

МЕТОД НЕЧЕТКОЙ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация: Предложен метод определения качества функционирования элементов и подсистем информационно-телекоммуникационной системы. Метод основан на применении механизмов нечеткого вывода и предварительной обработке данных с помощью аппарата непараметрической статистики.

Ключевые слова: система управления информационно-телекоммуникационной системой; качество функционирования; нечеткий вывод; непараметрическая статистика; зоноид

Введение

В современных системах управления предприятиями для повышения эффективности выполнения бизнес-процессов используются информационные и коммуникационные технологии, а информационно-телекоммуникационная система (ИТС), представляющая собой совокупность информационной системы и телекоммуникационной сети, выступает в качестве базиса ИТ-инфраструктуры предприятия. Для эффективного распределения ресурсов ИТС и поддержания показателей качества функционирования ИТС на заданном уровне используются системы управления ИТ-инфраструктурой (СУИ) [1]. Основными функциями СУИ являются мониторинг состояния элементов ИТС, анализ функционирования и управление ИТС для восстановления производительности ИТС или перераспределения ресурсов с учетом важности бизнес-процессов [2].

Существенного повышения эффективности управления можно достичь, используя в СУИ модели и методы автоматического управления. Это дает возможность строить замкнутые системы управления ИТС с обратной связью, что не только повышает оперативность и качество управления, но и позволяет минимизировать влияние человеческого фактора.

Определение состояния элементов ИТС существенно усложняется необходимостью учета значений большого количества параметров, оказывающих влияние на качество работы элементов. Поэтому возникает задача разработки методов и средств получения обобщенных качественных оценок функционирования элементов путем преобразования значений различных параметров, характеризующих отдельные аспекты фун-

кционирования элементов ИТС, к одному или нескольким показателям качества работы.

Анализ публикаций и исследований

Сбор информации о значениях параметров функционирования элементов ИТС может быть выполнен с помощью специализированных протоколов SNMP CMIP и т. п., посредством агентской технологии [3], встроенного в операционные системы инструментария управления, например, WMI, индикаторов производительности — Performance Counters и пр.

В работе [4] предложено оценивать работу элементов и подсистем ИТС по интегральному показателю качества функционирования. Недостатком данного метода является сложность поиска оценочных функций параметров, необходимых для вычисления численного значения показателя качества.

В [5] предложен подход к сведению количественных и качественных метрик для оценки сетей провайдеров телекоммуникационных сервисов. Недостатком предложенного метода является то, что при оценке не рассматривается история состояний сетевых элементов, а учитывается только текущее состояние.

В [6] использован подход к оценке состояния отдельных элементов ИТС или их функциональных групп с помощью единственного параметра, однако не учитывается логическая структура взаимозависимостей компонентов ИТС.

В современных СУИ автоматизируются, в основном, функции мониторинга и анализа функционирования элементов ИТС, в то время как управление обычно осуществляется администраторами вручную [4]. Существенного повышения эффективности управления можно достичь путем использования в СУИ моделей и методов теории автоматического управления, основанных на актуальной оценке параметров функционирования элементов ИТС.

Целью данной статьи является разработка метода оценки качества функционирования элементов ИТС в режиме реального времени с учетом логической структуры зависимостей между элементами ИТС.

Математическая модель системы управления ИТС

Применение теории автоматического управления [7] позволяет строить замкнутые СУИ с обратной связью, обладающие высоким быстродействием и качеством управления.

В этом случае в СУИ организуется множество контуров управления, решающих широкий спектр задач, ориентированных на сохранение работоспособности ИТС и обеспечивающих поддержание качества функционирования элементов и подсистем ИТС на заданном уровне, управление надежностью, управление устранением неисправностей и пр. Для создания замкнутых контуров управления необходимо не только иметь формальные модели управления, но и найти эффективные методы опреде-

ления числовых показателей для оценки качества функционирования компонентов ИТС.

Модель замкнутой многоконтурной многомерной системы управления, в соответствии с [7], может выглядеть следующим образом (рис. 1).

