

Распознавание активности моторной коры головного мозга по данным ЭЭГ

Беляева Дарья, гр. 117а

Научный руководитель: Беляев М. Г.

МФТИ(ГУ)

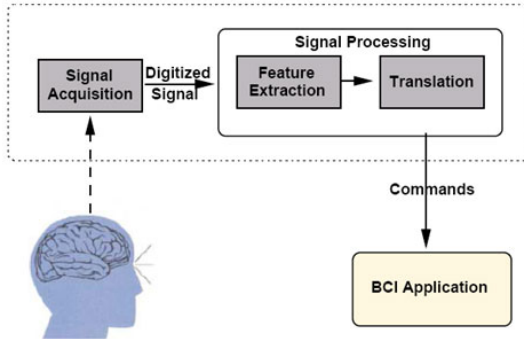
Кафедра инфокоммуникационных систем и сетей

Москва, 2015

Интерфейсы «мозг-компьютер» (ИМК)

Постановка задачи

Задача: реализация алгоритма обработки сигнала



Применение ИМК

Постановка задачи

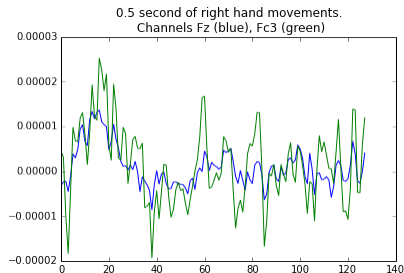
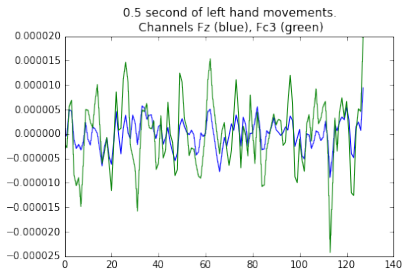
Нейрореабилитация на основе биологической обратной связи

- Человек с травмой конечностей соединяется через ИМК с искусственной конечностью
- Конечность реагирует на активность мозга человека
- Человек воспринимает обратную связь через зрение
- Благодаря «пластичности» мозга восстановление идет быстрее

Пример задачи

Постановка задачи

Пример данных ЭЭГ для воображаемых движений левой и правой руки:



Особенности задачи

Постановка задачи

Нетипичный вход алгоритма

В качестве признака используется матрица, а не вектор

Нестационарность

Изменение паттернов между людьми и сессиями

Зашумленность сигнала

Низкое соотношение сигнал/шум

Формальная постановка задачи

Постановка задачи

Дано:

- \mathbf{X} - входные данные, \mathbf{Y} - множество классов
- $\{X_1 \dots X_{N_{exp}}\} \subset \mathbf{X}$ - обучающая выборка
- $\{Y_i = y(X_i)\} \subset \mathbf{Y}, i = 1, \dots, N_{exp}$ - известные ответы

Задача:

- Построить алгоритм, максимально точно отображающий $\mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$

Риманово пространство

Метод

$C(n) = \{ \mathbf{C} \in M(n) \mid \mathbf{C}^T = \mathbf{C}, u^T \mathbf{C} u > 0, \forall u \in \mathbb{R}^n \}$ -
пространство СПО матриц размера $n \times n$

$$\forall \mathbf{C} \in C(n) \exists \left\{ \mathbf{S}_i = \frac{\partial}{\partial t} \gamma_i(0) \right\} = \tau_{\mathbf{C}} \mathcal{M}$$

- касательное пространство, где $\gamma_i(t)$ - геодезическая между \mathbf{C} и проекцией $\mathbf{C}_i = \text{Exp}_{\mathbf{C}}(\mathbf{S}_i)$

$$\text{Exp}_{\mathbf{C}}(\mathbf{S}_i) = \mathbf{C}_i = \mathbf{C}^{1/2} \exp(\mathbf{C}^{-1/2} \mathbf{S}_i \mathbf{C}^{-1/2}) \mathbf{C}^{1/2}$$

$$\text{Log}_{\mathbf{C}}(\mathbf{C}_i) = \mathbf{S}_i = \mathbf{C}^{1/2} \log(\mathbf{C}^{-1/2} \mathbf{C}_i \mathbf{C}^{-1/2}) \mathbf{C}^{1/2}$$

