

An effective algorithm for predicting human fatigue using a portable Brain-Computer Interface



Ажогин К. Э., Шевченко М. Г.,
Щербань И. В.
Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия.
DLSP-2024, Москва, 21 июня 2024



Цель: Эффективное использование технологии портативных интерфейсов «мозг-компьютер» (ИМК) для мониторинга состояния человека-оператора.



Задачи:

1

Синтез алгоритма расчёта дискриминативных признаков для прогноза по измерениям портативных ИМК усталости человека-оператора, робастных к помехам от его двигательной и идеомоторной активности, мускульной активности или глазных движений.

2

Проверка эффективности синтезируемых признаков в задаче прогноза усталости с использованием модели нейронной иерархической интерполяции N-NiTS.

Мониторинг состояния операторов ответственных технологических процессов



Оператор реактора атомной электростанции

Оператор командного пункта противовоздушной обороны сухопутных войск

Авиадиспетчер

Водители-экспедиторы и водители, перевозящие грузы на дальние расстояния

Своевременное обнаружение усталости, стресса или монотонии человека-оператора помогает предотвратить возможные происшествия и обеспечивает гарантированное выполнение важных задач.

Важные задачи:

Оператор реактора атомной электростанции

- обеспечение бесперебойной и экономичной работы, контроль за показаниями средств измерений, работой автоматических регуляторов и сигнализации, ликвидацию аварийных ситуаций;
- загрузку реакторов свежим топливом и выгрузку отработанного топлива из реакторов;
- контроль за работой оборудования по показаниям средств измерений и сигнализации;
- контроль за режимом тепловых сетей, выдерживанием температурного графика источниками теплоснабжения.

Оператор командного пункта противовоздушной обороны сухопутных войск:

- развертывание, подготовка к включению и включение аппаратуры, осуществление предбоевого контроля, настройка индикаторных устройств;
- боевая работа по обнаружению воздушных целей, в ходе которой производится изменение режимов работы радиолокатора обзора (РЛО), контроль работы индикаторного устройства, назначение режима работы РЛО, управление работой радиолокационного запросчика, ручной "съем" координат в сложной помеховой обстановке или работа в режиме автоматического "съема" данных и передача информации по линии командной связи;
- выключение аппаратуры, свертывание и подготовка к маршу;
- совершение марша.

Авиадиспетчер

- взаимодействие с экипажем воздушного судна;
- инструктаж пилотов;
- координирование действий с диспетчерами из смежных зон ответственности;
- отслеживание хода полетов с помощью радаров;
- взаимодействие с метеослужбами и использование информации о погоде для управления воздушными судами;
- выдача разрешений на взлет или посадку;
- определение очередности захода на посадку;
- составление сводного суточного плана полетов;
- информирование пилотов об изменении маршрута полета.

Водитель-экспедитор

- Приемка груза, сверка комплектности груза, оценка состояния упаковки и качества ее сборки;
- Проверка технического состояния машины;
- Контроль процесса погрузки, разгрузки;
- Обеспечение хранения и сохранности груза.

Решение проблемы прогноза функционального состояния человека-оператора по измерениям его электроэнцефалограммы (ЭЭГ) за счет использования портативных ИМК.