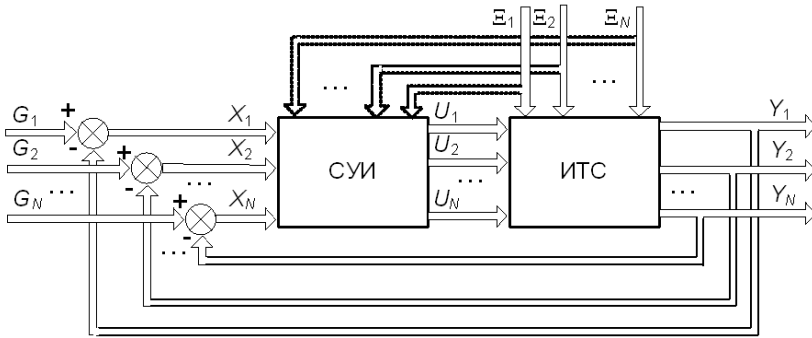


Рис. 1 – Модель многомерной многоконтурной системы управления ИТС

На вход системы воздействует пространство входных величин $\Gamma = \{G_1, G_2, \dots, G_N\}$, где N — общее количество контуров управления, каждый элемент G_n , $n = \overline{1, N}$ которого представляет собой вектор $G_n = \{g_{n,1}, g_{n,2}, \dots, g_{n,K_n}\}$ задающих воздействий, элементы $g_{n,k}$, $k = \overline{1, K_n}$ которого относятся к отдельному n -му контуру управления и определяют требования к параметрам функционирования ИТС в определенном аспекте.

Пространство управляемых величин $\Psi = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_N\}$ состоит из элементов Y_n , каждый из которых представляет собой вектор $Y_n = \{y_{n,1}, y_{n,2}, \dots, y_{n,K_n}\}$ выходных величин отдельного n -го контура управления. Например, задающие воздействия n -го контура управления могут соответствовать множеству значений величин, характеризующих качество предоставляемого сервиса ИТ-системы, оговоренных в соглашении о качестве обслуживания, а на выходе реальные значения параметров, обеспечиваемые ИТ-системой.

Пространство рассогласования $X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$, полученное в результате вычитания $X = \Gamma - \Psi$, воздействует на вход СУИ. При этом X_n представляет собой вектор $X_n = \{x_{n,1}, x_{n,2}, \dots, x_{n,K_n}\}$, где $x_{n,k} = g_{n,k} - y_{n,k}$, $k = \overline{1, K_n}$. Для решения задач автоматического регулирования СУИ должна работать таким образом, чтобы сводить к нулю рассогласование $x_{n,k}$.

СУИ вырабатывает пространство $\Upsilon = \{U_1, U_2, \dots, U_N\}$ управляющих воздействий, состоящее из элементов $U_n = \{u_{n,1}, u_{n,2}, \dots, u_{n,K_n}\}$, каждый из которых является вектором управляющих воздействий $U_n = \{u_{n,k}\}$, $k = \overline{1, K_n}$, n -го контура.

Пространство $\Xi^0 = \{\Xi_1, \Xi_2, \dots, \Xi_N\}$ — пространство возмущающих воздействий на ИТ-систему, элемент Ξ_n которого представляет собой ве-

ктор $\Xi_n = \{\xi_{n,1}, \xi_{n,2}, \dots, \xi_{n,K_n}\}$ возмущающих воздействий в n -м контуре управления. На рис. 1 пунктирными линиями обозначены возмущающие воздействия, которые могут быть оценены или измерены СУИ, а, следовательно, учтены при определении компенсирующего управляющего воздействия.

Каждый n -й контур управления предназначен для поддержания отдельных групп характеристик и качественных показателей работы ИТС на заданном уровне и характеризуется векторами задающих и выходных величин, а также специфическими возмущающими и управляющими воздействиями.

На рис. 2 приведена модель отдельного n -го контура управления, а система управления рассматривается как K_n -мерная. В дальнейшем, поскольку рассматривается только n -й контур, без потери общности считается, что $K_n = K$.

