

УДК 519.218.82(045)

Андрєєв О.В.

МЕТОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАФІКУ ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

Національного авіаційного університету

Запропоновано новий метод екстраполяції характеристик трафіку локальних комп'ютерних мереж, який базується на методі двопараметричної оптимальної екстраполяції, що використовує два попередні дискретні значення характеристик трафіку, та по їх значенням виконує оптимальну екстраполяцію для третього моменту часу в майбутньому

Вступ

Вирішення задач екстраполяції характеристик трафіку комп'ютерних мереж займають важливе місце в управлінні комп'ютерних мереж та забезпеченні їх працездатності та ефективності роботи.

Метою роботи є розробка методу експериментального дослідження та оптимальної екстраполяції характеристик трафіку локальної комп'ютерної мережі факультету комп'ютерних систем НАУ з застосуванням методу двопараметричної оптимальної екстраполяції [1].

Для досягнення цієї мети на базі методики статистичної обробки експериментів [2], методу статистичного імітаційного моделювання (СІМ) та методу двопараметричної оптимальної екстраполяції [2] розроблено метод дослідження та оптимальної екстраполяції характеристик нестационарного трафіку комп'ютерних мереж. За допомогою експерименту показана ефективність розробленого методу дослідження характеристик нестационарного трафіку на фоні завад.

Постановка задачі

Розглянемо постановку задачі. У експерименті поставлено завдання – провести моніторинг характеристик трафіку комп'ютерної мережі за допомогою програми *PRTG Network Monitor* за один день 9.11.2011 року за період часу з 11 год. 00 хв. 27 с до 11 год. 14 хв. 27 с. (за 14 хвилин). На рис.1 наведено графік моніторингу характеристик трафіку за вказаний вище проміжок часу. Виділено участок за три хвилини - з 11 год. 07 хв. по 11 год. 10 хв. Сніфер *PRTG*

Network Monitor дозволяє вимірювати значення характеристик трафіку з інтервалом в 1 хвилину. Для експерименту необхідно мати трафік, взятий з інтервалом дискретизації в 1 секунду. Для цього беремо значення трафіку за три хвилини (з 11 год. 07 хв. до 11 год. 10 хв.) і різницю між двома точками трафіку 115кбіт/с та 47кбіт/с ділемо на 120с і отримаємо швидкість зміни трафіку за 1 секунду (0,57кбіт/с) для перших двох хвилин. Інтервал з 11год.9хв. до 11год.10хв. ділимо на 60с і отримаємо швидкість за 1с.=0,82кбіт/с для третьої хвилини. Далі розбиваємо фрагмент трафіку на 10 триад значень у відповідності до алгоритму двопараметричної екстраполяції [1]:

$$X_1 + X(\Delta T) = X_2; \quad X_2 + X(\tau) = X_3,$$

де $\Delta T = 10$ с, $\tau = 5$ с, X_i – значення точок характеристик трафіку без завади. В результаті отримаємо масив, наведений в табл. 1.

За допомогою стандартної процедури *MathCAD* [4, 5] $mnorm \{n, M, y\}$, де число реалізацій вибране $n = 10$; M – математичне сподівання; $y = \sigma_i$ – середньоквадратичне відхилення випадкового нестационарного процесу $\sigma_\xi = 9.37$, що відповідає відношенню $\sigma_\xi^2 / \sigma_x^2 = 1/8$, генеруємо 10 значень завади, які додаємо до відповідних значень X_i . Це необхідно для того, щоб враховувати флуктуації трафіку, які не фіксує сніфер, і які мають місце в реальному трафіку, та вплив фізичної завади. Таким чином отримаємо 30 значень випадкової величини Y_i , але вже з завадою, які наведені в табл. 2

