

УДК 004.75

А.В. СКАТКОВ, Д.Ю. ВОРОНИН

Севастопольский национальный технический университет, Украина

АДАПТИВНАЯ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ С ВЕРСИОННО-МОДЕЛЬНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

Рассмотрена задача построения адаптивных сервисов по диспетчеризации заданий в распределенных вычислительных системах, ориентированных на обработку медицинской информации. Разнообразие структур таких систем существенно затруднило разработку единой модели, обладающей достаточным уровнем адекватности и требуемого быстродействия. Возникшую конфликтную ситуацию удалось урегулировать благодаря декомпозиции на основе классификационной методики, учитывающей структурные различия ЗРВС. Для полученных структурных классов была введена версионно-модельная избыточность, парирующая дефекты проектирования и взаимодействия алгоритмических и вычислительных составляющих комплекса имитационных моделей ЗРВС.

Ключевые слова: *гарантоспособность, диверсность, версионная избыточность, объекты критического применения, распределенная вычислительная система, диспетчеризация, дефекты проектирования и взаимодействия, адаптивный подход.*

Введение

Широкое использование распределенных вычислений [1] в качестве опорного средства большинства информационных технологий (в здравоохранении, энергетике, банковских системах, бизнес процессах и т.д.), а также стремительно растущие требования к обеспечению гарантоспособности вычислительных сервисов [2], резко обострили проблему диспетчеризации в распределенных вычислительных системах (РВС) [1].

Анализ публикаций и программно-технических решений в этой области [1, 3, 4] позволяет сделать вывод о том, что популярность РВС обусловлена рядом их преимуществ: возможностью распараллеливания вычислений, масштабируемостью, совместной работой пользователей с общими ресурсами и др. Закономерно, что перечисленные достоинства распределенной обработки данных порождают собой ряд проблем, связанных с организацией гарантоспособных сервисов по диспетчеризации в условиях различных информационных ситуаций. Возникает конфликтная ситуация, связанная с порой необоснованным наращиванием вычислительной мощности каналов обработки данных и недостаточной проработанностью вопросов организации диспетчеризации в целом [1, 4, 5].

Необходимо отметить, что большинство выдающихся ученых, работающих по этому направлению, считают, что диспетчерские решения следует принимать в тесной связи со специализированным назначением РВС, продиктованным сферой ее применения. Несмотря на интенсивное развитие техно-

логий, применяемых при решении сервисных задач ЗРВС (РВС, используемые в здравоохранении при диагностике пациентов), в данной области остается много нерешенных проблем. В этом контексте актуальным является разработка и внедрение новых моделей и методов поддержки принятия диспетчерских решений в ЗРВС, базирующихся на использовании адаптивного подхода (АП) и введении версионно-модельной избыточности (ВМИ) [2, 6, 7].

Многочисленные публикации последних лет свидетельствуют о том, что большинство предлагаемых методов к решению задачи диспетчеризации (ЗД) в значительной степени специализированы по условиям применения и не ориентированы на корректировку диспетчерских решений в условиях изменения оперативной обстановки. Закономерно, что выбор наилучшего способа для определенной информационной ситуации должен базироваться на АП, который позволяет вносить динамические изменения в решение ЗД с учетом возникших отклонений и оценивать качество работы выбранного метода на основании анализа результатов его применения. Однако, процедуры стохастической аппроксимации имеют медленную сходимость, а диспетчерские решения в ЗРВС следует принимать в быстро изменяющихся условиях и, следовательно, в весьма сжатые сроки. Данное обстоятельство обуславливает необходимость модификации АП с учетом предъявляемых ограничений по его быстродействию.

Закономерно, что разнообразие структур ЗРВС существенно затруднило разработку единой модели, обладающей достаточным уровнем адекватности

и требуемого быстродействия. Возникшую конфликтную ситуацию удалось урегулировать благодаря введению ВМИ, которая осуществляет редукцию ЗД в ЗРВС (с привлечением и развитием методов многоверсионного синтеза моделей сложных систем), а также снижает вероятность возникновения дефектов проектирования и взаимодействия [7] алгоритмических и вычислительных составляющих комплекса имитационных моделей ЗРВС.

Проведенный анализ современных методов функционирования гарантоспособных сервисов по диспетчеризации заданий в ЗРВС позволил сделать вывод о том, что:

1) большинство предлагаемых подходов к решению задачи диспетчеризации (ЗД) в значительной степени специализированы по условиям применения и по имеющемуся объему априорной информации о потоке входных заданий;

2) алгоритмы диспетчеризации в большинстве случаев являются статичными в том смысле, что они не ориентированы на корректировку диспетчерских решений в условиях изменения оперативной обстановки;

3) существующие методы, как правило, выполнены без учета технологий, основанных на понятии диверсности, т.е. во многих случаях они имеют не достаточную вычислительную устойчивость и не обеспечивают должный уровень гарантоспособности обслуживаемых объектов;

4) большинство известных методов при больших размерностях задач требуют значительного времени нахождения квазиоптимальных решений.