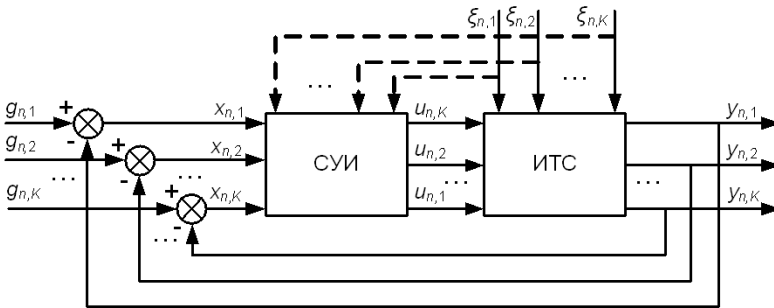


Рис. 2 – Модель отдельного n -го контура управления

Такая модель подходит для формализации большого количества задач, решаемых СУИ, например, управления доступом к ограниченным ресурсам, управления качеством функционирования подсистем ИТС и пр.

Если n -й контур (рис. 2) модели СУИ используется для решения задач управления доступом к ограниченным ресурсам, то элементами упорядоченного множества задающих воздействий $G_n = \{g_{n,k}\}$, $k = \overline{1, K}$ могут быть параметры, характеризующие: время обслуживания заявок приложений с максимальным приоритетом, количество заявок в очереди и пр. Возмущающими воздействиями $\Xi_n = \{\xi_{n,k}\}$ является множество процессов, операций или запросов пользователей на доступ к ИТ-ресурсам. Выходными величинами являются элементы упорядоченного множества $Y_n = \{y_{n,k}\}$, определяющие параметры, которые соответствуют среднему времени обслуживания запросов, среднему количеству заявок, стоящих в очереди и пр. При этом значения всех элементов множества Y_n могут быть измерены или вычислены. Управляющими воздей-

ствиями $U_n = \{u_{n,k}\}$ являются сигналы блокирования или ограничения потока низкоприоритетных запросов малозначимых бизнес-процессов.

При решении задач управления функционированием необходимо обеспечить поддержание параметров элементов ИТС, сервисов и служб в заданном диапазоне качества функционирования. В течение некоторого промежутка времени параметры функционирования принимают различные значения, при этом отклонениями от нормы считаются систематические выходы значений за границы зон качественного функционирования. В то же время случаи единичного или нерегулярного выхода значений за установленные пределы считаются временным ухудшением качества работы элементов, не требующим управляющих воздействий. Для реагирования только на серьезные неполадки необходимо, чтобы СУИ анализировала не текущее состояние элементов ИТС, а историю значений параметров качества функционирования в течение некоторого промежутка времени. В этом случае для определения необходимости формирования управляющего воздействия целесообразно использовать предлагаемый метод качественной оценки функционирования элементов ИТС.

Суть предлагаемого метода нечеткой непараметрической оценки качества

1. Формирование множества выходных величин как оценок параметров функционирования элементов ИТС. При оценке работы отдельного элемента ИТС на протяжении определенного интервала времени T учитываются собственные параметры элемента, влияющие на качество его функционирования, и обобщенные оценки функционирования других элементов, оказывающих влияние на состояние данного элемента. Подобного рода зависимости описываются логической структурой ИТС, иерархия которой представляется в СУИ в виде ориентированного графа. Вершинами графа на нижних иерархических уровнях являются аппаратные или программные элементы ИТС, а на верхних — функциональные или технологические подсистемы. Граф не должен содержать циклов и петель, а направление ребер графа задает влияние элементов ИТС друг на друга. Расчет качества функционирования по такой иерархической структуре производится снизу вверх, когда для определения качества функционирования элементов верхних уровней предварительно определяется качество функционирования элементов ИТС нижних уровней, оказывающих влияние на данный элемент.

Совокупность значений выбранных параметров наряду с обобщенными оценками образует множество выходных величин Y_n , где n — номер контура управления, на основании анализа которых СУИ, при необходимости, вырабатывает вектор управляющих воздействий U_n .

В течение заданного интервала времени T производится M замеров значений параметров подмножества P_{Y_n} множества Y_n , сформированного собственными параметрами элементов, в результате чего формируется множество $\{P_{Y_n}^m\}$, $m = \overline{1, M}$. Подмножество $\{Q_n\} = Y_n \setminus P_{Y_n}$ состоит из

значений обобщенных оценок работы элементов, полученных расчетным путем за интервалы функционирования, адаптированные к режимам деятельности элементов. Все значения выходных параметров нормируются и приводятся к отрезку $[0,1]$.

