

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 65.011.56

О.В. ТАРАКАНОВ, В.М. МИРОНОВ

**АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ОЦЕНИВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АСУП**

Рассмотрен подход к повышению точности оценивания производительности корпоративной информационно-вычислительной системы АСУП за счет усреднения результатов оценивания по набору частных параметрических моделей. Предложены алгоритмы ранжирования и хранения базы моделей, расчета оценок по частным моделям с использованием параллельных вычислений.

Ключевые слова: сложный объект управления; производительность информационно-вычислительной системы; процесс принятия решения; средняя точка; потоковая сеть Петри; сетевое планирование.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе задачи планирования и управления различными видами деятельности предприятия выполняются с помощью автоматизированных систем управления (АСУП). Технологической основой данных систем является комплекс аппаратных и программных средств, объединенных в единую корпоративную информационно-вычислительную систему (КИВС), которая предназначена для обеспечения эффективного функционирования информационной инфраструктуры предприятия и является подсистемой АСУП.

В связи с возрастающей ролью корпоративных информационно-вычислительных систем, их применением во многих областях деятельности и различных отраслях производства, а также увеличением их сложности и стоимости, растет значение качества оценивания их состояния. Точная и адекватная оценка дает возможность управлять состоянием системы, своевременно предупреждать конфликтные ситуации, связанные с ростом потребностей пользователей в обслуживании с одной стороны и стоимостными и технологическими ограничениями КИВС – с другой.

Современные структуры КИВС обуславливают необходимость учета значительного числа параметров их функционирования. Зависимость агрегированных показателей функционирования (выходных данных) от параметров (входных данных) может иметь вложенный математический, логический или операционный характер. Описание вышеуказанной зависимости назовем параметрической моделью оценивания (ПМО).

Повышение точности и адекватности оценок производительности КИВС достигается либо путем воздействия на сам процесс оценивания (постулаты научной школы академика Д.А. Поспелова), либо путем обеспечения высокого качества собственно оценки (положения научной школы Г.Б. Петухова). Исторически третий возможный путь повышения качества оценок за счет расширения модельной базы процесса оценивания не рассматривался в виду его экстенсиональной природы, формирующей предпосылки к так называемому «комбинаторному взрыву» [1].

Развитие электронной вычислительной техники обеспечило условия для решения многих вычислительно емких задач, ранее не решавшихся из-за ограниченности ресурсов. Целесообразно исследовать возможность повышения точности и адекватности оценок производительности КИВС АСУП путем расширения модельной базы процесса оценивания.

ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Управление КИВС характеризуется совокупностью значимых разнородных свойств, в том числе, производительностью. В дальнейшем будем рассматривать управление производительностью КИВС как наиболее важное свойство, оценивание интенсивности которого основано на достаточном множестве математических моделей и методик.

Имеется объект управления, который преобразует входы (X) в выходы (Y) и подвержен внешним воздействиям (D). Компенсирует внешние воздействия система управления, включающая ЛПР, систему мониторинга, собирающую информацию о процессе функционирования (Q), систему поддержки принятия решения, систему выработки и доведения управляющего воздействия (Z) и систему поддержки принятия решения (СППР).

С точки зрения теории принятия решений для обеспечения принятия максимально точного и адекватного решения по оценке функционирования ОУ ЛПР необходим весь объем информации по текущей ситуации на ОУ. Отдельная параметрическая модель оценивания (ПМО) не может дать абсолютно точный результат, так как создается с помощью ряда допущений и упрощений, поэтому для обеспечения приемлемой точности оценивания необходимо использовать несколько ПМО с усреднением результатов, а для обеспечения максимальной точности число моделей необходимо увеличивать.

