

Можливість виписати в явному вигляді вираз функціонала через характеристики функцій випадкових збурювань – наслідок того факту, що у випадку лінійних систем ми зможемо виписати загальний інтеграл через систему фундаментальних рішень. Це питання можна розглянути і з більше загальної точки зору. Уявимо собі, що ми тим або іншим способом знайшли наближений або точний вираз загального інтеграла вихідної системи диференціальних рівнянь, тоді при обчисленні функціонала ми завжди зможемо уникнути трудомісткої процедури, пов'язаної з використанням методу Монте-Карло.

Однією із труднощів побудови наближеного виразу для загального інтеграла і дослідження задачі нелінійного програмування полягає в тому, що функціонали в цих задачах не є опуклими і містять багато локальних екстремумів. З іншого боку, у задачах синтезу звичайно не виникає високих вимог до точності. Ця обставина має вирішальне значення при розробці наближених обчислювальних методів [4].

Наприклад, доцільно розглядати методи багатокритеріальної оптимізації з використанням робочих характеристик або результуючих цільових функцій.

Література

1. Управление телекоммуникациями из использованием новейших технологий / [Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Стеклов В.К. та інш.]. – К.:Техніка, 2007. – 380 с.
2. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем / Н.Н.Моисеев. – М.: Наука, 1971. – 412 с.
3. Пономарев В.М. Теория управления движением космических аппаратов / В.М. Пономарев. – М.: Наука, 1965. – 316 с.
4. Пономарев В.М. Последовательная оптимизация дискретной системы управления / В.М. Пономарев, А.И. Птушкин // Техническая кибернетика. – 1967. – № 3. – С. 8-10.

УДК 004.272

Амирханов Э.Д., Водопьянов С.В., Заруцкий В.А., Зубарева Е.А.
(Национальный авиационный университет)

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Амирханов Э.Д., Водопьянов С.В., Заруцкий В.А., Зубарева Е.А. Застосування системи ключових показників ефективності для оцінювання параметрів комп'ютерних мереж. Виконаний аналіз системи ключових показників ефективності для аналізу стани і управління якістю сервісу комп'ютерної мережі. На основі методу множинного кореляційного і регресійного аналізу розроблена методика поточного оцінювання параметрів мережі і прогнозу її стану. Приведені результати розрахунків кореляційної матриці ключових показників параметрів ефективності і проаналізовані статистичні зв'язки між основними параметрів, від яких залежить продуктивність мережі і якість сервісу.

Ключові слова: КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА, КЛЮЧОВІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ, КОРЕЛЯЦІЙНИЙ І РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ, КОВАРІАЦІЙНА МАТРИЦЯ

Амирханов Э.Д., Водопьянов С.В., Заруцкий В.А., Зубарева Е.А. Применение системы ключевых показателей эффективности для оценивания параметров компьютерных сетей. Выполнен анализ системы ключевых показателей эффективности для анализа состояния и управления качеством сервиса компьютерной сети. На основе метода множественного корреляционного и регрессионного анализа разработана методика текущего оценивания параметров сети и предсказания ее состояния. Приведены результаты расчетов корреляционной матрицы ключевых показателей эффективности и проанализированы статистические связи между основными параметрами, от которых зависит производительность сети и качество сервиса.

Ключевые слова: КОМПЬЮТЕРНАЯ СЕТЬ, КЛЮЧЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ, КОРЕЛЯЦИОННЫЙ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ, КОВАРИАЦИОННАЯ МАТРИЦА

Amirkhanov E.D., Vodopianov S.V., Zarutskiy V.O., Zubareva O.O. **Implementation of the key performance indicators for estimation of the parameters of computer networks.** The analysis of the system of the key performance indicators for the analysis is executed the states and quality managements of service of computer network. On the basis of method of plural correlation and regressive analysis the method of current evaluation of parameters of network and prediction of its state is developed. The results of calculations of correlation matrix of key performance indicators are resulted and statistical communications between basic parameters are analysed, which a network performance and quality of service depends on.

Keywords: COMPUTER NETWORK, PERFORMANCE INDICATORS, CORRELATION AND REGRESSIVE ANALYSIS, VARIANCE-COVARIANCE MATRIX

Введение. Ключевые показатели эффективности (англ. *Key Performance Indicators, KPI*) – система оценок, которая применяется при решении стратегических и тактических задач, возникающих в сложных технических системах. Использование ключевых показателей эффективности даёт возможность оценить состояние и помочь в оценке реализации методов управления.

