Характерною тенденцією останнього часу діяльності та розвитку терміналів є уніфікація технологічних процесів перевантажувальних і сортувальних робіт з урахуванням логічних систем.

## 5. Висновки та перспективи подальших досліджень

Отже, для підвищення ефективності доставки вантажів можна визначити основні перспективні напрямки досліджень та розвитку термінальних систем, як сучасної ресурсозберігаючої технології доставки вантажів:

- визначення та прогнозування вантажопотоків;
- формалізація окремих технологічних процесів та розробка імітаційної моделі функціонування термінальної системи;
- раціональна організація транспортного процесу трьох синхронно функціонуючих підсистем (підвозу-розвозу, терміналів, міжтермінальне перевезення);
- розробка конкурентоспроможної тарифної системи;
- формування єдиного організаційно-економічного, фінансового, інформаційного, кадрового й нормативно-правового забезпечення;
- створення в умовах зростаючого попиту на організацію перевезень вантажів у міжнародному сполученні багатофункціональних мультимодальних терміналів з митною обробкою вантажів, які є основним інфраструктурним елементом у міжнародній логістичній мережі;
- передбачення можливості спеціалізації терміналів, що пояснюється необхідністю забезпечення високого рівня сервісного обслуговування клієнтів в умовах конкурентної боротьби. Вона дозволяє врахувати вимоги клієнтів до перевезення, зберіганню й переробці вантажів, підвищити ефективність логістичного менеджменту і якість сервісу, вибрати оптимальні типи спеціалізованих автотранспортних засобів і знизити логістичні витрати.

Література

1. Транспортная логистика [Текст] : учеб. / под ред. Л.Б.Миротина. – 2-е изд., стереотип. – М.: Экзамен, 2005. – 512 с. – ISBN 5-472-00395-4
2. Нагорний Є.В. Оцінка ефективності прискореної переробки тарно-штучних вантажів на терміналі. / Нагорний Є.В., Самойленко А.С. // Східноєвропейський журнал передових технологій: сб. науч. тр. – 2008. – Вип. (31) – С. 51-53.

УДК 519.216

# ВЕКТОРНЫЙ ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

**И.П. Атаманюк**
Кандидат технических наук, доцент
Кафедра высшей и прикладной математики
Николаевский государственный аграрный университет
ул. Парижской коммуны, 9, г. Николаев ,54010
Контактный тел.: 098-797-12-34
E-mail: atamanyuk_igor@mail.ru

***Отримано оптимальне поліноміальне рішення задачі прогнозу векторного випадкового процесу. Алгоритм екстраполяції базується на апараті канонічних розкладів випадкових процесів***

***Ключевые слова: випадковий процес, канонічний розклад, екстраполяція***

***Получено оптимальное полиномиальное решение задачи прогноза векторного случайного процесса. Алгоритм экстраполяции базируется на аппарате канонических разложений случайных процессов***

***Ключевые слова: случайный процесс, каноническое разложение, экстраполяция***

***It is received optimum polynomial the decision of a problem of the forecast of vector casual process. The algorithm of extrapolation is based on the device of canonical decomposition of casual processes***

***Key words: casual process, canonical decomposition, extrapolation***

Широкий круг проблем теории и практики управления и диагностики связан с решением задач экстраполяции случайных процессов. Распространенность такого рода задач определяется существенным влиянием случайных факторов на большинство процессов функционирования технических устройств. В результате этого обстоятельства значительную часть управляющих решений приходится принимать в условиях статистической неопределенности, поскольку характеристики управляемых объектов случайным образом изменяются во времени и пространстве. В указанных условиях любая задача управления реальным объектом может трактоваться как задача управления некоторым случайным процессом, количественно описывающим изменения состояния этого объекта.

## Постановка задачи

Пусть векторный случайный процесс $X_h(t), h=\overline{1,H}$, описывающий изменение во времени H взаимосвязанных параметров технического устройства, полностью задан в дискретном ряде точек $t_i, i=\overline{1,I}$ моментными функциями $M[X_l^{\nu}(i)X_h^{\mu}(j)], i,j=\overline{1,I}; l,h=\overline{1,H}$; $\nu,\mu=\overline{1,N}, \nu+\mu\le N$. Необходимо получить оптимальные оценки $\hat{x}_h(i), i=\overline{k+1,I}, h=\overline{1,H}$ будущих значений исследуемого случайного процесса для каждой его составляющей $X_h(t)$ при условии, что известны значения $x_h^{\mu}(j), j=\overline{1,k}, \mu=\overline{1,N-1}, h=\overline{1,H}$ в первых k точках наблюдения.

