



УДК 004.9

© 2012

Є. В. Бодянський, С. В. Машталір

Виявлення змін у потоці відеоданих на основі аналізу багатовимірних часових рядів

(Представлено членом-кореспондентом НАН України М. Ф. Бондаренком)

Запропоновано модель багатовимірних часових рядів, яка настроюється, на базі модифікації алгоритму експоненційно зваженої стохастичної апроксимації для задачі пошуку змін у відеоданих.

Задача виявлення змін мультимедійних даних привертає сьогодні все більшої уваги. Це пов'язано, насамперед, зі значним збільшенням інформаційних потоків і з тим, що виникає потреба виявлення змін у масивах даних, що динамічно змінюються, таких, як звук або відеодані. При цьому слід зазначити, що одним із шляхів обробки мультимедійних даних є подання їх у вигляді одно- або багатовимірного часового ряду з подальшим виявленням змін його властивостей. Задача дослідження змін властивостей часових рядів і їх сегментації досить давно цікавить дослідників [1–4], а для її розв'язання до теперішнього часу склалася низка відносно незалежних підходів, серед яких, в першу чергу, необхідно відзначити статистичний, адаптивний та заснований на методах класифікації. І якщо для одновимірних рядів розроблені досить ефективні алгоритми аналізу [5–7], результати, що відносяться до багатовимірних послідовностей, значно скромніші [4, 8].

В той же час зрозуміло, що у важливих застосуваннях, пов'язаних, насамперед, з обробкою відеосигналів, доводиться мати справу з багатовимірними сигналами і необхідністю їх аналізу в реальному часі. В зв'язку з цим можна говорити про таку важливу задачу в рамках загальної проблеми інтелектуального аналізу даних [2] як розбиття тимчасових рядів на відносно однорідні сегменти і виявлення моменту переходу від одного сегмента до іншого. Іншими словами, можна казати про необхідність розв'язання задачі покадрового аналізу результатів сегментації відеоданих.

Найбільш компактною формою опису багатовимірного часового ряду, яким можна подати довільні відеодані, особливо у випадку, коли число спостережень не фіксоване і росте з часом, є його математична модель, що в тій або іншій формі описує характеристики, які нас цікавлять. Для розв'язання задачі виявлення зміни властивостей багатовимірних рядів

зручним, компактним і ефективним їх описом є так звані векторні авторегресійні моделі (VAR-моделі) [3].

У загальному випадку VAR-модель зв'язує минулі і поточні спостереження векторного сигналу $x(k)$ у формі

$$x(k) = B_0 + \sum_{l=1}^p B_l x(k-l) + \xi(k), \quad (1)$$

де $B_0 = \{b_{0i}\}$ – $(n \times 1)$ -вектор середніх значень; $B_l = \{b_{lij}\}$ – $(n \times n)$ -матриці параметрів; p – порядок моделі.

Початковою інформацією для розв'язання задачі ідентифікації і виявлення змін є тільки сам n -вимірний часовий ряд $x(k)$, значення якого в реальному часі надходять на адаптивний ідентифікатор.

Для спрощення подальших викладок введемо в розгляд складену матрицю $B = (B_0 : B_1 : \dots : B_p)$ і вектор передісторії $X(k) = (1, x^T(k-1), \dots, x^T(k-p))^T$ розмірності $((pn+1) \times 1)$, після чого перепишемо рівняння (1) у вигляді

$$x(k) = BX(k) + \xi(k), \quad (2)$$

де матриця априорі невідомих параметрів B містить практично всю необхідну інформацію про властивості контрольованого сигналу.

Задача ідентифікації полягає в тому, що у відповідність сигналу (2) ставиться модель, що настроюється

$$\hat{x}(k) = B(k-1)X(k), \quad (3)$$

матриця параметрів $B(k)$ якої уточнюється на кожному такті часу k шляхом мінімізації прийнятого критерію ідентифікації, що є деякою функцією різниці розрахованих $\hat{x}(k)$ і експериментальних даних $x(k)$. При цьому синтезована модель (3) має бути працездатною і в режимі прогнозування, а порушення прогнозуючих властивостей може бути ознакою виникнення тих або інших змін у сигналі. Процес настроювання моделі (3) можливо реалізувати за допомогою рекурентних процедур, які зручно навести в узагальненому вигляді [9]

$$\begin{cases} B(k) = B(k-1) + \gamma(k)e(k)X^T(k), \\ e(k) = x(k) - \hat{x}(k) = x(k) - B(k-1)X(k), \end{cases} \quad (4)$$

де $\gamma(k)$ – скалярний або матричний коефіцієнт кроку пошуку алгоритму, що визначає його властивості і залежить від прийнятого критерію ідентифікації; $e(k)$ – векторна похибка ідентифікації.

