

Список использованных источников

1. Granular osteoconductive biopolymer and predictive analysis of its physical property changes in maxillofacial surgery. Alekseev D.G., Slesarev O.V., Malchikova D.V., Belanov V.G., Maksimenko N.A., Platonov V.I., Abdullaev R.B. Computational and Structural Biotechnology Journal. 2025. Т. 29. С. 166-176.

Беланов Вячеслав Геннадьевич, аспирант каф. челюстно-лицевой хирургии и стоматологии СамГМУ, slava.belanov@inbox.ru

Слесарев Олег Валентинович, д.м.н, профессор каф. челюстно-лицевой хирургии и стоматологии СамГМУ, o.slesarev@gmail.com

УДК 621.3.087.4; 617.57-77

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ 2D-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ С ТАКТИЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ ПРОТЕЗОВ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

Ш.М. Мангушев

Казанский национальный исследовательский технический университет им.
А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань

Ключевые слова: бионические протезы, ультразвуковая локализация, тактильная обратная связь.

Современные бионические протезы верхних конечностей лишены полноценной сенсорной обратной связи, что вынуждает пользователя постоянно контролировать процесс зрительно и повышает когнитивную нагрузку [1]. Восстановление сенсорной петли через технологию захватательной локализации позволяет интуитивно наводить протез [2]. Оптические системы локализации зависят от освещения и требуют больших ресурсов [3], поэтому предпочтительны ультразвуковые технологии, которые нечувствительны к свету, точны и экономичны [4].

Целью настоящей работы является разработка системы 2D-локализации объекта с помощью ультразвука (УЗ) с тактильной обратной связью для протезов. В качестве метода выбрана трилатерация по времени пролёта. Конфигурация: один ультразвуковой излучатель и два разнесённых приёмника на ладони протеза. Система определяет двумерные координаты точки отражения от поверхности объекта. Анализ временных задержек на двух приёмниках позволяет не только обнаружить объект, но и подавить боковые помехи за счёт пространственной фильтрации.

Скорость звука в воздухе зависит от температуры, в диапазоне 20±5 °С отклонение скорости может достигать 0,87 %, что вносит ошибку в измерение дальности порядка 2 мм на рабочей дистанции 0,15 м [5]. Эта погрешность меньше ошибок от многолучевого распространения и может быть скомпенсирована алгоритмически. Многолучевость подавляется

временными воротами и алгоритмами выделения первого вхождения. Благодаря малой рабочей дистанции прямой путь остаётся кратчайшим.

Сравнение методов локализации объектов с помощью УЗ показало, что трилатерация с двумя приёмниками оптимальна благодаря низкой вычислительной сложности, возможности фильтрации ложных целей и полному размещению на протезе без внешней инфраструктуры [4].

Патентно-литературный обзор выявил отсутствие комплексных решений, интегрирующих ультразвуковую локализацию и тактильную обратную связь в протезах. Системы для мобильных роботов точны, но требуют внешних передатчиков [4]. Медицинские патенты ориентированы на наведение инструментов, а не на интеграцию в протез.

Тактильный интерфейс преобразует координаты объекта в паттерны вибрации, передаваемые на культю. Используется биомиметическое кодирование, имитирующее работу естественных механорецепторов кожи, что обеспечивает более естественное восприятие [6]. Вибромоторы размещаются в гильзе протеза. Частота обновления тактильного рендеринга должна быть не менее 1 кГц для формирования плавных ощущений [7]. Полная задержка в сенсомоторной петле не должна превышать 100 мс [8]. Дальнейшие исследования показывают, что замкнутый контур управления с одновременной тактильной и позиционной обратной связью повышает эффективность распознавания объектов [9].

На основе анализа функциональной зоны протеза [10] определены геометрические параметры системы:

- рабочая зона: дальность до 0,15 м, угол обзора не менее $\pm 45^\circ$;
- разрешение: не более 2 см по дальности и 2,5 см по боковому смещению;
- частота обновления координат: 5–10 Гц.

Таким образом, разработана концепция системы 2D-ультразвуковой локализации объектов для протезов верхней конечности, объединяющая позиционирование пассивных объектов и тактильную обратную связь. Система решает проблему отсутствия сенсорной обратной связи на этапе наведения, переводя низкоуровневые координаты точки отражения в интуитивное направленное ощущение, что позволяет пользователю корректировать положение кисти без постоянного визуального контроля. Дальнейшие этапы включают создание макета и экспериментальную оценку точности позиционирования и эффективности тактильного кодирования.

Список использованных источников

1. Kuiken T.A., Li G., Lock B.A., Lipschutz R.D., Miller L.A., Stubblefield K.A., Englehart K.B., Targeted muscle reinnervation for real-time myoelectric control of multifunction artificial arms. – JAMA. – 2009. – Vol. 301, No. 6. – P. 619–628.

2. Уразбахтина Ю.О., Камалова К.Р., Морозова Е.С. Бионические протезы верхних конечностей: сравнительный анализ и перспективы использования. – Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 1(115), Ч. 2. – С. 125–129.
3. Li C., Wang X. Visual Localization and Object Tracking for the NAO Robot in Dynamic Environment. – Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Automation. – 2016. – P. 1044–1049.
4. Kim S.J., Kim B.K. Dynamic Ultrasonic Hybrid Localization System for Indoor Mobile Robots. – IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2013. – Vol. 60, No. 10. – P. 4562–4573.
5. Wong G.S.K. Speed of sound in standard dry air. – The Journal of the Acoustical Society of America. – 1986. – Vol. 79, No. 5. – P. 1359–1366.
6. Valle G., Mazzoni A., Iberite F., et al. Biomimetic intraneural sensory feedback enhances sensation naturalness, tactile sensitivity, and manual dexterity in a bidirectional prosthesis. – Neuron. – 2018. – Vol. 100, No. 1. – P. 37-45.e7.
7. Ajayi O.K., Du S., Nahri S.N.F. A review of haptic technologies for hardware-in-the-loop development. – Sensors and Actuators Reports. – 2025. – Vol. 9. – P. 100331.
8. Raspopovic S., Capogrosso M., Petrini F.M., et al. Restoring natural sensory feedback in real-time bidirectional hand prostheses. – Science Translational Medicine. – 2014. – Vol. 6, No. 222. – P. 222ra19.
9. D'Anna E., Valle G., Mazzoni A., et al. A closed-loop hand prosthesis with simultaneous intraneural tactile and position feedback. – Science Robotics. – 2019. – Vol. 4, No. 27. – P. 1-13.
10. Ramírez-García A., Leija L., Muñoz R., Active upper limb prosthesis based on natural movement trajectories. – Prosthetics and Orthotics International. – 2010. – Vol. 34, No. 1. – P. 58-72.

Науч. рук.: Бобина Е. А., к.т.н., доцент каф. ЭКСПИ, КНИТУ-КАИ.
Мангушев Шамиль Маратович, студ. каф. ЭКСПИ, 2003mshamil1@gmail.com

УДК 543.424.2; 004.93

ВЛИЯНИЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРОВ РАМАНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ОБРАЗЦОВ

А.А. Мельникова, Ю.А. Христофорова
«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: спектры рамановского рассеяния, отношение сигнал/шум, метод асимметричных наименьших квадратов, восстановление спектров.

Рамановская спектроскопия или спектроскопия комбинационного рассеяния – это метод молекулярной спектроскопии, основанный на явлении неупругого рассеяния света, который позволяет получить представление о молекулярной структуре образца или его характеристиках