## Решение

Наиболее универсальным подходом к решению поставленной задачи с точки зрения ограничений, накладываемых на случайный процесс, является применение к исследуемому процессу аппарата канонических разложений [1,2]. Для векторного случая такое разложение с полным учетом взаимокорреляционных связей между составляющими имеет вид [3]:

$$X_h(i)=M\left[X_h(i)\right]+\sum_{\nu=1}^{i}\sum_{\lambda=1}^{H}V_\nu^{(\lambda)}\varphi_{h\nu}^{(\lambda)}(i), i=\overline{1,I}, \tag{1}$$

Элементы разложения (1) определяются следующими рекуррентными соотношениями:

$$\begin{gathered}V_\nu^{(\lambda)}=X_\lambda(\nu)-M\left[X_\lambda(\nu)\right]-\\-\sum_{\mu=1}^{\nu-1}\sum_{j=1}^{H}V_\mu^{(j)}\varphi_{\lambda\mu}^{(j)}(\nu)-\sum_{j=1}^{\lambda-1}V_\nu^{(j)}\varphi_{\lambda\nu}^{(j)}(\nu), \nu=\overline{1,I};\end{gathered} \tag{2}$$

$$\begin{gathered}D_\lambda(\nu)=M\left[\left\{V_\nu^{(\lambda)}\right\}^2\right]=M\left[\left\{X_\lambda(\nu)\right\}^2\right]-M^2\left[X_\lambda(\nu)\right]-\\-\sum_{\mu=1}^{\nu-1}\sum_{j=1}^{H}D_j(\mu)\left\{\varphi_{\lambda\mu}^{(j)}(\nu)\right\}^2-\sum_{j=1}^{\lambda-1}D_j(\nu)\left\{\varphi_{\lambda\nu}^{(j)}(\nu)\right\}^2, \nu=\overline{1,I};\end{gathered} \tag{3}$$

$$\begin{gathered}\varphi_{h\nu}^{(\lambda)}(i)=\frac{M\left[V_\nu^{(\lambda)}\left(X_h(i)-M[X_h(i)]\right)\right]}{M\left[\left\{V_\nu^{(\lambda)}\right\}^2\right]}=\\=\frac{1}{D_\lambda(\nu)}(M\left[X_\lambda(\nu)X_h(i)\right]-\\-M\left[X_\lambda(\nu)\right]M\left[X_h(i)\right]-\sum_{\mu=1}^{\nu-1}\sum_{j=1}^{H}D_j(\mu)\varphi_{\lambda\mu}^{(j)}(\nu)\varphi_{h\mu}^{(j)}(i)-\\-\sum_{j=1}^{\lambda-1}D_j(\nu)\varphi_{\lambda\nu}^{(j)}(\nu)\varphi_{h\nu}^{(j)}(i), \lambda=\overline{1,h}, \nu=\overline{1,i}.\end{gathered} \tag{4}$$

Алгоритм прогноза с использованием канонического разложения (1) имеет вид [4]

$$m_h^{(\mu,l)}(i)=\begin{cases}M[X_h(i)], \mu=0;\\ m_h^{(\mu,l-1)}(i)+(x_l(\mu)-m_l^{(\mu,l-1)}(l,\mu))\varphi_{h\mu}^{(l)}(i), l\ne 1,\\ m_h^{(\mu,H)}(i)+(x_1(\mu)-m_1^{(\mu-1,H)}(\mu))\varphi_{h\mu}^{(1)}(i), l=1.\end{cases} \tag{5}$$

$m_h^{(\mu,l)}(i)=M[X_h(i)/x_\lambda(\nu), \lambda=\overline{1,H}, \nu=\overline{1,\mu-1}; x_j(\mu), j=\overline{1,l}]$ - оптимальная по критерию минимума среднего квадрата погрешности прогноза оценка будущих значений исследуемого процесса.

Единственным недостатком алгоритма (5) в рамках постановки задачи является то, что данное решение, также как и каноническое разложение, положенное в его основу, использует для прогноза только авто- и взаимокорреляционные функции.