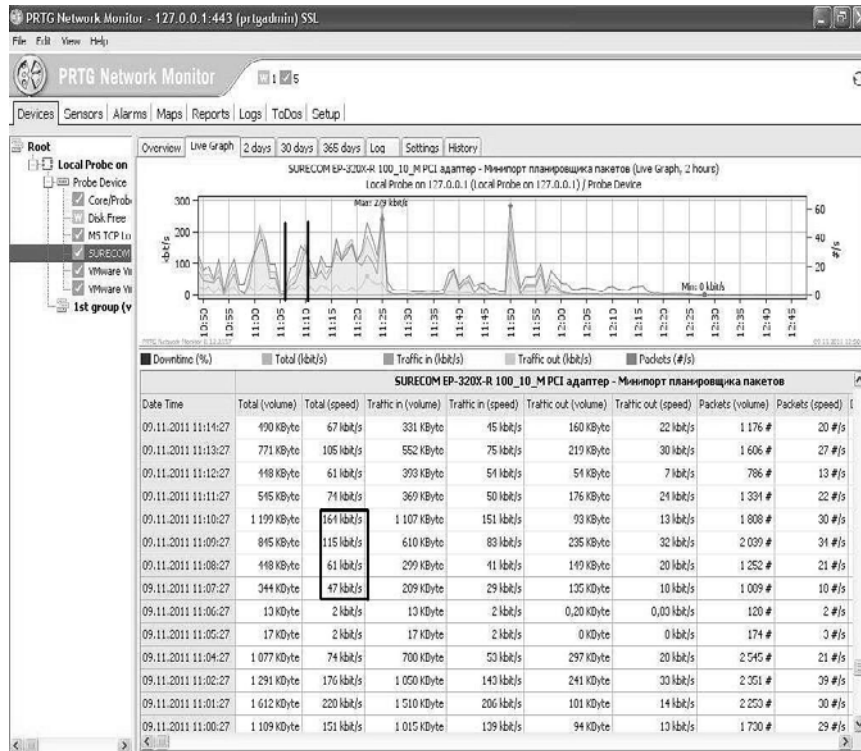


Рис. 1. Таблиця і графік характеристик трафіку

Таблиця 1. Значення триад трафіку

№	X_1	X_2	X_3	Час (год.-хв.)
1	47	52.7	55.55	1 год. 7 хв. 00с; 1 год. 7 хв. 10с; 1 год. 7 хв. 15с.
2	55.55	61.25	64.1	1 год. 7 хв. 15с; 1 год. 7 хв. 25с; 1 год. 7 хв. 30с.
3	64.1	69.8	72.65	1 год. 7 хв. 30с; 1 год. 7 хв. 40с; 1 год. 7 хв. 45с.
4	72.65	78.35	81.2	1 год. 7 хв. 45с; 1 год. 7 хв. 55с; 1 год. 7 хв. 60с.
5	81.2	86.9	89.75	1 год. 8 хв. 00с; 1 год. 8 хв. 10с; 1 год. 8 хв. 15с.
6	89.75	95.45	98.3	1 год. 8 хв. 15с; 1 год. 8 хв. 25с; 1 год. 8 хв. 30с.
7	98.3	104	106.85	1 год. 8 хв. 30с; 1 год. 8 хв. 40с; 1 год. 8 хв. 45с.
8	106.85	112.85	115.4	1 год. 8 хв. 45с; 1 год. 8 хв. 55с; 1 год. 8 хв. 60с.
9	115.4	123.6	127.7	1 год. 9 хв. 00с; 1 год. 9 хв. 10с; 1 год. 9 хв. 15с.
10	127.7	135.9	140.0	1 год. 9 хв. 15с; 1 год. 9 хв. 25с; 1 год. 9 хв. 30с.

Таблиця 2. Значення випадкової величини Y_i

№	Y_1	Y_2	Y_3
1	19.81883	48.866314	55.368946
2	35.33797	54.936108	64.399557
3	66.030645	68.561618	75.132435
4	66.879551	87.889705	85.80558
5	69.97744	88.591543	91.983068
6	90.678049	100.259794	91.886634
7	105.521952	110.93158	91.719084
8	109.716303	112.397347	128.624039
9	115.506093	126.212365	136.803155
10	120.536878	137.419433	129.168529

Далі програма *ПСІМ-traffic*, розроблена автором в системі *MathCAD*, визначає вірогідні параметри трьох точок спостереження Y_1, Y_2, Y_3 ; $m_{Y_1}, m_{Y_2}, m_{Y_3}$ – математичні сподівання для точок Y_1, Y_2, Y_3 ; $D_{Y_1}, D_{Y_2}, D_{Y_3}$ – дисперсії для цих точок спостереження (або їх середньоквадратичні відхилення $\sigma_{Y_1}^2, \sigma_{Y_2}^2, \sigma_{Y_3}^2$); $K_Y(t_1, t_2), K_Y(t_1, t_3), K_Y(t_2, t_3)$ – кореляційні функції.