Отдельные ПМО отличаются по точности и адекватности, а их количество зависит от используемых наборов контролируемых параметров. В рамках данной статьи не исследуется качественный состав параметров, их корреляция и вес в системе предпочтений ЛПР. Учитывая экстенциональный характер исследуемого способа повышения точности и адекватности оценок производительности КИВС, можно считать любые параметры равнозначными в их свертке в оценки по частным показателям эффективности. Кроме того, принимается допущение, что пространство возможных для использования ПМО расширяется с течением времени и конечно в неопределенном пределе (потенциально не счетно). Данное предположение вкупе с наличием волюнтаризма по формированию множества ПМО, выбору вида свертки и интерпретации результата (факт принятия решения есть компетенция ЛПР) позволяет отнести подсистему принятия решения в цикл управления КИВС АСУП в разряд организационно-технических [1].

В связи с расширением пространства ПМО общее время расчета оценки растет, увеличивая общее время принятия решения, а учитывая то, что предел мощности множества ПМО стремится к бесконечности, необходим механизм вычисления общей оценки, наиболее рационально использующий вычислительный ресурс:

$$R_{\text{общ}} = O(A) \left| \lim_{\min(T_{BP})} \{A\} \rightarrow \infty \right. , \quad (1)$$

где A – массив ПМО, T_{BP} – время использования вычислительного ресурса.

Таким образом, необходимо использовать научно-обоснованные методы для построения эффективных алгоритмов оценивания с учетом требований по максимально возможной точности и адекватности оценки и минимизации времени задействования вычислительного ресурса.

ХОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Очевидно, что повышения точности оценивания можно добиться либо путем использования более сложной модели оценивания либо за счет увеличения количества моделей. В обоих случаях вычислительные затраты повышаются, увеличивая время выработки решения. С другой стороны, используемый вычислительный ресурс не является выделенным, его занятие необходимо свести к минимуму. Следовательно, необходимо ввести гипотетическое временное ограничение на принятие решения, которое должно быть учтено при разработке алгоритма.

Алгоритм на рисунке 1 позволяет при выработке решения использовать на исследуемом этапе модели с максимальной точностью и адекватностью, а также применять параллельные вычисления для сокращения времени получения частных оценок на конкретных моделях.

Рассмотрим алгоритм поэтапно:

1. Формирование исходных данных $\{M\}$. На этом этапе производится сбор данных от различных подсистем КИВС об оборудовании, линиях связи, телетрафике, состоянии и

работоспособности информационных подсистем и т.п. Формируемый массив представляет собой снимок состояния КИВС на момент начала цикла управления.

2. Формирование массива моделей $\{A\}$. Данный массив формируется из базы моделей в соответствии с рангом. При вводе в эксплуатацию базы моделей ранг каждой модели одинаковый, однако в процессе набора статистики по принятию решения на основе определения средней точки результата оценивания их ранг будет изменяться. Принятие решения по выбору той или иной модели в конкретном цикле управления возможно при следующем допущении: интегральный показатель каждой модели приведен к одинаковой размерности, обеспечивается возможность их сравнения по удаленности от средней точки оценивания до результата модели.

3. Начало процесса принятия решения. Старт отсчета допустимого времени на выработку решения.

4. Старт цикла по вычислению оценки на критическом этапе принятия решения ($R_{крит}$). Производится вычисление частных оценок $R_i = A_i(\{M\})$ моделей в зависимости от их ранга по алгоритму А.1 (приведен ниже), позволяющему максимально использовать имеющиеся вычислительные ресурсы платформы для сокращения времени вычисления.

