

Метод развертки В.М.Бухштабера для классификации сигналов электромиографии при сгибании пальцев руки

Задача: исследовать возможность применения метода развертки для классификации временных рядов определенного вида. Классификатор получает на входе временной ряд $f = \{f_1, \dots, f_N\}$, на выходе относит этот сигнал к определенному классу (активация соответствующей мышцы) и, возможно, дает дополнительные характеристики сигнала (например, мощность)

Метод:

- Пусть дан временной ряд f_1, \dots, f_N действительных чисел, полученных с шагом по времени Δt , $N \sim 10^2 - 10^4$.
- Сформируем вектора размерности n за счет вырезания из ряда n чисел, $\mathbf{x}_i = \{f_i, \dots, f_{i+n-1}\}^T$. Параметр n (ширина окна) нужно подбирать. В приложениях значения могут колебаться от 3 до 100.
- n -мерная развертка $X_f(N, n)$ ряда f — кусочно-линейная кривая K в евклидовом пространстве размерности n , соединяющая точки с координатами \mathbf{x}_i , $i = 1, \dots, p$, $p = N - n + 1$.
- Классификатор метода основан на анализе этой кривой K в n -мерном евклидовом пространстве. Для анализа эта кривая отображается ортогональным проектированием в r -мерном евклидовом пространстве, где $r \leq n$. Размерность r зависит от характеристик и генезиса сигнала, и может варьироваться от 2 до 20.
- Для вычисления r сформируем матрицу рассеяния кривой K , $T(K) = XX^T$, где у прямоугольной матрицы X столбец i , $i = 1, \dots, p$, задан вектором $\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}$, а вектор $\bar{\mathbf{x}} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \mathbf{x}_i$.
- Найдем ортонормальные собственные вектора $\mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_r$ с ненулевыми собственными значениями $\lambda_1, \dots, \lambda_r$ матрицы $T(K)$. На практике “нулевые” собственные значения не строго равны нулю, но меньше некоторого порога. Находим столько старших собственных векторов r , что для остальных собственных чисел $\sum_{i=r+1}^p \lambda_i \leq \varepsilon \sum_{i=1}^p \lambda_i$, например, при $\varepsilon = 0.01$.
- Ортогональная проекция любой узловой точки \mathbf{x}_i кривой K на вектор \mathbf{w}_k есть по определению $\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{w}_k$.
- Анализ проекции кривой K на r -мерное евклидово пространство может быть визуальным, изображая точки $\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{w}_k$, $i = 1, \dots, p$, либо на плоскости (для $k = 1, 2$), либо в трехмерном пространстве (для $k = 1, 2, 3$). Но это только в том случае, если повезет, и рассчитанное r будет равно 2 или 3. В этом случае классификация временного ряда может быть описана геометрически.
- Если рассчитанное $r > 3$, то анализ должен быть формальным, без визуализации. Метод предложен А.Бернадотт, и вы его реализуете, но после вычисления значений r для всех интересующих нас временных рядов.

Этапы:

Этап 1. Провести анализ поставляемых временных рядов: сколько классов должно быть всего, какая разумная длительность временного ряда N , какие дополнительные характеристики у сигнала возможны, каким образом получаются временные ряды, есть ли в них перемешивание сигналов от разных мышц и т.д.

- Этап 2.** Программно реализовать метод временных рядов. Применить метод для предоставленных данных, оценить размерность пространства r для разных ε , подобрать параметры метода (ширина окна n , характеристики классов в n -мерном пространстве).
- Этап 3.** При успешной классификации сигнала (определение активируемой мышцы) сопрячь выход классификатора с микроконтроллером перчатки.