

УДК 004.45:004.94

Д.Ю. Воронин, ассистент, канд. техн. наук;**А.В. Скатков, профессор, д-р техн. наук;****И.П. Стадник, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, СевНТУ, Севастополь, Украина, 99053**E-mail: dima@voronins.com***ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ВЕКТОРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМИНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Рассматриваются вопросы, связанные с повышением эффективности распределения вычислительных ресурсов информационно-управляющих систем при использовании комплексных информационных технологий обеспечения высокой терминальной готовности для систем критического применения.

Ключевые слова: терминальное распределение ресурсов, система критического применения, информационная технология, система поддержки принятия решений.

Вследствие интенсификации процессов производства, бизнеса и оказания услуг расширились сферы внедрения информационных технологий. Они широко используются и в информационно-управляющих системах (ИУС) объектов критического применения (ОКП): в здравоохранении, энергетике, экономике, транспорте и многих других. Повышенные требования к ресурсному обеспечению ИУС обусловлены особыми функциональными свойствами ОКП: наличием поглощающего состояния, критичностью, нестационарностью, режимом реального времени. Таким образом, возникает конфликтная ситуация между дефицитом вычислительных ресурсов ИУС и весьма сжатыми директивными сроками окончания обработки требуемого комплекса работ (высокая терминальная готовность), что может спровоцировать переход ОКП в невозвратное (поглощающее) состояние, сопровождающееся человеческими жертвами, техногенными катастрофами и существенным материальным ущербом.

Векторная задача терминального распределения ресурсов является **актуальной**, так как на сегодняшний день одной из основных проблем интенсификации процессов обработки информации, связанной с формированием управлений, обеспечивающих работоспособность ОКП, является отсутствие эффективных информационных технологий терминального распределения вычислительных ресурсов, т.е. ориентированных на обеспечение высокой терминальной готовности ИУС и функционирующих в реальном масштабе времени. Это приводит, например, к сокращению времени достоверной диагностики заболеваний. В силу того, что задачи распределения ресурсов, как правило, являются NP-полными, аналитическое решение при «реальных» размерностях информационно-вычислительных работ (ИВР) затруднено даже для стационарных случаев, что приводит к необходимости применения подходов, гарантирующих только субоптимальный результат. Ситуация существенно усложняется нестационарностью ОКП, дефицитом априорной информации и существенно ограниченным резервом времени, отводимым для принятия и реализации диспетчерских управлений [1, 2]. Следствием этого является острая необходимость разработки информационных технологий, обеспечивающих адаптивный выбор методов диспетчеризации ИВР, идентификацию информационных ситуаций на основе анализа динамических графовых структур, а также версионно-модельную избыточность [3] для нахождения компромисса между уровнями точности и реактивности получаемых решений.

Целью статьи является повышение эффективности распределения вычислительных ресурсов ИУС при использовании комплексных информационных технологий (КИТ) обеспечения высокой терминальной готовности (ОВТГ) для систем критического применения (СКП).

Целью ИУС является синтез управлений $u_i \in U$ на промежутке $[0; T]$, которые компенсируют возмущающее воздействие ϑ и обеспечивают требуемую фазовую траекторию Ξ , связанную с пребыванием ОКП в работоспособных состояниях S : $S_1(t)$, $S_2(t+1)$, ..., $S_n(t+n)$, при безусловном выполнении целевого ограничения $P_{\Pi}(t) \equiv 0$, $\forall i = \{1, 2, \dots, |S|\}$, где $P_{\Pi}(t)$ — вероятность перехода из состояния S_i в S_{Π} ; $S_i \in S$, $S \cap S_{\Pi} = \emptyset$; S_{Π} — поглощающее состояние ОКП. Директивные требования TrD накладывают определенный регламентом срок $t_{дир}$, до которого следует выработать u_i . На рисунке 1 изображена функционально-структурная схема информационного взаимодействия ОКП и ИУС в СКП.

