

5. Гусарова, И.Г. Метод анализа существенно нестационарных неизотермических режимов транспорта газа по системе магистральных газопроводов: Дис. канд. техн. наук: 05.13.01; – Защищена 21.02.92; Утверж. 05.06.92. – Х., 1991. – 189 с.: ил. – Библиогр.: с. 179-188.
6. Сарданашвили, С.А. Расчетные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа) [Текст] / С.А. Сарданашвили. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. – 577 с.
7. Тевяшев, А.Д. Математическая модель и метод расчета нестационарных режимов в линейных участках магистральных газопроводов / А.Д. Тевяшев, И.Г. Гусарова, А.В. Каминская // Научно-технический журнал «Радиоэлектроника и информатика». – 2007. – №2(37). – С. 144-150.
8. ОНТП 51-1-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть I. Газопроводы. - Взамен ВСН 51-2-79; Введ.01.01.1986. - М.: Мингазпром, 1986. – 95 с.
9. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов. 4 изд., доп. и перераб. [Текст] / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982 – 672с.

*Вирішено задачу сегментації багатомірних часових рядів у режимі online. Запропоновано модифікацію метода нечіткої кластеризації Гата-Гевы, що дозволяє вимірювати однорідність сегментів та будувати нечіткі множини для представлення сегментів у часі*

*Ключові слова: нечітка сегментація, багатомірний часовий ряд*

*Решена задача сегментации многомерных временных рядов в режиме online. Предложена модификация метода нечеткой кластеризации Гата-Гевы, позволяющая измерять однородность сегментов и строить нечеткие множества для представления сегментов во времени*

*Ключевые слова: нечеткая сегментация, многомерный временной ряд*

*The task of online multidimensional time-series segmentation is solved. Gath-Geva modified fuzzy clusterization method is proposed. It allows to measure segments' homogeneity and to build fuzzy sets to represent segments in time domain*

*Keywords: fuzzy segmentation, multi-dimensional time-series*

УДК 004.032.26

## СЕГМЕНТАЦИЯ МНОГОМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

А.К. Тищенко

Аспирант\*

Контактный тел.: 050-607-90-89

E-mail: lehatish@mail.ru

И.П. Плисс

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,  
старший научный сотрудник\*

Контактный тел.: (057) 702-18-90

E-mail: pliss@kture.kharkov.ua

\*Проблемная научно-исследовательская лаборатория  
автоматизированных систем управления  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

### Введение

Разбиение временного ряда на внутренние однородные сегменты занимает важное место среди задач интеллектуального анализа данных [1,2], так как позволяет по сути выделять из больших объемов информации ключевые характеристики временного ряда в более компактной форме. Изменения свойств многомерного временного ряда обычно слабо уловимы и не фокусируются на какой-то определенной временной точке. Поэтому использование четких границ сегментов не имеет смысла с практической

точки зрения. Ключевой проблемой применения нечеткой кластеризации в задачах сегментации временных рядов является выбор количества сегментов для кластеризации.

В общем случае задача сегментации временного ряда может быть сформулирована следующим образом: найти в некотором смысле лучшее разбиение временного ряда на некоторое количество внутренне однородных сегментов. Как правило, в практических задачах нужно одновременно отслеживать множество параметров, а большинство алгоритмов сегментации используются для анализа лишь какого-то одного.

Прежде, чем использовать предлагаемый метод сегментации, данные необходимо сжать с помощью анализа главных компонент (РСА) [3]. Сегментация временных рядов может рассматриваться как кластеризация с упорядоченной по времени структурой. Поскольку точки в кластере должны следовать друг за другом во времени, следует принимать в учет во время кластеризации временную координату данных. Следовательно, кластеризация основывается на мере расстояния, состоящей из двух этапов: расстояние основывается на том, как данные определены нечеткими множествами, заданными в данном временном интервале, в указанном сегменте; второй период измеряет то, как далеко данные находятся от гиперплоскости модели сегментов РСА.

На сегодняшний день существует ряд широко применяемых алгоритмов сегментации («Скользящее окно», «Снизу-вверх», «Сверху-вниз»). Например, алгоритм «Сверху-вниз» наиболее широко используется в задачах интеллектуального анализа данных [1]. Алгоритм начинается с создания точной аппроксимации временного ряда.