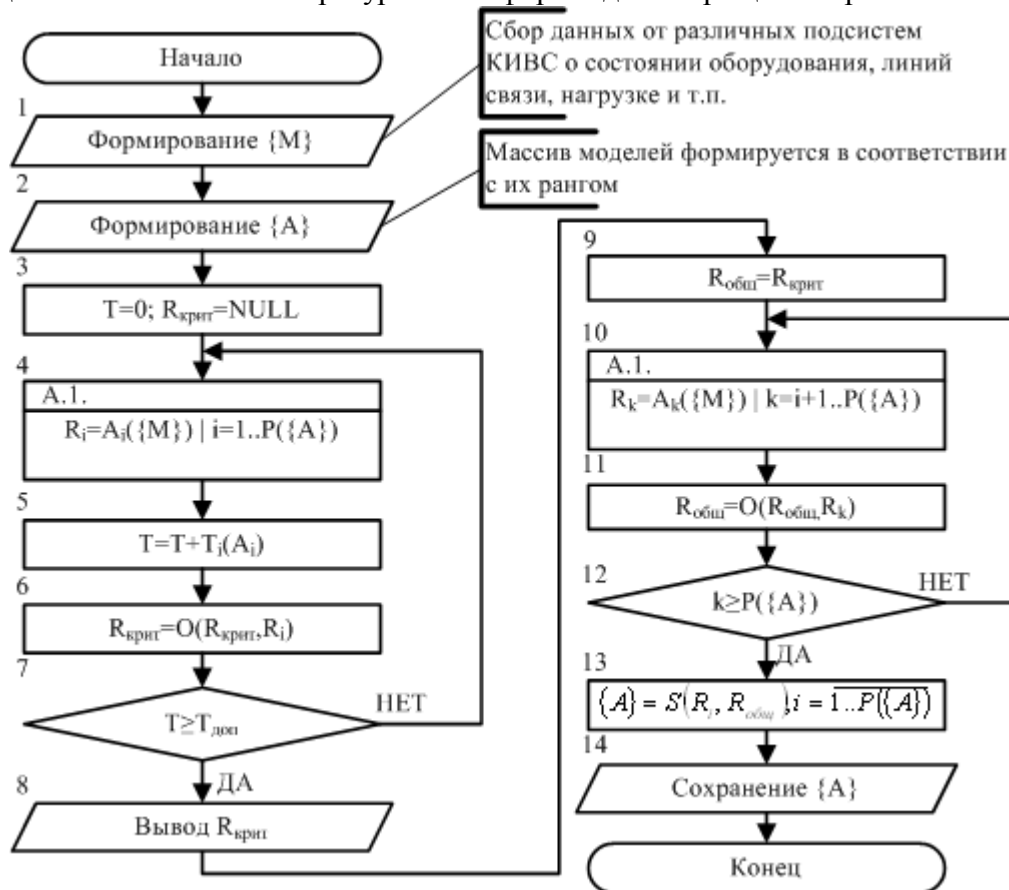


Рисунок 1 – Алгоритм повышения эффективности оценивания производительности КИВС АСУП

5. Суммирование времени вычисления оценки по каждой модели $T = T + T_i(A_i)$;

6. Вычисление оценки производительности на критическом этапе $R_{крит} = O(R_0, R_1, \dots, R_i)$ как функции от полученных частных оценок. На основании того, что результаты отдельных моделей являются отображением оценивания одного и того же объекта управления, можно сделать вывод, что отклонение результата оценивания производительности КИВС на основе конкретной ПМО от среднего рассчитанного значения является случайной величиной, а процесс накопления ошибки является стохастическим.

Учитывая случайную природу множества $\{M\}$, допустимо считать, что распределение отклонения результата оценивания описывается нормальным законом. Следовательно, уместно говорить, что среднее значение результатов $\{A\}$ находится так же, как и их среднее арифметическое значение.

7. Условие окончания цикла расчета $R_{крит}$. При превышении времени, отведенного на принятие решения, цикл останавливается.

8. Полученная оценка ($R_{крит}$) передается на следующий этап цикла управления (этап выработки и доведения управляющего воздействия).

9. После завершения критического этапа принятия решения начинается вычисление общей оценки $R_{общ}$ по всей совокупности $\{A\}$.

10. Старт цикла вычисления общей оценки. Используется тот же алгоритм, который применялся на шаге 4. В расчете используются модели, не вошедшие в расчет $R_{крит}$.

11. Аналогично шагу 6 производится уточнение оценки за счет использования оставшихся моделей.

12. Условие окончания цикла. Если получены результаты по всем моделям ($k \geq P(\{A\})$), цикл завершается.