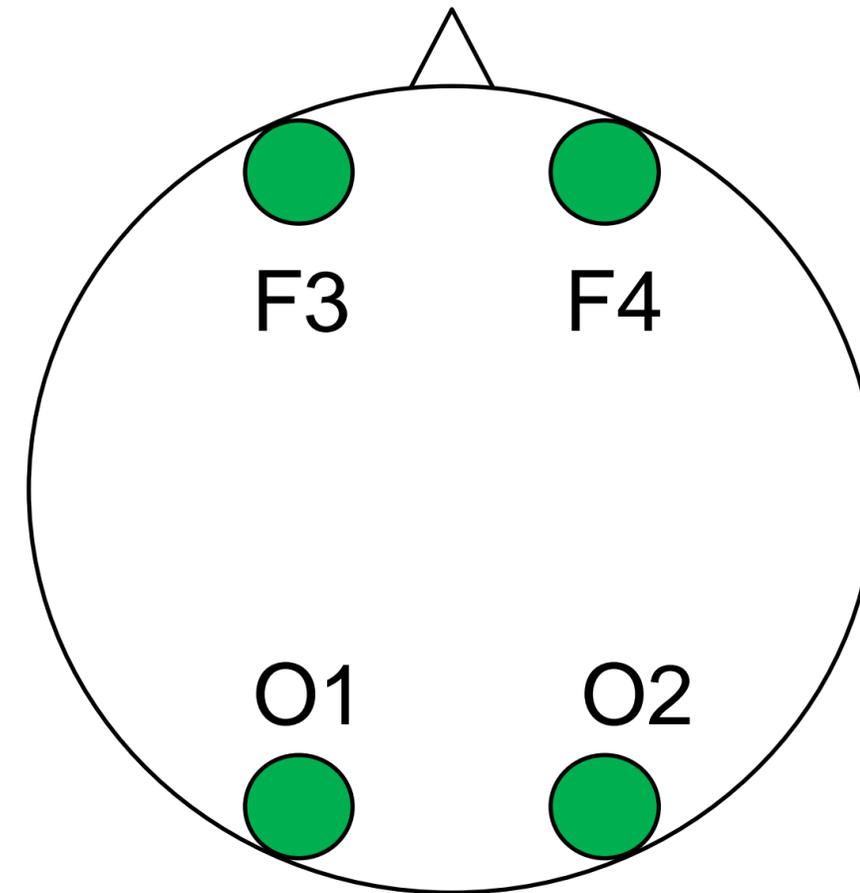
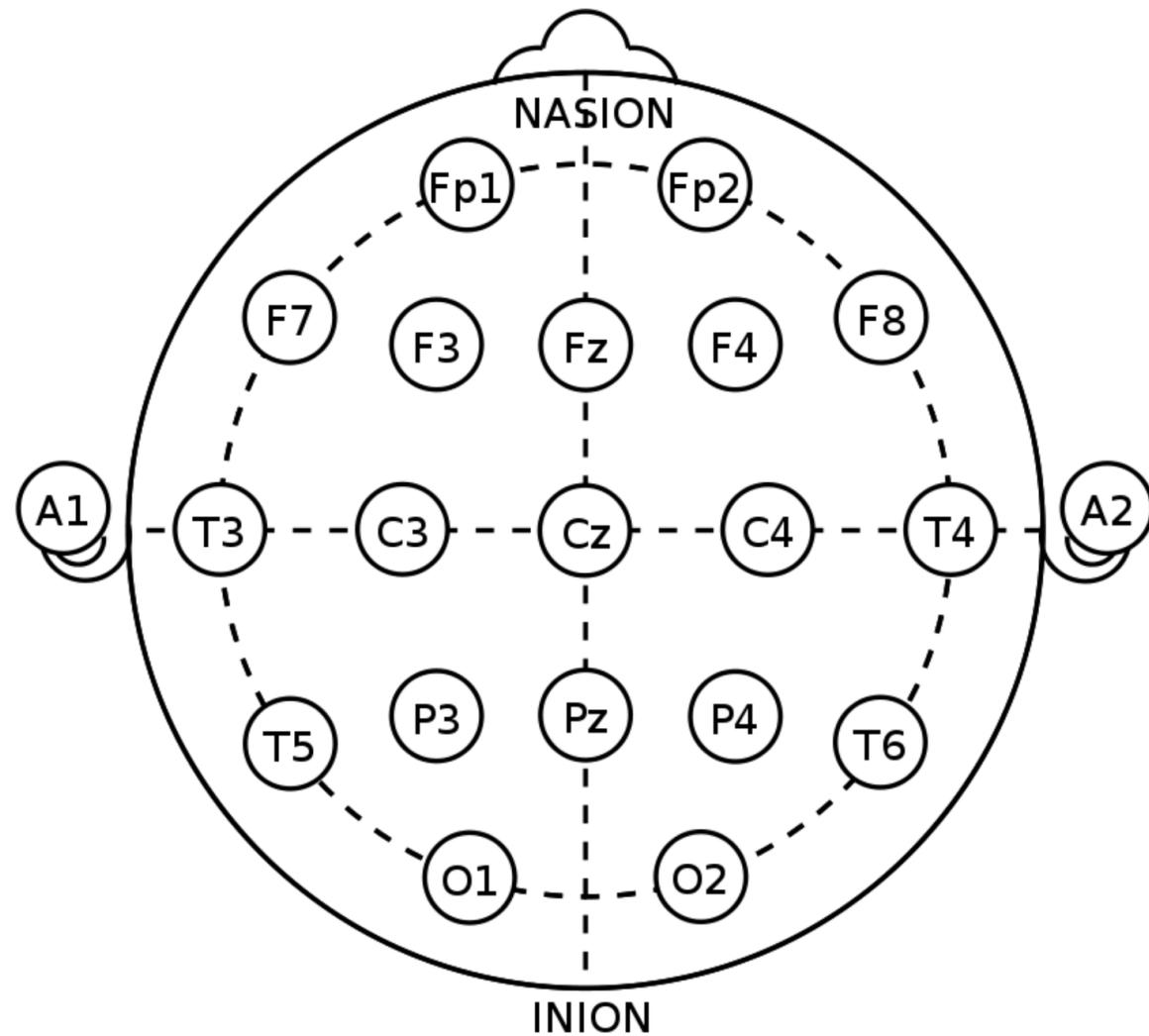
Muse 2 Headband.
Нейро-обруч
4 канала

Гарнитура EMOTIV Insight
5 каналов

NEUROPLAY-6C 6
каналов

Юный нейрофизиолог-
инженер
НЕЙРОГАРНИТУРА
8 каналов

Сравнение полноценной стандартной системы размещения электродов на поверхности головы с портативным интерфейсом мозг-компьютер (ИМК).