2. Обоснование концептуальных положений предлагаемого метода. В связи с отсутствием предположений о характере зависимостей между элементами и качественных оценок параметров элементов, а также возможности существования любого рода отношений между компонентами ИТС, целесообразно применять приближенные экспертные оценки, основанные на личном опыте администраторов, руководителей ИТ-подразделений и др. Оценки такого рода зависят от функциональной нагрузки ИТС, определяются при развертывании СУИ и ее настройке и задаются посредством пользовательского интерфейса с помощью функций принадлежности аппарата нечеткой логики [8]. Для анализа временных зависимостей между параметрами отдельных элементов используются геометрические оценки аппарата непараметрической статистики, проецирование которых на зоны, определяющие качество функционирования, порождает обобщенную оценку параметров элементов. При этом с помощью аппарата нечеткого вывода с учетом влияния элементов нижних уровней иерархии вычисляется качественная оценка функционирования (КОФ). Предлагаемый двухэтапный метод позволяет получить статистическую оценку функционирования элементов без каких-либо предположений о вероятностных характеристиках процессов, протекающих в системе, а также обобщить ее на основе опыта экспертов, спроецировав на качественную ось.

Представление элементов в параметрическом пространстве состояний требует аналитической обработки данных в евклидовом пространстве, которая позволяет выделить зону наиболее характерного функционирования, соответствующую центральному региону. Из определений [9] центральных упорядоченных регионов наиболее подходящей является нотация зоноида [10] благодаря ряду полезных свойств, среди которых следует выделить аффинную эквивариантность, “привязывающую” оценку положения к элементам, полноту информации, обеспечивающую уникальность оценки, непрерывность по глубине — параметру, определяющему центральность региона, и распределению, что обеспечивает устойчивость решения к входным данным, выпуклость, упрощающую расчет долей принадлежности, а также наличие алгоритмического аппарата построения самого зоноида, являющегося выпуклым многогранником.

3. Расчет обобщенной оценки параметров функционирования элементов ИТС. Предположим, на качество функционирования элемента e_a , $a = \overline{1, A}$ где A — количество элементов ИТС, оказывают влияние элементы множества

$$E_a = \{e_{a,1}, e_{a,2}, \dots, e_{a,C}\} \quad (1)$$

элементов нижних иерархических уровней и D_a собственных параметров элемента e_a :

$$P_a = \{p_{a,1}, p_{a,2}, \dots, p_{a,D_a}\}. \quad (2)$$

Диапазоны значений КОФ всех элементов e_a и собственных параметров $p_{a,d}$, $d = \overline{1, D_a}$ разбиваются на поддиапазоны, для каждого из которых определяется лингвистическое значение. Каждому параметру соответствует $S_{a,d}$ лингвистических значений $l_{a,d,s}^P$, $s = \overline{1, S_{a,d}}$, а каждому диапазону значений КОФ сопоставляется B_a лингвистических значений $l_{a,b}^E$, $b = \overline{1, B_a}$. Заполняется нечеткая база знаний, в которой набору лингвистических значений $\{l_{i,b}^E, l_{a,d,s}^P\}$, $i : e_i \in E_a$ ставится в соответствие лингвистическое значение из множества $\{l_{a,b}^E\}$.

Определим КОФ элемента e_a нижнего уровня иерархической структуры, на работу которого не влияют другие элементы ИТС, т.е. $E_a = \emptyset$. В этом случае КОФ получается путем обобщенной оценкой параметров функционирования e_a . Для этого в течение интервала T значения параметров из множества P_a замеряются M раз, в результате чего формируется M множеств следующего вида

$$P_{a,m} = \{p_{a,1,m}, p_{a,2,m}, \dots, p_{a,D_a,m}\}, \text{ для всех } m = \overline{1, M}. \quad (3)$$

