

Использование электромиограммы мышц предплечья для решения задачи распознавания движения отдельного пальца

Прояев Павел Олегович

Тележинский Андрей Игоревич

Нейроботикс, 2011 г.

Цель: решение задачи распознавания движения отдельного пальца с помощью ЭМГ мышц предплечья.

Задачи:

1. Разработать методики регистрации электромиограммы мышц предплечья.
2. Разработать алгоритмы распознавания сигналов электромиограммы. В качестве распознаваемых действий выбраны следующие движения:
 - сгибание мизинца;
 - сгибание безымянного пальца;
 - сгибание среднего пальца;
 - сгибание указательного пальца;
 - сгибание большого пальца в плоскости, параллельной ладони руки.
3. Выбрать, используя в качестве критерия процент верного распознавания сигнала, наиболее удовлетворительную методику регистрации электромиограммы и алгоритм распознавания сигнала и провести более полное его тестирование.

Методика регистрации электромиограммы мышц предплечья

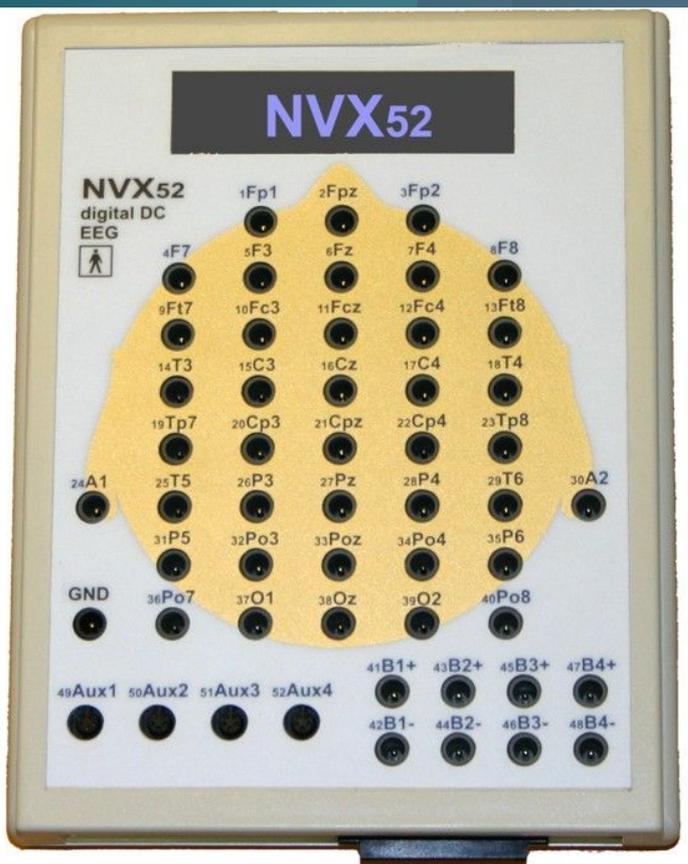


рис. 1. Цифровой усилитель биопотенциалов NVX52

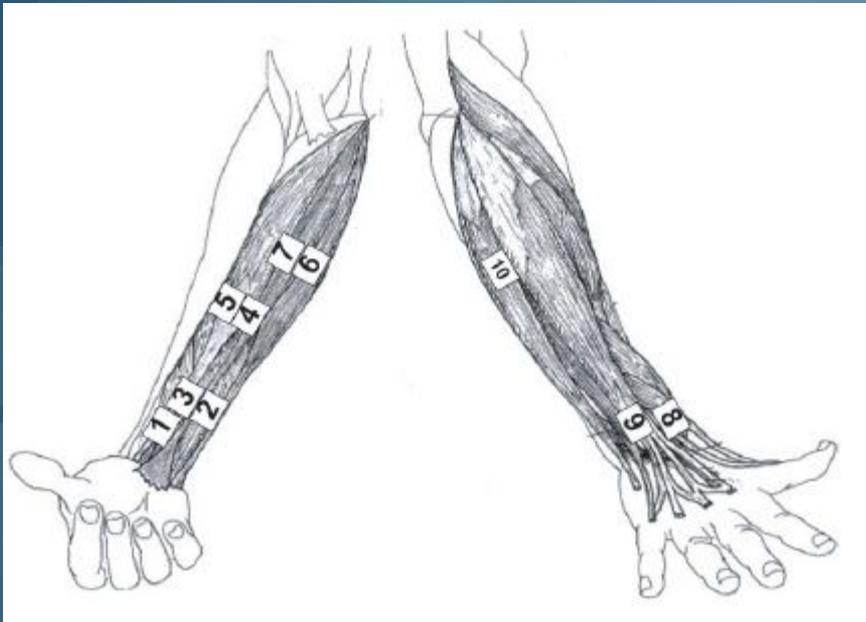
Аналого-цифровое преобразование	24 бит, дельта-сигма модуляция 6-го порядка с 64 кратной переоцифровкой, индивидуальный преобразователь на канал
Нижняя частота пропускания	0 Гц (связь по постоянному току)
Динамический диапазон	не менее ± 400 мВ
Входное сопротивление	более 100 Мом на постоянном токе
Частота выдачи данных	125, 250, 500, 1000, 2000 Гц для всех каналов
Верхняя частота пропускания (по уровню -3дБ)	50, 100, 200, 300, 500, 2000, 5000, 25000 Гц, в зависимости от частоты выдачи данных
Шум каналов	менее 0.9 мкВ пик-пик в полосе частот 0,1-30 Гц
Измерение межэлектродного импеданса	1 – 120 кОм ($\pm 10\%$) на частоте 30 Гц



рис. 2. Накожные Ag/AgCl электроды

Методика 1

Положения №4 и №5, также как и №6 и №7 регистрировались одним электродом. Сигналы записывались относительно канала “Reference”, положение которого выбиралось на участке выше локтя, на котором отсутствуют сокращения мышц при движении пальцами. Электрод канала “Ground” располагался в районе плечевого сустава.