По визначених вірогідних параметрах характеристик трафіку і за методом двопараметричної оптимальної екстраполяції [1] визначаємо $\alpha_{1opt}, \alpha_{2opt}$ (параметри оптимальної екстраполяції двопараметричного методу), екстрапольоване значення характеристик трафіку Y_3^* , а також значення дисперсії $D[Y_3^*]$ і мінімальна дисперсія похибки екстраполяції $D(\alpha_{1opt}, \alpha_{2opt})_{min}$.

Для обчислення вірогідних параметрів вибірок трафіку $m_{Y_1}, m_{Y_2}, m_{Y_3}, D_{Y_1}, D_{Y_2}, D_{Y_3}, K_Y(t_1, t_2), K_Y(t_1, t_3), K_Y(t_2, t_3)$ скористаємося методикою статистичної обробки експериментів [2, 3]. Розглянемо формули, за якими були обчислені ці параметри.

Оцінки для математичних сподівань знаходять за формулами:

$$\begin{aligned}
 m_{Y_1} &= \frac{\sum_{i=1}^n Y_{1i}}{n}; \\
 m_{Y_2} &= \frac{\sum_{i=1}^n Y_{2i}}{n}; \\
 m_{Y_3} &= \frac{\sum_{i=1}^n Y_{3i}}{n},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де n – кількість спостережень трафіку (в нашому експерименті $n = 10$).

Дисперсії для трьох точок обчислюють за формулами:

$$\begin{aligned}
 D_{Y_1} &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{1i} - m_{Y_1})^2}{n-1}; \\
 D_{Y_2} &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{2i} - m_{Y_2})^2}{n-1}; \\
 D_{Y_3} &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{3i} - m_{Y_3})^2}{n-1}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Кореляційні функції для трьох точок трафіку обчислюють за формулами:

$$K_{kl} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ki} - m_{Y_k})(Y_{li} - m_{Y_l})}{n-1}.
 \tag{3}$$

Для нашого експерименту необхідно обчислити такі кореляційні функції:

$$\begin{aligned}
 K_{12} &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{1i} - m_{Y_1})(Y_{2i} - m_{Y_2})}{n-1}; \\
 K_{13} &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{1i} - m_{Y_1})(Y_{3i} - m_{Y_3})}{n-1}; \\
 K_{23} &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{2i} - m_{Y_2})(Y_{3i} - m_{Y_3})}{n-1},
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

а коефіцієнти кореляції обчислюються за наступними формулами:

$$\begin{aligned}
 r_{12} &= \frac{K_{12}}{\sqrt{D_1} \sqrt{D_2}}; \\
 r_{13} &= \frac{K_{13}}{\sqrt{D_1} \sqrt{D_3}}; \\
 r_{23} &= \frac{K_{23}}{\sqrt{D_2} \sqrt{D_3}}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Тоді кореляційна матриця матиме такий вигляд:

$$\|K_{ij}\| = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ & K_{22} & K_{23} \\ & & K_{33} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

при $i, j = 1, 2, 3$.

По головній діагоналі кореляційної матриці стоять дисперсії випадкових величин Y_1, Y_2, Y_3 [35]:

$$K_{11} = D_{Y1}; K_{22} = D_{Y2}; K_{33} = D_{Y3} \quad (7)$$

Оцінки для математичних сподівань m_{Y1}, m_{Y2}, m_{Y3} обчислюються як середні арифметичні по стовпцях табл. 1

$$m_{Y1} = 80.0 \text{ Кбіт/с};$$

$$m_{Y2} = 93.6 \text{ Кбіт/с};$$

$$m_{Y3} = 95.1 \text{ Кбіт/с}.$$

Оцінки для дисперсій та середньоквадратичних відхилень дорівнюють:

$$D_{Y1} = 1181.8 \text{ Кбіт}^2/\text{с}^2;$$

$$D_{Y2} = 873.5 \text{ Кбіт}^2/\text{с}^2;$$

$$D_{Y3} = 784.6 \text{ Кбіт}^2/\text{с}^2;$$

$$\sigma_{Y1} = 34.37 \text{ Кбіт/с};$$

$$\sigma_{Y2} = 29.55 \text{ Кбіт/с};$$

$$\sigma_{Y3} = 28.01 \text{ Кбіт/с}.$$

За формулами (4) обчислюють кореляційні функції:

$$K_{Y1,Y2} = 988.90 \text{ Кбіт}^2/\text{с}^2;$$

$$K_{Y1,Y3} = 881.3 \text{ Кбіт}^2/\text{с}^2;$$

$$K_{Y2,Y3} = 770.7 \text{ Кбіт}^2/\text{с}^2.$$

По обчисленим значенням K_{ij} та D_{Y1}, D_{Y2}, D_{Y3} будемо кореляційну матрицю:

$$\|K_{13}\| = \begin{vmatrix} 1181.8 & 988.90 & 881.3 \\ & 873.50 & 770.7 \\ & & 784.6 \end{vmatrix} \quad (8)$$

Далі за методикою, яка запропонована в двопараметричному методі [1], обчислено коефіцієнти $\alpha_{1opt}, \alpha_{2opt}$:

$$\alpha_{1opt} = -0.166233; \alpha_{2opt} = 1.14997.$$

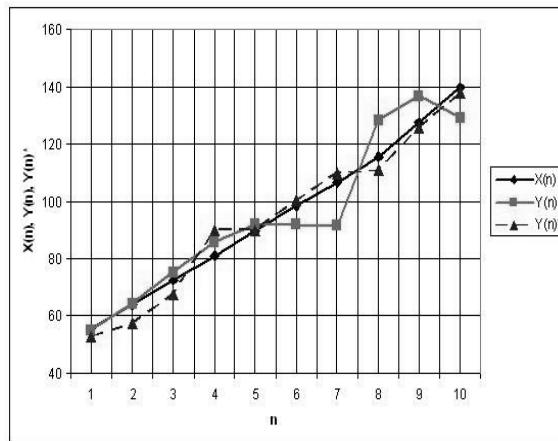


Рис.2. Суміщений графік трьох величин – X_n, Y_n та Y_n^* для десяти триад ($n=1..10$) і $\sigma_y^2/\sigma_x^2 = 1/8, \Delta T = 10\text{с}, \tau = 5\text{с}$

За відомими значеннями $\alpha_{1opt}, \alpha_{2opt}$ обчислено оптимальне значення Y_3^* :

$$Y_{3(1)}^* = 52.9 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(1)} = 55.4 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = 4.46 \%$;

$$Y_{3(2)}^* = 57.3 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(2)} = 64.4 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = 11.02 \%$;

$$Y_{3(3)}^* = 67.8 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(3)} = 75.1 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = 9.67 \%$;

$$Y_{3(4)}^* = 89.9 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(4)} = 85.8 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = -4.83 \%$;

$$Y_{3(5)}^* = 90.2 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(5)} = 91.9 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = 1.89 \%$;

$$Y_{3(6)}^* = 100.2 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(6)} = 91.8 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = -9.07 \%$;

$$Y_{3(7)}^* = 110.0 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(7)} = 91.7 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = -19.96 \%$;

$$Y_{3(8)}^* = 111.0 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(8)} = 128.6 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = 13.69 \%$;

$$Y_{3(9)}^* = 125.9 \text{ Кбіт/с};$$

$$Y_{3(9)} = 136.8 \text{ Кбіт/с};$$

відносна похибка $\delta_Y = 7.94 \%$;

$$Y_{3(10)}^* = 137.9 \text{ Кбіт/с};$$

$Y_{3(10)}=129.2$ Кбіт/с;
 відносна похибка $\delta_Y = -6.83\%$,
 де $Y_{3(1)}^*$, $Y_{3(2)}^*$ - екстрапольовані значення в першій та другій триадах відповідно; $Y_{3(1)}$, $Y_{3(2)}$ – значення третьої точки характеристик трафіку, що виміряється, в першій та другій триадах відповідно; відносна похибка $\delta_Y = \Delta / Y_{3(i)}$ (%); $\Delta = Y_{3(i)} - Y_{3(i)}^*$; $M\delta_Y$, $M\Delta_Y$ – математичні сподівання відносної та абсолютної похибок. $M\delta_Y = 0.797$, $M\Delta_Y = 0.743$; $M\delta_X = 1.23$, $M\Delta_X = 0.8$. На рис. 2 наведено суміщений графік трьох величин – $X_3(n)$, $Y_3(n)$