Увеличение объема априорной информации о исследуемом процессе в алгоритме прогноза возможно путем использования соответствующего нелинейного разложения [5]:

$$X_h(i)=M\left[X_h(i)\right]+\sum_{\nu=1}^{i}\sum_{l=1}^{h-1}\sum_{\lambda=1}^{N-1}W_{\nu l}^{(\lambda)}\beta_{l\lambda}^{(h,1)}(\nu,i), i=\overline{1,I}, \tag{6}$$

$$\begin{gathered}W_{\nu l}^{(\lambda)}=X_l^{\lambda}(\nu)-M\left[X_l^{\lambda}(\nu)\right]-\\-\sum_{\mu=1}^{\nu-1}\sum_{m=1}^{H}\sum_{j=1}^{N-1}W_{\mu m}^{(j)}\beta_{mj}^{(l,\lambda)}(\mu,\nu)-\sum_{m=1}^{l-1}\sum_{j=1}^{N-1}W_{\nu m}^{(j)}\beta_{mj}^{(l,\lambda)}(\nu,\nu)-\\-\sum_{j=1}^{\lambda-1}W_{\nu l}^{(j)}\beta_{lj}^{(l,\lambda)}(\nu,\nu), \nu=\overline{1,I};\end{gathered} \tag{7}$$

$$\begin{gathered}D_{l,\lambda}(\nu)=M[\{W_{\nu l}^{(\lambda)}\}]=M[X_l^{2\lambda}(\nu)]-\\-M^2\left[X_l^{\lambda}(\nu)\right]-\sum_{\mu=1}^{\nu-1}\sum_{m=1}^{H}\sum_{j=1}^{N-1}D_{mj}(\nu)\{\beta_{mj}^{(l,\lambda)}(\mu,\nu)\}^2-\\-\sum_{m=1}^{l-1}\sum_{j=1}^{N-1}D_{mj}(\nu)\{\beta_{mj}^{(l,\lambda)}(\nu,\nu)\}^2-\sum_{j=1}^{\lambda-1}D_{lj}(\nu)\{\beta_{lj}^{(l,\lambda)}(\nu,\nu)\}^2, \nu=\overline{1,I};\end{gathered} \tag{8}$$

$$\begin{gathered}\beta_{l\lambda}^{(h,s)}(\nu,i)=\frac{M\left[W_{\nu l}^{(\lambda)}\left(X_h^s(i)-M[X_h^s(i)]\right)\right]}{M\left[\left\{W_{\nu l}^{(\lambda)}\right\}^2\right]}=\\=\frac{1}{D_{l\lambda}(\nu)}(M\left[X_l^{\lambda}(\nu)X_h^s(i)\right]-\\-M\left[X_l^{\lambda}(\nu)\right]M\left[X_h^s(i)\right]-\\-\sum_{\mu=1}^{\nu-1}\sum_{m=1}^{H}\sum_{j=1}^{N-1}D_{mj}(\mu)\beta_{mj}^{(l,\lambda)}(\mu,\nu)\beta_{mj}^{(h,s)}(\mu,i)-\\-\sum_{m=1}^{l-1}\sum_{j=1}^{N-1}D_{mj}(\nu)\beta_{mj}^{(l,\lambda)}(\nu,\nu)\beta_{mj}^{(h,s)}(\nu,i)-\\-\sum_{j=1}^{\lambda-1}D_{lj}(\nu)\beta_{lj}^{(l,\lambda)}(\nu,\nu)\beta_{lj}^{(h,s)}(\nu,i), \lambda=\overline{1,h}, \nu=\overline{1,i}.\end{gathered} \tag{9}$$

Коэффициенты $W_{\nu l}^{(\lambda)}, \nu=\overline{1,I}$ содержат информацию о соответствующих значениях $X_l^{\lambda}(\nu)$, а координатные функции $\beta_{l\lambda}^{(h,s)}(\nu,i)$ описывают вероятностные связи порядка $\lambda+s$ между составляющими $X_l(t)$ и $X_h(t)$ в моменты времени $t_\nu$ и $t_i$.

Алгоритм прогноза на базе канонического разложения (6) по аналогии с (5) принимает следующую форму записи

$$m_{k,h}^{(\mu,l)}(s,i)=\begin{cases} M[X_h(i)],\mu=0; \\ m_h^{(\mu,l-1)}(s,i)+(x_k^l(\mu)-m_{k,k}^{(\mu,l-1)}(l,\mu))\beta_{k,l}^{(h,s)}(\mu,i), l<N-1, k<H; \\ m_{k,h}^{(\mu,N-1)}(s,i)+(x_{k+1}(\mu)-m_{k,k+1}^{(\mu,1)}(N-1,\mu))\beta_{k+1,1}^{(h,s)}(\mu,i), l=N-1, k<H; \\ m_{H,h}^{(\mu,N-1)}(s,i)+(x_1(\mu+1)-m_{H,1}^{(\mu,N-1)}(N-1,\mu+1))\beta_{1,1}^{(h,s)}(\mu+1,i), l=N-1, k=H. \end{cases} \quad (10)$$

$$m_{k,h}^{(\mu,l)}(1,i)=M[X_h(i)/x_\lambda^j(\nu),\lambda=\overline{1,H},j=\overline{1,N-1},\nu=\overline{1,\mu-1};$$
$$x_\lambda^j(\mu),\lambda=\overline{1,k},j=\overline{1,l}]$$