Отмеченные обстоятельства имеют принципиальное значение в случае, когда необходимо обеспечить гарантоспособные вычислительные сервисы для объектов критического применения: в энергетике, здравоохранении, транспорте и т.д. Использование существующих методов и подходов к решению задачи диспетчеризации не позволяет в полной мере ее решить с учетом параметрически нестационарных потоков заданий, что характерно для большинства современных приложений.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что перспективной и актуальной является задача развития существующих и разработка новых подходов к проектированию алгоритмов диспетчеризации, которые позволили бы:

1) учитывать всю имеющуюся априорную информацию;

2) динамически вносить изменения в решение задачи с учетом возникших отклонений, то есть быть адаптируемыми;

3) использовать методы диверсности;

4) алгоритмы должны быть ориентированы на использование в моделях поддержки принятия ре-

шений, ориентированных на специфику данных, продиктованную областью применения ЗРВС.

Алгоритмы, удовлетворяющие всем выдвинутым выше требованиям, будем называть расширенными алгоритмами диспетчеризации (РАД).

Постановка задачи

Схему организации вычислительного процесса в ЗРВС представим при помощи кибернетической модели «черный ящик», то есть на одном из самых верхних уровней абстракции. В качестве входных данных выступает информация о структуре ЗРВС и пакете решаемых в ней заданий. Под внутренними параметрами рассматриваемой системы понимается множество способов решения задачи диспетчеризации. Выходные данные формируются при помощи диспетчерских сервисов в ЗРВС, учитывающих входные данные и внутренние управляющие параметры системы.

Существует множество различных вариантов формализации функционирования гарантоспособных сервисов по диспетчеризации заданий в РВС. Предлагаемый в рамках данной статьи подход ориентирован на распределенную обработку медицинской информации в ЗРВС. Под ЗД будем понимать нахождение эффективного (с точки зрения определенных критериев) распределения заданий по узлам ЗРВС.

Временным интервалам работы ЗРВС поставлено в соответствие множество T , каждый элемент t_k этого множества представляет собой вектор вида

$$\langle t_k^\beta, t_k^\gamma \rangle, k = \overline{1, T_{\text{sum}}}, \quad (1)$$

где t_k^β – номер периода,

$$t_k^\beta = \overline{1, T_\beta}, T_\beta – \text{число периодов,}$$

$$t_k^\gamma – \text{номер такта в текущем периоде,}$$

$$t_k^\gamma = \overline{1, T_\delta}; T_\delta – \text{число тактов в одном периоде,}$$

$$T_{\text{sum}} – \text{общее число тактов,}$$

$$T_{\text{sum}} = T_\beta \cdot T_\delta.$$

Граф $G_i = (N, \Gamma_N)$ задает особенности обеспечения заданий ресурсами ЗРВС, здесь N – множество вершин графа (соответствуют узлам ЗРВС), а Γ_N – множество дуг, которые поставлены в соответствие каналам перераспределения ресурсов в ЗРВС.

Каждый элемент множества $n_i \in N$ представляет собой вектор вида

$$\langle n_i^{\text{nbr}}, n_i^{\text{type}}, n_i^r, n_i^q \rangle, i = \overline{1, |N|}, \quad (2)$$

где n_i^{nbr} – номер i -го узла ЗРВС;

n_i^{type} – тип i -го узла (диверсный или нет),

n_i^r – максимальный объем воспринимаемых ресурсов i -м узлом,

n_i^q – календарь загрузки i -го узла, представляющий собой двумерную матрицу, строки которой сопоставлены номерам тактов в текущем периоде t_k^γ , а столбцы – номерам периодов t_k^β . Причем,

$n_i^q_{t_k^\beta, t_k^\gamma} = 1$, если i -й узел занят в t_k^γ -м такте t_k^β -го

периода, иначе $n_i^q_{t_k^\beta, t_k^\gamma} = 0$.

Календарь загрузки узла заполняется в процессе решения задачи диспетчеризации, однако некоторые значения могут быть известны априорно (например, если в узле необходимо провести профилактические работы).