Пропонується ввести в розгляд багатовимірну модифікацію алгоритму експоненційно зваженої стохастичної апроксимації [10] у вигляді

$$\begin{cases} B(k) = B(k-1) + \frac{e(k)X^T(k)}{\beta r(k-1) + \|X(k)\|^2}, \\ r(k) = \beta r(k-1) - \|X(k)\|^2 \end{cases} \quad (5)$$

(тут $0 \leq \beta \leq 1$ – параметр пам'яті алгоритму), яка є своєрідним компромісом між однокроковою процедурою, що є узагальненням оптимального за швидкістю алгоритму Качмажа [11] на векторно-матричну модель, і рекурентним експоненційно зваженим методом

найменших квадратів. Ця модифікація позбавлена недоліків своїх прототипів і має необхідні згладжуючі і слідкуючі властивості.

Механізм адаптації алгоритму (5) заснований на “пригніченні” застарілої інформації, при цьому динамічні властивості алгоритму повністю визначаються пам’яттю, на основі якої відбувається уточнення матриці поточних оцінок $B(k)$.

Слід зазначити, що найкращі фільтруючі властивості мають алгоритми з необмеженою пам’яттю, такі як рекурентний метод найменших квадратів, в той же час ці процедури мають погані слідкуючі властивості у разі, якщо характеристики контрольованого сигналу змінюються в часі. В цьому випадку перевагу мають алгоритми з “короткою” пам’яттю типу алгоритму Качмажа, проте ці процедури погано працюють в умовах перешкод.

Таким чином, при оцінюванні систем, в яких можуть відбуватися зміни, об’єм пам’яті алгоритму слід вибирати на основі компромісу між його згладжуючими і слідкуючими властивостями. На жаль, в реальних ситуаціях характеристики збурень, дрейфів та стрибків априорі невідомі і можуть змінюватися в процесі функціонування контрольованої системи. В цих умовах важко віддати перевагу одному алгоритму з фіксованою пам’яттю, а тому доцільно використовувати алгоритми зі змінною пам’яттю, величину якої можна оперативно змінювати залежно від наявності або відсутності змін у сигналі.

Для контролю за змінами багатовимірною часового ряду доцільно використовувати модифікацію критерію Манна–Уїтні [12] у вигляді

$$\max \left(\sum_{u=k-S+1}^k \text{sign}(x_i(u) - \hat{x}_i(u)) \right) \geq \gamma \quad (6)$$

(тут γ — деякий поріг, що обирається з емпіричних міркувань), тобто одночасно контролювати усі компоненти і фіксувати факт зміни, якщо розладнання станеться в хоч би одній компоненті $x_i(k)$.

Запропонований метод пошуку змін був експериментально перевірений у задачі пошуку та аналізу в базах відеоданих медичинської тематики. Результати аналізу методу дозволяють стверджувати, що якщо відбуваються швидкі зміни сцен, цей процес добре відслідковується, однак з більш плавними змінами є деякі питання, які ще потребують свого вирішення.

1. Клигенс Н., Тельскис Л. Методы обнаружения моментов изменения свойств случайных процессов // Автоматика и телемеханика. – 1983. – № 10. – С. 5–56.
2. Abonyi J., Feil B., Nemett S., Arva P. Fuzzy clustering based segmentation of timeseries // Lecture Notes in Computer Science. – 2810. – Berlin: Springer, 2003. – P. 275–285.
3. Гребенюк Е. А. Обнаружение изменений свойств нестационарных случайных процессов // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 12. – С. 44–59.
4. Гребенюк Е. А. Методы анализа нестационарных временных рядов с неявными изменениями свойств // Там же. – 2005. – № 12. – С. 3–30.
5. Isermann R. Process fault detection based modeling and estimating methods – a survey // Automatica. – 1984. – 20, No 4. – P. 387–404.
6. Бассевич М., Вилски А., Банвенист А. Обнаружение изменений свойств сигналов и динамических систем. – Москва: Мир, 1989. – 278 с.
7. Badavas P. C. Real-time statistical process control. – Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993. – 232 p.
8. Abonyi J., Feil B., Nemett S., Arva P. Modified Gath-Geva clustering for fuzzy segmentation of multivariable timeseries // Fuzzy Sets and Systems. – 2005. – 149. – P. 39–56.
9. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – Москва: Наука, 1991. – 432 с.

10. Бодянский С. В., Плис И. П., Соловйова Г. В. Синтез квазіпрямых адаптивных регуляторов // Доп. АН УРСР. Сер. А. – 1987. – № 1. – С. 59–61.
11. Kaczmarz S. Approximate solution of systems of linear equations // Int. J. Control. – 1993. – **57**, No 5. – P. 1269–1271.
12. Chow E. Y., Willsky A. S. Issues in the development of a general design algorithm for reliable failure detection // Proc. 19-th IEEE Conf. Decis. Aut. Contr. – Albuquerque, 1980. – P. 1006–1012.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Надійшло до редакції 20.03.2012

Е. В. Бодянский, С. В. Машталир

Обнаружение изменений в потоке видеоданных на основе анализа многомерных временных рядов

Предложена настраиваемая модель многомерных временных рядов на базе модификации экспоненциально взвешенной стохастической аппроксимации для задачи поиска изменений в видеоданных.

Ye. V. Bodyanskiy, S. V. Mashtalir

Search for video stream changes via multidimensional time series analysis

The multidimensional time series adjusted model is offered on the basis of a modification of the exponentially self-weighted stochastic approximation for the search for video changes.