Рассмотрим D_a -мерное пространство \mathbb{R}^{D_a} , в котором каждая ось соответствует отдельному собственному параметру функционирования e_a , а каждому $P_{a,m}$ соответствует точка пространства, отображающая состояние собственных параметров e_a во время m -го замера. Для эмпирического распределения на пространстве \mathbb{R}^{D_a} зоноид определяется как [11]

$$Z_a(\alpha) = \begin{cases} \text{conv}\{\frac{1}{\alpha M} \sum_{j=1}^{\beta} P_{a,i_j} + (1 - \frac{1}{\alpha M})P_{a,i_{\beta+1}}\}, \text{ для } \alpha \in [\frac{\beta}{M}, \frac{\beta+1}{M}]; \\ \text{conv}\{P_{a,1}, P_{a,2}, \dots, P_{a,M}\}, \text{ для } \alpha \in (0, \frac{1}{M}), \end{cases} \quad (4)$$

где α — глубина зоноида, $\beta \in \{1, \dots, M - 1\}$, а $\{i_1, \dots, i_{\beta+1}\} \subset \{1, \dots, M\}$.

Полученный регион выделяет в \mathbb{R}^{D_a} область, в которой, со статистической точки зрения, наибольшая вероятность пребывания точек, характеризующих состояние элемента ИТС, а глубина региона пропорциональна риску выхода таких точек за пределы $Z_a(\alpha)$. Так как все оси рассматриваемого D_a -мерного пространства разбиты на диапазоны, то гиперплоскости, перпендикулярные координатным осям и проходящие через точки границ таких диапазонов, разбивают полученный зоноид на выпуклые замкнутые D_a -мерные доли. Каждой доле соответствует определенное высказывание из нечеткой базы знаний, на основании которых и определяется обобщенная оценка параметров e_a .

Для всех $b = \overline{1, B_a}$ рассчитывается сумма относительных D_a -мерных объемов долей зоноида, принадлежащих подпространствам, соответствующим нечетким высказываниям:

$$V_{a,b} = \frac{\sum_{j=1}^{R_{a,b}} V_{a,b,j}}{V_a}, \quad (5)$$

где $R_{a,b}$ — количество неповторяющихся нечетких высказываний вида $\bigcap_{d=1, \overline{D}} l_{a,d,s}^P$, $s = \overline{1, S_{a,d}}$ правил базы знаний, выходной величиной которых является лингвистическое значение $l_{a,b}^E$, $V_{a,b,j}$ — D_a -мерный объем выпуклой замкнутой доли зоноида, соответствующей j -му высказыванию, а V_a — D_a -мерный объем $Z_a(\alpha)$.

$Q_a \in [0, 1]$ – численное значение КОФ a -го элемента, определяется центроидным методом:

$$Q_a = \frac{\int_0^1 q \cdot F_a(q) dq}{\int_0^1 F_a(q) dq}, \tag{6}$$

где $F_a(q)$ — выходное нечеткое множество, результат объединения функций принадлежности выхода, которые соответствуют лингвистическим значениям $l_{a,b}^E$, $b = \overline{1, B_a}$, усеченных при помощи операции импликации [12]:

$$F_a = \underset{i=\overline{1, B_a}}{agg} \left(\int_0^1 imp(V_{a,i}, \mu_{a,i}(q)) dq \right), \tag{7}$$

где agg — агрегирование нечетких множеств, наиболее часто реализующееся операцией нахождения максимума, imp — импликация, обычно реализуемая как операция нахождения минимума, $\mu_{a,i}(q)$ — функция принадлежности выхода, соответствующая $l_{a,i}^E$.

4. Определение КОФ произвольного элемента логической структуры ИТС. Определим КОФ e_a , с учетом влияния других элементов ИТС, т.е. $E_a \neq \emptyset$, приняв обобщенные оценки элементов множества E_a равными $Q_a^* = \{Q_{a,1}, Q_{a,2}, \dots, Q_{a,C}\}$.

