

Метрические методы - продолжение

Виктор Владимирович Китов

МГУ им.Ломоносова, ф-т ВМиК, кафедра ММП.

I семестр 2015 г.

Метод парзеновского окна

- Метод парзеновского окна:

$$\hat{f}(x) = \arg \max_{y \in Y} \sum_{n=1}^N \mathbb{I}[y_n = y] K \left(\frac{\rho(x, x_n)}{h(x)} \right)$$

- Выбор $h(x)$:
 - $h(x) = \text{const}$
 - $h(x) = \rho(x, z_K)$ где z_K - K -й ближайший сосед.
 - лучше для неравномерно распределенных объектов
 - для $K(z) = \mathbb{I}[z \leq 1]$ и $h(x) = \rho(x, z_K)$ приводит к методу K -ближайших соседей.

Сложность алгоритма ближайших соседей

- Сложность обучения $O(1)$
 - нужно просто запомнить новый объект
- Сложность предсказания $O(N)$
 - нужно посчитать расстояние от x до всех объектов обучающей выборки
- Варианты упрощения поиска:
 - уменьшить число объектов обучающей выборки
 - удалить шумы (editing)
 - удалить неинформативные объекты (condensing)
 - структурировать признаковое пространство и просматривать только потенциально полезные его части
 - LAESA, KD-tree, ball-tree

Table of Contents

- 1 Уменьшение числа объектов обучающей выборки
- 2 Структурирование признакового пространства

Понятие отступа

- Рассмотрим обучающую выборку:
 $(x_1, c_1), (x_2, c_2), \dots, (x_N, c_N)$, где c_i - правильный класс для объекта x_i , а $\mathbf{C} = \{1, 2, \dots, C\}$ - множество допустимых классов.
- Определим понятие отступа:

$$M(x_i, c_i) = g_{c_i}(x_i) - \max_{c \in \mathbf{C} \setminus \{c_i\}} g_c(x_i)$$

- отступ отрицательный \Leftrightarrow объект x_i был неправильно классифицирован
- величина отступа показывает, насколько классификатор уверен, что объект x_i может быть отнесен к истинному классу c_i

Удаление шумов

Основная идея

Шумы - это объекты, сильно выбивающиеся из закономерности, определяемой методом ближайших соседей. То есть их можно определить как

$$\{x_i : M(x_i, c_i) < -\delta\}$$

для достаточно большого $\delta > 0$.

Алгоритм 1: Фильтрация шумовых наблюдений

для каждого x_i, c_i в обучающей выборке TS :
рассчитать $M(x_i, c_i)$

вернуть отфильтрованную обучающую выборку:
 $T' = \{(x_i, c_i) : M(x_i, c_i) \geq -\delta\}$

Может потребоваться несколько итераций алгоритма.

Удаление неинформативных наблюдений

Основная идея

Неинформативные наблюдения - это такие наблюдения, которые не добавляют информации о классе при их учете.

- Обычно неинформативных наблюдений - большинство для выборок большого объема с простой разделяющей кривой.

Алгоритм 2: Фильтрация неинформативных наблюдений

для каждого класса $c = 1, 2, \dots, C$: # добавить самый репрезента-

$x(c) = \arg \max_{x_i: c_i=c} \{M(x_i, c_i)\}$ # тивный представитель

Инициализировать множество эталонов: $\Omega = \{x(c), c = 1, 2, \dots, C\}$

повторять, пока точность существенно улучшается:

$x_j = \arg \min_{x_i \in T \setminus \Omega} M(x, \Omega)$ # присоединили объект

$\Omega = \Omega \cup x_j$ # с наименьшим отступом

вернуть Ω

Table of Contents

- 1 Уменьшение числа объектов обучающей выборки
- 2 Структурирование признакового пространства**