Названия электродов, соответствующих номеру позиции:

- 1-CP4;
- 2-FT8;
- 3-F8;
- 4,5-T4;
- 6,7-TP8;
- 8-C4;
- 9-FC4;
- 10-F4.

рис. 3. Положение электродов при регистрации ЭМГ

Методика 2

Положения №4 и №5, также как и №6 и №7 регистрировались отдельными электродами. Сигналы записывались относительно канала “Reference”, положение которого выбиралось на участке выше локтя, на котором отсутствуют сокращения мышц при движении пальцами. Электрод канала “Ground” располагался в районе плечевого сустава. Кроме того, снималось также 5 дифференциальных каналов между положениями 1 и 2; 3 и 4; 5 и 6; 7 и 8; 9 и 10.

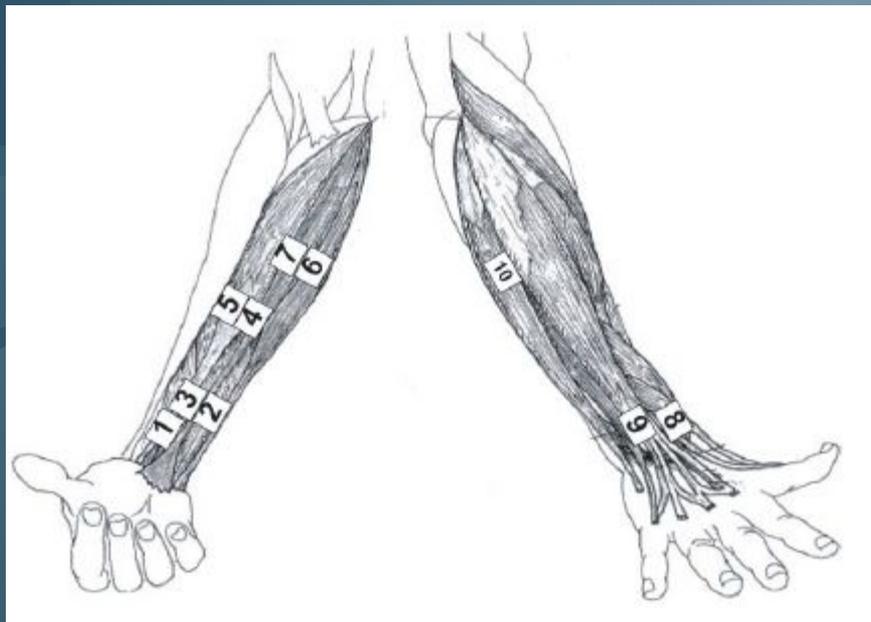


рис. 4. Положение электродов при регистрации ЭМГ

Названия электродов, соответствующих номеру позиции:

- 1-F4;
- 2-F8;
- 3-Fc4;
- 4-Ft;
- 5-C4;
- 6-T4;
- 7-Cp4;
- 8-Tr8;
- 9-P4;
- 10-T6.

Предобработка данных

- фильтр верхних частот с частотой среза 30 Гц;
- фильтр нижних частот с частотой среза 100 Гц (для методики 1) и 200 Гц (для методики 2);
- режекторный фильтр для частоты 50 Гц.

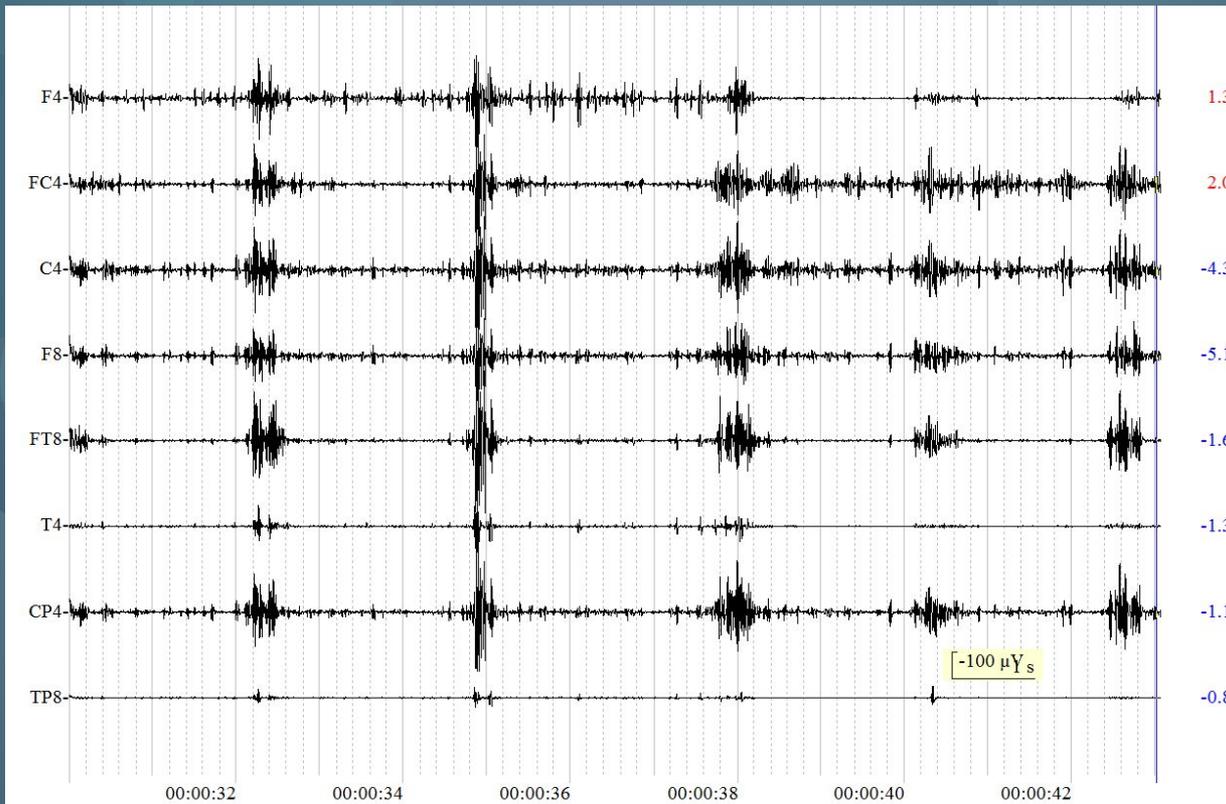


рис. 5. Участок 8-канальной ЭМГ (методика 1)

