

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ФРАГМЕНТОВ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ РАЗНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Моттль В.В.¹, Сулимова В.В.², Татарчук А. И.³

¹ Вычислительный центр Российской академии наук
ул.Вавилова, 40, Москва, Россия, 117968

² Тульский государственный университет
пр-т Ленина, 92, Тула, Россия, 300600

E-MAIL: vmottl@yandex.ru, sulimova@tula.net, aitech@yandex.ru

Abstract

In this paper we propose principle, which allow us to make an automatical choice of most informative elements of multi-component decret signals of different lengths. Besides we show an example of applying this approach to on-line signature verification problem.

ВВЕДЕНИЕ

Известно множество прикладных задач распознавания образов, в которых объекты распознавания изначально оказываются представленными в виде сигналов разной длительности, определенных вдоль оси дискретного аргумента. Это задачи распознавания речи, рукописных текстов и подписей, вводимых в компьютер в процессе их написания, анализа электрокардиограмм и т.д.

Анализ последних достижений и публикаций, посвященных проблеме распознавания многокомпонентных дискретных сигналов разной длительности, показывает, что в настоящее время достаточно распространенным подходом к решению задач данного класса является так называемый беспризнаковый подход [5], основанный на измерении попарного сходства или несходства соответствующих сигналов [2], [3], [6], [8], минуя непосредственное вычисление векторов их признаков.

Следует отметить, что в таких задачах информация, полезная для принятия решения о принадлежности объекта к тому или иному классу часто оказывается сосредоточенной на определенных участках представляющего его сигнала.

Как правило, существуют характерные точки или области, которые достаточно точно воспроизводятся в сигналах, соответствующих объектам одного класса, и, в то же время, искажаются или отсутствуют в сигналах, представляющих объекты других классов.

В большинстве прикладных задач обычно присутствует относительно небольшое количество таких наиболее информативных фрагментов сигналов, в то время как остальные отсчеты только мешают эффективному распознаванию, внося шумовой эффект при парном сравнении сигналов и значительно увеличивая время работы соответствующих алгоритмов.

В связи с этим *актуальной является проблема* выбора наиболее информативных отсчетов многокомпонентных дискретных сигналов, представляющих объекты реального мира.

Отчасти данная проблема решается эвристическими методами выбора экстремальных точек [7], [9], основанными на предположении, что отсчеты, соответствующие локальным минимумам и максимумам хотя бы по одной компоненте сигнала, являются более информативными, чем «промежуточные» отсчеты. Однако следует отметить, что получаемое в данном случае решение не является оптимальным с точки зрения минимизации количества выбранных отсчетов при условии сохранения или улучшения качества решающего правила по сравнению с использованием исходных сигналов.

В данной работе предлагается подход, позволяющий автоматически, в процессе адаптивного обучения осуществить выбор минимального количества наиболее информативных отсчетов многокомпонентных дискретных сигналов, обеспечивающих линейную разделимость пары классов [1].

1. ВЫРАВНИВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ.

Под выравниванием двух многокомпонентных дискретных сигналов принято понимать установление оптимальных парных соответствий между их отсчетами.

Критерий оптимальности расположения ссылок может отличаться для личных прикладных задач распознавания сигналов разной длительности, но обычно имеет структуру парно-сепарабельной функции, т.е., являясь функцией многих переменных, представляет собой сумму элементарных целевых функций, каждая из которых уже зависит только от двух смежных переменных. Минимум такой функции может быть найден при помощи процедуры динамического программирования.

Примеры построения такого критерия оптимальности и результаты решения соответствующих оптимизационных задач приведены в работах [2], [6], [8].

Пусть нам известен сигнал, не обязательно соответствующий реальному объекту, но являющийся своего рода усреднением всех доступных сигналов представляющих объекты некоторого класса.

Выравнивание с ним всех сигналов из обучающей совокупности дает нам новые, скорректированные сигналы, которые будут иметь одинаковую длину. При этом отсчеты полученных сигналов могут играть роль признаков соответствующих объектов.