Следующим шагом является нахождение стоимости слияния для каждой пары сегментов [4,5]. Затем итеративно поглощается пара сегментов с наименьшей функцией стоимости до тех пор, пока не будут удовлетворены условия некоторого критерия остановки. После объединения пары смежных сегментов  $S_i$  и  $S_{i+1}$  должны быть вычислены стоимость слияния нового сегмента со своим правым соседом и стоимость слияния сегмента  $S_{i-1}$  со своим новым «большим» соседом. Однако главным недостатком всех широко используемых сегодня алгоритмов сегментации являются хорошие результаты лишь при работе в пакетном режиме.

Предложенный алгоритм сегментации для работы в режиме online предполагает последовательное оценивание однородности сегментов, а также их формальное представление во времени.

### Процедура сегментации

Задача сегментации может быть определена как задача кластеризации: точки данных надо сгруппировать, основываясь на их подобию, но с ограничением, что все точки кластера должны следовать друг за другом во времени. По сути данная процедура является online модификацией метода нечеткой кластеризации Гата-Гевы [6,7], позволяющая измерять однородность сегментов и строить нечеткие множества для представления сегментов во времени. Эффективность и точность предложенной процедуры зависит от правильного выбора количества главных компонент и количества сегментов. В общем случае метод сегментации может быть представлен в виде:

Сначала необходимо задать  $s$  – количество сегментов и  $q$  – количество главных компонент, выбрать порог остановки  $\epsilon > 0$ , инициализировать величины  $W_i$  – матрица весов,  $\mu_{i,k}$  – уровень принадлежности наблюдения  $i$ -му кластеру,  $\sigma_{i,x}^2$  – девиация,  $c_i^x$  – центроид кластера.

На первом этапе необходимо вычислить параметры кластеров  $\alpha_i$  по формуле

$$\alpha_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \mu_{i,k}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество точек в выборке.

Далее вычисляются центры кластеров в следующей форме:

$$c_i^x = \left( \sum_{k=1}^N (\mu_{i,k})^\beta \right)^{-1} \sum_{k=1}^N (\mu_{i,k})^\beta (x_k - W_i y_{i,k}) = \left( \sum_{k=1}^N (\mu_{i,k})^\beta \right)^{-1} \sum_{k=1}^N (\mu_{i,k})^\beta (x_k - W_i M_i^{-1} W_i^T (x_k - c_i^x)), \quad (2)$$

где  $y_{i,k} = M_i^{-1} W_i^T (x_k - c_i^x)$  и  $M_i = \sigma_{i,x}^2 I + W_i^T W_i$  – матрица размерности  $(q \times q)$ .

После этого вычисляются новые значения матрицы весов  $W_i$

$$W_i = F_i W_i (\sigma_{i,x}^2 I + M_i^{-1} W_i^T F_i W_i)^{-1}, \quad (3)$$

где  $F_i$  вычисляется в виде:

$$F(k+1) = \frac{1}{\gamma} \left( F(k) - \frac{F(k)x(k)x^T(k)F(k)}{\gamma + x^T(k)F(k)x(k)} \right), \quad (4)$$

где  $\gamma$  – параметр забывания, поскольку мы имеем дело с нестационарными рядами

Следующим шагом вычисляются новое значение  $\sigma_{i,x}^2$

$$\sigma_{i,x}^2 = \frac{1}{q} \text{Tr}(F_i - F_i W_i M_i^{-1} W_i^T) \quad (5)$$

и норма расстояния  $A_i$  (матрица размерности  $(n \times n)$ )

$$A_i = \sigma_{i,x}^2 I + W_i(k) W_i^T(k). \quad (6)$$

После чего происходит вычисление параметров модели во времени: центр модели во времени  $c_i^t$  рассчитывается в общем виде

$$c_i^t(l+1) = c_i^t(l) - \eta(l) \mu_{it}^\beta D(t_k(l+1), c_i^t(l)) \nabla_{c_i^t} D(t_k(l+1), c_i^t(l)), \quad (7)$$

где  $\eta$  – параметр шага обучения,  $D(x_k(l+1), c_i^t(l))$  – расстояние между значением временного ряда и центром модели во времени; при  $\beta=2$  формула (7) сводится к виду

$$c_i^t(l+1) = c_i^t(l) + \eta(l) \mu_{ik}^2(k,j) (t_k(l+1) - c_i^t(l)), \quad (8)$$

а стандартная девиация вычисляется в виде

$$\sigma_{i,t}^2 = \left( \sum_{k=1}^N (\mu_{i,k})^\beta \right)^{-1} \text{Tr} \left( \sum_{k=1}^N (\mu_{i,k})^\beta (t_k - c_i^t)(t_k - c_i^t)^T \right). \quad (9)$$

На втором этапе вычисляются меры расстояний  $D^2(z_k, \eta_i)$  в форме:

$$D^2(z_k, \eta_i) = \frac{1}{\alpha_i} \sqrt{2\pi\sigma_{it}^2} \exp \left( -\frac{1}{2} \frac{(t_k - c_i^t)^2}{\sigma_{it}^2} \right) \times \quad (10)$$

$$\times (2\pi)^{r/2} \sqrt{\det(A_i)} \exp \left( -\frac{1}{2} (x_k - c_i^x)^T A_i^{-1} (x_k - c_i^x) \right),$$

где  $r$  – ранг нормы расстояния  $A_i$  соответствует  $i$ -му кластеру.