13. Ранжирование множества моделей. На основании шага 6 пригодным параметром для ранжирования является расстояние от частной оценки модели до вычисленной общей оценки $\{A\} = S(R_i, R_{общ}), i = \overline{1..P(\{A\})}$.

14. Сохранение ранжированного множества в базу моделей.

Рассмотрим подробнее алгоритм А.1 (рис. 2).

1. **Процедура получения модели для обьчета.** На данном этапе происходит выбор модели из сформированной базы моделей в зависимости от ранга модели.

Схему вычислений параметрической модели оценивания можно представить в виде вектора:

$$A_{cx} = \langle X, V, H \rangle,$$

где $X = \{x_k | k \in K_{ex}\}$ – множество входных данных, $V = \{v_l | l \in L_{вых}\}$ – множество выходных данных, $H = \{h_j | j = \overline{1..J}\}$ – множество процедур преобразования [2].

Полученная модель должна соответствовать следующим требованиям:

- поддержка нескольких интегральных показателей;
- использование исходных данных на любом этапе вычислений;
- приведение исходных данных к численному виду с учетом единиц измерения;
- настраиваемость и полиморфичность относительно целевой функции отдельных этапов преобразования;
- учет наличия как положительной, так и отрицательной обратной связи в схеме вычислений;
- учет взаимного влияния этапов вычисления.

Обобщенная модель может быть представлена выражением [3]:

$$A = \langle F_0, A_{cx}, U_{обр}, U_{вз} \rangle,$$

где F_0 – начальные процедуры приведения исходных данных к численному виду, A_{cx} – схема вычислений ПМО, $U_{обр}$ – множество потоков преобразования обратного направления, $U_{вз}$ – множество потоков перекрестного влияния этапов вычисления.



Рисунок 3 – Алгоритм параллельного вычисления частной оценки (A.1)

2. **Представление модели в виде потоковой сети Петри.** Модель должна удовлетворять следующим требованиям:

- существует только одна исходная позиция X^+ , такая, что отсутствуют переходы, входящие в X^+ ;
- существует только одна конечная позиция Z^- , такая, что отсутствуют переходы, выходящие из Z^- ;
- каждый узел данной сети расположен на пути от X^+ к Z^- .

Если вышеперечисленные требования выполняются, происходит формирование потоковой сети F_{net} .

3. **Нахождение критического пути** $P_{crit} = P(F_{net})$. Путь, определяющий минимальное время $T_{min}(X^+, Z^-)$ выполнения всех вычислений сети, является критическим.

Вычисление минимального момента реализации Z^- сводится к отысканию в сети пути с максимальной суммой длительностей, соответствующих вершинам и дугам, образующим этот путь [4].

Применяется рекурсивная процедура: для этапа R_j вычисляется максимум суммы [4]

$$\max_k (T(R_{ik}) + t(R_{ik}, R_j)), R_{ik} \in U^{-1}R_j$$

с последующим сложением его со временем выполнения $t(R_j)$ этапа R_j . Примем временные затраты для передачи данных по дуге $t(R_{ik}, R_j) = 0$, тогда полное время вычисления этапа R_j

$$T(R_j) = t(R_j) + \max_k (T(R_{ik})),$$

где t – вычислительная сложность этапа R_j .

Этапы, включенные в критический путь, называются критическими. Для каждого некритического этапа имеем два граничных значения времени: ожидаемое время расчета

$\tilde{t}(R_i)$ и предельное время расчета $\tilde{t}^*(R_i)$, превышение которого приведет к изменению общего времени завершения проекта. Очевидно, что для критических этапов $\tilde{t}(R_i) = \tilde{t}^*(R_i)$.