В данном случае задача поиска наиболее информативных элементов сигналов может быть сформулирована как задача отбора полезных признаков объектов.

2. ПОИСК НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ОТСЧЕТОВ КАК ОТБОР ПОЛЕЗНЫХ ПРИЗНАКОВ.

Пусть мы имеем множество реальных объектов некоторой природы $w_j \in \Omega^*$, $j = 1, \dots, N$ представленных m -компонентными дискретными сигналами, выровненными по некоторому «центральному» сигналу и, соответственно, имеющими одинаковую длину n :

$$X_j(w_j) = (x_{i,j} \in R^m, i = 1, \dots, n), \quad j = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Пусть также на множестве всех мыслимых объектов данной природы $w \in \Omega \supset \Omega^*$ существует функция $g(w) = \{1, -1\}$, объективно разбивающая данное множество на два класса, и ее значения известны для объектов $w_j \in \Omega^* : g(w_j) = g_j$, $j = 1, \dots, N$ и, соответственно, для представляющих их сигналов (1).

Конечной целью является построение решающего правила $\hat{g}(w)$, которое позволило бы распознавать класс объекта w , не вошедшего в обучающую совокупность Ω^* , опираясь на его образ в пространстве наблюдений $X(w)$, т.е. соответствующий дискретный сигнал, и при этом «не слишком часто» ошибаться.

Решающее правило удобно строить в виде линейной функции вида $\hat{g}(w) = (A, X) + b$, выбирая подходящие параметры - направляющий сигнал $A = (a_i \in R^m, i = 1, \dots, n)$ и константу b . Здесь (A, X) - скалярное произведение соответствующих векторов.

Следует отметить, что если длина сигналов превышает размер обучающей совокупности ($n < N$), что часто и происходит на практике, то всегда существуют линейные функции, в точности воспроизводящие данные учителя, т.е. безошибочно разделяющие объекты пары классов, но, в то же время, построенное решающее правило обычно обладает плохой обобщающей способностью.

При этом естественным образом возникает задача поиска такого минимального количества отсчетов сигналов (являющихся векторными признаками исходных объектов), при котором еще возможно безошибочное линейное разделение, т.е., по сути, задача сокращения признакового пространства.

В данной работе для решения дискретной задачи выбора подмножества полезных признаков объектов используется идея ее погружения в непрерывную задачу поиска оптимальных неотрицательных весов $r_i, i = 1, \dots, n$, присваиваемых элементам исходного множества $x_i \in R^m, i = 1, \dots, n$ [4].

Каждый из n признаков $x_i \in R^m, i = 1, \dots, n$ отображает множество объектов в m -мерное евклидово пространство, в каждом из которых необходимо выбрать направляющий вектор $a_i \in R^m$ таким образом, чтобы минимизировать норму направляющего элемента в результирующем пространстве всех признаков, которую определим как

$$\|A\|^2 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} a_i^T a_i.$$

В соответствии с идеей адаптивного обучения, предложенной в [4], будем совместно оценивать направляющие элементы и веса соответствующих признаков по обучающей совокупности с наложением дополнительного штрафа на большие значения весов:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{r_i} a_i^T a_i + \log r_i^2 \right) + C \sum_{j=1}^N \delta_j \rightarrow \min(a_1, \dots, a_n, r_1, \dots, r_n, \delta_1, \dots, \delta_N) \\ g_j \left(\sum_{i=1}^n a_i^T x_{ij} + b \right) \geq 1 - \delta_j, \quad \delta_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, N, \end{array} \right. \quad (2)$$

где x_{ij} - i -й отсчет j -го m -компонентного дискретного сигнала длины n .

Такой адаптивный критерий обучения проявляет ярко выраженную тенденцию к подчеркиванию полезных признаков, адекватных данным «учителя», и к подавлению весов при «лишних», признаках вплоть до исчезающе малых значений весов.

3. ПРИМЕР ПОИСКА НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ФРАГМЕНТОВ ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО ДИНАМИКЕ ПОДПИСИ.

