УДК 519.872;519.688;681.63

А.Ю. ШЕЛЕСТОВ, Н.Н. КУССУЛЬ

РОБАСТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ УЗЛА GRID-СИСТЕМЫ МЕТОДОМ НЕЧЕТКИХ ЭЛЛИПСОИДОВ

Ключевые слова: *Grid-система, производительность распределенных систем, теория управления, динамический объект, эллипсоидальное оценивание, множественная оценка.*

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей повышения эффективности использования Grid-систем является планирование распределения задач между ресурсами, которое осуществляется на основе оценки текущего состояния распределенной системы и загруженности ее ресурсов. При постановке задач оптимизации Grid-систему можно рассматривать как объект управления, функционирующий в условиях неопределенности, к которому применимы методы идентификации и оценивания. С помощью обратной связи можно обеспечить оптимальное управление этим объектом, например оптимальную нагрузку на функциональные элементы системы.

Теория управления по обратной связи успешно применяется для предметной области программных систем, в том числе распределенных. В частности, на основе методов управления по обратной связи осуществляется планирование выполнения задач в операционной системе UNIX, управление нагрузкой в TCP-сетях [1], контроль качества в многоуровневых Web-приложениях [2], управление сервером Apache [3] и т.д. В перечисленных программных системах теория управления по обратной связи применяется для рационального распределения ресурсов, позволяющего достичь желаемого уровня эффективности, в частности для обеспечения желаемого времени отклика сервера или поддержки нужных показателей производительности. При этом в качестве измеряемого выхода объекта используется мера текущей производительности программной системы, а в качестве управляющего воздействия — распределение нагрузки между ресурсами.

Однако до сих пор теория управления широко не использовалась для управления Grid-системами, поскольку такие системы по своей природе иерархические и трудно поддаются строгому аналитическому описанию. В последние годы только начали появляться работы, связанные с применением теории идентификации и управления для моделирования нагрузки и планирования выполнения заданий в Grid-системе. Одной из немногих работ, в которых задача оптимизации производительности Grid-системы рассматривается с точки зрения теории управления и для оценивания состояний модели применяется фильтр Калмана, является [4]. Однако в этой работе используется очень упрощенная линейная модель системы, которая не адекватна сложности исследуемого объекта.

Особый интерес с точки зрения управления представляют Grid-системы, связанные с обработкой спутниковых данных и решением задач исследования Земли из космоса (Earth Observation Grid — EO Grid), поскольку они представляют собой не просто высокопроизводительные вычислительные системы, а являются Grid-системами сервисного (смешанного) типа [5] и включают распределенные хранилища с большими объемами информации. Учитывая сложность описания подобных Grid-систем, их необходимо рассматривать с точки зрения системного подхода [6], в частности метода структурно-функционального анализа (СФА), который в работе [7] успешно применен к предметной области Grid-систем исследования Земли из космоса. В этой работе сформирован обобщенный вектор показателей ресурсов Grid-системы, которые требуется оценивать в процессе функционирования системы для оптимизации распределения задач между ресурсами.

В данной статье на основе результатов структурно-функционального анализа, выполненного в [7], предлагается модель нагрузки узла такой системы, которая исследуется с точки зрения теории управления и идентификации. Нагрузка на отдельный узел Grid-системы описывается линейной моделью объекта управления с неизвестными возмущениями. Для представления неопределенности предлагается применять теоретико-множественный подход и оценивать неизвестные компоненты в классе нечетких эллипсоидальных множеств [8]. С помощью метода нечетких эллипсоидальных оценок решается задача наблюдения фазового состояния линейного дискретного динамического объекта с векторным выходом, находящегося под воздействием возмущения с неизвестными вероятностными свойствами.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ GRID-СИСТЕМЫ

В работе [7] рассмотрена задача структурно-функционального анализа Grid-системы исследования Земли (EO Grid) и формализовано описание иерархической системы EO Grid. Результат структурной декомпозиции системы показан на рис. 1.