4. Приведение сети к бесконтурному замкнутому виду. Очевидно, процесс вычисления ассоциируется с поэтапным продвижением маркеров от X^+ к Z^- . Вычисление считается законченным, если все маркеры покидают систему или система переходит в тупиковое состояние. Второй случай является ненормальным завершением расчета, поэтому при моделировании необходимо проверять полученную потоковую сеть на отсутствие тупиков. Это свойство называется свойством правильной завершаемости (бездефектности) и выполняется, если [4]:

- конечная позиция Z^- достижима при любой последовательности переходов от позиции X^+ ;
- сеть не содержит лишних позиций (которые никогда не будут выполнены);
- при достижении конечной позиции данной сети не должно оставаться маркеров в промежуточных позициях.

Чтобы выполнить эти требования, необходимо отыскать и устранить вычислительные контуры. В общем виде данный алгоритм состоит из следующих этапов:

- Представление потоковой сети Петри в виде несвязного орграфа и разбиение его на набор связных подграфов

$$G = \{g_1, \dots, g_k\};$$

- Определение контуров в каждом подграфе g_i и их разрыв путем деления вершин.

Здесь определяется вычислительная сложность каждого правила агрегирования $t(R_i)$. Затем по методу поиска вглубь с сохранением пути производится поиск контура K_{g_i} , ближайшего по расстоянию к X^+ . Путем суммирования определяется общая вычислительная сложность контура:

$$T(K_{g_i}) = \sum_{y=1}^L t(R_y),$$

где L – количество вершин R в контуре. Далее выбирается ближайшая к X^+ вершина $R_0 \in K_{g_i}$, определяется вычислительная сложность критического пути синдрома $[X^+, R_0]$ и антисиндрома $[R_0, Z^-]$. Находится такая вершина $R_y \in K_{g_i}$, не принадлежащая антисиндрому $[R_0, Z^-]$, что

$$\left(T_{\min}(X^+, R_0) \geq T(R_y, R_0) \right) \mathbf{I} \left(T_{\min}(R_0, Z^-) \geq T(R_0, R_y) \right),$$

т.е. вершина R_y должна делить $T(K_{g_i})$ таким образом, чтобы полученные ветви контура не приводили к изменению критических путей синдрома и антисиндрома R_0 .

5. Составление сетевого графика для всех имеющихся вычислительных приборов. Для каждого некритичного этапа можно определить полный временной резерв, который можно использовать для ожидания вычислительного прибора без ущерба для $T_{\min}(X^+, Z^-)$

$$\Delta t(R_i) = \tilde{t}^*(R_i) - \tilde{t}(R_i). \quad (2)$$

Согласно теореме о полном временном резерве [4], формулу (2) можно представить в виде

$$\Delta t(R_i) = T_{\min}(X^+, Z^-) - (T_{\min}(X^+, R_i^-) + T_{\min}(R_i^+, Z^-)) + t(R_i),$$

где $T_{\min}(X^+, Z^-)$ – критическое время сети $[X^+, Z^-]$, X^+ – условное начало вычисления, Z^- – условное окончание вычисления, $T_{\min}(X^+, R_i^-)$ – критическое время антисиндрома $[X^+, R_i^-]$, $T_{\min}(R_i^+, Z^-)$ – критическое время синдрома $[R_i^+, Z^-]$, $t(R_i)$ – время расчета этапа R_i .

Таким образом, зная время начала этапа вычисления $T_{\min}(X^+, R_i^-) - t(R_i)$, его длительность $t(R_i)$ и временной резерв $\Delta t(R_i)$, можно составить расписание распределения вычислительных приборов.

Пусть p есть количество процессоров, используемых для выполнения алгоритма. Тогда для параллельного выполнения вычислений необходимо задать множество (расписание) [5]

$$H_p = \{(i, P_i, t_i) : i \in V\},$$

в котором для каждой операции $i \in V$ указывается номер используемого для выполнения операции процессора P_i и время начала выполнения операции t_i . Для того, чтобы расписание было реализуемым, необходимо выполнение следующих требований при задании множества H_p [5]:

1) $\forall i, j \in V : t_i = t_j \Rightarrow P_i \neq P_j$, т.е. один и тот же процессор не должен назначаться разным операциям в один и тот же момент времени;

2) $\forall (i, j) \in R \Rightarrow t_j \geq t_i + 1$, т.е. к назначаемому моменту выполнения операции все необходимые данные уже должны быть вычислены.