- оптимальная в среднеквадратическом смысле оценка будущих значений исследуемого случайного процесса при условии, что для прогноза применяется апостериорная информация $x_\lambda^j(\nu),\lambda=\overline{1,H}$, $j=\overline{1,N-1}$, $\nu=\overline{1,\mu-1}$; $x_\lambda^j(\mu),\lambda=\overline{1,k},j=\overline{1,l}$ .

В случае отсутствия взаимной стохастической связи между составляющими векторного случайного процесса прогнозирование выполняется для каждой составляющей отдельно и алгоритм экстраполяции упрощается к виду [6]

$$m_x^{(\mu,l)}(h,i)=\begin{cases} M[X_h(i)],\mu=0; \\ m_x^{(\mu,l-1)}(h,i)+(x^h(\mu)-m_x^{(\mu,l-1)}(l,\mu))\varphi_{h\mu}^{(l)}(i), l\neq 1, \\ m_x^{(\mu,N-1)}(h,i)+(x^h(\mu)-m_x^{(\mu-1,N-1)}(l,\mu))\varphi_{h\mu}^{(1)}(i), l=1; \end{cases} \quad (11)$$

$$\beta_{h\nu}^{(\lambda)}(i)=\frac{1}{D_\lambda(\nu)}(M\left[X^\lambda(\nu)X^h(i)\right]-M\left[X^\lambda(\nu)\right]M\left[X^h(i)\right]-$$
$$-\sum_{\mu=1}^{\nu-1}\sum_{j=1}^{N-1}D_j(\mu)\beta_{\lambda\mu}^{(j)}(\nu)\beta_{h\mu}^{(j)}(i)-\sum_{j=1}^{\lambda-1}D_j(\nu)\beta_{\lambda\nu}^{(j)}(\nu)\beta_{h\nu}^{(j)}(i),\lambda=\overline{1,h},\nu=\overline{1,i};. \quad (12)$$

$$D_\lambda(\nu)=M\left[X^{2\lambda}(\nu)\right]-M^2\left[X^\lambda(\nu)\right]-\sum_{\mu=1}^{\nu-1}\sum_{j=1}^{N-1}D_j(\mu)\left\{\beta_{\lambda\mu}^{(j)}(\nu)\right\}^2-$$
$$-\sum_{j=1}^{\lambda-1}D_j(\nu)\left\{\beta_{\lambda\nu}^{(j)}(\nu)\right\}^2,\nu=\overline{1,I}. \quad (13)$$

Таким образом, получен алгоритм экстраполяции векторного случайного процесса с учетом нелинейных полиномиальных связей, который также как и каноническое разложение, положенное в его основу не накладывает никаких существенных ограничений на класс прогнозируемых случайных процессов (марковость, линейность, стационарность, скалярность и т.д.).

Литература


1. Кудрицкий В.Д. Прогнозирование надежности радиоэлектронных устройств.-К.:Техніка, 1982.- 168 с.
2. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение.-М.:Физматгиз,1962.-720с.
3. Атаманюк І.П. Лінійний канонічний розклад векторного випадкового процесу с повним урахуванням взаємокореляційних зв'язків для кожної складової. //Вісник ЖІТІ. - 1998. - №8 .- С. 119-121. Технічні науки.
4. Атаманюк І.П. Алгоритм оптимальної лінійної екстраполяції реалізації зашумованого векторного випадкового процесу з повним урахуванням взаємокореляційних зв'язків для кожної складової. //Реєстрація, зберігання та обробка даних. - 2000. - №4 (Т2), - С. 12-17.
5. Векторное полиноминальное каноническое разложение случайного процесса. //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 2003. - №1. С. 40-43.
6. Атаманюк И.П. Полиномиальный алгоритм оптимальной экстраполяции параметров стохастических систем. //Управляющие системы и машины. - 2002. - №1. - С. 16-19.