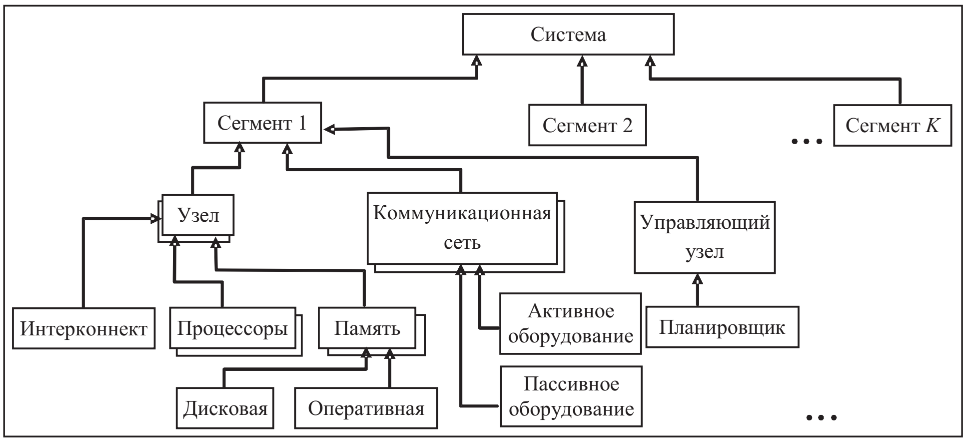

Рис. 1

В представленной на рис. 1 модели укрупненно можно выделить следующие уровни иерархии системы EO Grid: уровень системы, уровень сегментов, уровень узлов и уровень компонентов.

Будем считать, что общее число показателей, характеризующих нагрузку функционального элемента (ФЭ) иерархического уровня узла, равно n. Тогда обобщенный вектор показателей загруженности узла можно представить в виде

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^{\mathrm{T}}, \quad x \in R^n.$$

Требуется построить модель изменения нагрузки узла, учитывающую динамику поступления и выполнения заданий в Grid-системе, а также разработать алгоритм оценивания состояния узла с учетом неточности информации о его функционировании.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ УЗЛА GRID-СИСТЕМЫ

Пусть на некоторый узел Grid-системы направлена вычислительная задача либо задача более сложной структуры, включающая получение и передачу данных значительного объема. Без ограничения общности можно полагать, что изменение вектора показателей загруженности этого узла в процессе решения задачи описывается линейной моделью объекта управления вида

$$x_{k+1} = \overline{A}_k x_k + B_k \upsilon_k,$$

где $x_k \in R^n$ — вектор состояния, $\upsilon_k \in R^l$ — вектор неконтролируемых возмущений размерности $l \le n$, $\overline{A}_k$ — невырожденная матрица размерности $(n \times n)$, B_k — $(n \times l)$-матрица.

Первое слагаемое суммы в правой части приведенного соотношения описывает динамику изменения загруженности узла в процессе выполнения задачи без учета возможности поступления новых задач, а второе слагаемое позволяет учесть возрастание нагрузки на данный ФЭ с появлением новой задачи. Учитывая физический смысл переменных в модели, можно считать, что матрица $\overline{A}_k$ устойчивая, т.е. $\|\overline{A}_k\|<1$, где $\|A\|$ — норма матрицы A. Действительно, если в систему не поступают новые задания (которые в данном случае рассматриваются как неконтролируемые возмущения и учитываются во втором слагаемом правой части уравнения модели), то загруженность ресурсов монотонно снижается. В качестве показателей загруженности может выступать объем оставшегося невыполненного кода, оставшийся объем загружаемых (считываемых или записываемых) данных либо ожидаемый интервал времени до завершения выполнения данной задачи на ресурсе. Если бы в систему не поступали новые задачи, то в результате переходного процесса, связанного с выполнением текущей задачи, вектор состояния системы (показателей загруженности ее ФЭ) перешел бы в равновесное положение $x^* = 0$.