В данной работе предполагается, что подписи вводятся в компьютер непосредственно в процессе их написания и оказываются представленными многокомпонентными сигналами, определенными вдоль оси дискретного аргумента, которым может быть время или путь, пройденный пером вдоль траектории его движения в процессе написания подписи. Причем, следует отметить, что сигналы, полученные при написании подписи даже одним и тем же автором неизбежно будут иметь разную длину. В связи с этим задача верификации личности по динамике подписи является ярким представителем класса задач распознавания сигналов разной длительности.

Задача верификации личности по подписи состоит в том, чтобы по данным обучения определить принадлежность не участвовавшей в обучении подписи к одному из двух классов - классу оригинальных подписей некоторого автора, который расписывается и называет свои идентификационные данные, или классу подделок.

Для проведения эксперимента были использованы подписи из базы данных SVC2004 (<http://www.cs.ust.hk/svc2004/index.html>).

Для отбора наиболее информативных фрагментов сигналов, полученных при написании подписей одного из авторов данной базы, была сформирована обучающая совокупность, состоящая из 10 истинных подписей данного автора, 10 умышленных подделок его подписей и 10 случайных подделок, под которыми понимаются истинные подписи других авторов.

В данном эксперименте для представления подписей использовались двухкомпонентные дискретные сигналы разной длительности

$X_j(w_j) = (x_{i,j} \in R^2, i = 1, \dots, n_j), j = 1, \dots, 30$, компонентами которых является изменение координат X и Y пера в процессе написания подписи.

Для нахождения центрального объекта было произведено попарное выравнивание сигналов, представляющих истинные подписи данного автора. Поиск оптимальных парных соответствий при этом производился с использованием критерия, предложенного в работе [2], обладающего всеми свойствами метрики, в результате чего его значение может быть интерпретировано как расстояние между выравниваемыми сигналами. В качестве центрального был выбран объект, среднееквадратическое расстояние от которого до остальных оригинальных подписей данного автора оказалось минимальным.

Далее все объекты обучающей совокупности были выровнены по полученному центральному объекту, в результате чего все сигналы стали иметь одинаковую длину $n = 207$.

На рисунке 1 представлены некоторые объекты из данной обучающей совокупности, а на рисунке 1а - соответствующие им выровненные сигналы.

В процессе адаптивного обучения в соответствии с критерием (2) были найдены веса r_i каждого из 207 исходных признаков. В результате оказалось, что только 19 из них принимают ненулевые значения. Соответствующие отсчеты сигналов являются наиболее информативными при верификации подписей данного.

На рисунке 2 б - представлены сигналы, полученные из исходных путем удаления неинформативных элементов. Полезные же для распознавания отсчеты показаны вертикальными линиями на рисунке 2, и точками на изображении подписи центрального объекта на рисунке 3.

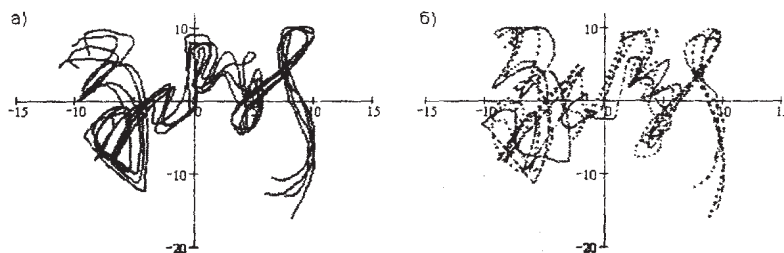


Рис. 1. а) оригинальные подписи; б) их умышленные подделки из базы SVC2004

Выбранные в результате адаптивного обучения наиболее информативные отсчеты были использованы в качестве признаков объектов обучающей совокупности при обучении по методу опорных векторов [1]. Построенное решающее правило верификации было проверено на контрольной совокупности из 60 подписей базы SVC2004 (10 истинных подписей данного автора, 10 умышленных подделок и 40 случайных подделок). Контрольная совокупность была классифицирована безошибочно, что подтверждает эффективность предложенного подхода.