На третьем этапе изменяется матрица разбиения

$$\mu_{i,k}^{(l)} = \sum_{j=1}^c \left( D(z_k, \eta_i) / D(z_k, \eta_j) \right)^{2/(1-m)}, 1 \leq i \leq c, 1 \leq k \leq N, (11)$$

пока  $\|U^{(l)} - U^{(l-1)}\| < \epsilon$ . В противном случае нужно перейти снова на первый этап.

**Выводы**

Предложена модификация алгоритма нечеткой кластеризации Гага-Гевы, позволяющая измерять однородность сегментов и строить нечеткие множества для представления сегментов во времени. Предложенный алгоритм работает в условиях, когда кластеры следуют друг за другом во времени, а также способен определять изменения в структуре многомерного временного ряда.

**Литература**

1. Keogh, E. An online algorithm for segmenting time series [Текст] / E. Keogh, S. Chu, D. Hart, M. Pazzani // IEEE International Conference on Data Mining. – 2001.

2. Keogh, E. An enhanced representation of time series which allows fast and accurate classification, clustering and relevance feedback [Текст] / E. Keogh, M. Pazzani // 4th Int. Conf. on KDD. – 1998. – P. 239–243.

3. Abonyi, J. Modified Gath-Geva fuzzy clustering for identification of Takagi-Sugeno fuzzy models [Текст] / J. Abonyi, F. Szeifert, R. Babuska // IEEE Systems, Man and Cybernetics, Part B. – 2002. – P. 612–621.

4. Vasko, K. Estimating the number of segments in time series data using permutation tests [Текст] / K. Vasko, H.T.T. Toivonen // IEEE International Conference on Data Mining. – 2002. – P. 466–473.

5. Kaymak, U. Compatible cluster merging for fuzzy modelling / U. Kaymak, R. Babuska [Текст] // In Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems. – 1995. – P. 897–904.

6. Geva, A.B. Hierarchical-fuzzy clustering of temporal-patterns and its application for time-series prediction [Текст] / A.B. Geva // Pattern Recognition Letters. – 1999. – P. 1519–1532.

7. Gath, I. Unsupervised optimal fuzzy clustering [Текст] / I. Gath, A.B. Geva // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1989. – P. 773–781.

□      □

*На підставі рішення рівняння тепло-масообміну з рухомою межею пропонується математичний опис процесу випаровування краплі і охолодження сфери радіуса R за час польоту краплі фарби від картриджа до паперу*

*Ключові слова: моделювання, тепло-масообмін, струменевий друк, поліграфія*

□      □

*На основании решения уравнения тепло-массообмена с подвижной границей предлагается математическое описание процесса испарения капли и охлаждения сферы радиуса R за время полета капли краски от картриджа до бумаги*

*Ключевые слова: моделирование, тепло-массообмен, струйная печать, полиграфия*

□      □

*Based on the solution of heat and mass interchange with a moving boundary equation it is proposed a mathematical description of the evaporation process and sphere of a radius R cooling in a time of ink droplet flight from the cartridge to the paper*

*Keywords: modeling, heat and mass interchange, inkjet printing, printing*

□      □

УДК 655.3.022.51

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА КРАСКИ ПРИ ПЕЧАТИ СТРУЙНЫМИ ПРИНТЕРАМИ И ПЛОТТЕРАМИ

**В. И. Азаренков**

Старший преподаватель

Кафедра системного анализа и управления  
 Национальный технический университет  
 «Харьковский политехнический институт»  
 ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002  
 Контактный тел.: 050-524-84-84  
 E-mail: azarnikov@ukr.net

**1. Введение**

Печатное изображение (текст, рис.), формируемое струйными принтерами и плоттерами, образуется

в результате переноса краски из картриджа через сопло печатающей головки и воздушную прослойку на бумагу. На рис. 1 - 4 приведены различные конструкции печатающих головок принтеров и плотте-