Тогда значения КОФ данного элемента рассчитывается по формуле (6), но с той разницей, что

$$F_a(q) = \underset{i=\overline{1, B_a}}{agg} \left(\int_0^1 imp(V_{a,i}, \mu_{a,i}(q), G_{a,i}(Q_a^*)) dq \right), \tag{8}$$

где $G_{a,i}(Q_a^*)$ — степени принадлежности Q_a^* лингвистическим значениям $l_{a,b}^E$, $b = \overline{1, B_a}$, которые рассчитываются по формуле:

$$G_{a,i}(Q_a^*) = \underset{\varpi=\overline{1, R_{ai}}}{\vee} \left(\bigwedge_{j=\overline{1, C}} [\mu_{j,\gamma}(Q_{a,j})] \right), \tag{9}$$

где \bigwedge — операция из t -нормы [13], \bigvee — операция из s -нормы, $R_{a,i}$ — количество неповторяющихся нечетких высказываний $\bigcap_{c=1, \overline{C}} l_{z,b}^E$, $z : e_z = e_{a,c}$ для всех $b = \overline{1, B_z}$ в правилах базы знаний, выходной величиной которых

является $l_{a,i}^E$, γ — номер лингвистического значения $l_{z,\gamma}^E$, участвующего в таком правиле.

Пример применения предлагаемого метода определения КОФ

Рассчитаем качественную оценку функционирования Q_1 элемента ИТС e_1 , на состояние которого влияют два параметра функционирования: “Загруженность процессора” ($p_{1,1}$) и “Объем свободной ОЗУ” ($p_{1,2}$). Каждому из параметров поставлено в соответствие по три лингвистических значения $\{l_{1,1,1}^P, l_{1,1,2}^P, l_{1,1,3}^P\}$ и $\{l_{1,2,1}^P, l_{1,2,2}^P, l_{1,2,3}^P\}$, а элементу e_1 — $\{l_{1,1}^E, l_{1,2}^E, l_{1,3}^E\}$. Двумерное пространство параметров изображено на рис. 3.

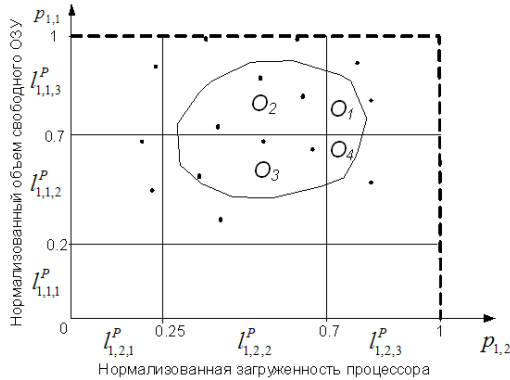


Рис. 3 – Пример зоноида для расчета КОФ в пространстве параметров

Рассчитывается Z_1 по (4) [14] и разбивается гиперплоскостями, изображенными на рис. 3 прямыми, нормальными к осям и проходящими через точки границ диапазонов значений параметров $p_{1,1}$ и $p_{1,2}$, на доли $\{O_1, O_2, O_3, O_4\}$, где доле O_1 соответствует нечеткое высказывание $l_{1,1,3}^P \cap l_{1,2,3}^P$, доле O_2 — $l_{1,1,3}^P \cap l_{1,2,2}^P$, и т.д.

Таблица 1

Нечеткая база знаний элемента e_1

Нечеткие высказывания	Лингвистические значения e_1
$l_{1,1,3}^P \cap l_{1,2,2}^P \cup l_{1,1,3}^P \cap l_{1,2,3}^P \cup l_{1,1,2}^P \cap l_{1,2,3}^P$	$l_{1,3}^E$
$l_{1,1,3}^P \cap l_{1,2,1}^P \cup l_{1,1,2}^P \cap l_{1,2,2}^P \cup l_{1,1,3}^P \cap l_{1,2,3}^P$	$l_{1,2}^E$
$l_{1,1,2}^P \cap l_{1,2,1}^P \cup l_{1,1,1}^P \cap l_{1,2,1}^P \cup l_{1,1,1}^P \cap l_{1,2,2}^P$	$l_{1,1}^E$

В табл. 1 приведена нечеткая база знаний, на основании которой определяется КОФ e_1 . Согласно (5) $V_{1,1} = \frac{0+0+0}{V_1} = 0$, $V_{1,2} = \frac{0+S(O_3)+0}{V_1} = \frac{S(O_3)}{V_1}$, $V_{1,2} = \frac{S(O_1)+S(O_2)+S(O_4)}{V_1}$, где $S(O_h)$, $h = \overline{1, 4}$ — двумерный объем (площадь) h -й доли Z_1 , а V_1 — двумерный объем Z_1 . Выходное нечеткое множество

$F_1(q)$, получается подстановкой полученных величин в формулу (7), а значение Q_1 для e_1 рассчитывается по формуле (6).