Для решения задачи синтеза управления u_i необходимо при использовании доступных вычислительных ресурсов выполнить заданное множество информационно-вычислительных работ $IVR(t)$. Каждая из этих работ имеет сложную структуру, которую в общем случае можно задать графом

$G_b(t)$, множество дуг которого $\Gamma_b(t) = \bigcup_a g_{b,a}(t)$, $b \in B$, $a \in A$ где $g_{b,a}(t)$ – дуга графа $G_b(t)$, соответствующая а-му заданию b-ой работы $IVR(t)$. Таким образом, элементы множества $IVR(t)$ отображаются в элементы множества $G(t) = \bigcup_b G_b(t)$. Для обеспечения терминальной готовности СКП (свойство ИУС до срока $t_{\text{ДИР}}$ выработать u_i) следует в моменты $T_{pp} = \bigcup_i t_i$, $t_i \in [0; T]$ эффективно перераспределять ресурсы ИУС, т.е. $t_{\Phi}^k(s) = t_k + \max_{j \in J} (ov_j(s, t_k))$, где $t_{\Phi}^k(s)$ – момент окончания выполнения множества работ по формированию u_i при s-ом варианте распределения ресурсов, установленном в момент времени $t_k \in T_{pp}$; $ov(s, t_k)$ – вектор остаточных длительностей выполнения работ по формированию u_i при выборе s-ого варианта распределения ресурсов в момент t_k ; $J = \{1, 2, \dots, |IVR|\}$. Ограничения на максимальный объем вычислительных ресурсов, доступных в моменты T_{pp} , задаются матрицей R . Ее столбцы соответствуют типам ресурсов, а строки – ресурсным ограничениям для $\forall t_i \in T_{pp}$.

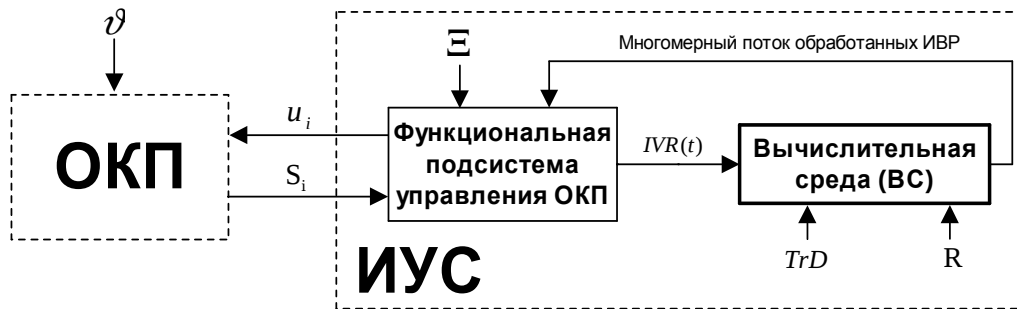


Рисунок 1 – Функционально-структурная схема информационного взаимодействия ОКП и ИУС в СКП

В качестве базовых системных характеристик ИУС ОКП будем использовать коэффициент терминальной и критической готовности: $K_{TG} \in [0; 1]$, $K_{KG} \in [0; 1]$. Если

$$\left[(t_{\text{ДИР}} - t_{\Phi}^k(s)) = \max_{h \in VR(t_k)} (t_{\text{ДИР}} - t_{\Phi}^k(h)) \right], \quad \text{то полагаем, что } K_{TG}(t_{\Phi}^k(s)) = 1, \quad \text{иначе}$$

$$K_{TG}(t_{\Phi}^k(s)) = \frac{t_{\text{ДИР}} - t_{\Phi}^k(s)}{\max_{h \in VR(t_k)} (t_{\text{ДИР}} - t_{\Phi}^k(h))}, \quad \text{где } VR(t_k) - \text{множество допустимых вариантов распределения}$$

ресурсов в момент времени $t_k \in T_{pp}$. Аналогично, если $\left[(t_{\text{ПОГ}} - t_{\Phi}^k(s)) = \max_{h \in VR(t_k)} (t_{\text{ПОГ}} - t_{\Phi}^k(h)) \right]$, то

$$K_{KG}(t_{\Phi}^k(s)) = 1, \quad \text{иначе } K_{KG}(t_{\Phi}^k(s)) = \frac{t_{\text{ПОГ}} - t_{\Phi}^k(s)}{\max_{h \in VR(t_k)} (t_{\text{ПОГ}} - t_{\Phi}^k(h))}, \quad \text{где } t_{\text{ПОГ}} - \text{момент времени, после которого}$$

ОКП может перейти в S_{Π} из-за несвоевременного выполнения множества работ по формированию $u_i \in U$. Таким образом, K_{TG} определен для случая $t_{\Phi}^k(s) \leq t_{\text{ДИР}}$, а K_{KG} — для $t_{\text{ДИР}} < t_{\Phi}^k(s) < t_{\text{ПОГ}}$.