Проекции в римановом пространстве

Метод

Смысл использования проекции:

- перейти из нелинейного пространства (невозможно использовать евклидово расстояние) в линейное с помощью проекции – заведомо линейного преобразования

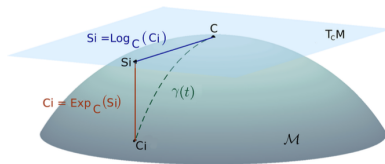


Рис.: Многообразие \mathcal{M} и соответствующее касательное пространство $\tau_C \mathcal{M}$ в точке \mathbf{C}

Идея метода

Метод

- Выразить эпохи через ковариационные матрицы $\mathbf{C}_i = \frac{1}{N_t} \mathbf{X}_i \mathbf{X}_i^T$, где N_t - число отсчетов в одной эпохе
- Построить среднее $\mathbf{C}_{\mathfrak{G}} = \mathfrak{G}(\mathbf{C}_i, i = 1 \dots N_{exp})$ и касательное пространство к нему
- Перейти из нелинейного многообразия в линейное пространство через проекцию каждой матрицы на касательное пространство
- Классификация через алгоритм логистической регрессии с L1-штрафом с полученными векторами в качестве признаков

Многополосная фильтрация

Метод

Известно, что из сигналов мозга выделяют так называемые α -ритм (8-14 Гц), β -ритм (14-30 Гц), и т.д., соответствующие разным типам мыслительной деятельности. Поэтому имеет смысл рассматривать узкие частотные диапазоны.

- Перед обработкой данные фильтруются в разных частотных полосах
- Полученные для каждой полосы вектор-признаки склеиваются в единый

Валидация качества

Результаты

- Случайное разбиение в соотношении 70% к 30% для обучения/тестирования
- Разбиение на начало и конец сессии: первые 70% для обучения, последние 30% для тестирования
- Одна сессия для обучения, вторая для тестирования

Смысл последнего способа в проблеме нестационарности ЭЭГ.

Численные результаты

Результаты

	НЦН РАМН	
	Среднее	Лучшее
Случайное	77%	90%
Начало/конец	46%	77%
Две сессии	40%	44%

Таблица: Результаты внутри одной сессии на 3-полосной фильтрации

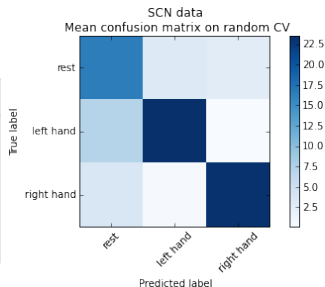


Рис.: Средняя матрица ошибок на случайном разбиении при 3-полосной фильтрации

Зависимость от параметра

Результаты

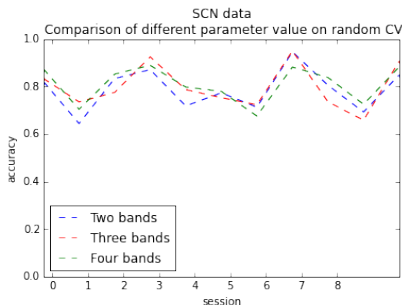


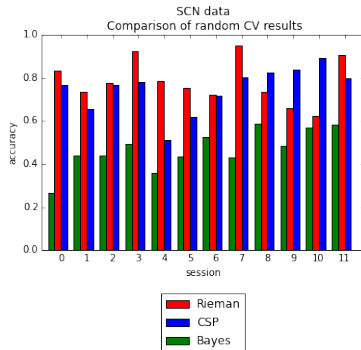
Рис.: Зависимость от количества полос в разбиении на случайном разбиении при 3-полосной фильтрации

Сравнение с популярными алгоритмами

Результаты

	НЦН РАМН	
	Среднее	Лучшее
Riemann	79%	93%
CSP	75%	89%
Bayes	44%	44%

Таблица: Сравнение точности 3 алгоритмов на случайном разбиении при 3-полосной фильтрации



Заклучение

Описан и протестирован ранее не использовавшийся алгоритм

Результаты работы проанализированы и сравнены с уже существующими алгоритмами для решения поставленной задачи

По результатам тестирования, алгоритм дает сравнимые или лучшие результаты с одним из самых популярных алгоритмов анализа ЭЭГ