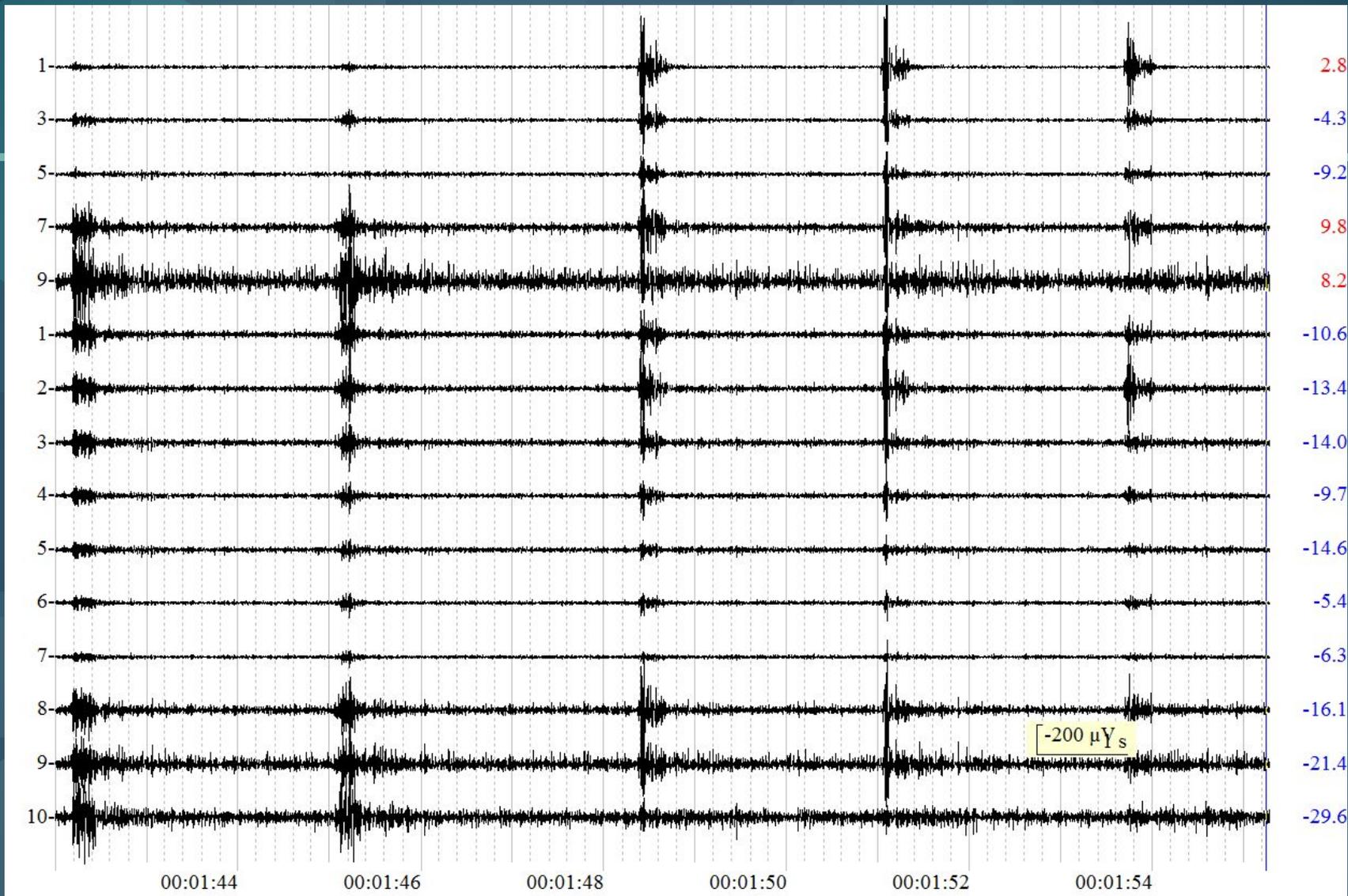


рис. 6. Участок 15-канальной ЭМГ (методика 2)

Анализ электромиограммы

Для разработки алгоритма классификации сигнала были сформированы тренировочная и тестовая выборки сигналов путем выделения интересующего участка ЭМГ и добавления его в выборку. Интересующий участок – это участок ЭМГ, соответствующий движению пальца. Он выбирался как отрезок длиной 500 отсчетов (1 с.), в середине которого располагается максимальная амплитуда сигнала (с учетом многоканальности эта середина определялась как среднее средин по каждому каналу).

Согласно [2] характеристика ЭМГ, показывающая тип (сложность) сократившейся мышцы, – это фрактальная размерность кривой (FD – Fractal Dimension). Соответственно была предпринята попытка распознать, какой палец совершил движение, на основании набора вычисленных для каждого каналов параметров FD. Фрактальная размерность вычислялась по методу Т. Хигучи [4]. Значение параметров FD для каждого элемента тестовой и обучающей выборок по каждому отдельному пальцу в зависимости от канала (от 1 до 8 для методики 1) показана на рис. 7, 8 (синим показана обучающая выборка, красным – тестовая).

