

В.В. Желонкин, И.Д. Шабалин, Е.С. Полынцев, Е.С. Шандаров

Разработка модуля-сопряжения нейрокомпьютерного интерфейса для управления мобильными роботами

Описаны методы, примененные в разработке устройства для сопряжения нейрокомпьютерного интерфейса с различными робототехническими платформами для последующего получения доступа к их управлению.

Ключевые слова: робототехника, нейрокомпьютерный интерфейс, устройство ввода, человеко-машинное взаимодействие.

Нейрокомпьютерный интерфейс (НКИ) – перспективное устройство ввода информации, способное преобразовывать электрические сигналы клеток головного мозга в управляющий сигнал. Принципы работы НКИ основаны на снятии электроэнцефалограммы (ЭЭГ) оператора. Компьютер обрабатывает сигналы ЭЭГ оператора в настоящий момент времени и производит сравнение с набором предварительно записанными и обработанными состояниями. В результате приемник получает управляющий сигнал для переключения работы различных функций.

Образовательные учреждения РФ активно используют робототехническое оборудование разных типов для изучения робототехники. Также в последнее время школы активно покупают нейронные интерфейсы для использования в том числе в проектной деятельности. Представляется интересной задача управления робототехническими комплексами с помощью НКИ [1, 2]. Тем не менее на сегодня нет стандартных средств сопряжения НКИ и популярных комплексов образовательной робототехники [3, 4].

Основной целью новой разработки является создание устройства для сопряжения НКИ с образовательными робототехническими платформами. Данное устройство, выступая в качестве посредника, должно обеспечивать подключение и управление робототехническими платформами, используемыми для образовательных целей в учебных учреждениях.

Реализация. Аппаратное обеспечение

Основываясь на списке элементов, необходимых для соединения НКИ и робота, и их характеристик, были определены интерфейсы для сопряжения элементов в единую систему.

Список элементов, входящих в архитектуру:

- модуль НКИ;
- станция распознавания;
- модуль сопряжения;
- платформы образовательной робототехники.

В качестве модуля НКИ в данной работе использовалась 8-канальная нейрогарнитура беспроводной регистрации ЭЭГ данных человека на сухих (безгелевых) активных электродах – NeuroPlay 8Cap (рис. 1).

Данный модуль является продуктом российской компании ООО «Нейроботикс». NeuroPlay 8Cap может обрабатывать до 8 различных состояний сознания. Подключение к станции распознавания происходит через Bluetooth 4.0.

Станция обработки

В роли станции распознавания выступает ПК с установленным ПО Cortex.

Устройство приема управляющих сигналов:

- платформы Lego Mindstorms NXT/EV3,
- семейство микроконтроллеров Arduino,
- человекоподобный робот NAO.



Рис. 1. NeuroPlay 8Cap

Робот NAO (рис. 2) – продукт французской компании SoftBank Robotics. В образовательной сфере в основном используется как робот-помощник или робот-консультант [5, 6].



Рис. 2. Робот NAO

Архитектура аппаратно-программного комплекса

Архитектура аппаратно-программного взаимодействия разделяется на две рабочие зоны – рабочая зона оператора и рабочая зона робота (рис. 3).

В рабочей зоне оператора располагается станция распознавания в виде ПК с предустановленным набором программ и непосредственно самого оператора. К оператору подключается модуль НКИ, который с помощью электродов снимает показания ЭЭГ. Получаемые ЭЭГ передаются по беспроводной связи Bluetooth от НКИ к ПК. Сырые данные ЭЭГ преобразуются с помощью ПО Cortex. На выходе Cortex выдает определенный номер команды (соответствующий полученному набору ЭЭГ) для управления мобильным роботом.

Далее команды направляются веб-серверу для последующей передачи модулю сопряжения по беспроводной сети путем протокола TCP / IP. Также следует отметить, что для лучшего контроля определенных состояний сознания на станции распознавания воспроизводятся аудиовизуальные стимулы [7]. Данные стимулы способны вызывать у оператора конкретные эмоции, привязанные к определенным командам для управления роботом.

В рабочей зоне находятся модуль сопряжения и выбранная оператором для управления робототехни-

ческая платформа. Модуль сопряжения подключается к сети Wi-Fi для удаленного подключения к станции распознавания и получения команд. Модуль получает команды, обрабатывает и отправляет роботу по специфицированному интерфейсу. Для роботов специфицированы следующие интерфейсы: для Nao – HTTP; для Lego Mindstorms – Bluetooth; для Arduino – UART. Для стабильного подключения рекомендуется располагать модуль сопряжения в непосредственной близости с роботом.