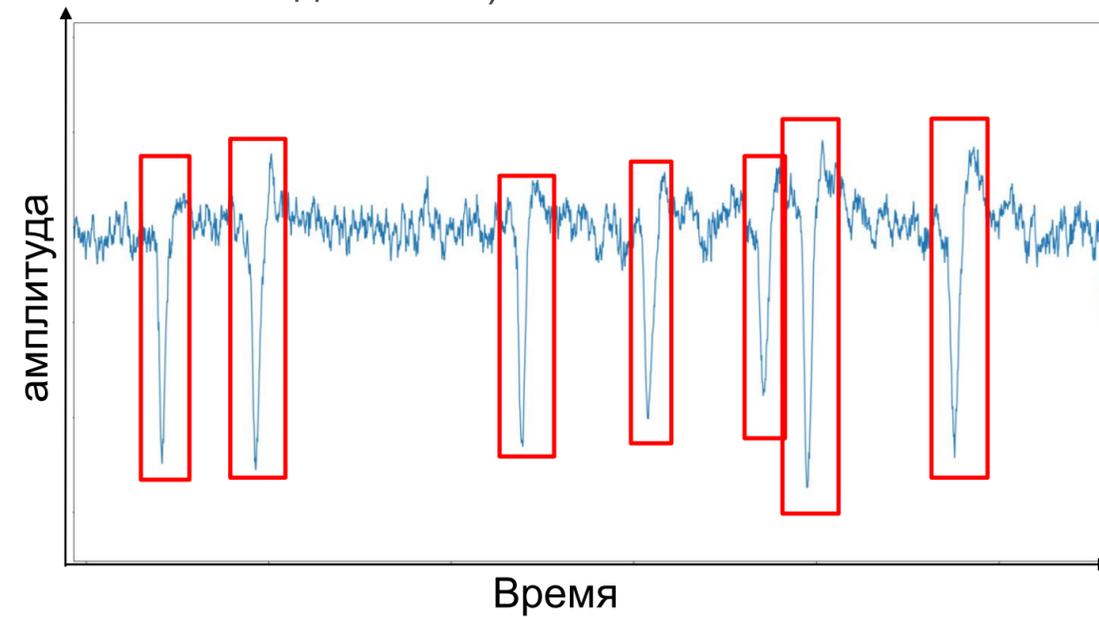
Система 10-20

Используемая система

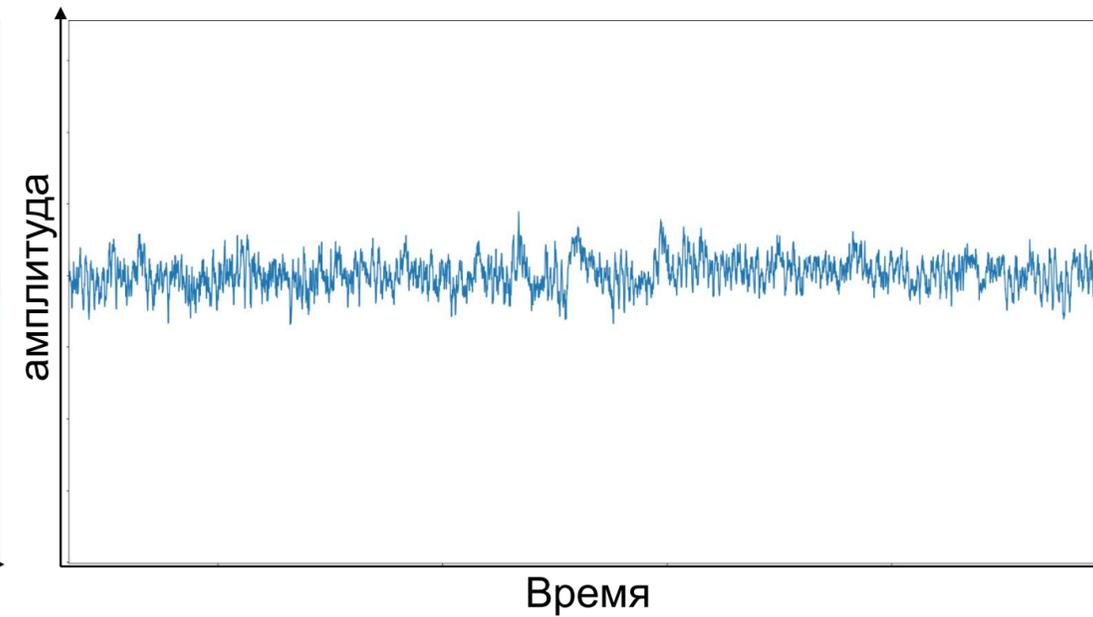
Проблемы, связанные с регистрацией ЭЭГ мозга человека-оператора



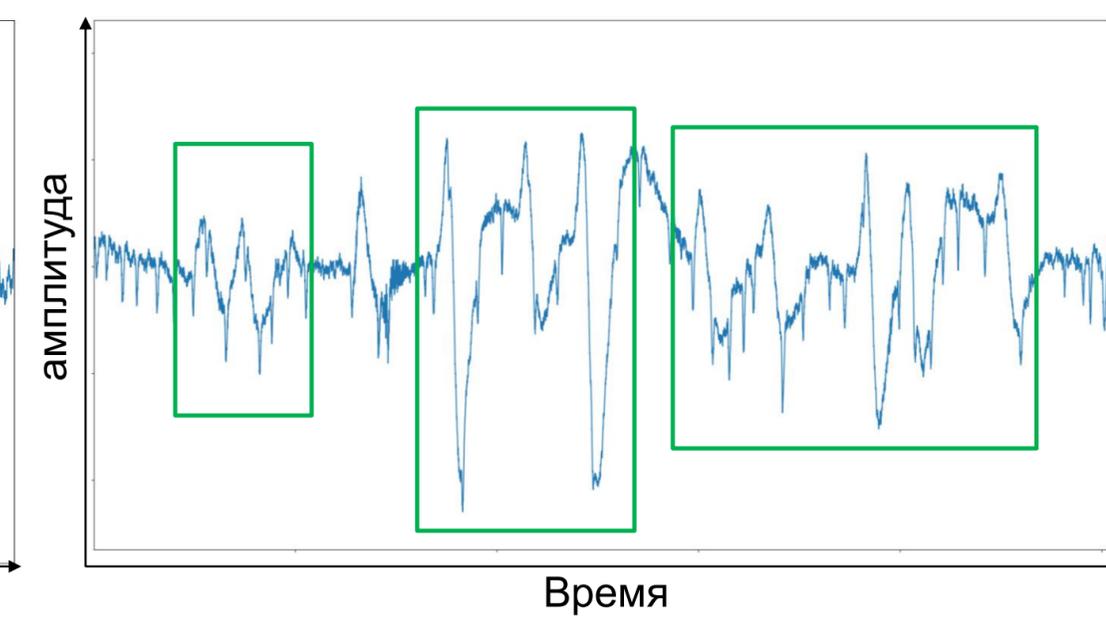
- Использование сокращенного числа отведений ЭЭГ не позволяет обеспечить полноценный анализ биоэлектрической активности мозга;
- Зашумление сигналов вследствие двигательной и идеомоторной активности человека-оператора (мышечной активности или глазных движений)



Артефакты вызванные глазными движениями (морганием) сигнал записанный в спокойном состоянии.