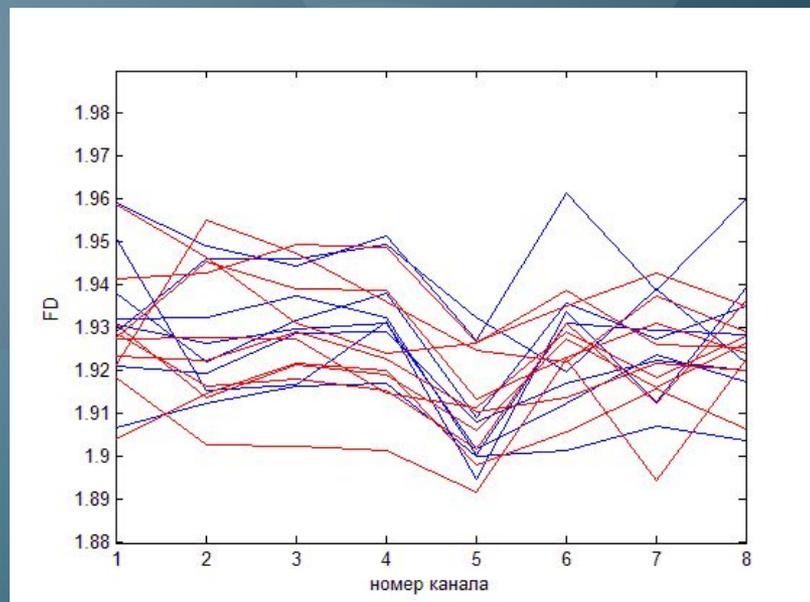


рис. 7. Значения фрактальной размерности кривых ЭМГ при движении мизинцем

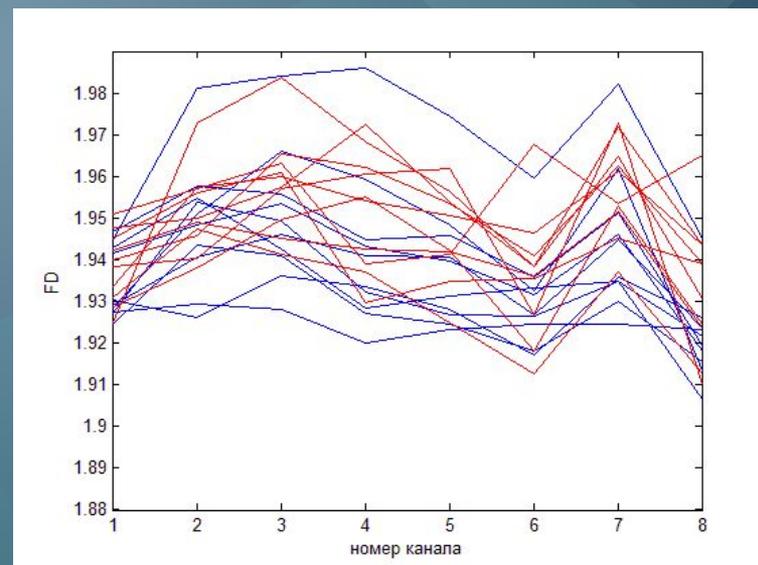
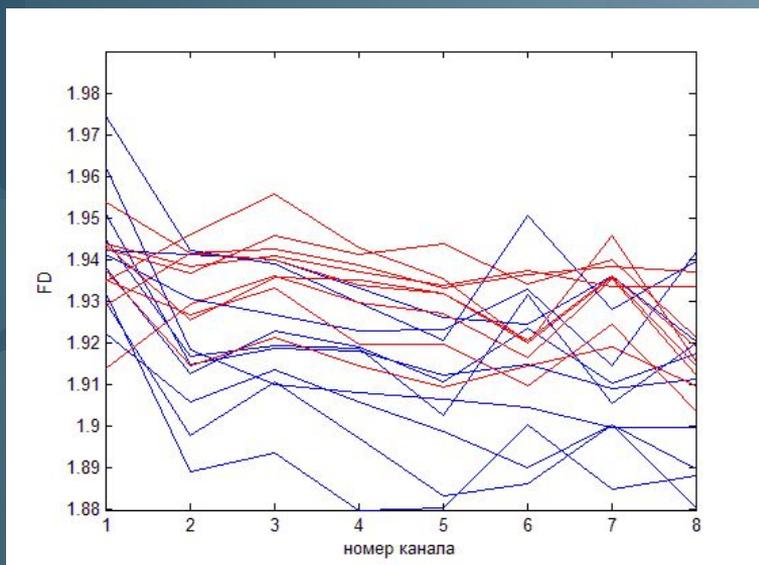
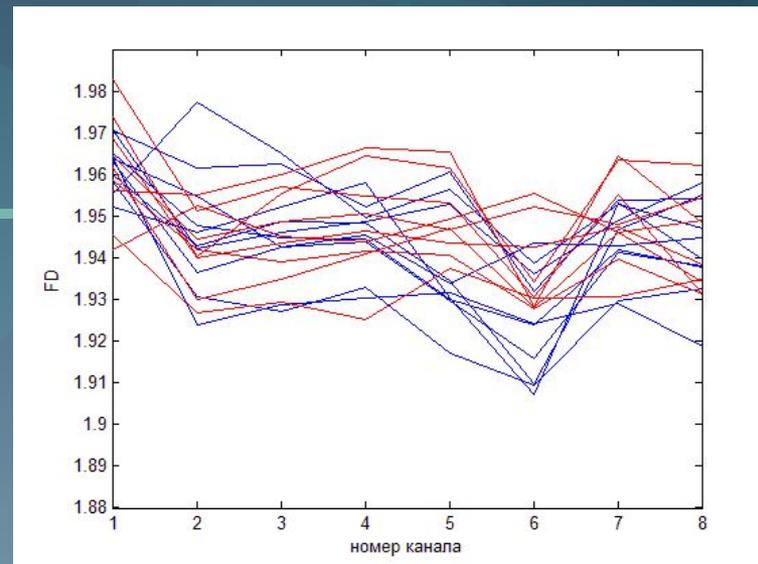
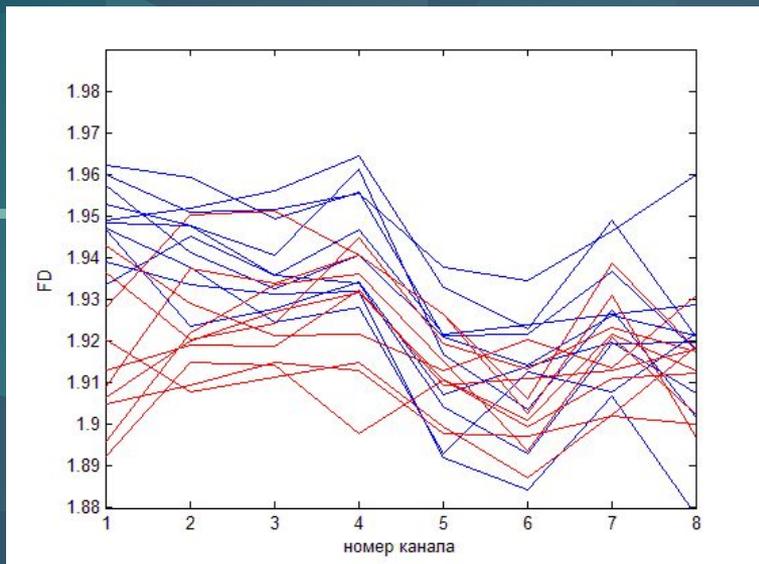


