

05.13.18

А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, С.В. Ровнов, А.В. Иващенко

Самарский государственный медицинский университет,
Лидирующий исследовательский центр,
реализующий дорожную карту по «сквозной» цифровой технологии
«Технологии виртуальной и дополненной реальности»,
Самара, anton.ivashenko@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЛКОЙ МОТОРИКИ РУК В ПРИЛОЖЕНИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

Статья посвящена проблеме моделирования движения рук как части интеллектуального решения для медицинской и социальной реабилитации, основанного на реализации виртуальной реальности с тактильной обратной связью. Предложенная математическая модель используется для съема движения траектории пальцев кисти и воспроизведения движения суставов в виртуальном пространстве. Реализация модели позволяет воспроизводить и визуализировать действия рук пациента в среде виртуальной реальности.

Ключевые слова: *виртуальная реальность, моделирование мелкой моторики рук, нейрореабилитация.*

Применение технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) является перспективным направлением развития медицинской и социальной реабилитации. Современные пользовательские интерфейсы способны имитировать высоко-реалистичные сцены, помогающие пациентам в процессе адаптации и восстановления здоровья. Особенно это требуется для психологической реабилитации, направленной на преодоление мысли о невозможности добиться положительного результата каким-либо лечением.

В данной статье представлен программно-аппаратный комплекс, основанный на применении технологии VR/AR для решения задачи восстановления функции кисти и пальцев рук. Важным компонентом решения является математическая модель руки, предназначенная для съема движения траектории пальцев кисти и воспроизведения движения суставов в виртуальном пространстве.

Восстановление мелкой моторики рук является сложной и актуальной задачей нейрореабилитации [1]. Как правило, подобные двигательные нарушения возникают в результате последствий инсульта, причем восстановление функции верхней конечности происходит в более поздние сроки, часто оставаясь единственной причиной инвалидности. Повторяющиеся и интенсивные тренировки с использованием виртуальных стратегий и интерактивной визуализации с обратной связью ускоряют восстановление.

В то же время возможности решения этой проблемы остаются ограниченными из-за высокой стоимости специализированного оборудования и отсутствия методики обучения, учитывающей индивидуальные особенности пациентов. Кроме того, среди существующих робототехнических технологий восстановления верхней конечности недостаточно методов, направленных на восстановление дистальных отделов руки, кисти и пальцев.

Для решения этой проблемы в настоящее время используются сенсорные перчатки [2, 3]. Этот метод интересен пациенту, повышает мотивацию к реабилитации за счет вовлечения его личности. Данные наблюдений свидетельствуют о том, что восстановление мелкой моторики руки резко увеличивает уровень использования паретической конечности, что, в свою очередь, улучшает функциональное восстановление.

Реализация сцен виртуальной реальности [4, 5] также открывает новые возможности для вовлечения пользователя в процесс реабилитации. Позиционное отслеживание фиксирует положение руки в пространстве и в то же время меняет сцену виртуальной реальности в VR

очках в зависимости от позы человека. Рекомендуется использовать виртуальную реальность с тактильной обратной связью, а также оптические и резистивные системы слежения. Сочетание процесса реабилитации и тактильной биологической обратной связи позволяет добиться положительного реабилитационного результата.

Кроме этого, двигательные навыки, полученные при обучении в дополненной реальности, должны быть перенесены в реальную среду [6 - 8]. Для этого необходимо воспроизводить движения пользователя в виртуальном пространстве с помощью специализированных моделей. Вибротактильная обратная связь также хорошо воспринимается пользователями [9] и помогает повысить эффективность решения.

Для разработки модели движения руки, способной решать реабилитационные задачи, была использована концепция иммерсивной виртуальной реальности [10]. Эта реальность генерируется в сознании человека в процессе взаимодействия со сложными техническими системами, например, средой виртуальной реальности. Данная концепция предполагает чувственно оформленное пространство, в котором действует человеческая воля, воплощенная в одном из образов виртуальной реальности. В результате компьютерная иммерсивная виртуальная реальность характеризуется такими свойствами как интенсивность, интерактивность, погружение, иллюстративность и интуитивность.