Существует объективное противоречие между особыми требованиями к ресурсному обеспечению ИУС (дефицит продиктован функциональными свойствами ОКП) и директивной необходимостью в высокой терминальной готовности. Результат решения задачи терминального распределения ресурсов ИУС для момента времени $t_k \in T_{pp}$ представляется кортежем $\langle vr(t_k), K^*(vr(t_k)) \rangle$, где $vr(t_k)$ – эффективный вариант распределения ресурсов, выбранный на основе **аналитической модели многомерной задачи распределения вычислительных ресурсов** АМТР; $K^*(vr(t_k))$ – оценка его эффективности на основе K_{TG} или K_{KG} . Информационное обеспечение АМТР: $\langle \bar{G}(t_k), G(t_k), D(t_k), R \rangle$, где $\bar{G}(t_k)$ – граф работ, которые осталось выполнить после t_k до $t_{\text{ПОГ}}$; $G(t_k)$ – множество работ,

выполняемых в t_k ; $D(t_k)$ – граф, соответствующий структуре вычислительной среды, используемой в t_k . Таким образом, задача терминального распределения вычислительных ресурсов на основе АМТР может быть сформулирована в следующем виде: $\forall t_k \in T_{pp}$ необходимо найти такой $vr(t_k)$, что

$$K^*(vr(t_k)) = \begin{cases} \max_{vr(t_k) \in VR(t_k)} \{K_{TG} [t_{\Phi}^k(vr(t_k))]\} & \text{при } t_{\Phi}^k(vr(t_k)) \leq t_{дир}; \\ \max_{vr(t_k) \in VR(t_k)} \{K_{KG} [t_{\Phi}^k(vr(t_k))]\} & \text{при } t_{дир} < t_{\Phi}^k(vr(t_k)) < t_{пог}. \end{cases}$$

при выполнении условия:

$$\sum_K \sum_U \sum_q X_q^{K,U}(t_k) \leq \sum_q r_{k,q},$$

где $r_{k,q}$ – элемент матрицы R , задающий ограничение на объем ресурсов q -ого типа в момент t_k ; $X_q^{K,U}(t_k)$ – объем ресурсов q -ого типа, выделяемых в момент времени t_k для обработки U -го задания K -ой работы, ресурсы выделяются дискретно, объемом Δx . Множество допустимых вариантов $VR(t_k)$

