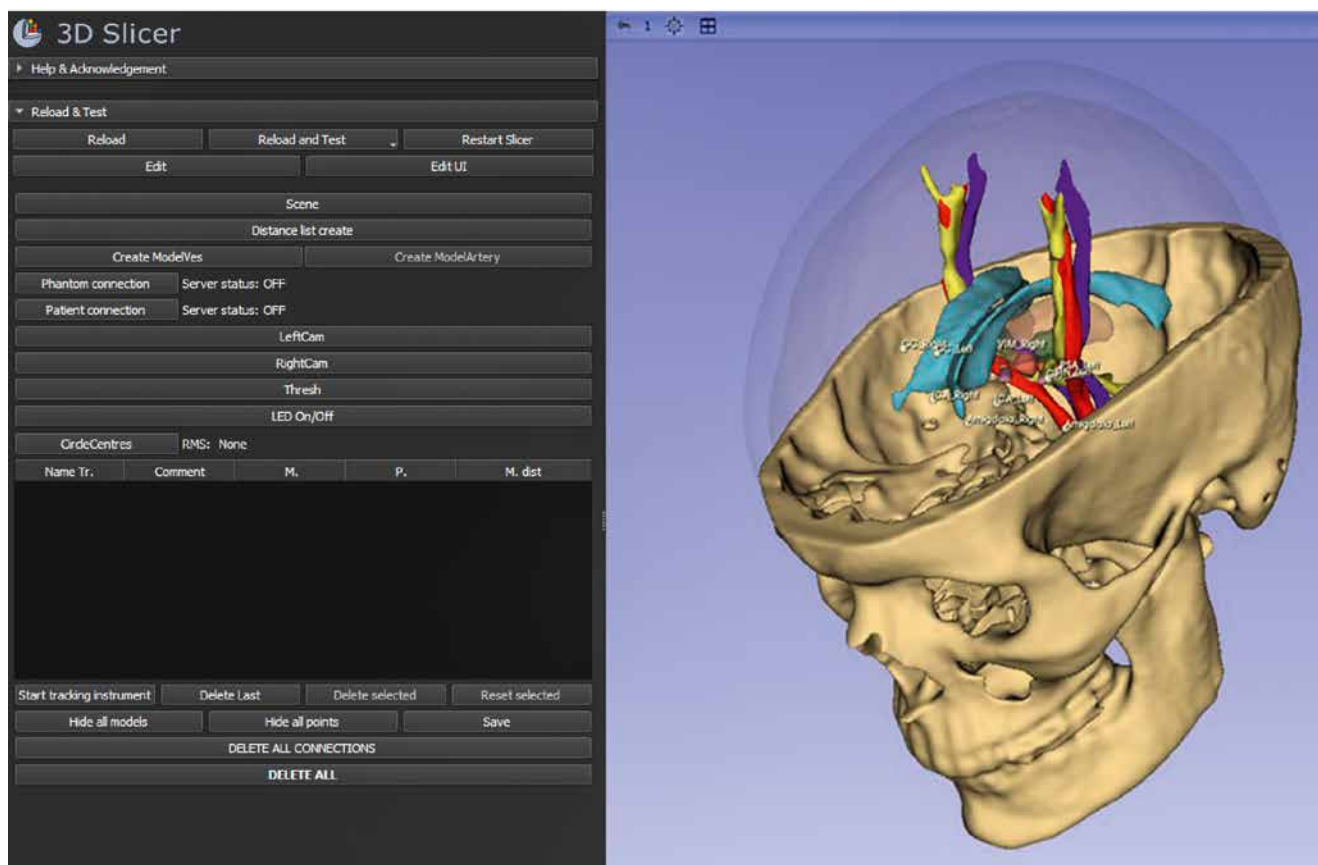


Рисунок 4. Модуль управления фантомом

пакетов и последующим определением их максимумов. Среднее время и квадратичное отклонение при установлении соединения между устройствами составило $0,66 \pm 0,03$ мкс (мин. = 0,35 мкс и макс. = 0,95 мкс). Среднее время и квадратичное отклонение при отправке транзакции составило $50,16 \pm 4,98$ мкс, а максимальное время из всех выборок составило 61,95 мкс.

Полученные данные представлены на рисунке 5, где ось абсцисс – номер выборки переданных данных, а ось ординат – максимальное время передачи данных в микросекундах.

По итогу оценки времени транзакций с использованием протокола OpenIGTLink из графика видно, что задержки между пакетами оказались достаточно низкими. Среднее квадратическое отклонение получилось не больше 5 мкс, что также является низким значением.

Закключение

В работе был продемонстрирован программно-аппаратный комплекс с интеграцией протокола OpenIGTLink, который позволил осуществить передачу данных между всеми разработанными компонентами. Благодаря этому была реализована визуализация процесса проведения стереотаксического вмешательства, вычисление расположения инструмента в пространстве фантома и Slicer, а также управление фантомом при помощи удобного интерфейса для оператора. По итогу на разработанное ПО был получен патент. [10].

Максимальное время передачи данных



Рисунок 5. График максимального времени передачи данных

По результатам эксперимента задержка между передачей пакетов оказалась очень стабильной, конкретно для стереотаксического фантома время передачи данных является приемлемым.

