

Классификация временных рядов в пространстве параметров порождающих моделей

Карасиков Михаил

Московский физико-технический институт
Факультет управления и прикладной математики
Кафедра интеллектуальных систем

Научный руководитель: д.ф.-м.н. В. В. Стрижов

Москва, 2015 г.

Исследуется

Задача признаковой классификации временных рядов:

- 1** построение пространства признаков,
- 2** решение задачи классификации векторов признаков.

Цели исследования:

- обобщение стандартных методов классификации временных рядов,
- построение алгоритма классификации, использующего в качестве признаков временных рядов параметры моделей временных рядов и их распределения,
- повышение качества решений прикладных задач.

В качестве приложения рассматривается задача классификации физической активности по данным с акселерометра.

Особенности

- Классификация физической активности людей с разными физическими характеристиками
- Форма временного ряда существенно зависит от характеристик человека
- Во временных рядах допускаются аномалии

Предположение

Форма временного ряда сохраняются для конкретного человека и типа физической активности

Предположение

Временной ряд — набор фрагментов, описывающихся некоторой случайной параметрической моделью.

Задача построения пространства признаков разбивается на 3 подзадачи:

- 1** разбиение временного ряда на фрагменты,
- 2** извлечение признаков из каждого фрагмента,
- 3** оценка параметров распределения признаков фрагментов.

Полученные параметры распределений служат признаками при классификации.

Изложенный метод сравнивается с методом голосования, где шаг **3** пропускается, а классификация происходит голосованием для фрагментов.

- Human activity recognition using smart phone embedded sensors: A linear dynamical systems method / W. Wang, H. Liu, L. Yu, F. Sun // Neural Networks (IJCNN), 2014 International Joint Conference on.— 2014.—July.— Pp. 1185–1190.
- Kwapisz, J. R. Activity recognition using cell phone accelerometers / J. R. Kwapisz, G. M. Weiss, S. A. Moore // SIGKDD Explor. Newsl.— 2011.—March.— Vol. 12, no. 2.— Pp. 74–82. <http://doi.acm.org/10.1145/1964897.1964918>.

Дано: $X^\ell = \{x_1, \dots, x_\ell\} \subset X$ — временные ряды,
 Y — множество меток классов,
 $\mathfrak{D} \subset X^\ell \times Y$ — обучающая выборка.

Предполагается существование целевой зависимости $y : X \rightarrow Y$ — отображения, значения которого известны только на объектах обучающей выборки \mathfrak{D} .

Требуется построить алгоритм классификации $a : X \rightarrow Y$, приближающий целевую функцию y на множестве X .

Временной ряд описывается моделями вида $g : \mathbb{R}^n \times X \rightarrow X$.

Примеры.

- Линейная регрессионная модель
- Авторегрессионная модель (AR)
- Модель скользящего среднего (MA)
- Фурье-модель
- Вейвлет-модель

Параметры настроенной модели определяются по формуле

$$\mathbf{f}(x) = \arg \min_{\mathbf{f} \in \mathbb{R}^d} \rho(g(\mathbf{f}, x), x).$$

- One-vs-All approach:

$$a(x) = \arg \max_{i=1,\dots,N} f_i(x), \quad f_i(x) = \begin{cases} \geq 0, & \text{если } y(x) = i, \\ < 0, & \text{если } y(x) \neq i. \end{cases}$$

- One-vs-One approach:

$$a(x) = \arg \max_{i=1,\dots,N} \sum_{\substack{j=1,\dots,N \\ j \neq i}} f_{ij}(x), \quad f_{ij}(x) = \begin{cases} +1, & \text{если } y(x) = i, \\ -1, & \text{если } y(x) = j. \end{cases}$$

- Error-Correcting Output Codes approach:

$$a(x) = \arg \min_{i=1,\dots,N} \sum_{j=1}^F L(M_j^i f_j(x)),$$

где $M \in \{-1, 0, +1\}^{N \times F}$ — матрица, строки которой состоят из кодов меток классов Y , а L — функция потерь.

Пусть $\mathbf{f}(x) \in \mathbb{R}^n$ — признаковое описание временного ряда x .

Тогда для решения задачи бинарной классификации временных рядов необходимо задать метод обучения $\mu : \mathfrak{D} \mapsto a$.

Например, для SVM с линейным ядром

$$a(x; \mathbf{w}) = \text{sign}(\mathbf{w}^\top \mathbf{f}(x) - w_0),$$

где \mathbf{w} и w_0 — решения оптимизационной задачи

$$\frac{1}{2C} \|\mathbf{w}\|^2 + \sum_{(x,y) \in \mathfrak{D}} \left(1 - y(\mathbf{w}^\top \mathbf{f}(x) - w_0)\right)_+ \rightarrow \min_{\mathbf{w} \in \mathbb{R}^n, w_0 \in \mathbb{R}}.$$

Алгоритм классификации временных рядов в пространстве параметров порождающих моделей

Итак, задание модели g , кодовой матрицы M , функции потерь L и метода обучения бинарного классификатора μ дает алгоритм классификации временных рядов

$$a(x) = a(x; g, M, L, \mu).$$

Выбор g , M , L и μ производится по скользящему контролю.

Определения

- Временной ряд: $x = [x^{(1)}, \dots, x^{(t)}] \in X$.
- Фрагмент временного ряда x : $s = [x^{(i_1)}, \dots, x^{(i_k)}]$,
где $1 \leq i_1 \leq \dots \leq i_k \leq t$.

Пусть $\mathbf{S}(x)$ — множество фрагментов временного ряда x .
Тогда алгоритм фрагментации есть отображение $S : x \mapsto \mathbf{S}(x)$.

Примеры:

- тождественное отображение

$$S : x \mapsto \{x\},$$

- сегментация

$$S : x \mapsto \{s^{(1)}, \dots, s^{(p)}\},$$

где $x = (s^{(1)}, \dots, s^{(p)})$.

Замечание: каждый фрагмент есть временной ряд.

После настройки модели $g(\mathbf{f}, x)$ на каждом фрагменте из $S(x)$ получим набор параметров модели:

$$F(x; S, g) = \{\mathbf{f}(s) : s \in S(x)\}.$$

Далее предлагаются две схемы решения исходной задачи.

- Принцип голосования: обучение алгоритма b на объектах обучающей выборки $\hat{\mathfrak{D}} = \{(\mathbf{f}(s), y) : (x, y) \in \mathfrak{D}, s \in S(x)\}$ и последующая классификация

$$a(x) = \text{mode} \{b(\mathbf{f}(s)) : s \in S(x)\}.$$

- Классификация в пространстве параметров распределений параметров моделей.

Гипотеза порождения временного ряда

Фрагменты временного ряда $s \in S(x)$ описываются моделью $g(\mathbf{f}, s)$ со случайными параметрами \mathbf{f} из параметрического семейства распределений $\{P_{\theta}\}_{\theta \in \Theta}$.

Предлагается в качестве признакового описания временного ряда использовать оцененный вектор параметров распределения

$$\mathbf{f}(x) = \arg \max_{\theta \in \Theta} p(F(x; S, g) | \theta).$$

- Предложен алгоритмы построения пространства признаков
- Предложен алгоритм классификации временных рядов
- Выполнена программная реализация и проведены численные эксперименты, показавшие повышения качества решения задачи классификации