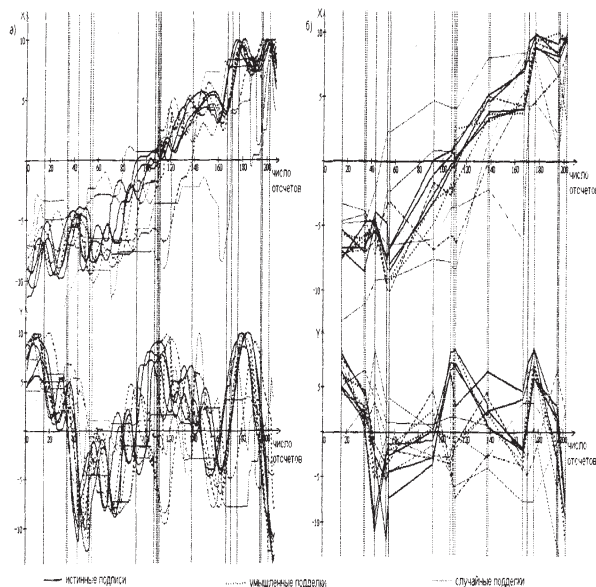


Рис. 2. Сигналы, представляющие подписи из обучающей совокупности а) исходные; б) с удаленными неинформативными отсчетами

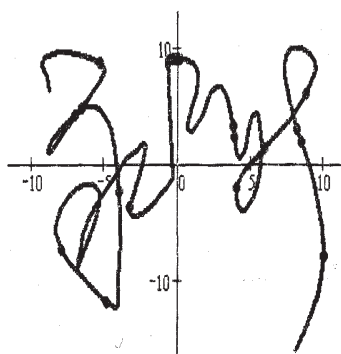


Рис. 3. Изображение центральной подписи. Точками отмечены наиболее информативные фрагменты

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Основным результатом данной работы является сформулированный принцип, позволяющий автоматически, в процессе адаптивного обучения осуществлять выбор наиболее информативных фрагментов в задачах распознавания многокомпонентных дискретных сигналов разной длительности.

Применение данного подхода для решения задачи верификации личности по динамике подписи, как яркого представителя задач распознавания сигналов разной длительности, подтвердило его эффективность.

Представляется перспективным дальнейшее исследование проблемы выбора наиболее информативных фрагментов сигналов разной длительности, а также изучение основных свойств и условий применимости предложенного подхода с проведением более масштабных экспериментов.

Работа выполнена при поддержке гранта INTAS 04-77-7347 и гранта РФФИ 05-01-00679-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. М.: Наука, 1979, 447 с.
2. Дмитриев Д.А., Сулимова В.В., Моттль В.В. Измерение попарного несходства подписей для идентификации личности. Сборник трудов международной конференции ММТТ- 16, 2003 г, том 4, с. 216 - 218.
3. Колядин Д.В. Анализ динамических кривых применительно к задаче верификации рукописной подписи. Сборник трудов 11-й всероссийской конференции Математические методы распознавания образов, 2003, с. 330 - 332.
4. Моттль В.В., Середин О.С, Красоткина О.В. Комбинирование потенциальных функций при восстановлении зависимостей по эмпирическим данным Искусственный интеллект, 2'2004, с 134 - 139.
5. Duin R.P.W, De Ridder D., Tax D.M.J. Experiments with a featureless approach to pattern recognition. Pattern Recognition Letters, 1997, Vol. 18, No. 11-13, pp. 1159-1166.
6. Chu S., Keogh E., Hart D., Pazzani M. Iterative deepening dynamic time warping for time series IEEE International Conference of Data Mining. Maebashi City. Japan, 2002
7. Feng H., Wah C.C. On-line signature verification using a new extreme points warping technique. Pattern Recognition Letters, 2003, vol.24, No. pp.2943-2951
8. Martens R., Claesen L. On-line signature verification by dynamic time-warping. IEEE: ICPR, 1996, pp. 38-42.
9. Parizeux X.Li.M, Plamondon R. Detection of extreme points of On-line handwritten scripts. Pattern Recognition in Handwritten Recognition, 1997.