Поступление новых задач в систему можно рассматривать как неконтролируемое внешнее возмущение. Без потери общности его можно считать ограниченным, например, физической длиной очереди заданий, поступающих планировщику. Поскольку вновь поступающая задача может распределяться не на все ФЭ данного узла, размерность вектора возмущений $v_k \in R^l$ не превышает размерности вектора состояния системы $l \le n$. Вид матрицы $\overline{A}_k$ определяется моделью выполняемой задачи, а вид B_k — алгоритмом планирования, реализованным для данного узла. Модели задач с учетом специфики Grid-систем исследования Земли из космоса детально проанализированы в [9].

Поскольку не все показатели загруженности ФЭ Grid-узла доступны непосредственному измерению, можно полагать, что измеряемый выход системы в каждый момент дискретного времени описывается соотношением

$$y_k = \overline{U}_k^{\mathrm{T}} x_k,$$

где $y_k \in R^m$ — наблюдаемый выход объекта, $\overline{U}_k$ — матрица размерности $(n \times m)$.

Таким образом, задачу оценивания нагрузки для данного узла можно рассматривать как задачу оценивания вектора состояния линейной системы управления с неконтролируемыми возмущениями.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ В ТЕРМИНАХ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Сформулируем постановку задачи оценивания вектора показателей загруженности Grid-узла в терминах теории управления и оценивания.

Пусть в фазовом пространстве состояний динамика объекта управления описывается линейным уравнением в дискретном времени

$$x_{k+1} = \overline{A}_k x_k + B_k v_k. \tag{1}$$

Уравнение канала наблюдения имеет вид

$$y_k = \overline{U}_k^{\mathrm{T}} x_k. \tag{2}$$

В уравнениях (1), (2) $x_k \in R^n$ — вектор состояния, $v_k \in R^l$ — вектор неконтролируемых возмущений размерности $l \le n$, $y_k \in R^m$ — наблюдаемый выход объекта, $\overline{A}_k$ — невырожденная матрица размерности $(n \times n)$, B_k — $(n \times l)$-матрица, $\overline{U}_k$ — матрица размерности $(n \times m)$.

Матрица $\overline{A}_k$ устойчива, т.е. $\|\overline{A}_k\| < 1$, где $\|A\|$— норма матрицы A. Предполагается, что система (1), (2) удовлетворяет условию наблюдаемости [10] и для всех значений k матрицы параметров $\overline{A}_k$ и B_k заданы.

В формуле (1) $x_k \in R^n$, $v_k \in R^l$ — неизвестные векторы состояния и возмущения объекта. Относительно неизвестного возмущения предполагается лишь его ограниченность. Пару $(\overline{U}_k, y_k)$ будем называть наблюдением.

Требуется в условиях отсутствия априорной информации о начальном векторе состояния и действии на объект ограниченного неконтролируемого возмущения $\upsilon_k \in R^l$ построить алгоритм, вырабатывающий последовательность оценок $\hat{x}_k$ вектора фазовых координат объекта по оценке на предыдущем шаге x_{k-1} и наблюдению $(\overline{U}_k, y_k)$.

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Рассмотрим расширенный вектор $z_k \in R^{n+l}$ и матрицу $U_k \in R^{(n+l)\times m}$ вида

$$z_k = \begin{pmatrix} x_k \\ \hdashline \upsilon_k \end{pmatrix}, \; U_k^{\mathrm{T}} = [U_k^{\mathrm{T}} \;\vdots\; 0]. \tag{3}$$

Тогда математическую модель объекта (1) можно представить в виде

$$z_{k+1} = A_k z_k, \tag{4}$$

где $A_k = \begin{pmatrix} \overline{A}_k & B_k \\ 0 & I \end{pmatrix}$, I — единичная матрица, вектор $z_0 \in R^{n+l}$ неизвестен.

Уравнение канала наблюдений (2) с учетом обозначений (3) примет вид

$$y_k = U_k^{\mathrm{T}} z_k. \tag{5}$$

Тогда исходная задача оценивания вектора фазовых состояний объекта (1), находящегося под действием неконтролируемых возмущений, сводится к последовательному оцениванию вектора $z_k \in R^{n+l}$ на основании текущих измерений (U_k, y_k) при неизвестном начальном векторе z_0.