Выводы

Предложен метод качественной оценки функционирования элементов ИТС, основанный на анализе истории значений их параметров при помощи аппарата непараметрической статистики и нечеткой логики. Представление элементов ИТС в евклидовом параметрическом пространстве состоит из ряда с применением алгоритмов статистической геометрии позволяет вырабатывать нечеткие выводы с учетом наиболее характерных временных интервалов деятельности компонентов ИТС. Использование механизмов нечеткого вывода делает возможным гибкий учет влияния элементов нижних уровней иерархического представления ИТС на оцениваемый объект и обобщение его поведения во времени.

Предлагаемый метод позволяет СУИ формировать управляющее воздействие с учетом качества функционирования компонентов ИТС, что делает целесообразным его использование в контурах управления, ориентированных на повышение качественных показателей производительности ИТС.

Література

1. Теленик С.Ф. Система управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов, Р.Л. Соколовський // Вісник НТУУ “КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2006. — 45.— С. 112—126.
2. Ролик А.И. Модель управления перераспределением ресурсов информационно-телекоммуникационной системы при изменении значимости бизнес-процессов / А.И. Ролик// Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. ХГТУ, 2007.— 2 (20).— С. 73—82.
3. Ролік О.І. Застосування агентського підходу до управління інформаційно-телекомунікаційною системою АСУ спеціального призначення / О.І. Ролік, П.Ф. Можаровський, О.О. Покотило // Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення: V наук.-практ. семін., 22 жовт. 2009 р.: доповіді та тези доповідей: — К.: ВІПІ НТУУ “КПІ”, 2009. — С. 228—229.
4. Ролик А.И. Анализ качества функционирования элементов информационно-телекоммуникационных систем / А.И. Ролик, Е.В. Глушко // Вісник НТУУ “КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — К.: “ВЕК+”, 2008. — 48. — С. 113—120.
5. Теленик С.Ф. Зведення метрик оцінювання рівня обслуговування користувачів на основі експертних оцінок / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік,

- О.М. Моргаль, О.С. Квітко// Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — 1. — С. 112—123.
6. Ролик А.И. Применение глубинно-упорядоченных регионов в системах управления ИТинфраструктурой / А.И. Ролик, П.Ф. Можаровский, Б.А. Март // Интеллектуальный анализ информации “ИАИ-2010”: X междунар. науч. конф. им. Т.А.Таран, 19—21 мая 2010 г.: сб. тр. — К.: Просвіта, 2010. — С. 214—221.
 7. Бесекеерский В.А. Теория систем автоматического регулирования/ В.А. Бесекеерский, Е.П. Попов. — М., “Наука”. — 1975. — 768 с.
 8. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control. — 1965. — 8 .— P. 338—353.
 9. Zuo Y. General notions of statistical depth functions / Y. Zuo, R. Serfling // Ann. Statist. — 2000. — Vol. 28, No. 2. — P. 461—482.
 10. Mosler K. Multivariate dispersion, central regions and depth / K. Mosler. — New York. : Springer, 2002. — 291 p.
 11. Koshevoy G. Zonoid trimming for multivariate distributions / G. Koshevoy, K. Mosler // The Annals of Statistics. — 1997. — Vol. 25, No. 5. — pp. 1998—2017.
 12. Mamdani E.H. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Transactions on Computers. — 1977. — v. 26, No. 12. — P. 1182—1191.
 13. Abu Osman M. T. On the direct product of fuzzy subgroups // Fuzzy Sets and Systems. — 1984. — Vol. 12. — P. 87—91.
 14. Mosler K. Computing zonoid trimmed regions of dimension $d > 2$ / K. Mosler, T. Lange, P. Bazovkin // Computational Statistics and Data Analysis. — 2009. — Vol. 53, Issue 7. — P. 2500—2510.

Отримано 05.11.2011 р.