Комбинированные системы распознавания образов

Лапко А. В., Лапко В. А.
lapko@icm.krasn.ru
Красноярск, Институт вычислительного моделирования СО РАН

В работе с позиции последовательных процедур принятия решений и принципов коллективного оценивания предлагаются статистические модели распознавания образов, представляющие собой семейство частных решающих функций, организация которых в нелинейном решающем правиле осуществляется с помощью методов непараметрической статистики. Частные решающие функции формируются на основе однородных частей обучающей выборки, которые удовлетворяют одному или нескольким требованиям: наличие однотипных признаков, пропусков данных, возможность декомпозиции исходных признаков на группы в соответствии со спецификой решаемой задачи. Это порождает широкий круг постановок задач синтеза непараметрических решающих правил. При интеграции частных решающих функций используются непараметрические оценки оптимальных байесовских решающих правил.

Синтез структуры системы

1. Пусть $V = \bigl(x_1^i, x_2^i, \ldots, x_k^i,\ \sigma(x^i),\ i = 1, \ldots, n\bigr)$ — обучающая выборка объёма n, составленная из значений признаков классифицируемых объектов и соответствующих «указаний учителя» об их принадлежности к одному из двух классов, причём $\sigma(x^i) = -1$ для всех $x^i \in \Omega_1$ и $\sigma(x^i) = 1$ для всех $x^i \in \Omega_2$.

Осуществим декомпозицию исходной выборки V на T однородных выборок в соответствии со спецификой задачи

$$V(t) = \bigl(x^i(t),\ \sigma(x^i),\ i = 1, \ldots, n\bigr), \quad t = 1, \ldots, T,$$

где $x\,(t)$ имеет размерность k_t, а $\sum_{t=1}^{T} k_t = k$.

2. На основе каждой выборки $V\,(t)$ построим непараметрическое решающее правило

$$\bar{m}_t\bigl(x\,(t)\bigr) : \begin{cases} x \in \Omega_1, & \bar{f}_{12}\bigl(x(t)\bigr) \leqslant 0; \\ x \in \Omega_2, & \bar{f}_{12}\bigl(x(t)\bigr) > 0; \end{cases} \qquad t = 1, \ldots, T, \tag{1}$$

где $\bar{f}_{12}\bigl(x(t)\bigr)$ — непараметрические оценки решающих функций

$$\bar{f}_{12}\bigl(x(t)\bigr) = \left(n \prod_{v \in I_t} c_v\right)^{-1} \sum_{i=1}^{n} \sigma\left(x^i\right) \prod_{v \in I_t} \Phi\left(\frac{x_v - x_v^i}{c_v}\right);$$

I_t — множество номеров признаков, входящих в группу $x(t)$; $\Phi(\cdot)$ — ядерные функции, удовлетворяющие условиям положительности, симметричности, нормированности, и имеющие конечные центральные моменты [1].

Оптимизация частных решающих правил (1) по коэффициентам размытости ядерных функций $c_v,\ v \in I_t$ осуществляется в режиме «скользящего экзамена» из условия минимума статистической оценки вероятности ошибки распознавания образов.

3. Используя непараметрические оценки решающих функций $\bar{f}_{12}(x(t))$, сформируем обучающую выборку

$$\bigl(\bar{f}_{12}(x^i(t)),\ t = 1, \ldots, T,\ \sigma(x^i),\ i = 1, \ldots, n\bigr)$$

и построим комбинированное решающее правило в пространстве значений $\bar{f}_{12}(x) = \bigl(\bar{f}_{12}(x(t)),\ t = 1, \ldots, T\bigr)$

$$\bar{m}\left(\bar{f}_{12}\left(x\right)\right) : \begin{cases} x \in \Omega_1, & \bar{F}_{12}\left(\bar{f}_{12}\left(x\right)\right) \leqslant 0; \\ x \in \Omega_2, & \bar{F}_{12}\left(\bar{f}_{12}\left(x\right)\right) > 0; \end{cases}$$

где непараметрическая оценка обобщённой решающей функции между классами имеет вид

$$\bar{F}_{12}(\bar{f}_{12}(x)) = \left(n \prod_{v=1}^{T} c_v\right)^{-1} \sum_{i=1}^{n} \sigma(x^i) \prod_{v=1}^{T} \Phi\left(\frac{\bar{f}_{12}(x(t)) - \bar{f}_{12}(x^i(t))}{c_v}\right).$$

На первом уровне структуры рассматриваемой системы классифицируемая ситуация x преобразуется в значения непараметрических оценок $\bar{f}_{12}\bigl(x(t)\bigr),\ t = 1, \ldots, T$, в пространстве которых принимается решение $\bar{\sigma}\left(x\right)$ правилом $\bar{m}\left(\bar{f}_{12}\left(x\right)\right)$ о принадлежности ситуации x к тому или иному классу.

Предлагаемый алгоритм классификации обеспечивает не только эффективное решение задач распознавания образов в условиях малых выборок, но и позволяет учитывать априорные сведения о виде частных решающих функций.

Анализ результатов вычислительного эксперимента

На основании данных вычислительного эксперимента сравнивается эффективность комбинированных решающих правил с хорошо зарекомендовавшим себя на практике традиционным непараметрическим алгоритмом распознавания образов в пространстве признаков $x = (x_1, \ldots, x_k)$ [2].

Исследования осуществлялись при решении двухальтернативной задачи распознавания образов в k-мерном пространстве признаков со сложной нелинейной границей, $k = 4, \ldots, 20$.

Достоверность различия эмпирических оценок вероятности ошибки распознавания образов сравниваемых методов рассчитывалась в соответствии с критерием Смирнова. При этом установлено достоверное преимущество предлагаемого алгоритма над традиционным. Данная закономерность сохраняется для различных объемов обучающих выборок.

Обнаружен экстремальный характер зависимости показателей эффективности комбинированного классификатора от количества T частных решающих правил. Причём с ростом размерности k признаков классифицируемых объектов его преимущество при оптимальных значениях T над традиционным непараметрическим алгоритмом возрастает. Отношение средних значений их оценок вероятности ошибки достигает трёх на контрольных выборках, что особенно проявляется при малых объёмах экспериментальных данных.

Заключение

Нелинейные непараметрические алгоритмы распознавания образов являются эффективным средством решения задач классификации в условиях малых обучающих выборок. Их применение обеспечивает значительное снижение ошибки распознавания образов на контрольных выборках (в 1.5–3 раза) по сравнению с традиционным непараметрическим классификатором.

Перспективы развития предлагаемого подхода связаны с его применением в задачах классификации в условиях разнотипной информации и неоднородных выборок, получаемых в результате заполнения пропусков данных.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-01-00006.

Литература

[1] *Лапко А. В.* Непараметрические системы классификации / А. В. Лапко, В. А. Лапко, М. И. Соколов, С. В. Ченцов. — Новосибирск: Наука, 2000. — 240 с.

[2] *Лапко А. В.* Обучающиеся системы обработки информации и принятия решений / А. В. Лапко, С. В. Ченцов, С. И. Крохов, Л. А. Фельдман. — Новосибирск: Наука, 1996. — 296 с.