Поскольку данные о начальном векторе состояния x_0 отсутствуют, то формально нельзя указать замкнутое множество в пространстве состояний R^n, гарантированно содержащее вектор x_0, и воспользоваться классическим методом гарантированного эллипсоидального оценивания. Поэтому воспользуемся методом нечеткого эллипсоидального оценивания [8], согласно которому в качестве множественной оценки начального и текущего вектора состояния, а также вектора неконтролируемых возмущений используется нечеткое множество, поверхности уровня которого образуют многомерные эллипсоиды в расширенном пространстве состояний.

Поскольку для работы метода нечеткого эллипсоидального оценивания априорная информация не требуется, то начальное приближение неизвестного вектора можно задать произвольно $\hat{z}_0 = \bar{z}_0$. С каждым вектором искомой последовательности оценок $\{\hat{z}_k \in R^{n+1}\}$ (в том числе и с $\hat{z}_0$) свяжем нечеткую эллипсоидальную оценку

$$L_k(\alpha; \hat{z}_k, \overline{H}_k, \alpha_k^*) = \{z \in R^{n+l} : (z - \hat{z}_k)^{\mathrm{T}} \overline{H}_k^{-1} (z - \hat{z}_k) \le \varphi_k(\alpha; \alpha_k^*)\}. \tag{6}$$

Здесь $\hat{z}_k \in R^{n+l}$ — центр множества, $\overline{H}_k$ — $((n+l)\times(n+l))$ симметрическая положительно-определенная матрица, определяющая его конфигурацию,

$$\varphi_k(\alpha; \alpha_k^*) = \frac{\alpha_k^* - \alpha}{\alpha_k^* \alpha} \tag{7}$$

— скалярная функция от переменной $\alpha \in (0, \alpha_k^*]$ и фиксированного для каждого момента времени параметра $\alpha_k^* \in (0, 1]$. Очевидно, что нечеткая множественная оценка (6) представляет собой однопараметрическое семейство многомерных эллипсоидов, с общим центром, покрывающее все пространство. Для упрощения записи множество (6) далее будем обозначать $L_k(\alpha)$.

Таким образом, решая поставленную задачу, будем строить последовательность размытых эллипсоидальных множеств $\{L_k(\alpha) \in R^{n+l}, k = 0, 1, \dots\}$, последовательность центров которых составляет последовательность оценок неизвестного вектора z_k.

В качестве меры неопределенности, связанной с приближением $\hat{z}_k$, будем рассматривать n-мерный объем $|L_k(\mathring{\alpha}_k)|$ эллипсоида $L_k(\mathring{\alpha}_k)$ из семейства (6) при $\mathring{\alpha}_k = 0{,}5\alpha_k^*$, как это принято в теории нечетких множеств и ее многочисленных приложениях.

ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА

Параметры априорной оценки $L_0(\alpha)$ назначим произвольно. Например, $\overline{H}_0 = I$, $\alpha_0^* = 1$, $\hat{z}_0 = \hat{z}_0$, где I — единичная матрица соответствующей размерности.

Пусть каким-либо образом оценка $L_k(\alpha)$ построена. (Для $k = 0$ это будет априорная оценка.) Определим процедуру построения нечеткого множества $L_{k+1}(\alpha)$.

Рассмотрим образ $\widetilde{L}_{k+1}(\alpha) = L(\alpha; \hat{z}_{k+1}, \hat{H}_{k+1}, \widetilde{\alpha}_{k+1})$ множества $L_k(\alpha)$ при его отображении с помощью линейного преобразования (4)

$$\widetilde{L}_{k+1}(\alpha) = \bigcup_{z_k \in L_k(\alpha)} \{A_k z_k\}, \tag{8}$$

где

$$\widetilde{z}_{k+1} = \overline{A}_k \hat{z}_k, \ \hat{H}_{k+1} = A_{k+1} \overline{H}_k A_k^{\mathrm{T}}, \ \widetilde{\alpha}_{k+1} = \alpha_k^*. \tag{9}$$