та $Y_3(n)^*$ для десяти триад ($n = 1..10$), а на рис. 3 – суміщений графік двох величин – δ_X та δ_Y , де $\delta_X = \Delta 1 / Y_{3(i)}$ (%); $\Delta 1 = X_{3(i)} - Y_{3(i)}^*$.

За методикою двопараметричного методу обчислюємо мінімальну дисперсію похибки екстраполяції

$$D(\alpha_{1opt}, \alpha_{2opt})_{min} = 115.5 \text{ Кбіт}^2/\text{с}^2,$$

та значення дисперсії екстрапольованої характеристики трафіку

$$D[Y_3^*] = 809.9 \text{ Кбіт}^2/\text{с}^2.$$

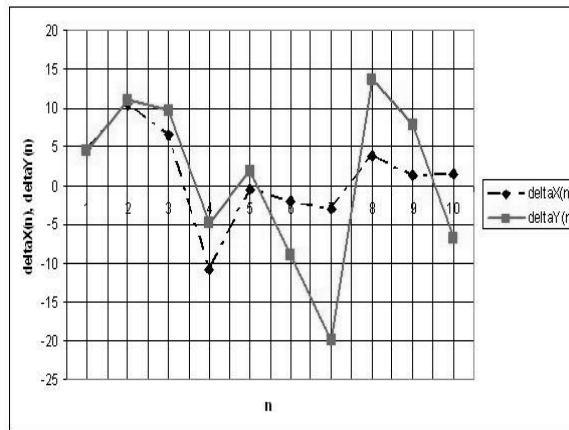


Рис. 3. Суміщений графік двох величин – δ_X та δ_Y , для десяти триад ($n = 1..10$) і $\sigma_{\xi}^2/\sigma_x^2 = 1/8$, $\Delta T = 10\text{с}$, $\tau = 5\text{с}$

Висновки

За результатами експерименту можна зробити наступні висновки:

1. Екстрапольовані значення $Y_3(n)^*$ ближче розташовуються біля графіку характеристик трафіку без завади і трохи далі від трафіку з завадою (рис.2).

2. Відносна похибка екстрапольованих значень $Y_3(n)^*$ відносно до $Y_3(n)$ лежить у межах від -20% до 13.7%. Це при малому обсязі вибірки $n=10$ прийнятно для практичного використання.

3. Відносна похибка екстрапольованих значень $Y_3(n)^*$ відносно $X_3(n)$, менша ніж до $Y_3(n)$ і лежить у межах від -10.8% до 10%. Це свідчить про те, що метод двопараметричної екстраполяції дає кращі результати відносно експерименту з характеристиками трафіку без завади.

4. Статистична обробка результатів експерименту з характеристиками реального трафіку вказує на те, що метод двопараметричної оптимальної екстраполяції дає досить точні результати при екстраполяції

характеристик трафіку локальної комп'ютерної мережі на фоні завад.

Список літератури

1. Ігнатов В.О. Метод двопараметричної оптимальної екстраполяції випадкових нестационарних сигналів на тлі завад / В.О. Ігнатов, О.В. Андреев, В.І. Андреев // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. праць – К.: НАУ, 2010. – Вип. 4(32).- С.41-46.

2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель // Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2006. – 576 с.

3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1968. – 720 с.

4. Дьяконов В.П. Энциклопедия MathCAD 2001 и MathCAD 11. М.: Изд. Солон-пресс. – 2004. – 832 с.

5. Кудрявцев Е.М. Mathcad–2000 Pro. Символьное и численные решения разнообразных задач. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 576 с.