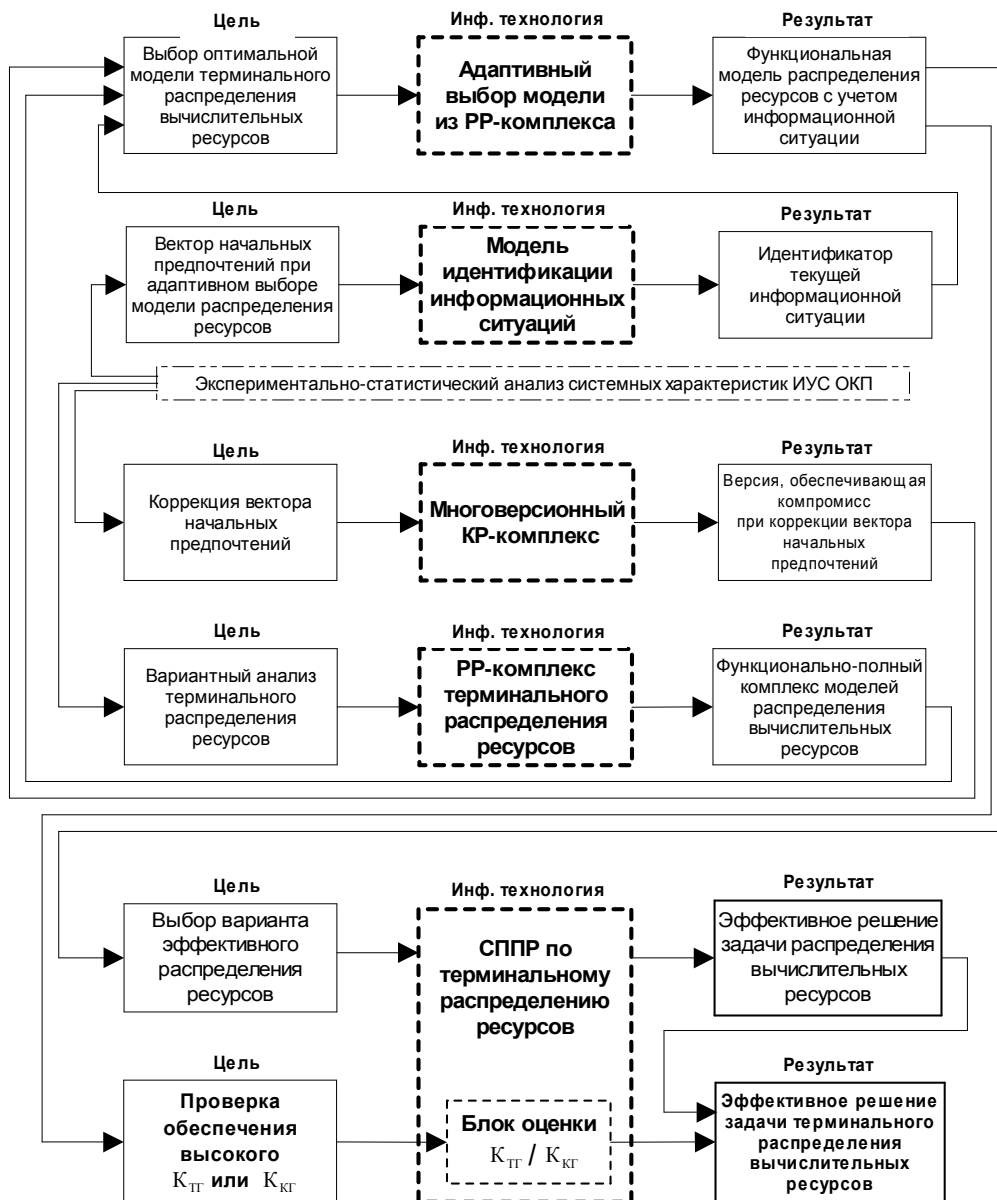


Рисунок 2 – Логическая схема решения задачи терминального распределения ресурсов на основе целевых функционально-ориентированных информационных технологий

порождает отображение W на V , а структурная составляющая W – отображение $G(t_k)$ на $D(t_k)$; параметрическая составляющая $V(D(t_k), R)$.

Использование АМТР обеспечивает высокую терминальную готовность СКП при сравнительно небольших размерностях выполняемых работ и является эффективным средством получения опорных тестовых решений. Необходимо заметить, что базовая аналитическая модель АМТР обладает повышенной адекватностью, так как в отличие от известных, гарантированно оценивает K_{TT} или K_{KT} , а также осуществляет динамическое отображение графовых структур, тем самым, учитывая нестационарность ОКП, т.е. решения о перераспределении ресурсов принимаются в фиксированные моменты времени, в соответствии с текущими оценками $D(t)$, R , ресурсоемкости $G(t)$ и случайными возмущениями по ресурсам и ресурсоемкости.

Обосновано, что одним из наиболее перспективных направлений решения проблемы терминального распределения вычислительных ресурсов при выполнении ИВР «реальных» размерностей является создание КИТ ОБТГ, обеспечивающих идентификацию информационных ситуаций, версионно-модельную избыточность при адаптивном выборе моделей распределения вычислительных ресурсов. Структурно модель поиска эффективных решений по терминальному распределению вычислительных ресурсов может быть представлена в наиболее простом случае при помощи логической схемы решения задачи терминального распределения ресурсов на основе целевых функционально-ориентированных информационных технологий (рисунок 2).

С целью подтверждения эффективности предлагаемого подхода были проведены вычислительные эксперименты. Некоторые результаты этих экспериментов изображены на рисунках 3, 4 и уточняют область применения предлагаемого подхода, который ориентирован, в первую очередь, на использование в гетерогенных распределенных вычислительных средах, для случая, когда мощность множества допустимых решений на несколько порядков превосходит мощность множества эффективных вариантов распределения вычислительных ресурсов. В качестве исходных данных рассматривалось десять суперпозиций графов задач. То есть значок « $\wedge$ » в записи $G = (G_1^k \wedge G_5^k)$ означает, что одновременно выполнялась обработка ИВР, описываемых графами G_1 , G_5 , а верхний индекс k соответствует случаю, когда ресурсы для обработки описываемых ИВР распределены на основе ПДК ППР, $G = (G_1 \wedge G_5)$ – иначе.