В то же время уравнение канала наблюдения (5) задает в пространстве R^{n+l} линейное многообразие

$$S_{k+1} = \{z \in R^{n+1} : U_{k+1}^{\mathrm{T}} z = y_{k+1}\}. \tag{10}$$

Поэтому для построения оценки $L_{k+1}(\alpha)$ логично использовать схему последовательных отсечений

$$L_{k+1}(\alpha) \supseteq \widetilde{L}_{k+1}(\alpha) \big| S_{k+1} \ \ \forall \alpha \in (0, \alpha_{k+1}^*]. \tag{11}$$

Параметр α_{k+1}^* в (11) задает интервал, на котором пересечение четкого и нечеткого множеств непусто. Процедура покрытия (11) для двумерного объекта проиллюстрирована на рис. 2.

Покрытие пересечения в правой части (11) может осуществляться различными способами. Поэтому логично определить эту операцию таким образом, чтобы обеспечить воспроизводимость семейства $L_k(\alpha)$ и монотонное уменьшение объемов эллипсоидов $\left|L_k(\overset{0}{\alpha}_k)\right|$ при $\overset{0}{\alpha}_k = 0{,}5\alpha_k^*$.

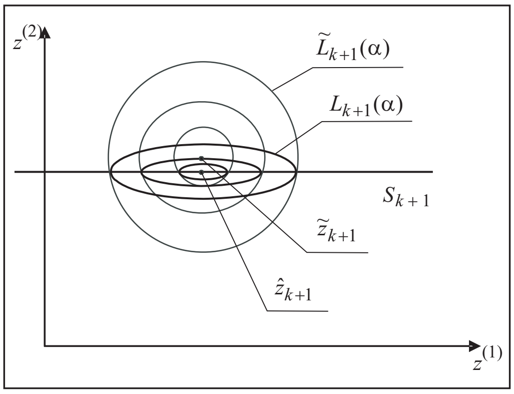

Рис. 2

Конструктивный алгоритм определения параметров семейства эллипсоидов $L_{k+1}(\alpha)$, покрывающего пересечение нечеткого эллипсоидального множества $\widetilde{L}_{k+1}(\alpha)$ с параметрами (9) и линейного многообразия по формуле (10), дает утверждение 1.

Утверждение 1. Если параметры семейства $L_{k+1}(\alpha)$ определены следующим образом:

$$\hat{z}_{k+1} = \widetilde{z}_{k+1} + \hat{H}_{k+1} U_{k+1} (U_{k+1}^{\mathrm{T}} \hat{H}_{k+1} U_{k+1})^{-1} \Delta_{k+1}, \tag{12}$$

$$\overline{H}_{k+1} = \hat{H}_{k+1} - (1-\beta^2) \hat{H}_{k+1} U_{k+1} (U_{k+1}^{\mathrm{T}} \hat{H}_{k+1} U_{k+1})^{-1} U_{k+1}^{\mathrm{T}} \hat{H}_{k+1}, \tag{13}$$

$$\frac{1}{\alpha_{k+1}^*} = \frac{1}{\alpha_k^*} + \overline{\sigma}_k^2, \tag{14}$$

то оценка $L_{k+1}(\alpha)$ удовлетворяет соотношению (11), т.е.

$$\forall \alpha \in (0, \alpha_{k+1}^*] \quad L_{k+1}(\alpha) \widetilde{L}_{k+1}(\alpha) | S_{k+1}. \tag{15}$$

В формулах (12)–(14) $\beta \in (0, 1]$ — коэффициент сжатия пространства по направлениям, определяемым матрицей U_{k+1}:

$$\Delta_{k+1} = y_{k+1} - U_{k+1}^{\mathrm{T}} \widetilde{z}_{k+1}, \; \overline{\sigma}_k^2 = \Delta_{k+1}^{\mathrm{T}} (U_{k+1}^{\mathrm{T}} \hat{H}_{k+1} U_{k+1})^{-1} \Delta_{k+1}. \tag{16}$$

Доказательство утверждения 1 базируется на результатах леммы 1 из [8] и утверждении 1 из [11].