Отслеживание движения руки – это подобласть распознавания образов, используемая для фиксации пространственного положения пальцев и построения их высокоточных трехмерных отображений в реальном времени.

Моделирование реалистичного движения руки в виртуальном пространстве достигается за счет объединения трекинга пальцев с определением их пространственного положения. Основное требование к модели состоит в обеспечении естественного изменения трехмерной картины, которое интуитивно воспринимается пациентом как адекватное.

В качестве оценки функционального состояния модели руки, как правило, используются некоторые результирующие показатели движения:

- расстояние между кончиками пальцев и ладонью при максимально возможном сгибании пальцев;
- расстояние между кончиками большого и указательного пальцев, когда они сомкнуты,
- результирующая сила захвата и т.д.

Биомеханические параметры для исследования движений отдельных суставов пальцев с целью получения численных оценок их патологического состояния включают:

- углы отведения большого пальца и мизинца;
- объем движений в запястье и пястном суставе большого пальца;
- объем движений в плюсне-фаланговых суставах;
- углы сгибания всех пальцев;
- угол сгибания лучезапястного сустава.

С учетом этих особенностей была разработана кинематическая модель руки (см. Рис. 1). Данная модель может использоваться как для воспроизведения движения пальцев в трехмерной среде, так и собственно для их визуализации. В процессе полной или частичной визуализации виртуальные руки являются аватаром пользователя и создают эффект присутствия.

Моделирование перемещения фаланг пальцев рук при их типовых движениях производится путем манипулирования определенными коэффициентами, характеризующими углы между фалангами (см. Рис. 3). Информация о текущих координатах фаланг поступает от соответствующих датчиков сенсорной перчатки и преобразуется в углы поворота. Эти углы применяются к модели руки, после чего смоделированная рука начинает перемещаться в среде виртуальной реальности, идентично реальной руке, с которой берутся данные.

Предлагаемое решение позволяет достичь точности и адекватности движений, достаточных для удовлетворения требований приложений медицинской реабилитации.