Для термина *KPI* зачастую используется русский перевод «ключевые показатели эффективности» (КПЭ), однако это не совсем верно [1]. Дело в том, что слово *performance* имеет множество трактовок. Правильную формулировку можно найти в стандарте ISO 9000:2008. Он разделяет слово *performance* на два термина: результативность и эффективность. По стандарту, результативность – это степень достижения запланированных результатов (способность системы ориентироваться на результат), а эффективность – соотношение между достигнутыми результатами и затраченными ресурсами (способность системы к реализации своих целей и планов с заданным качественным уровнем, выраженным определёнными требованиями – временем, затратами, степенью достижения цели). Слово *performance* объединяет в себе и результативность, и эффективность. Таким образом, правильным переводом термина *KPI* был бы «ключевой показатель результатов функционирования», так как результат функционирования содержит в себе и степень достижения, и затраты на получение результата [1]. Однако в литературе, в том числе и технической, включая статьи и монографии по связи и информационным технологиям [2...4], под термином *KPI* понимают именно ключевые показатели эффективности, т.е. соотношения между достигнутыми результатами и затраченными ресурсами. Поэтому впредь будем придерживаться такой трактовки термина *KPI*.

В данной работе рассматривается система ключевых показателей эффективности для компьютерной сети как большой системы с задержками сигнальной и управляющей информации. При оптимизации характеристик сети необходимо учитывать параметры, от которых зависит качество сервиса, и взаимосвязь между этими параметрами. Поскольку параметры отдельных сетевых узлов и элементов изменяются в процессе функционирования сети случайным образом, необходимо применять методы математической статистики.

Постановка задачи. При оптимизации параметров и структуры компьютерных сетей в состав целевой функции входит большое количество основных и дополнительных параметров, от которых зависит качество сервиса *QoS*. Для решения задач текущего управления сетями необходим системный подход. Критерии оптимизации ключевых параметров функционирования сети и текущего управления сетью являются неоднозначными и противоречивыми. Учет этих противоречий и поиск компромиссных решений возможен при использовании статистических методов, согласования достоверности и детальности исходных данных с физическим смыслом решаемых задач.

Процессы изменения КПЭ, с одной стороны, являются существенно нестационарными, а, с другой – тенденции их изменений весьма схожи. Поэтому представляет интерес исследование характеристик их стохастической взаимосвязи. Этот интерес имеет не только теоретический, но и практический характер. В качестве основных характеристик стохастической взаимосвязи используется коэффициент множественной корреляции и множественная регрессия [5, 6]. Кроме того, для автоматизации измерений и расчетов необходимо выбрать метод аппроксимации кривых повторяемости изменений КПЭ.

Наиболее гибким и точным методом является аппроксимация полиномами по минимуму среднего квадрата ошибки [7, 8].

Рассмотрим задачу предсказания k -й переменной Y_k , $k = \overline{1, N}$ по M переменным X_m , $m = 1, 2, \dots, M$; $m \neq k$. В общем случае $M \neq N$. При $m = 1$ имеем уравнение линейной или полиномиальной регрессии независимой переменной X_m на зависимую переменную Y_k , при $m > 1$ имеем систему t уравнений множественной регрессии переменных X_1, X_2, \dots, X_m на Y_k . (Имеется в виду функциональная, а не статистическая зависимость.) В рассматриваемой задаче независимые переменные X_1, X_2, \dots, X_m – это случайные величины, которые не обязательно являются статистически независимыми.

Переменную Y_k аппроксимируем функцией регрессии $\psi(\cdot)$, содержащей оценки КПЭ и неизвестные коэффициенты $\{a_0, a_1, \dots, a_m\}$. Уравнение модели линейной регрессии независимых переменных X_1, X_2, \dots, X_m на зависимую переменную Y_k запишем в следующем виде:

$$Y_k = a_{0k} + a_{1k}X_1 + \dots + a_{mk}X_m + \varepsilon, \quad \text{где } \varepsilon \text{ – ошибка аппроксимации.} \quad (1)$$

Пусть $X_{1j} = X_1^j$. Тогда можно записать уравнение полиномиальной регрессии в виде

$$Y_k = a_{0k} + a_{1k}X_1 + a_{2k}X_1^2 + \dots + a_{mk}X_1^m + \varepsilon. \quad (2)$$

Параметры модели регрессии оцениваются по выборке объема N , взятой из некоторой генеральной совокупности. Теоретически генеральная совокупность имеет бесконечный объем или представляет собой весь набор данных, который существует в принципе.