Чтобы уменьшить общее количество параметров алгоритма, удобно воспользоваться следующими обозначениями:

$$\delta = \frac{\alpha}{\alpha_k^*}, \; H_k = \overline{H}_k / \alpha_k^*. \tag{17}$$

Тогда формула (6) примет вид

$$L_k(\delta) = \left\{ z \in R^{n+l} : (z - \hat{z}_k)^{\mathrm{T}} H_k^{-1} (z - \hat{z}_k) \le \frac{1-\delta}{\delta} \right\}. \tag{18}$$

Матрицу H_k в (18) будем называть приведенной. Несложно убедиться, что в терминах приведенных матриц формулы алгоритма (12)–(14) принимают вид

$$\hat{z}_{k+1} = \widetilde{z}_{k+1} + \widetilde{H}_{k+1} U_{k+1} (U_{k+1}^{\mathrm{T}} \widetilde{H}_{k+1} U_{k+1})^{-1} \Delta_{k+1}, \tag{19}$$

$$H_{k+1} = (\widetilde{H}_{k+1} - (1-\beta^2) \widetilde{H}_{k+1} U_{k+1} (U_{k+1}^{\mathrm{T}} \widetilde{H}_{k+1} U_{k+1})^{-1} U_{k+1}^{\mathrm{T}} \widetilde{H}_{k+1}) \gamma_k^2, \tag{20}$$

где

$$\widetilde{H}_{k+1} = A_k H_k A_k^{\mathrm{T}}, \; \gamma_k^2 = 1 + \sigma_k^2,$$
$$\sigma_k^2 = \Delta_{k+1}^{\mathrm{T}} (U_{k+1}^{\mathrm{T}} \widetilde{H}_{k+1} U_{k+1})^{-1} \Delta_{k+1}. \tag{21}$$

Мерой неопределенности нечеткой оценки в терминах приведенных матриц может служить определитель $|H_k|$ матрицы H_k, соответствующей эллипсоиду $L_k(\delta)$ из однопараметрического семейства (18) при $\delta = 0{,}5$, так как многомерный объем этого эллипсоида пропорционален величине $|H_k|^{1/2}$.

Лемма 1. При условии (20)

$$|H_{k+1}| / |H_k| = \gamma_k^{2n} \beta_k^{2m} |A_k|^2. \tag{22}$$

Доказательство леммы строится с использованием оператора сжатия по направлениям, рассматриваемого в [8].

Следовательно, назначая определенным образом коэффициенты сжатия β_k, можно регулировать скорость убывания многомерных объемов эллипсоидов $L_k(\delta)\big|_{\delta=0{,}05}$. Если выбирать β_k из условия

$$\beta_k^{2m} \gamma_k^{2n} \cdot |A_k|^2 \le 1 - \varepsilon_0, \tag{23}$$

где ε_0 — малый параметр, то будет обеспечена сходимость многомерных объемов эллипсоидов $L_k(\delta)\big|_{\delta=0{,}5}$ к нулю. А это, в свою очередь, необходимое условие сходимости последовательности точечных оценок к неизвестному вектору состояния.

В работе [8] получены условия для обеспечения практической невырожденности матрицы H_k, когда последовательность оценок строится таким образом, что в эллипсоид $L_k(\delta)\big|_{\delta=0{,}5}$ всегда можно вписать сферу конечного радиуса, не зависящего от шага k.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Численное моделирование проводилось на данных, собранных в процессе мониторинга реальной Grid-системы обработки спутниковых данных Института космических исследований НАН Украины и НКА Украины. Так, ветор состояния системы $x_k \in R^3$ $(n=3)$, где x_1 — измерения загруженности процессора, x_2 — объема используемой памяти, а x_3 — объем виртуальной памяти. Работа алгоритма проверялась для $m=2$, $l=1$ и постоянных матриц $\overline{A}$ и B таких, что $B=1$. Элементы матрицы $\overline{A}$ вычислены экспериментально на основе данных журнала регистрации системы мониторинга. Собственные числа матрицы $\overline{A}$ соответственно равны $\lambda_1 = 0{,}1$, $\lambda_1 = 0{,}2$. Возмущение υ_k, представляющее поступление новых задач в систему, моделировалось с использованием генератора случайных чисел из диапазона $[-2, 2]$. Последовательность $\{\overline{U}_k\}$ была образована путем циклического перебора шести произвольно заданных матриц, удовлетворяющих условиям задачи.