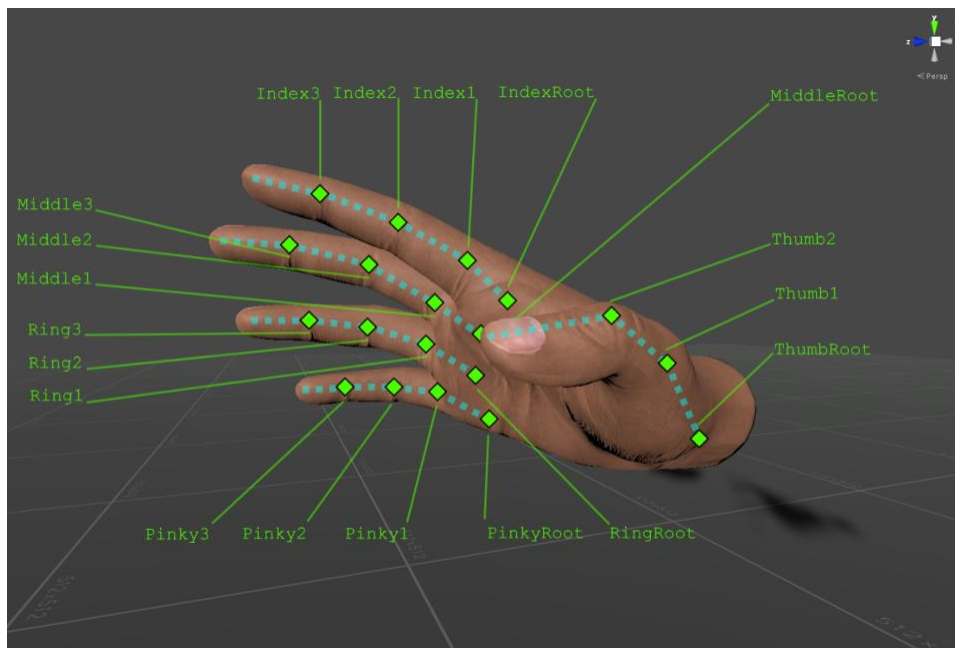


Рис. 1 - Модель руки в трехмерном пространстве



Рис. 2 - Результат моделирования движений пальцев

Для проведения реабилитации с использованием разработанного комплекса была предложена методика, состоящая из двух тестов. Все действия выполняются на специально сконструированном стенде (см. Рис. 3) при записи ЭЭГ. Испытуемый сидит прямо перед столом (руки при этом располагаются на столе ладонями вниз).

Первое упражнение проводится для контрольного анализа и содержит операции, выполняемые без устройства виртуальной реальности: субъект видит физические прототипы объектов. Алгоритм движения предусматривает перемещение заданного объекта с подставки в помеченную зону.

Второе упражнение выполняется с использованием технологии реабилитации. Субъект надевает шлем виртуальной реальности и наблюдает трехмерные модели объектов, размещенных на стенде, а также свои руки.



Рис. 3 - Стенд виртуальной реальности для нейрореабилитации

Предлагаемое решение позволяет достичь точности и адекватности движений, достаточной для удовлетворения требований приложений медицинской реабилитации.

Благодарности

Результаты получены в рамках реализации программы деятельности Лидирующего исследовательского центра, реализующего дорожную карту по «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности» при финансовой поддержке Минкомсвязи России и АО "РВК" (Договор о предоставлении гранта №003/20 от 17.03.2020 г., идентификатор соглашения о предоставлении субсидии - 0000000007119P190002).

Список литературы

1. Aramaki A., Sampaio R., Reis D., Cavalcanti A., Silva e Dutra F. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review // *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 77. – 2019. - pp. 268 – 278
2. Borja E.F., Lara D.A., Quevedo W.X., Andaluz V.H. Haptic stimulation glove for fine motor rehabilitation in virtual reality environments // *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics LNCS*, 10851. – 2018. - pp. 211 – 229
3. Rajendran D., Da R., Torres V., Hu Z., Ramalingame R., Al-Hamry A., Kanoun O. Electronic motion capture glove based on highly sensitive nanocomposite sensors // *16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD'19)*. – 2019. - pp. 494 – 497
4. Tieri G., Morone G., Paolucci S., Iosa M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies // *Expert Review of Medical Devices*, 15:2. – 2018. - pp. 107 – 117
5. Virtual and Augmented reality: concepts, methodologies, tools and applications. Information resources management association, IGI Global USA, 2018, 1845 p.
6. Liu J., Mei J., Zhang X., Lu X., Huang J. Augmented reality-based training system for hand rehabilitation". *Multimedia Tools and Applications*, 76(13). – 2017. - pp. 14847 – 14867
7. Hossain M.S., Hardy S., Alamri A., Alelaiwi A., Hardy V., Wilhelm C. AR-based serious game framework for post-stroke rehabilitation // *Multimedia Systems*, 22. – 2016. - pp. 659 – 674
8. Condino S., Turini G., Vigliani R., Gesi M., Ferrari V. Wearable augmented reality application for shoulder rehabilitation // *Electronics*, 8, 1178. – 2019. - pp. 1 – 16
9. Vigliani R.M., Condino S., Turini G., Carbone M., Ferrari V., and Gesi M. Review of the augmented reality systems for shoulder rehabilitation // *Information*, 10, 154. – 2019. - pp. 1 – 14
10. Fong J., Ocampo R., Tavakoli M. Intelligent robotics and immersive displays for enhancing haptic interaction in physical rehabilitation environments // *Haptic Interfaces for Accessibility, Health, and Enhanced Quality of Life*. – 2020. - pp. 265 – 297