Структурирование признакового пространства

- LAESA:
 - отсев заведомо слишком далеких объектов, чем найденный
- Иерархическое упорядочивание объектов через систему простых вложенных фигур
 - KD-trees - вложенные прямоугольники
 - ball-trees - вложенные шары
- Комментарии:
 - вложенность понимается в том смысле, что дочерние фигуры совместно содержат все объекты родительской фигуры
 - метода ближайших соседей перестает быть онлайн-овым, т.к. структура признакового пространства оптимизируется под TS.
 - мера близости должна удовлетворять неравенству треугольника

LAESA - инициализация

- Выделяем систему P опорных объектов z_1, z_2, \dots, z_P из объектов TS :
 - z_1 выбирается случайным образом
 - для $p = 2, 3, \dots, P$: $z_p = \arg \max_{x \in TS} \sum_{i=1}^{p-1} \rho(z_i, x)$
- Основное используемое свойство:
 - 1 по неравенству треугольника:

$$\rho(x, x') \geq |\rho(x', z_k) - \rho(z_k, x)|$$
 - 2 поскольку $p = 1, 2, \dots, P$ - любое, то справедлива оценка снизу на расстояние:

$$\rho(x, x') \geq G(x') = \max_{p=1,2,\dots,P} |\rho(x', z_k) - \rho(z_k, x)| \quad (1)$$

- 3 Поскольку $x' \in \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, то все $\rho(x', z_k)$ в (1) можно посчитать заранее.

LAESA - алгоритм

- Обозначения:

- x - объект, для которого требуется найти ближайшего соседа.
- Ω - множество объектов-потенциальных кандидатов для ближайшего соседа

- Алгоритм:

- $\Omega = TS$
- находим расстояния $d_i = \rho(x, z_i)$
- текущий ближайший сосед $x_{n.n.} = \arg \min_{z_i} \rho(x, z_i)$,
 $d_{n.n.} = \rho(x, u)$
- оцениваем расстояния снизу
 $\rho(x, x') \geq G(x') = \max_{p=1,2,\dots,P} |\rho(x', z_k) - \rho(z_k, x)|, \quad x' \in \Omega$
- отсеиваем заведомо неподходящие объекты:
 $\Omega = \Omega \setminus \{x' \in \Omega : G(x') \geq d_{n.n.}\}$
- находим следующего кандидата $\tilde{x} = \arg \min_{x' \in \Omega} G(x')$
- если $\rho(x, \tilde{x}) < \rho(x, u)$,
 - то $x_{n.n.} = \tilde{x}$, $d_{n.n.} = \rho(x, \tilde{x})$, переход на шаг 5.
 - иначе $\Omega = \Omega \setminus \{\tilde{x}\}$, переход на шаг 6.

Комментарии по LAESA

- Требования по памяти: PN
- Оптимальное P - баланс между сложностью расчета $G(x')$ и сложностью расчета $\rho(x, x')$.
- Для метода K ближайших соседей - поддерживать список не 1, а K ближайших кандидатов в алгоритме.

KD-tree

- Построение субоптимального дерева:

построить_узел_дерева(Ω):

если $|\Omega| < n_{min}$:

вернуть лист с приписанными объектами Ω

иначе:

найти признак с наибольшим разбросом на Ω :

$$x^j = \arg \max_{x^i} \sigma(x^i)$$

найти медиану на Ω : $\mu = \text{median}\{x^j\}$

вернуть внутреннюю вершину с двумя потомками:

левый потомок=

построить_узел_дерева($x^j, < \mu, \{x_i \in \Omega : x_i^j < \mu\}$)

правый потомок=

построить_узел_дерева($x^j, \geq \mu, \{x_i \in \Omega : x_i^j \geq \mu\}$)

KD-tree

- сложность $O(DN \log_2 N)$, поскольку на уровне h с k внутренними вершинами:
 - $|\Omega_1| = n_1, \dots, |\Omega_k| = n_k, n_1 + n_2 + \dots + n_k \leq N$
 - требуется посчитать σ для D признаков - сложность $D(n_1 + \dots + n_k) \leq DN$
- требуется повторить процедуру для каждого уровня $h = 1, 2, \dots, H, H \leq \lceil \log_2 N \rceil$, поскольку каждый раз число наблюдений в листе делится пополам и дерево сбалансированное
- геометрически эффективнее брать не медиану, а среднее, но дерево может оказаться несбалансированным.