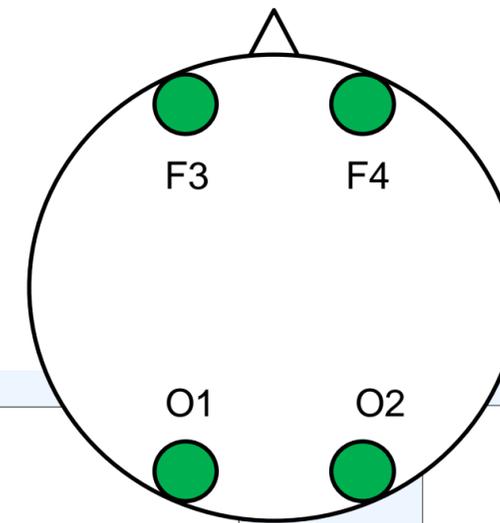


Сигнал записанный при закрытых глазах в спокойном состоянии.

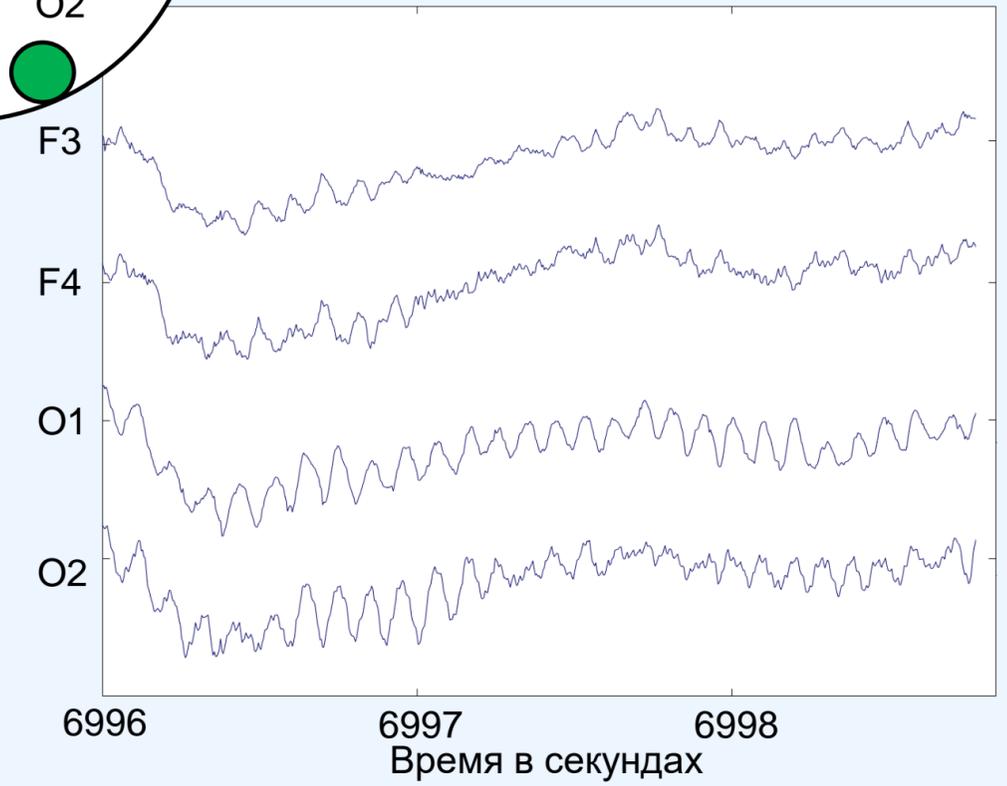
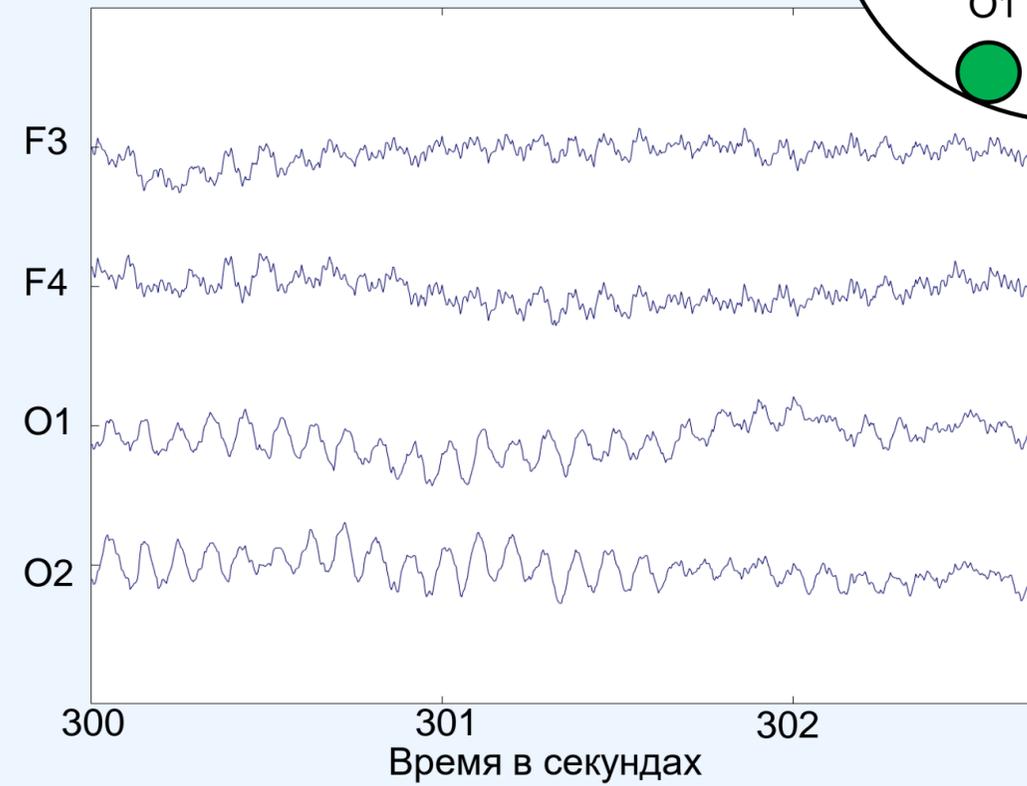
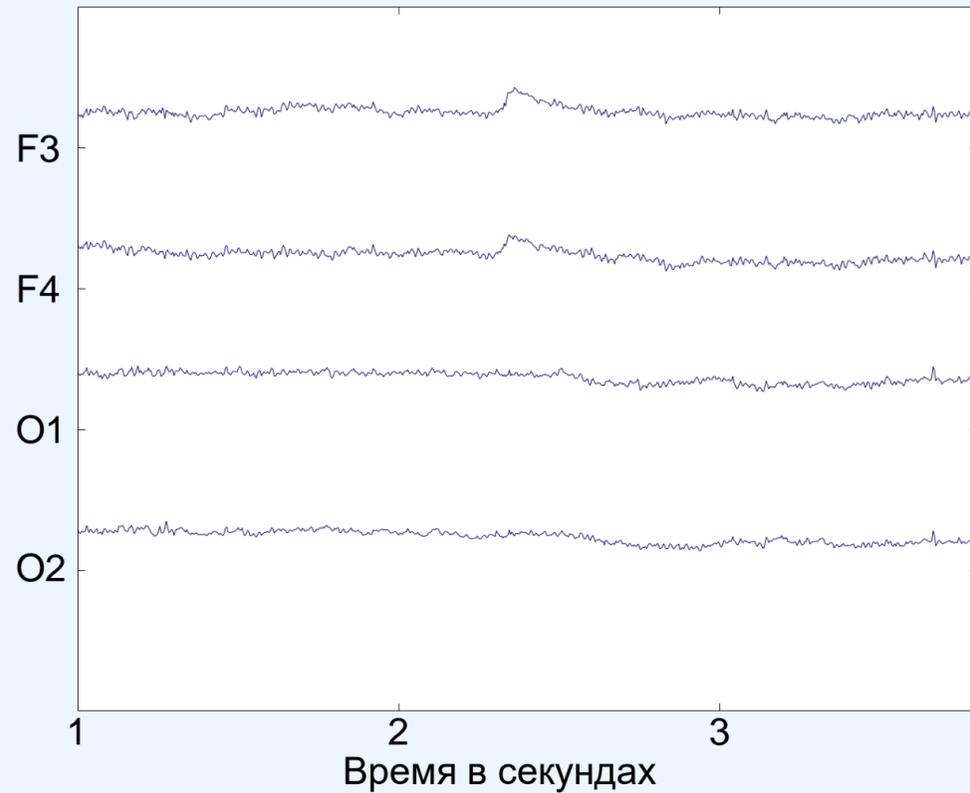


Артефакты вызванные мышечной активностью и глазными движениями (морганием)

