

УДК 004.056

Статистические оценки показателей точности, полноты и F-меры в методах машинного обучения для задач бинарной классификации

Троицкий Игорь Иванович

iitroickiy@bmstu.ru

Басараб Михаил Алексеевич^(*)

basarab@bmstu.ru

SPIN-код: 9224-5685

Глинская Елена Вячеславовна

basarab@bmstu.ru

SPIN-код: 5430-3023

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Исследуются асимптотические свойства оценок основных показателей точности, полноты и F-меры в методах машинного обучения для распознавания двух классов. Определены математические ожидания и дисперсии указанных оценок. Показано асимптотически нормальное распределение оценок показателей точности, полноты и F-меры. Знание этого закона распределения и его параметров позволяет построить доверительные интервалы для искомых основных показателей точности, полноты и F-меры в методах машинного обучения.

Ключевые слова: машинное обучение, классификация, точность, полнота, F-мера

Введение. В задачах классификации состояний систем при каждом распознавании класса выпадает пара (i, j) , где i — метка реального класса состояния системы, j — метка результата распознавания. Обозначим через $P(i, j)$ вероятность наступления события (i, j) . При бинарной классификации можно присвоить классам метки 0 и 1. Тогда i и j принимают значения 0 или 1. Основными показателями распознавания 2-х классов систем методами машинного обучения являются точность (ACC), полнота (PR) и F-мера (F-score) [1]. Для определения указанных показателей в методах машинного обучения используются обучающая и контрольная (тестовая) выборки. Разбиение исходного набора данных (датасета) может быть достаточно произвольным, а результаты классификации по указанным метрикам будут сильно варьироваться, поэтому представляет интерес статистические оценки данных показателей. Целью работы является получение асимптотических свойств оценок точности, полноты и F-меры в задачах бинарной классификации методами машинного обучения.

Методы и материалы; результаты. Выражения для точности, полноты и F-меры при бинарной классификации имеют соответственно вид

$$ACC = \frac{P(1,1)}{P(1,1) + P(1,0)}, PR = \frac{P(1,1)}{P(1,1) + P(0,1)}, F\text{-score} = 2 \frac{ACC \cdot PR}{ACC + PR}.$$

Пусть N — объем контрольной выборки, а N_{ij} — число выпадений пары (i, j) . Тогда в качестве оценки вероятности $P(i, j)$ целесообразно взять

$P^*(i, j) = \frac{N_{i,j}}{N}$, где $i, j = 0, 1$. Аналогично получим оценки точности, достоверности и F-меры: ACC^* , PR^* , $F\text{-score}^*$. С использованием полиномиального распределения оценок $P^*(1,1)$ и $P^*(1,0)$ и результатов теоремы [2, с. 388], получены следующие статистические оценки математического ожидания и дисперсии рассматриваемых случайных величин:

$$\begin{aligned} M[ACC^*] &= ACC + O\left(\frac{1}{N^{\frac{3}{2}}}\right), & D[ACC^*] &= \\ &= \frac{P(1,1)P(1,0)}{N(P(1,1) + P(1,0))^3} + O(1/N^{3/2}); \\ M[PR^*] &= PR + O(1/N^{3/2}), & D[PR^*] &= \frac{P(1,1)P(0,1)}{N(P(1,1) + P(0,1))^3} + O(1/N^{3/2}); \\ M[F\text{-score}^*] &= F1 + \frac{2P(1,1)(P(1,1) + P(0,0) - 1)}{N(1 + P(1,1) - P(0,0))^3} + O(1/N^{3/2}), \\ D[F\text{-score}^*] &= \frac{4P(1,1)(1 - P(0,0))(1 - P(1,1) - P(0,0))}{N(1 + P(1,1) - P(0,0))^4} + O(1/N^{3/2}). \end{aligned}$$

Заключение. В [2] также доказано, что оценки точности, полноты и F-меры имеют асимптотическое нормальное распределение с соответствующими математическими ожиданиями и дисперсиями. Тогда нетрудно построить доверительные интервалы для искомых основных показателей машинного обучения: точности, полноты и F-меры. Полученные оценки могут использоваться для повышения надежности оценок качества классификации алгоритмов машинного обучения в задачах информационной безопасности [3].

Список источников

- [1] Vujović Z.D. Classification Model Evaluation Metrics. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2021, vol. 12 (6). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120670>
- [2] Крамер Г. *Математические методы статистики*. Москва, Наука, 1975, 648 с.
- [3] Шелухин О.И., Ерохин С.Д., Полковников М.В. *Технологии машинного обучения в сетевой безопасности*. Москва, Горячая линия — Телеком, 2022, 360 с.