6-7. Вычисление частной оценки для текущей модели оценивания и вывод оценки в основной алгоритм. На данных этапах в соответствии с составленным сетевым графиком (расписанием) производится вычисление, а результат возвращается в основную программу.

ВЫВОД

Таким образом, представленные алгоритмы позволяют применить несколько ПМО для повышения точности и адекватности оценки производительности КИВС АСУП при минимизации времени использования вычислительного ресурса.

Предполагаемый эффект от внедрения автоматизированного оценивания, основанного на приведенных алгоритмах, определяется двумя моментами:

- 1) Повышение точности оценки производительности КИВС АСУП за счет использования в процессе оценивания нескольких ПМО и усреднении результата оценивания;
- 2) Сокращение времени использования вычислительного ресурса вычислительной платформы АСУП за счет использования сетевого планирования и параллельных вычислений при расчете частных оценок по конкретным ПМО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука. – Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.
2. Миронов В.М. Моделирование процесса вычисления интегральных показателей в АСУП как процесса преобразования ресурсов на основе потоковой сети Петри // Системы управления и информационные технологии, 1.1(43), 2011. – С. 155-158.
3. Миронов В.М., Тараканов О.В. Вычисление интегральных показателей функционирования предприятия как процесс преобразования информационного ресурса // Актуальные проблемы анализа и построения информационных систем и процессов: сборник статей

Международной научно-технической конференции. – Таганрог: Издательство Технологического института ЮФУ, 2010. – С. 91-95.

4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с., ил.
5. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб. – БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.: ил.

Тараканов Олег Викторович

Академия ФСО, г. Орел

Кандидат технических наук, зав кафедрой информатики и вычислительной техники

Миронов Вадим Михайлович

Академия ФСО, г. Орел

Адъюнкт военной докторантуры и аспирантуры

Тел.: 8 920 081 22 83

E-mail: vmironov@mail.ru

O.V. TARAKANOV (*Candidate of Engineering Sciences, head of department computer science and computer facilities*)

V.M. MIRONOV (*The graduated in a military academy of military doctoral studies and postgraduate study*)

Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

ALGORITHMS OF IMPROVEMENT OF QUALITY OF ESTIMATION OF PRODUCTIVITY OF CORPORATE INFORMATION SYSTEM ASUP

An approach to improve the accuracy of estimating the performance of corporate information and computing systems MIS by averaging the results of evaluations on a set of individual parametric models. Proposed algorithms for ranking and storage base models, calculating the estimates for particular models using parallel computing.

Keywords: *complex object management; data-processing system performance; decision-making process; the middle point; stream Petri net; network planning.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Pospelov D.A. Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika. – М.: Nauka. – Gl. red. fiz.-mat. lit, 1986. – 288 s.
2. Mironov V.M. Modelirovanie processa vy'chisleniya integral'ny'x pokazatelej v ASUP kak processa preobrazovaniya resursov na osnove potokovoj seti Petri // Sistemy' upravleniya i informacionny'e tehnologii, 1.1(43), 2011. – S. 155-158.
3. Mironov M.V., Tarakanov O.V. Vy'chislenie integral'ny'x pokazatelej funkcionirovaniya predpriyatiya kak process preobrazovaniyainformacionnogo resursa // Aktual'ny'e problemy' analiza i postroeniya informacionny'x sistem i processov: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii. – Таганрог: Izdatel'stvo Teknologicheskogo institute YuFU, 2010. – S. 91-95.
4. Piterson Dzh. Teoriya setej Petri i modelirovanie sistem: per. s angl. – М.: mir, 1984. – 264 s., il.
5. Voevodin V.V., Voevodin Vl.V. Parallel'ny'e vy'chisleniya. – SPb. – BXV-Peterburg, 2002. – 608 s.: il.