Электрографические корреляты увеличения уровня усталости



система
размещения
электродов



Начало эксперимента.
Десинхронизация, активное
бодрствование.
Высокочастотный
низкоамплитудный сигнал.

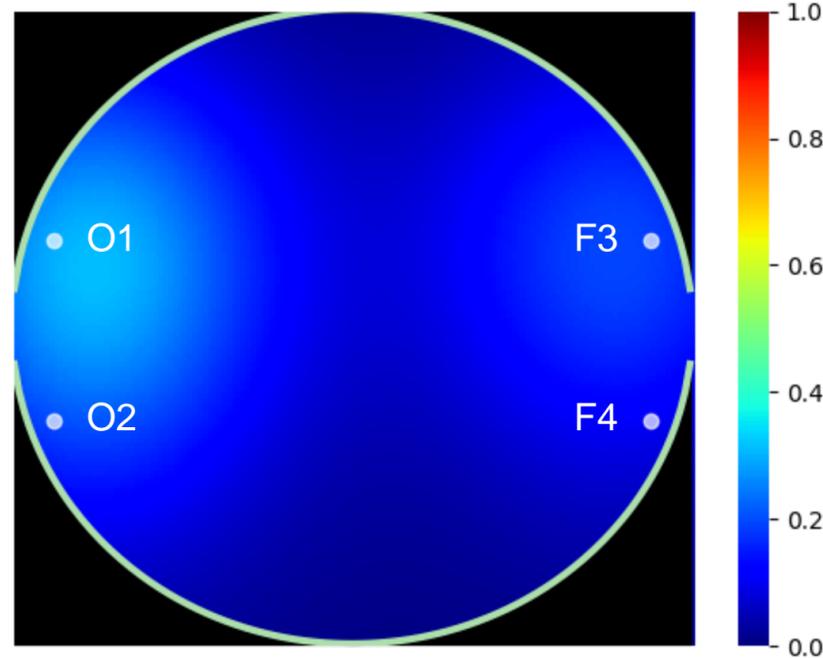
Пять минут эксперимента.
Рост амплитуды средних
частот.