Численное моделирование продемонстрировало высокую эффективность предложенного алгоритма. На рис. 3, 4 показаны результаты численного моделирования работы алгоритма наблюдения. На рис. 3 представлено изменение нормы разности вектора точечной оценки и вектора фазового состояния объекта.

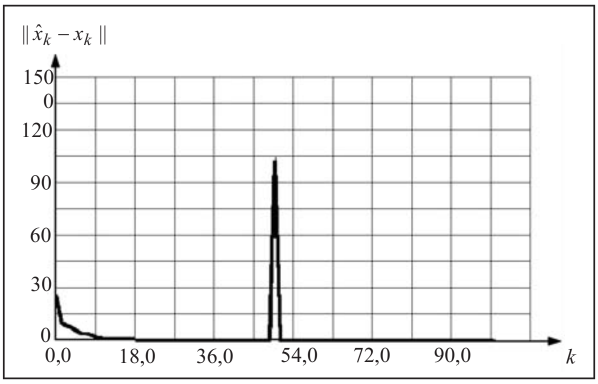

Рис. 3

Рис. 4 демонстрирует динамику изменения многомерных объемов эллипсоидов $L_k(\delta)\big|_{\delta=0,5}$ в логарифмическом масштабе. Как видно из приведенных рисунков, применение алгоритма наблюдения обеспечивает высокую точность текущих точечных оценок и быструю сходимость последовательности многомерных объемов эллипсоидов.

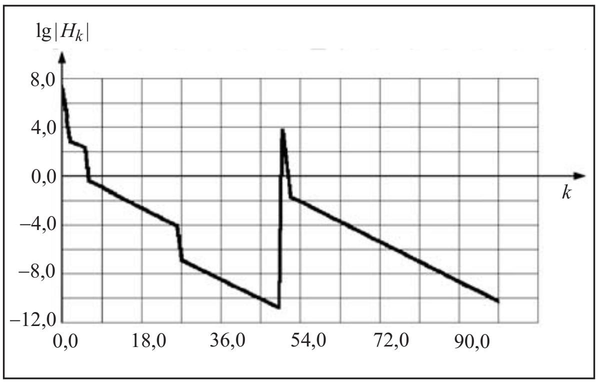

Рис. 4

На 50-й итерации моделировалось непредвиденное скачкообразное изменение вектора состояния. Знаки всех его координат в этот момент менялись на противоположные. Как видно из рис. 4, при этом происходит «размывание» эллипсоидальной оценки, т.е. увеличение многомерного объема эллипсоидов семейства $L_k(\delta)$. Это объясняется тем, что в процессе нормальной работы алгоритма неизвестный вектор состояния принадлежит эллипсоиду $L_k(\delta)\big|_{\delta=0,5}$. В момент скачкообразного изменения неизвестного вектора эллипсоид $L_k(\delta)\big|_{\delta=0,5}$ «теряет» оцениваемый вектор и увеличивается, стараясь «захватить» его снова. После этого происходит монотонное уменьшение объема.

Таким образом, благодаря использованию нечеткой оценки алгоритм эллипсоидального оценивания приобретает свойство робастности, т.е. нечувствительности к нарушению априорных гипотез, а также становится применимым к решению задачи оценивания в условиях неполной наблюдаемости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье предложен алгоритм оценивания обобщенного вектора показателей узла Grid-системы, который представлен в виде объекта управления. Полученные в процессе функционирования системы оценки этого вектора далее можно применять для оптимизации распределения задач между ресурсами. Пример реализации такой системы содержится в [12].