рис. 8. Значения фрактальной размерности кривых ЭМГ
(слева направо: безымянный палец, средний, указательный, большой)

Также в качестве характеристики сигнала для классификации было использовано RMS (среднее квадратическое), вычисляемое по формуле (1).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad (1)$$

Значение параметров RMS для каждого элемента тестовой и обучающей выборок по каждому отдельному пальцу в зависимости от канала для методики 1 показана на рис. 9,10, а для методики 2 – на рис. 11 (синим показана обучающая выборка, красным - тестовая).

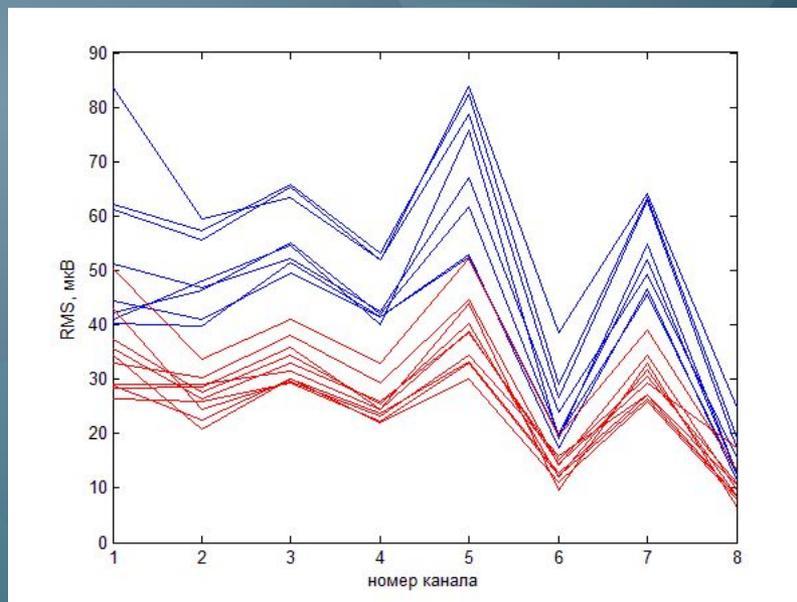


рис. 9. Значения RMS кривых ЭМГ при движении мизинцем для методики 1

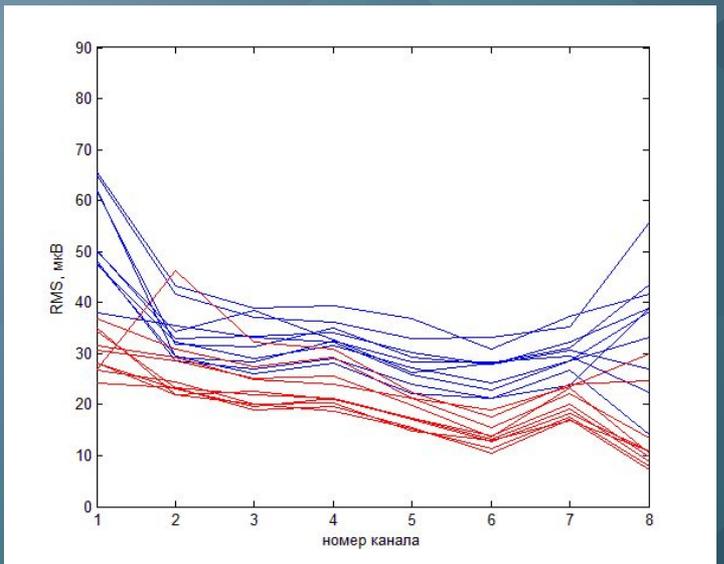
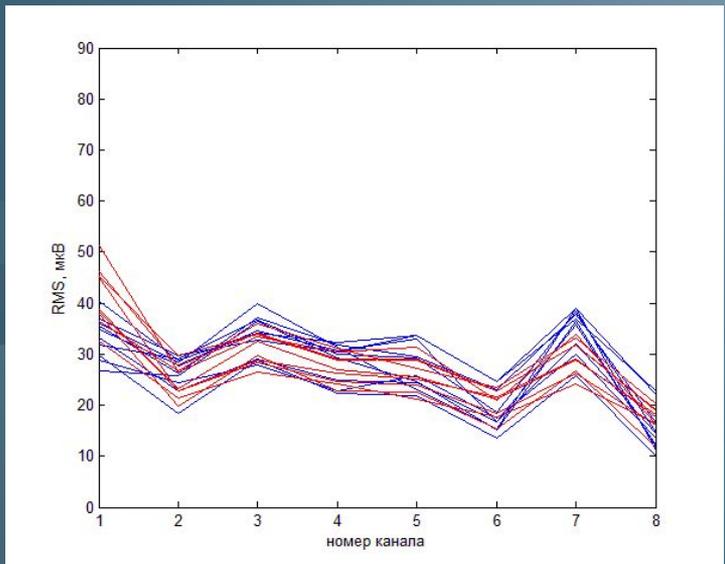
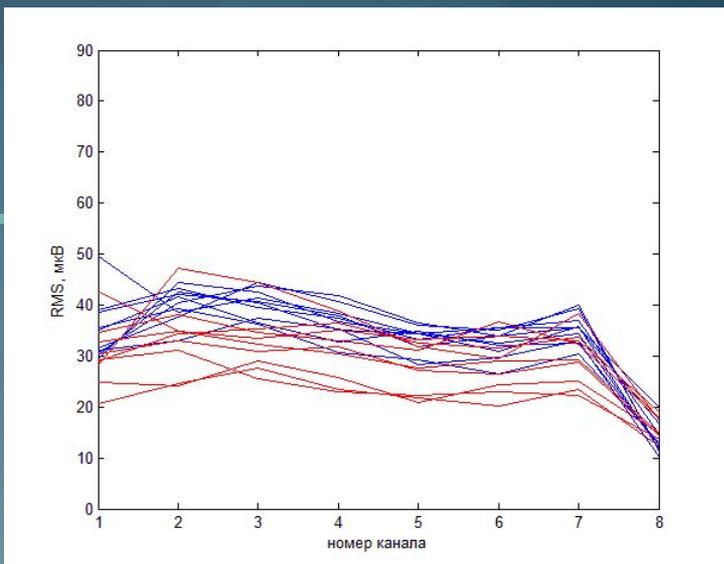
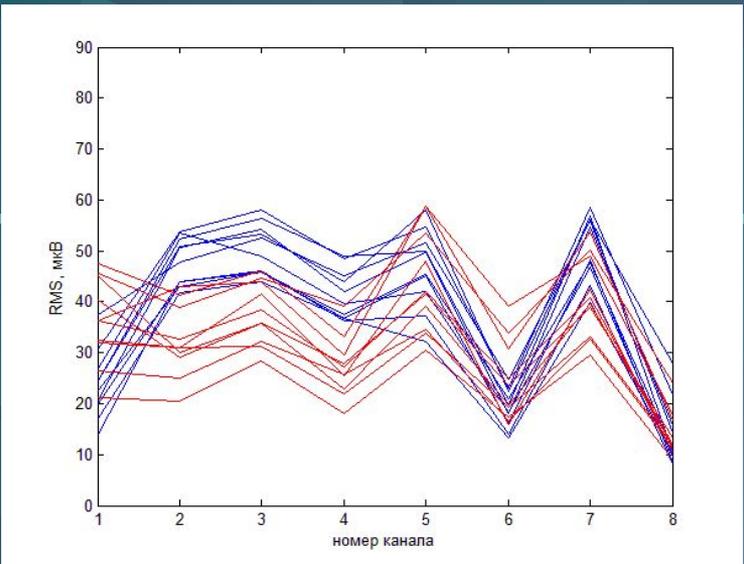


рис. 10. Значения RMS кривых ЭМГ для методики 1 (слева направо: безымянный палец, средний, указательный, большой)

