

Регуляризация в распознавании изображений: принципы гладкости решающего правила и выбора информативной подобласти

Середин О. С.

oseredin@yandex.ru

Тула, Тульский государственный университет

В докладе приводится отчет о последних совместных работах Лаборатории анализа данных Тульского государственного университета и Вычислительного центра РАН, направленных на улучшение экстраполирующих свойств решающего правила распознавания при обучении на малых выборках в задачах анализа изображений. Рассматриваются две идеи повышения прогнозирующих свойств решающих правил. Первая заключается в наложении специальных априорных ограничений на вариабельность решающих правил в исходном признаковом пространстве; вторая идея заключается в управляемом отборе информативных признаков. Оба идейных подхода являются стандартными [1, 2], мы же предлагаем конкретные операциональные и, по нашему мнению, эффективные решения. Простейшая математическая модель изображения — множество действительных чисел, соответствующих элементам дискретной решетки (обычно пиксельной) и представляющих уровень яркости конкретного пикселя. Естественно рассматривать изображение как вектор в соответствующем евклидовом пространстве. Как правило, размерность такого пространства огромна, поскольку равна числу пикселей изображения. На практике редко удается набрать обучающую выборку, хотя бы сопоставимую по числу объектов с таким размером.

Однако такое евклидово пространство обладает отличительной спецификой, а именно, наличием двух координатных осей, вдоль которых естественным образом упорядочены пиксели. Таким образом, в отличие от обычного евклидова пространства, на элементах вектора признаков установлена дополнительная мера их близости. Две координаты близки друг к другу, если близки на плоскости изображения соответствующие им пиксели. Так можно образно говорить о «гладких» и «негладких» векторах в линейном пространстве. Подобная регуляризация рассматривалась в работе [3, 4], посвященной анализу одномерных сигналов.

В данной работе предлагается способ регуляризации стандартного критерия обучения (метод опорных векторов, SVM [5]) за счет учета расстояния между элементами пиксельной решетки (Рис. 1)

$$d_{ts,t's'} = \sqrt{(t-t')^2 + (s-s')^2} \geq 0.$$

Пусть дана обучающая выборка изображений двух классов (\mathbf{x}_j, g_j) , $j = 1, \dots, N$, $\mathbf{x}_j = (x_{ts,j})$, $t = 1, \dots, T$, $s = 1, \dots, S$, $g_j \in \{1, -1\}$.

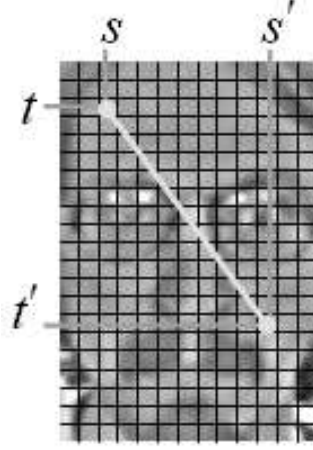


Рис. 1. Расстояние между элементами растровой решетки.

Необходимо найти дискриминантную функцию $\mathbf{a} = (a_{ts})$, $t = 1, \dots, T$, $s = 1, \dots, S \in R^n$.

Регуляризованный критерий обучения:

$$\begin{cases} \mathbf{a}^T(\mathbf{I} + \gamma\mathbf{B})\mathbf{a} + C \sum_{j=1}^N \delta_j \rightarrow \min_{\mathbf{a}, b}; \\ g_j(\mathbf{a}^T \mathbf{x}_j + b) \geq 1 - \delta_j, \quad \delta_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, N; \end{cases}$$

$$\mathbf{B} = 2 \begin{pmatrix} -p_{1,1} + \sum_{j=1}^{TS} p_{1,j} & \cdots & -p_{1,TS} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ -p_{TS,1} & \cdots & -p_{TS,TS} + \sum_{j=1}^{TS} p_{TS,j} \end{pmatrix}.$$

Здесь $p_{ts,t's'}$ — неотрицательная функция похожести, например, вида

$$p_{ts,t's'} = \begin{cases} 1, & d_{ts,t's'} \leq \sqrt{2}, \\ 0, & d_{ts,t's'} > \sqrt{2}, \end{cases} \quad \text{или} \quad p_{ts,t's'} = \begin{cases} 1, & d_{ts,t's'} \leq 1, \\ 0, & d_{ts,t's'} > 1, \end{cases}$$

где $\gamma \geq 0$ — параметр регуляризации. В докладе рассмотрен вопрос подбора параметра регуляризации.

Вторая идея связана с автоматическим отбором информативных подобластей на плоскости изображения. В работе [6] был описан безитерационный чрезвычайно эффективный метод отбора информативных признаков, получивший название Selective Kernel Fusion. Однако, процеду-

ра, будучи применена к задаче анализа изображений, отыскивала слишком локальные особенности конкретной обучающей выборки и отбирала на всей плоскости изображения единичные «выколотые» пиксели-признаки. Внесение в эту процедуру регуляризующей добавки позволило выделять на изображении информативные подобласти:

$$\begin{cases} \mathbf{a}^T [\text{diag}(1/\sqrt{r_{ts}})]^T (\mathbf{I} + \gamma \mathbf{B}) [\text{diag}(1/\sqrt{r_{ts}})] \mathbf{a} + \\ \quad + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \log r_{ts} + C \sum_{j=1}^N \delta_j \rightarrow \min; \\ g_j(\mathbf{a}^T \mathbf{x}_j + b) \geq 1 - \delta_j, \quad \delta_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, N. \end{cases}$$

Обучение представляет собой процедуру Гаусса-Зайделя по искомым параметрам \mathbf{a} и $\mathbf{r} = (r_{ts})$, $t = 1, \dots, T$, $s = 1, \dots, S$, начиная с некоторого заранее заданного начального значения, например, $r_{ts} = 1$. Суть параметров обучения \mathbf{r} — веса при информативных признаках.

В докладе приводятся результаты экспериментальных исследований предложенных критериев как на реальных изображениях людей, так и на модельных изображениях.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 05-01-00679, № 06-01-08042, № 06-01-00412, № 06-07-89249.

Литература

- [1] Guyon I., Elisseeff A. An Introduction to Variable and Feature Selection // Journal of Machine Learning Research. — 2003 — 3. — P. 1157–1182.
- [2] Juwei Lu, Plataniotis K. N., Venetsanopoulos A. N. Regularization Studies of Linear Discriminant Analysis in Small Sample Size Scenarios with Application to Face Recognition // Pattern Recognition Letter. — 2005. — Vol. 26, issue 2. — P. 181–191.
- [3] Seredin O. S., Dvoenko S. D., Krasotkina O. V., Mottl V. V. Machine Learning for Signal Recognition by the Criterion of Decision Rule Smoothness // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2001. — Vol. 11, № 1. — P. 87–90.
- [4] Seredin O., Mottl V. Regularization in image recognition: the principle of decision rule smoothing // Pattern Recognition and Information Processing: Proc. of the 9th Int. Conf., Minsk, 2007. — Vol. II. — P. 151–155.
- [5] Vapnik V. Statistical Learning Theory. — New York: Wiley, 1998.
- [6] Mottl V., Krasotkina O., Seredin O., Muchnik I. Kernel fusion and feature selection in machine learning // Proc. of the 8th IASTED Int. Conf. Intelligent Systems and Control, Cambridge, USA, 2005. — P. 477–482.