KD-tree: поиск ближайшего соседа

- Для интересующего объекта x находим лист дерева, которому он принадлежит.
 - для текущей вершины смотрим дискриминантный признак x^i и порог вершины μ
 - если $x^i < \mu$, переходим к левому потомку, иначе - к правому, пока не дойдем до листа.
- Полным перебором среди всех объектов в листе определяем ближайшего соседа

KD-tree: поиск ближайшего соседа

- Обходим все дерево, поднимаясь вверх на 1 уровень и считая расстояния до всех гиперпрямоугольников на данном уровне
 - если расстояние больше расстояния до текущего ближайшего соседа - пропускаем соответствующую вершину
 - если нет, то делаем проверки для вложенных вершин-потомков
 - если нашли более близкий объект, то обновляем текущего ближайшего соседа и расстояние до него.

KD-tree: расстояние до прямоугольника

- Расстояние от $x = [x^1, \dots, x^D]^T$ до прямоугольника $\{(h_1, \dots, h_D) : h_d^{min} \leq h_d \leq h_d^{max}\}$ считается как $\rho(x, z)$, где z - ближайшая на прямоугольнике точка со следующими координатами:

$$z^d = \begin{cases} h_d^{min} & x^d < h_d^{min} \\ x^d & h_d^{min} \leq x^d \leq h_d^{max} \\ h_d^{max} & x^d > h_d^{max} \end{cases}$$

- Комментарии:
 - В наилучшем случае дерево сбалансированное, и глубина $O(\log N)$
 - В наихудшем случае глубина $O(N)$

Ball trees

- Вложенная система шаров
- Вложенность: все объекты, попавшие в родительский шар попадут в один и только один из дочерних шаров.
- Характеристики шара:
 - центр c
 - объекты, приписанные к шару z_1, z_2, \dots, z_K
 - радиус $R = \max_i \|z_i - c\|$

Ball trees - рекурсивная генерация

- для родительского шара $Ball(c, \Omega)$ (с центром c и приписанными объектами Ω):
 - выбрать $c_1 = \arg \max_{z_i \in \Omega} \|z_i - c\|$
 - выбрать $c_2 = \arg \max_{z_i \in \Omega} \|z_i - c_1\|$
 - разбить объекты Ω на 2 группы:

$$\Omega_1 = \{z_i : \|z_i - c_1\| < \|z_i - c_2\|\}$$

$$\Omega_2 = \{z_i : \|z_i - c_2\| < \|z_i - c_1\|\}$$

- сопоставить родительскому шару 2 дочерних: $Ball(c_1, \Omega_1)$ и $Ball(c_2, \Omega_2)$.

Ball trees

Расстояние до шара:

для любой $z \in B = \text{Ball}(c, R)$:

$$\rho(x, z) \leq \rho(x, c) + \rho(z, c)$$

откуда следует, что

$$\rho(x, z) \geq \rho(x, c) - \rho(z, c) \geq \rho(x, c) - R$$

Комментарии

- Для применения LAESA, KD-tree и ball-tree мера близости $\rho(x, z)$ должна удовлетворять неравенству треугольника.
- Чем выше D тем менее эффективно структурирование пространства.
 - оно рассчитано разделять объекты на геометрически компактные группы
 - при больших D почти все объекты становятся одинаково далекими друг от друга
 - в KD-tree: близость по отдельным координатам не гарантирует близости по остальным.
- Для больших D ball-tree работает эффективнее, чем KD-tree, за счет того, что шары более точно оценивают нижнюю границу для расстояния до точек, чем прямоугольники.