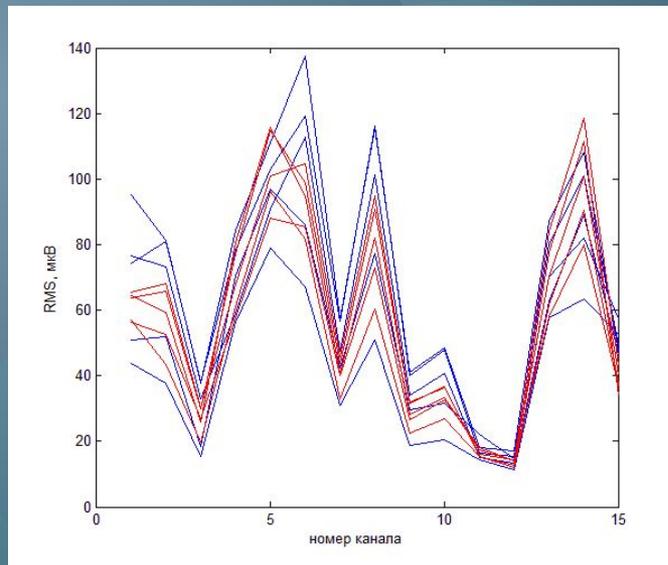
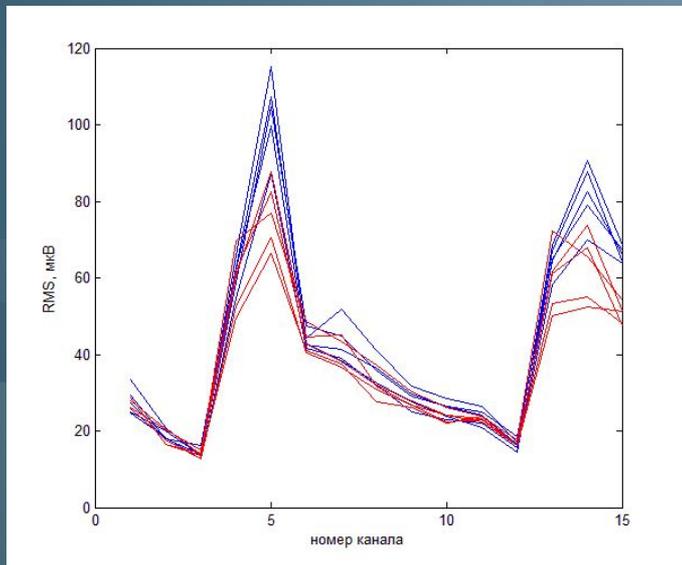
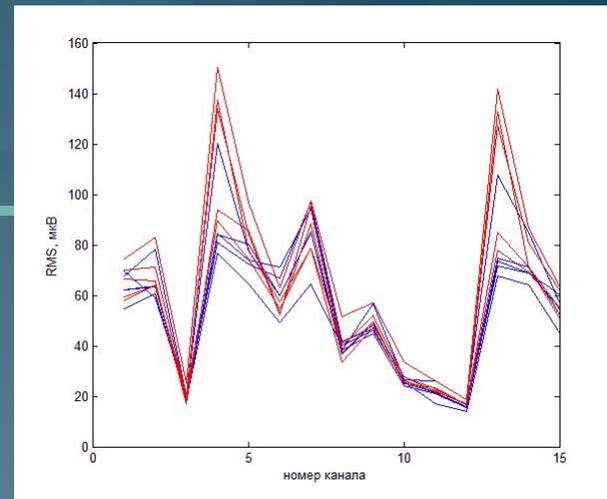
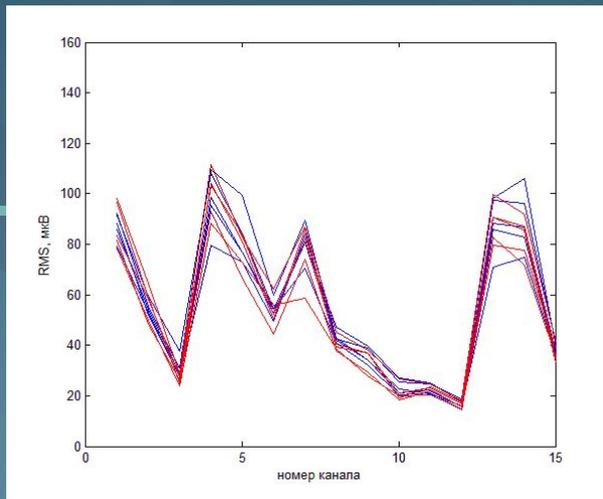
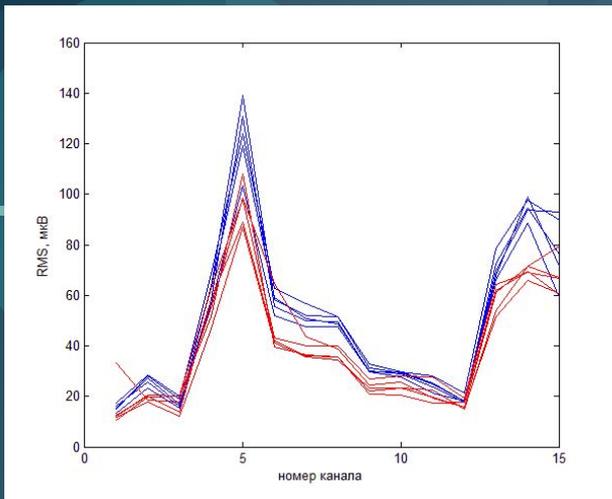


рис. 11. Значения RMS кривых ЭМГ для методики 2
(слева направо: мизинец, безымянный палец, средний, указательный, большой)

Описание применяемых классификаторов

Классификатор 1

Характеристика RMS (или FD) из тестовой выборки будет соответствовать правильному, своему классу, если вектор A значений RMS (FD) пространства R^8 имеет небольшой угол с векторами V_i этого класса из обучающей выборки (плоскости, соответствующие этим векторам, наиболее параллельны).

Классификатор 2

Из обучающей выборки формируются паттерны 5 классов, как средние арифметические зависимостей RMS (FD) от номера канала. Для тестируемой характеристики RMS (FD) вычисляются разницы от каждого паттерна до этой характеристики, и для полученного результата вычисляется степень его «похожести» на прямую. Для какого паттерна данная степень меньше, такой класс и присваивается тестируемой характеристике.

Классификатор 3

Основан на нахождении минимального евклидоваго расстояния между точками пространства R^8 паттернов RMS (FD) и характеристики RMS (FD) из тестовой выборки.

Тестирование алгоритмов распознавания движений пальцами

Результаты тестирования алгоритмов распознавания для различных методик съема ЭМГ, используемых характеристик ЭМГ и классификаторов:

табл. 1

Используемая методика, характеристика	Классификатор		
	1	2	3
	Движений верно распознано, %		
Методика 1, RMS	64,0	66,0	64,0
Методика 1, FD	54,0	56,0	56,0
Методика 2, RMS	98,0	96,0	96,0
Методика 2, FD	90,0	90,0	92,0

Результаты тестирования алгоритмов распознавания для методики 2 при дополненной тестовой выборке:

табл. 2

Используемая методика, параметр	Классификатор		
	1	2	3
	Движений верно распознано, %		
Методика 2, RMS	94,5	95,0	94,2
Методика 2, FD	90,2	90,5	90,2