Список литературы / References

1. Švaco M, Stiperski I, Diaka D, Šuligoj F, Jerbic B, Chudy D and Raguž M (2020) Stereotactic Neuro-Navigation Phantom Designs: A Systematic Review. *Front. Neurobot.* 14:549603. doi: 10.3389/fnbot.2020.549603
2. About OpenIGTLink – URL: <https://openigtlk.org/about> (дата обращения: 16.07.2024)
3. Slicer – a free, open-source software package for visualization and image analysis. Surgical Planning Laboratory (SPL), Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School; Boston, Massachusetts, USA; Available from: <http://www.slicer.org/> (дата обращения: 16.07.2024)
4. A. Lasso, T. Heffter, A. Rankin, C. Pinter, T. Ungi, and G. Fichtinger, "PLUS: Open-Source Toolkit for Ultrasound-Guided Intervention Systems," *IEEE Transactions on bio-medical engineering* 61(10):2527–2537.
5. Авакян, С. А. Применение протокола OPENIGTLINK: сб. науч. ст. / Под ред. П. В. Киричка; сост. А. А. Нестеров, А. А. Задорожная. Спец. вып. СПб.: СПбГУТ, 2023. 74–77 с.
6. Avakyan, S. A. Application of the OPENIGTLINK protocol: a collection of scientific articles / Edited by R. V. Ki-richok, A. A. Nesterov, A. A. Zadorozhnaya. A. A. Nesterov, A. A. Zadorozhnaya. SPb.: SPbGUT, 2023. 74–77. (In Russ.).
7. Dimaio S, Kapur T, Cleary K, Aylward S, Kazanides P, Vosburgh K, Ellis R, Duncan J, Farahani K, Lemke H, Peters T, Lorensen WB, Gobbi D, Haller J, Clarke LL, Pizer S, Taylor R, Galloway R Jr, Fichtinger G, Hata N, Lawson K, Tempny C, Kikinis R, Jolesz F. Challenges in image-guided therapy system design. *Neuroimage*. 2007; 37:144–S151.
8. OpenIGTLink: an open network protocol for image-guided therapy environment/ *The international journal of medical robotics and computer assisted surgery / Int J Med Robotics Comput Assist Surg* 2009; 5: 423–434.
9. Birkfellner W, Watzinger F, Wanschitz F, Ewers R, Bergmann H. Calibration of tracking systems in a surgical environment. *Transactions on Medical Imaging*. 1998; 17(5):737–742.
10. D. C. Niehorster, L. Li, and M. Lappe, "The Accuracy and Precision of Position and Orientation Tracking in the HTC Vive Virtual Reality System for Scientific Research", vol. 8, no. 3, May 2017.
11. Программный модуль интерактивного медицинского фантома для отработки навыков проведения функциональных стереотаксических вмешательств: № 2024616140: заявлено 04.03.2024: опубликовано 18.03.2024 / Песков В. А., Авакян С. А.; правообладатель ООО «Стереотаргет». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Peskov V. A., Avakyan S. A. (2024).
12. Program module of interactive medical phantom for practicing skills of functional stereotactic interventions. Pat. № 2024616140. (In Russ.).

Статья поступила / Received 22.01.2025

Получена после рецензирования / Revised 05.02.2025

Принята в печать / Accepted 20.02.2025

Сведения об авторах

Авакян Сергей Артурович, магистрант кафедры сетей связи и передачи данных (СС и ПД)². E-mail: p524avakyan@mail.ru
Песков Виктор Александрович, руководитель проекта¹. E-mail: dr@peskov.pro
Кукунин Дмитрий Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры сетей связи и передачи данных (СС и ПД)². E-mail: coux@yandex.ru
Парфенов Сергей Александрович, к.м.н., докторант при кафедре общей и военной эпидемиологии³. E-mail: sa.parfenov1988@yandex.ru
Кузин Александр Александрович, д.м.н., профессор, начальник кафедры общей и военной эпидемиологии³. E-mail: paster-spb@mail.ru

¹ ООО «Стереотаргет», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М. А. Бонч-Бруевича», Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Автор для переписки: Кузин Александр Александрович.
E-mail: paster-spb@mail.ru

About authors

Avakyan Sergey A., master's student at Dept of Communication Networks and Data Transmission². E-mail: p524avakyan@mail.ru
Peskov Viktor A., project manager¹. E-mail: dr@peskov.pro
Kukunin Dmitry S., PhD Tech, associate professor at Dept of Communication Networks and Data Transmission². E-mail: coux@yandex.ru
Parfenov Sergey A., PhD Med, doctoral student at Dept of Common and Military Epidemiology³. E-mail: sa.parfenov1988@yandex.ru
Kuzin Alexander A., DM Sci (habil.), professor, head of Dept of Common and Military Epidemiology³. E-mail: paster-spb@mail.ru

¹ Stereotarget LLC, Saint Petersburg, Russia

² M. A. Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, Saint-Petersburg, Russia

³ Military Medical Academy named after S. M. Kirov of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

Corresponding author: Kuzin Alexander A. E-mail: paster-spb@mail.ru

Для цитирования: Авакян С. А., Песков В. А., Кукунин Д. С., Парфенов С. А., Кузин А. А. Применение OpenIGTLink при разработке интерактивного нейрохирургического фантома. *Медицинский алфавит*. 2025; (3): 46–49. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-3-46-49>

For citation: Avakyan S. A., Peskov V. A., Kukunin D. S., Parfenov S. A., Kuzin A. A. OpenIGTLink integration in the development of an interactive neurosurgical phantom. *Medical alphabet*. 2025; (3): 46–49. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-3-46-49>