Выборка формируется следующим образом. По результатам теста функционирования сети фиксируем первую выборку независимых переменных $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1m}$ и рассчитываем зависимую переменную Y_1 . Затем фиксируем вторую выборку независимых переменных $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2m}$ и рассчитываем зависимую переменную Y_2 . Продолжаем процедуру до получения N переменных Y_k , $k = \overline{1, N}$. Получаем выборку из N наблюдений

$$\{Y_1 : X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1m}\}, \{Y_2 : X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2m}\}, \dots, \{Y_N : X_{N1}, X_{N2}, \dots, X_{Nm}\}.$$

Система уравнений множественной линейной регрессии принимает вид

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= a_{01} + a_{11}X_{11} + \dots + a_{m1}X_{1m} + \varepsilon_1 \\ Y_2 &= a_{02} + a_{12}X_{21} + \dots + a_{m2}X_{2m} + \varepsilon_2 \\ &\dots \\ Y_k &= a_{0k} + a_{1k}X_{k1} + \dots + a_{mk}X_{km} + \varepsilon_k \\ &\dots \\ Y_N &= a_{0N} + a_{1N}X_{N1} + \dots + a_{mN}X_{Nm} + \varepsilon_N \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где $\{a_{0k}, a_{1k}, \dots, a_{mk}\}$, $k = \overline{1, N}$ – неизвестные коэффициенты, а $\{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k, \dots, \varepsilon_N\}$ – случайные ошибки, которые логично считать нормальными одинаково распределенными с параметрами $\{0, \sigma_\varepsilon^2\}$. Для получения оценок по методу наименьших квадратов необходимо минимизировать сумму S_k квадратов отклонений в каждой точке. Наилучшее приближение соответствует минимальной величине выражения

$$S_k = \sum_{k=1}^N (Y_k - a_{0k} - a_{1k}X_{k1} - \dots - a_{mk}X_{km})^2. \quad (4)$$

Величина S_k является мерой ошибки, связанной с привязкой имеющихся данных к выбранной модели регрессии. Минимум S_k достигается дифференцированием последнего

выражения по коэффициентам $\{a_{0k}, a_{1k}, \dots, a_{mk}\}$, $k = \overline{1, N}$, приравниванием соответствующих производных нулю и решением системы уравнений относительно $\{a_{0k}, a_{1k}, \dots, a_{mk}\}$. Получаем систему уравнений для оценки частных коэффициентов регрессии:

$$\left. \begin{aligned} \hat{Y}_1 &= \alpha_{01} + \alpha_{11}X_{11} + \dots + \alpha_{m1}X_{1m} \\ \hat{Y}_2 &= \alpha_{02} + \alpha_{12}X_{21} + \dots + \alpha_{m2}X_{2m} \\ &\dots \\ \hat{Y}_k &= \alpha_{0k} + \alpha_{1k}X_{k1} + \dots + \alpha_{mk}X_{km} \\ &\dots \\ \hat{Y}_N &= \alpha_{0N} + \alpha_{1N}X_{N1} + \dots + \alpha_{mN}X_{Nm} \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Здесь $\alpha_{0k}, \alpha_{1k}, \dots, \alpha_{mk}$ – оценки для $\{a_{0k}, a_{1k}, \dots, a_{mk}\}$. Оценки являются несмещенными и эффективными, т.е. имеют минимальную дисперсию для выборки X_1, X_2, \dots, X_m среди всех линейных оценок для предсказания переменных Y_k , $k = \overline{1, N}$.

Результаты численного анализа. Как отмечено выше, в настоящее время широко используется понятие ключевых параметров эффективности сложных систем, в частности, компьютерных и телекоммуникационных сетей [2]. Ключевыми параметрами являются задержка передачи, пропускная способность, потери пакетов и уровень безопасности. Эти параметры оказывают наибольшее влияние на результирующее качество сервиса.

В качестве оптимизируемых параметров задачи выбраны следующие: *задержка* передачи τ ; *пропускная способность* C_p ; *потери* пакетов при передаче данных L_p ; *уровень* безопасности и защиты данных при передаче по сети D_{sp} ; *качество* Web-сервиса; *качество* передачи аудио (звуковые файлы, обычная и IP-телефония); *скорость* и надежность обмена файлами по протоколу FTP; *скорость* и надежность работы электронной почты (E-mail); *качество* передачи видео.

Рассмотрена гипотетическая сеть WiMax, данные для расчета параметров которой взяты из [9]. Для расчетов использовалась ФОРТРАН-программа множественного корреляционного анализа, приведенная в [10] и модифицированная для рассматриваемой задачи.