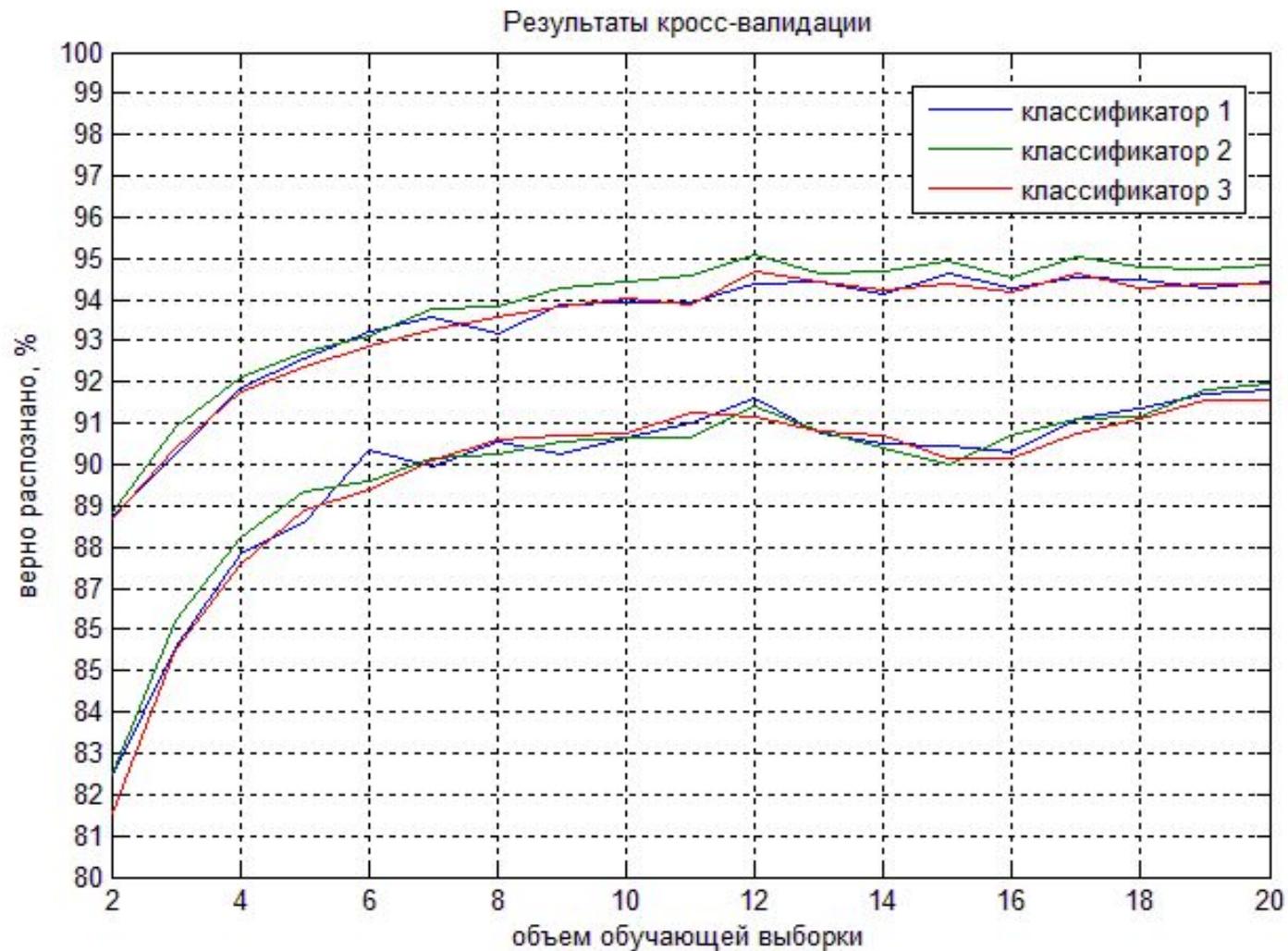


рис. 12. Результаты кросс-валидации алгоритмов с использованием RMS (верхняя серия графиков) и FD (нижняя серия графиков) при различных объемах обучающей выборки для методики 2

Результаты кросс-валидации алгоритмов с использованием RMS с объемом обучающей выборки, равном 10 движениям для каждого пальца, и при различных используемых для обработки каналах.

табл. 3

Используемые каналы	Классификатор		
	1	2	3
	Движений верно распознано, %		
1-5	89,8	89,4	89,9
1-4	81,2	81,5	81,1
6-15	88,9	88,8	88,4
6-10	93,5	93,7	93,5
11-15	70,0	70,0	70,0
7-12	93,6	93,8	93,5
6-12	93,5	93,6	93,6
1-12	95,0	95,4	95,0
1-10	95,1	95,5	95,3
1-9	95,0	95,4	94,8
1-8	94,5	94,7	94,3
1-7	93,9	94,4	94,0

Характеристики алгоритмов с использованием RMS с объемом обучающей выборки, равном 10 движениям для каждого пальца, при используемых каналах 1-10:

табл. 4

Классификатор	1	2	3
Движений верно распознано, %	95,1	95,5	95,3
Время работы алгоритма, мс	0,29	0,52	0,32

Выводы:

- При использовании неинвазивной ЭМГ для решения задачи распознавания движений пальцами важную роль играет методика регистрации ЭМГ. Лучшей оказалась методика с использованием дифференциальных каналов, позволяющая улучшить отношение сигнал/шум.
- При анализе ЭМГ применительно к задаче распознавания движений пальцами можно применять интегральные характеристики. В данной работе использование такого параметра (RMS) дало лучший результат, чем использование фрактальной размерности.
- При небольшой величине обучающей выборки целесообразно применять классификаторы, действующие по принципу формирования паттернов. Ошибка первого рода для предложенных классификаторов составила 5-7%. Наименьшая ошибка наблюдается при использовании классификатора 2. При этом для формирования паттернов достаточно сформировать обучающую выборку из 6 движений каждым пальцем.
- Использование некоторых каналов не улучшает работу классификатора. Для приведенной методики 2 достаточно использовать 5 дифференциальных и 2 отдельных канала.
- Время работы наиболее удовлетворительного алгоритма классификации составляет 0,5 мс, что позволяет применять его в режиме реального времени.

Список используемой литературы

1. Sebastian Maier and Patrick van der Smagt, (2008) *Surface EMG suffices to classify the motion of each finger independently*. In: Proceedings of MOVIC 2008 . 9th International Conference on Motion and Vibration Control , 2008-15-09 – 2008-18-09 , Technische Universität München.
2. Sridhar Poosapadi Arjunan, *Fractal features of Surface Electromyogram: A new measure for low level muscle activation*. School of Electrical and Computer Engineering; Science, Engineering and Technology Portfolio, RMIT University, August 2008.
3. Higuchi T. Relationship between the fractal dimension and the power law index for a time series: a numerical investigation. *Physica D* 46. 1990.
4. Higuchi T. Approach to an irregular time series on the basis of a fractal theory. *Physica D* 31. 1988.