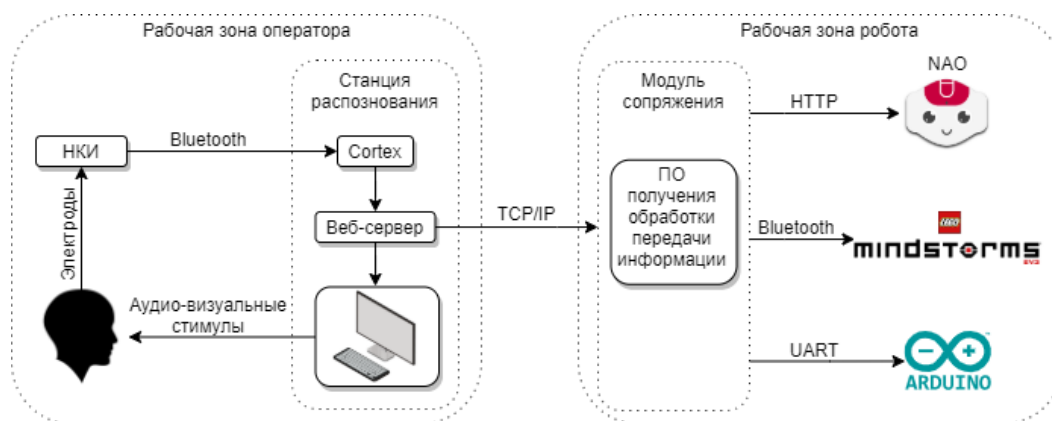


Рис. 3. Разработанная архитектура

Модуль сопряжения

Модуль сопряжения был разработан на базе микрокомпьютера Raspberry Pi 3 Model B (рис. 4).

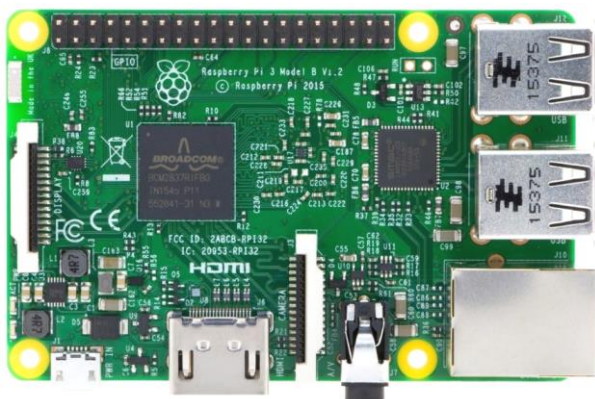


Рис. 4. Raspberry Pi 3 Model B

Результатом разработанного модуля является расширение платы Raspberry Pi, оснащения микрокомпьютера Li-Po аккумулятором, платой для зарядки устройства через micro-USB, переключателями управления питания и выходами для интерфейсов I2C, SPI, USB и Ethernet. Модуль размещен в пластиковый корпус (рис. 5) распечатанный на 3D-принтере по технологии PLA.

Технические характеристики устройства:

- размер: 110×75×45 мм;
- ёмкость аккумулятора: 3500 мАч;
- время работы без подзарядки: 1 ч;
- интерфейсы: USB 2.0, UART, Ethernet, I2C;
- масса: 207 г.



Рис. 5. Экспериментальный образец модуля сопряжения

Веб-интерфейс

Для успешного опыта взаимодействия пользователя с НКИ, как правило, применяются стимуляции состояний сознания. Наиболее популярные методы стимуляции заключаются в помещении оператора в окружение с аудиовизуальной средой. Данная среда должна помогать пользователю фиксировать конкретное эмоциональное состояние для записи и воспроизведения необходимого состояния сознания.

В рамках данной разработки стимуляция пользователя производится через веб-интерфейс, на котором демонстрируются изображения с целью вызвать у оператора то или иное эмоциональное состояние. На рис. 6 продемонстрирован вариант веб-интерфейса для взаимодействия с роботом NAO. Данный вариант предлагает управление перемещением робота с помощью 4 базовых команд. К каждой команде привязана картинка, рассчитанная на стимуляцию вызова у оператора определенного состояния сознания.