В табл. 1 приведены частные коэффициенты корреляции оптимизируемых параметров, по которым в дальнейшем с использованием уравнений (1)...(5) можно рассчитывать частные коэффициенты регрессии.

Параметр	Коэффициенты взаимной корреляции									Табл.1
τ	Коэффициенты корреляции	1,0								
C_p		0,98	1,0							
L_p		0,69	0,68	1,0						
D_{sp}		0,89	0,86	0,69	1,0					
Web		0,75	0,76	0,36	0,77	1,0				
Аудио		0,85	0,64	0,50	0,56	0,30	1,0			
FTP		0,27	0,75	0,63	0,61	0,57	0,44	1,0		
E-mail		0,17	0,22	0,34	0,78	0,30	0,36	0,16	1,0	
Видео		0,87	0,89	0,84	0,82	0,53	0,67	0,79	0,30	1,0
		τ	C_p	L_p	D_{sp}	Web	Аудио	FTP	E-mail	Видео

Между основными ключевыми параметрами обнаруживается сильная корреляция. Это объясняется тем, что они оказывают значительное влияние на требования к качеству сервиса.

Исключение составляет электронная почта, поскольку, в отличие от потокового аудио, видео, *Web*-сервиса и передачи файлов по протоколу *FTP*, для нее не критичны ни полоса пропускания канала, ни задержка доставки. Однако необходимо отметить, что параметр D_{sp} – уровень безопасности и защиты данных является критичным практически для всех представленных приложений, поскольку даже для таких видов эластичного трафика, как электронная почта, защита данных является неотъемлемым требованием обеспечения качества сервиса *QoS*.

Результаты корреляционного анализа служат также ключевым индикатором мониторинга и регулирования потоковых данных и *Web*-сервиса. Это необходимо для обеспечения безопасной передачи информации по сети, прогнозирования и предотвращения перегрузок контролируемого сетевого фрагмента. Таким образом, текущий мониторинг и управление уровнем безопасности в сети, которые являются неотъемлемой частью задачи общего управления качеством сервиса, можно успешно осуществлять статистическими методами, в частности, методом корреляционно-регрессионного анализа.

Кроме того, необходимо отметить, что полностью скомпилированная программа расчетов занимает в памяти вычислительного устройства от 80 до 500 килобайт в зависимости от масштаба сети и объема обрабатываемой выборки. Поскольку в настоящее время практически любой сетевой узел, по существу, представляет собой специализированный вычислитель или даже многопроцессорную систему, задача аппаратурной реализации предложенного метода может решаться сравнительно просто.

Выводы. В работе проведен анализ системы ключевых параметров эффективности и особенностей их применения для управления качеством сервиса компьютерной сети. Показано, что при использовании статистического подхода можно выделить зависимости между ключевыми параметрами сети, что дает возможность построения системы управления качеством сервиса.

При использовании ключевых параметров эффективности компьютерной сети как сложной системы с задержками сигнальной и управляющей информации можно обеспечить предсказание ее состояния и решать задачи управления качеством сервиса в реальном масштабе времени.

Литература

1. Панов М. М. Оценка деятельности и система управления компанией на основе KPI / М.М. Панов. – М.: Инфра-М, 2012. – 255 с.
2. Kreher R. UMTS Performance Measurement: A Practical Guide to KPIs for the UTRAN Environment. - John Wiley & Sons, Ltd, 2006. – 227 pp.
3. Resende M. Efficiency measurement and regulation in US telecommunications: A robustness analysis // International Journal of Production Economics, Volume 114, Issue 1, July 2008, pp. 205-218.
4. Youssef M., Abdallah M., Agrawala A. Multivariate analysis for probabilistic WLAN location determination systems, Mobile and Ubiquitous Systems // Networking and Services, 2005. MobiQuitous 2005. The Second Annual International Conference, 17-21 July 2005, pp. 353-362.
5. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол ; пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 463 с.
6. Мирский Г.Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения / Г.Я. Мирский. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
7. Ахиезер А.И. Лекции по теории аппроксимации / А.И. Ахиезер. – М.,– Л.: ОГИЗ ГОСХИЗДАТ, 1947. – 323 с.
8. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики / Г.И. Марчук. –М.: Наука, 1977. – 456 с.
9. Вишневский В.М. Энциклопедия WIMAX: Путь к 4G / В.М. Вишневский, С.Л. Портной, И.В.Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
10. Сборник научных программ на Фортране; пер. с англ. – М.: Статистика, 1974. – 316 с.