До сих пор теория управления с обратной связью широко не применялась для управления распределенными системами, в том числе основанными на технологии Grid, поскольку такие системы по своей природе являются существенно нелинейными и трудно поддаются строгому аналитическому описанию. Тем не менее временны́е характеристики работы систем, в частности время отклика или задержки при выполнении задачи, зависят от политики (динамики) обработки очередей для различных функциональных элементов системы: очереди выполнения задач процессором, очередей пакетов, передаваемых через сокеты, очередей на устройствах маршрутизации и т.п. В такой трактовке очередь выступает в роли элемента, который формирует разницу входных и выходных потоков сообщений в каждый момент времени, а значит, ее можно моделировать с помощью разностных (а в пределе дифференциальных) уравнений с применением методов теории управления и идентификации.

В целом условия применимости теории управления для предметной области Grid-систем можно сформулировать следующим образом. В детерминированном случае, когда точно известна вся необходимая информация для распределения нагрузки между ресурсами системы, можно применять строгие алгоритмы маршрутизации и планирования. Теория управления по обратной связи полезна в том случае, если отсутствует достоверная информация о параметрах системы и нагрузке. Именно такая ситуация, связанная с наличием неопределенности, характерна для реальных Grid-систем со сложными, динамически поступающими и распределяемыми заданиями. На основе предложенного в данной статье подхода можно получить оценку обобщенного вектора показателей узла Grid-системы, а затем применить ее при реализации (оптимизации) той или иной политики распределения задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hollot C., Misra V., Towsley D., Gong W. A control theoretic analysis of RED, INFOCOMM 2001.
2. Controlling quality of service in multi-tier Web applications / Yixin Diao, J.L. Hellerstein, Sujay S. Parekh, Hidayatullah Shaikh, S. Maheswaran // Intern. Conf. on Distributed Comput. Systems (ICDCS 2006). IEEE Comp. Soc., February 2006. — P. 25.
3. Tarek F. Abdelzaher, Chenyang Lu, Modeling and performance control of Internet servers // Invited Paper, 39th IEEE Conf. on Decision and Control, Sydney, Australia, December 2000. — **3**. — P. 2234–2239.
4. Tian Z., Liu L., Yang Y., Zhai Z. A stochastic control model for hierarical Grid service // NPC 2005, LNCS 3779 (H. Jin, D. Reed, W. Jiang Eds.). — 2005. — P. 72–79.
5. Krauter K., Buyya R., Maheswaran M. A taxonomy and survey of GRID resource management systems and distributed computing // Software-Practice and Experience, John Wiley & Sons, Ltd. — 2001. — P. 1–10.
6. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. — Киев: Наук. думка, 2005. — 744 с.
7. Шелестов А.Ю. Структурно-функциональный анализ компонентов Grid-систем // Проблемы управления и информатики. — 2007. — № 5. — С. 119–132.
8. Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю. Оценивание фазового состояния линейных многомерных динамических объектов с использованием размытых эллипсоидальных множеств // Там же. — № 1. — 1995. — С. 50–60.
9. Шелестов А.Ю. Объектная модель задач в Grid-системе обработки спутниковых данных // Наук. праці Донецьк. нац. техн. ун-ту. — 2007. — Вып. 8(120). — С. 317–330.
10. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами. — М.: Радио и связь, 1982.— 392 с.
11. Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю. Нечеткий эллипсоидальный наблюдатель состояния линейных динамических объектов с неизвестными возмущениями // Праці міжнар. конф. з управління «Автоматика-2000», Ль вів, 2000. — 2000. — С. 149–154.
12. Мониторинг водных ресурсов на основе интеграции разнородных данных и высокопроизводительных вычислений / А.Н. Кравченко, Н.Н. Куссуль, Е.А. Ляпун, В.П. Саворский, Л. Хлухи, А.Ю. Шелестов // Кибернетика и системный анализ. — 2008. — № 4. — С. 179–188.

Поступила 27.03.2008