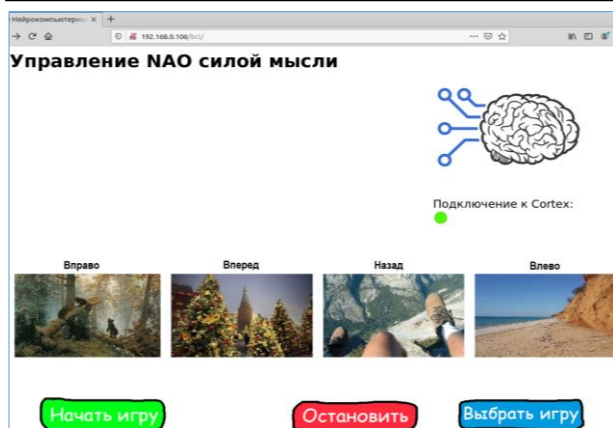


Рис. 6. Веб-интерфейс для управления роботом NAO через НКИ

Испытания

Испытания проводились в лабораторных условиях. В качестве операторов выступали три сотрудника лаборатории. В условиях малой выборки испытуемых выявлены следующие критерии для работы с НКИ:

- Из трех операторов, только двое смогли добиться стабильной фиксации 4 различных состояний сознания.
- Для использования пользователем больше 3 состояний сознания (следовательно, более 3 управляющих команд) необходимы дополнительные тренировки концентрации внимания.
- Время, необходимое для переключения концентрации оператора между различными состояниями: 2–5 с.
- Задержка в передаче сигнала от НКИ к управляемому устройству (0,5–1 с).

Исходя из приведенных выше результатов, можно сделать вывод что возможность и скорость работы с НКИ является персональной для каждого оператора. Для каждого оператора существует персональный критерий умения концентрировать внимание. Также существенный вклад вносит корректный подбор персональных аудиовизуальных стимулов.

Пример считываемых сигналов ЭЭГ показан на рис. 7.

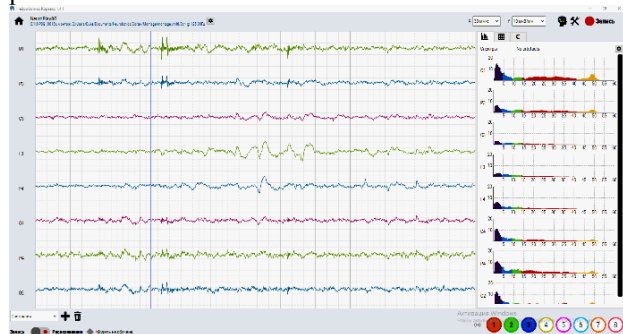


Рис. 7. Интерфейс ПО Cortex

Заключение

В результате разработки было спроектировано и создано устройство, позволяющее применять модули НКИ для управления робототехническими платформами, такими как Arduino, Lego Mindstorms и NAO. Данный модуль предусмотрен как образовательная модель использования НКИ совместно с образовательными робототехническими платформами.

Можно выделить примеры практического применения устройства:

- управление перемещением мобильного робота с помощью НКИ;
- управление устройствами со встраиваемыми системами на базе Arduino с помощью НКИ;
- управление сценариями и другие взаимодействия с роботом NAO.

Литература

1. Медведев Д.А. Через 10 лет количество профессий, которых сейчас не существует [Электронный ресурс]. – <https://worldskills.ru/media-czentr/novosti/dmutrui-medvedev-cherез-10-let-koluchestvo-professui-kotorih-seichas-ne-syshest-vuet-ydvoutsya-ulu-ytroutsya.html> (дата обращения: 17.11.2020).
2. Levine S.P. et. al. A direct brain interface based on event-related potentials // IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering. – 2000. – Vol. 8, No. 2. – P. 180–185.
3. Богачёва Р.А. Нейропилотирование в образовательной робототехнике: теория и практика // Гуманитарная информатика. – 2016. – № 11. – С. 34–42.
4. Фоменков С.А. и др. Управление мобильным роботом посредством сигналов головного мозга // Молодой ученый. – 2015. – № 17. – С. 280–284.
5. Климов А.А. и др. Система управления приложениями для социального робота // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Томск: В-Спектр, 2019. – № 1-2. – С. 108–110.
6. Желонкин В.В. и др. Использование нейрокомпьютерного интерфейса и социального робота в образовании // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР. – 2020. – Т. 1. – С. 306–312, 220.

Желонкин Владимир Владиславович

Студент каф. ФЭ ТУСУР)

Эл. почта: vladimirposelencev@gmail.com

Шабалин Илья Дмитриевич

Студент каф. ЭП ТУСУРа

Эл. почта: shabalin_ilya_omu@mail.ru

Полынец Егор Сергеевич

Аспирант каф. полупроводниковой электроники НИ ТГУ

Эл. почта: egoleo@mail.ru

Шандаров Евгений Станиславович

Зав. лаб. робототехники и искусственного интеллекта,

ст. преп. каф. ЭП ТУСУРа

Эл. почта: evgenyshandarov@gmail.com