Конец эксперимента.
Рост амплитуды и снижение
частоты с иррадиацией в лобную
область. Синхронизация
низкочастотных волн.

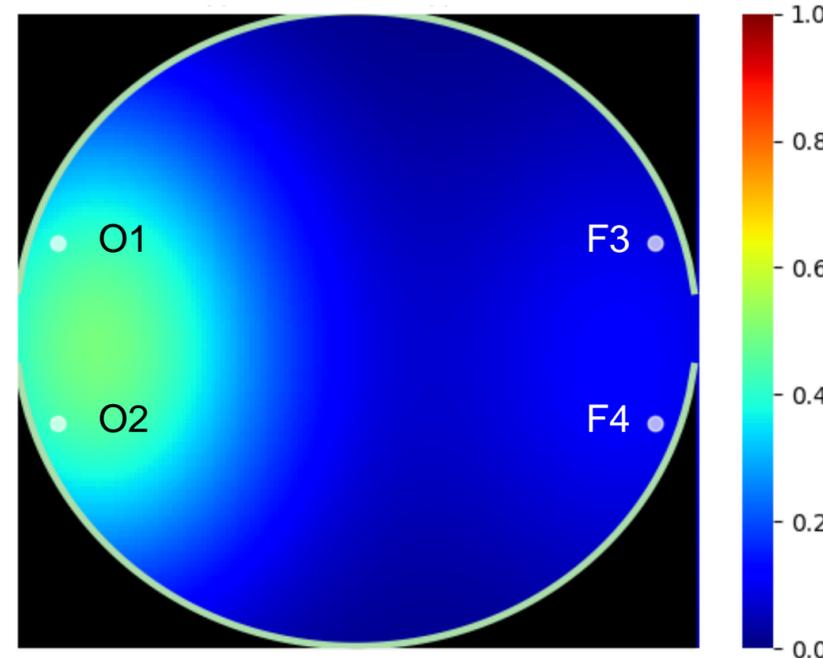
Примеры картирования головного мозга с использованием нейронной сети с внутренним слоем радиальных базисных функций (РБФ)



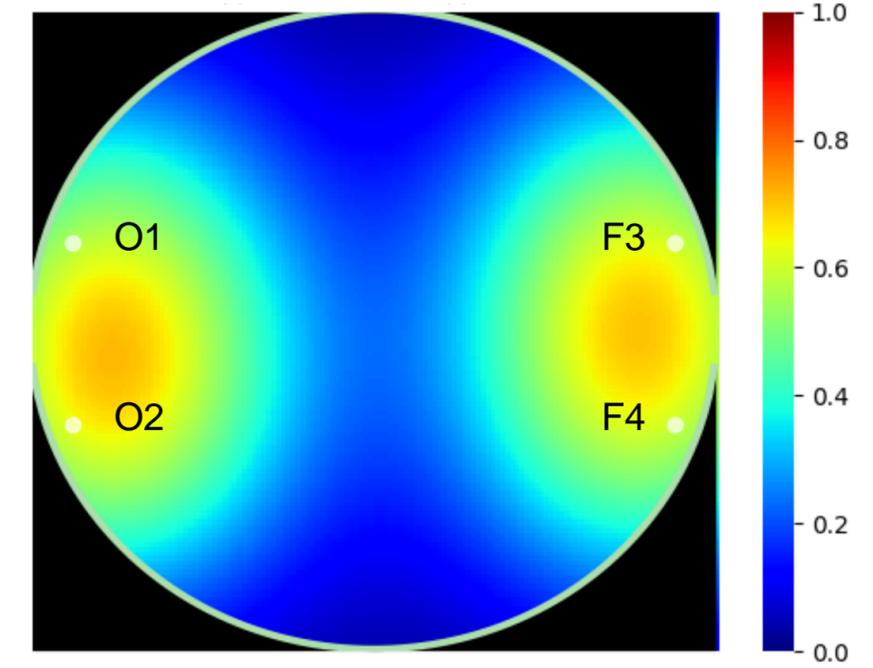
Частотный диапазон 8 – 13 Гц.



Частотный диапазон 8 – 13 Гц.



Частотный диапазон 8 – 13 Гц.