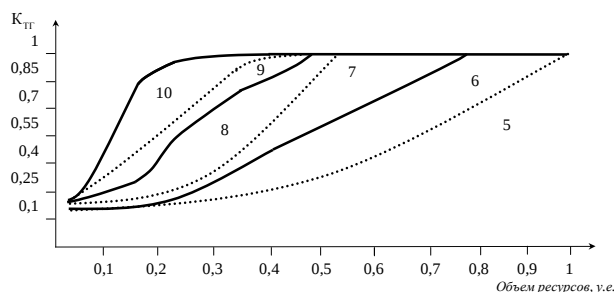


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента терминальной готовности от общего объема ресурсов 5 – $\overline{G_1 G_5}$; 6 – $\overline{G_1 G_5}$; 7 – $\overline{G_4 G_1 G_2 G_4}$; 8 – $\overline{G_4 G_1 G_2 G_4}$; 9 – $\overline{G_2 G_2 G_2 G_2}$; 10 – $\overline{G_2 G_2 G_2 G_2}$

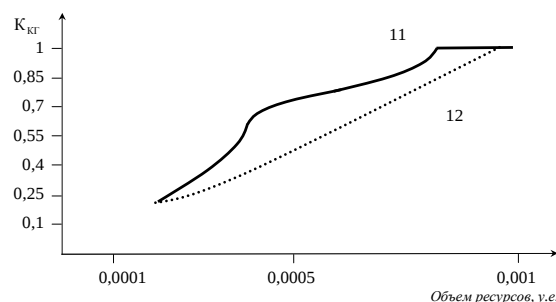


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента критической готовности от общего объема ресурсов 11 – $\overline{G_2 G_2 G_2 G_2}$; 12 – $\overline{G_2 G_2 G_2 G_2}$

В качестве дальнейших направлений исследования планируется использовать предложенную информационно-логическую модель поиска эффективных решений по терминальному распределению вычислительных ресурсов при синтезе комплекса поддержки принятия оперативных решений по терминальной диспетчеризации, применение которого позволит в реальном масштабе времени обеспечить высокую терминальную готовность СКП.

Библиографический список использованной литературы

1. Скاتков А.В. Распределенные системы: структурный анализ, классификация, экстремальные задачи на графах / А.В. Скатков, Д.Ю. Воронин, Д.Н. Данильчук // Вестник национального Хмельницкого университета. — 2007. — № 3. — Т. 1 (93). — С. 77–82.

2. Воронин Д.Ю. Системотехнический анализ процессов диспетчеризации в распределенных вычислительных системах графах / Д.Ю. Воронин // Вестник СевГТУ. Сер. Информатика, электроника, связь: сб. науч. тр. — Севастополь, 2008. — С. 38–42.

3. Многоверсионные системы и технологии для критических приложений / А.В. Волковой, И.В. Лысенко, В.С. Харченко, О.В. Шурыгин; под ред. В.С. Харченко. — Харьков: Изд-во «ХАИ», 2008. — 224 с.

Поступила в редакцию 04.02.2011 г.

Воронін Д.Ю., Скатков О.В., Стадник І.П. Ефективне розв'язання векторної задачі термінального розподілу ресурсів у критичних системах

Розглядаються питання, пов'язані з підвищенням ефективності розподілу обчислювальних ресурсів інформаційно-керуючих систем під час використання комплексних інформаційних технологій забезпечення високої термінальної готовності для систем критичного застосування..

Ключові слова: термінальний розподіл ресурсів, система критичного застосування, інформаційна технологія, система підтримки прийняття рішень.

Voronin D.Y., Skatkov A.V., Stadnik I.P. Effective vector task solution of the terminal resources distribution in critical systems

The paper is concerned with the increase of efficiency of computing resources allocation in information and control systems using integrated information technology to ensure high availability for critical application systems. The author believes that the proposed approach has many advantages and, consequently, is very useful in solving such problems.

Keywords: terminal resource allocation, critical applications system, information technology, decision support system.