Начало эксперимента.
Слабовыраженный альфа-ритм
головного мозга
(8-13Гц) - низкая суммарная
спектральная плотность
мощности (СПМ) в затылочной
области головы

Пять минут эксперимента.
Рост амплитуды СПМ в
диапазоне альфа-ритма в
затылочной области головы

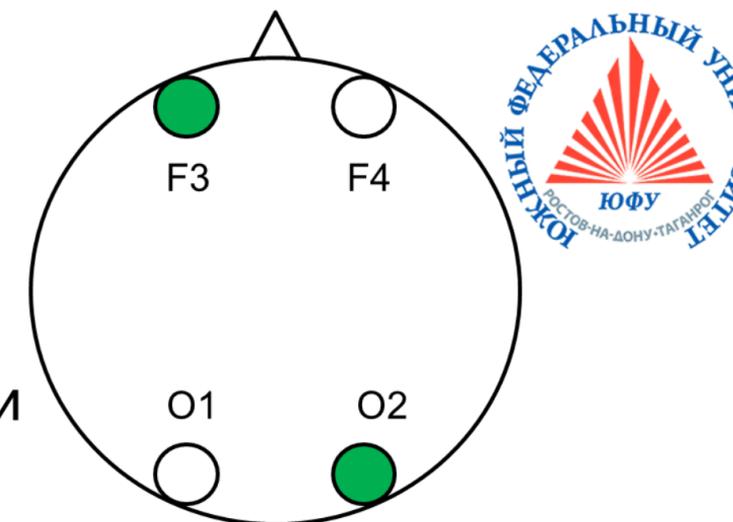
Конец эксперимента.
Значительный рост амплитуды
СПМ с иррадиацией в лобную
область.

Разработан алгоритм прогноза усталости человека на основе регистрации сигналов ЭЭГ от четырех отведений портативного ИМК. Алгоритм построен на основе предварительного расчета дискриминативных признаков, робастных к помехам от двигательной и идеомоторной активности человека-оператора, его мускульной активности или глазных движений:

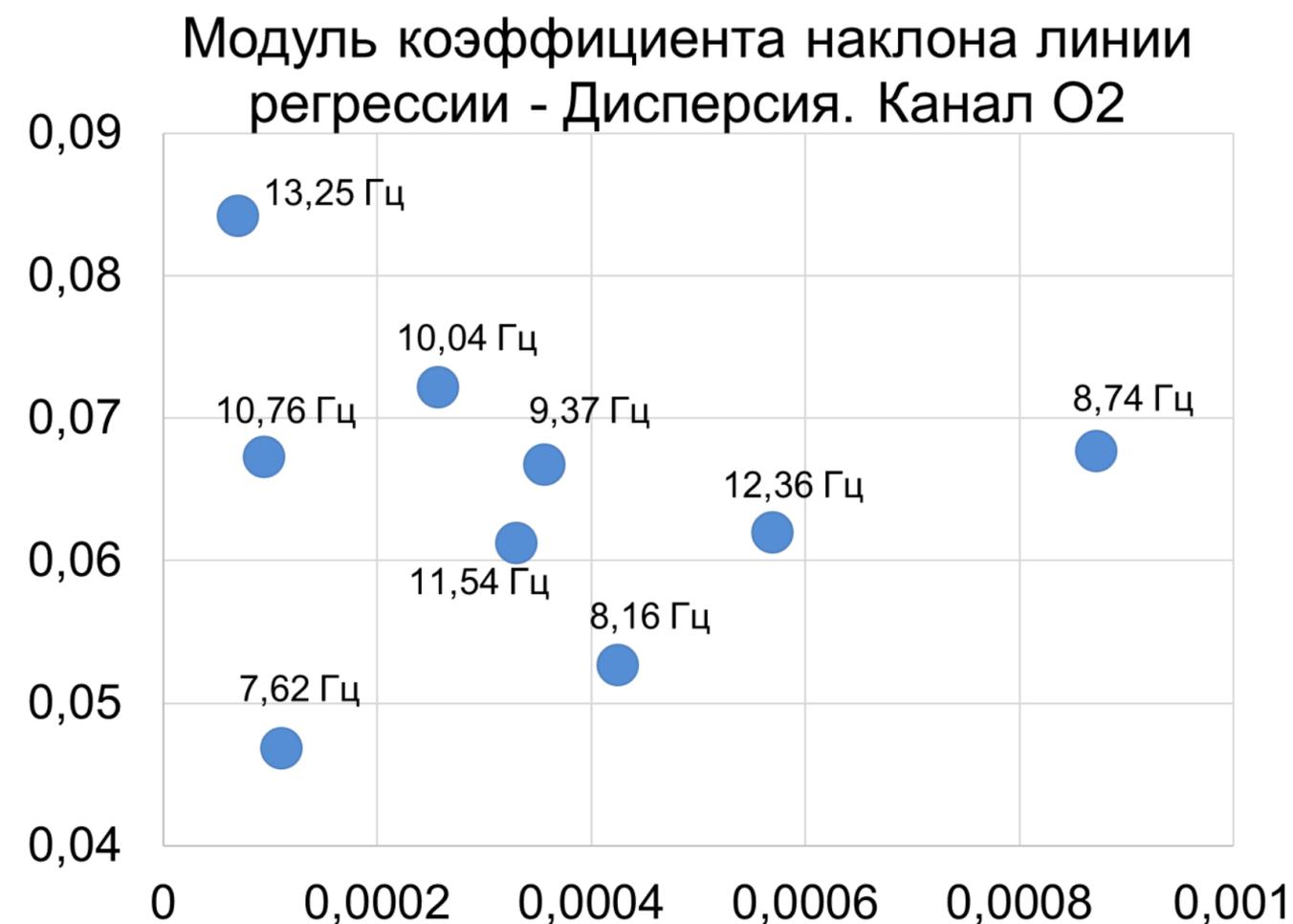
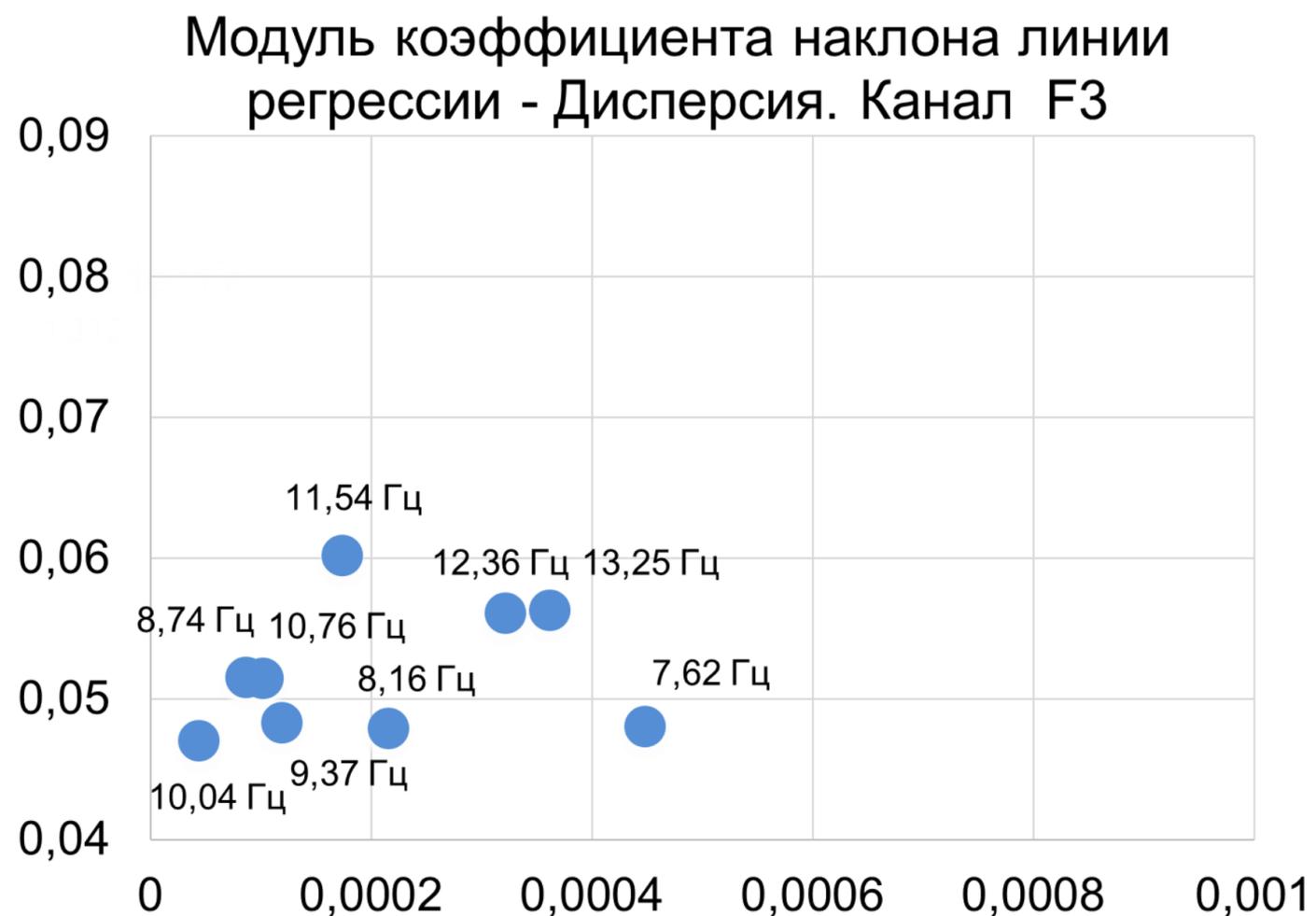


1. За счет применения непрерывного вейвлет-преобразования (НВП) к регистрируемым сигналам ЭЭГ выполняется переход в частотно-временной континуум. Избыточность НВП позволяет оценивать локализованные энергетические характеристики временного ряда и, таким образом, полноценно выявлять структуру сигнала и детектировать шумовые паттерны.
2. Так как энергетический вклад паттерна шумового артефакта определенной природы концентрируется вокруг некоторого уровня НВП-разложения сигнала, то спектральные составляющие распределяются по частотам неравномерно, и вейвлет-энтропия в частотном диапазоне паттерна принимает низкое значение. За счет исключения из рассмотрения тех частотных диапазонов НВП сигнала, которые зашумлены паттернами шумовых артефактов, обеспечивается выше названное свойство робастности алгоритма.
3. Мониторинг усталости человека выполняется на основе анализа поведения функции глобального спектра энергии для выбранного частотного диапазона сигнала ЭЭГ на интервале наблюдений. В качестве дискриминативных признаков используются значения характеристик временной динамики вейвлет-энтропии Шеннона, рассчитываемых по скалограммам в тех частотных диапазонах, где вейвлет-энтропия на интервале времени минимальна.
4. Для прогноза усталости используется модель нейронной иерархической интерполяции N-HiTS.

Результаты исследований разработанного алгоритма



Примеры поведения дискриминативных признаков - значения углов наклона линии регрессии и дисперсии временной динамики вейвлет-энтропии



Заключение



Синтезирован алгоритм расчёта дискриминативных признаков для прогноза по измерениям портативных ИМК усталости человека-оператора, робастных к помехам от его двигательной и идеомоторной активности, мускульной активности или глазных движений.

Проверка эффективности рассчитанных признаков в задачах в задаче прогноза усталости с использованием модели нейронной иерархической интерполяции N-HiTS.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



Ажогин К. Э., Шевченко М. Г.,
Щербань И. В.
Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия.
DLSP-2024, Москва, 21 июня 2024