Граф $G_j = (Z, \Gamma_Z)$ задает отношение связности между различными заданиями, здесь Z – множество вершин графа, которым поставлены в соответствие многоэтапные задания, представляющие собой иерархически упорядоченную совокупность информационно-вычислительных работ (ИВР), имеющих между собой функционально-логические связи. Однако, в силу того, что связи между ИВР учитываются локальной системой пакетной обработки данных, реализованной в каждом узле ЗРВС, их рассмотрение выходит за рамки диссертационной работы. Множество дуг Γ_Z задает функционально-логические связи между заданиями. Каждый элемент множества $z_j \in Z$ представляет собой вектор вида

$$\langle z_j^{nbr}, z_j^{type}, z_j^{Tr}, z_j^{DATA}, z_j^q \rangle, \quad (3)$$

где z_j^{nbr} – номер задания;

z_j^{type} – тип j -го задания (связано с информационным обслуживанием объекта критического применения, или нет),

z_j^{Tr} – трудоемкость j -го задания, z_j^{DATA} – матрица исходных данных к заданию,

z_j^q – календарь решения j -го задания, представляющий собой двумерную матрицу, строки которой сопоставлены номерам тактов в текущем периоде t_k^γ , а столбцы – номерам периодов t_k^β . Причем

$z_j^q_{t_k^\beta, t_k^\gamma} = 1$, если i -ое задание обрабатывается в

t_k^γ -м такте t_k^β -го периода. В противном случае,

$z_j^q_{t_k^\beta, t_k^\gamma} = 0$. Предусмотрено функционирование ЗРВС с дообслуживанием прерванных заданий, так и без него.

Под решением ЗД будем понимать такое отображение графа G_j на G_i , для которого при выполнении заданных ограничений достигается экстремум функции $\Phi_{отбр}$, определяющей эффективность отображения.

Отображение

$$G_j \xrightarrow{v_k} G_i, v_k \in V, \quad (4)$$

представляет собой k -й вариант перераспределения ресурсов между узлами ЗРВС в процессе обработки заданий, причем $V = V_O \cup V_{Пр}$, $V_O \cap V_{Пр} = \emptyset$. где v_k – k -й вариант отображения,

V – множество всех допустимых вариантов отображений,

V_O – слабо эффективные отображения,

$V_{Пр}$ – эффективные отображения.

Итак, вариант отображения $v_k \in V$ эффективен, если не существует $v_f \in V$ такого, что $(\Phi_{отбр} | v_f) \geq (\Phi_{отбр} | v_k)$. Вариант $v_k \in V$ слабо эффективен, если не существует $v_f \in V$ такого, $(\Phi_{отбр} | v_f) > (\Phi_{отбр} | v_k)$. Среди $v_k, k = \overline{1, |V|}$,

$$\exists v_i : \{ v_i \in V_{Пр}; ((\Phi_{отбр} | v_i) \rightarrow \max) \},$$

$$\Phi_{отбр} = E [Y [(\Omega (ML, \Xi (Inf @, InfS), TSM, RAD, \Phi_n), Str, MD, t_k)], \quad (5)$$

где $\Phi_{отбр}$ – функция, определяющая эффективность отображения,

E – критерий эффективности функционирования ЗРВС,

Y – вектор-функция состояний ЗРВС,

Ω – оператор адаптивного выбора метода диспетчеризации,

Ξ – оператор кластеризации ЗД,

$ml \in ML, ML$ – множество моделей ЗРВС, выполненных с учетом парирования дефектов проектирования и взаимодействия,

$Inf @$ – априорная информация о пакете заданий,

$is \in InfS, InfS$ – множество возможных информационных ситуаций, связанных с решением ЗД,

TSM – матрица соответствия между КЗД и РАД,

$RAD_i \in RAD, RAD$ – множество расширенных алгоритмов диспетчеризации,

Φ_n – величина текущих средних потерь,
 $\text{str} \in \text{Str}, \text{St}$ – множество стратегий диспетчеризации,

$\text{md} \in \text{MD}, \text{MD}$ – множество моделей принятия решений,

$t_k, k \in \{0, 1, \dots\}$ – моменты принятия решений.

Суть функционирования автоматизированной системы поддержки принятия решений (СППР) по диспетчеризации заданий в ЗРВС сводится к нахождению $v_i : \{v_i \in V_{\text{Пр}}; ((\Phi_{\text{отбр}} | v_i) \rightarrow \max)\}$.

При этом

$$\begin{aligned} & \langle I_O, M_O \rangle \Rightarrow \\ & \langle \text{Inf} @, \text{InfS}, \text{TSM}, \text{RAD}, \text{ML}, \text{MD}, \text{Str} \rangle \Rightarrow \\ & \langle \Xi(\text{Inf} @, \text{InfS}) \xrightarrow{\Psi} \text{KZD} \rangle \Rightarrow \\ & \langle \text{KZD} \xrightarrow{\text{TSM}} \text{RAD} \rangle \xrightarrow{\text{ML}, t_k} \langle (\Phi_n) \rangle \Rightarrow \\ & \langle \Omega(\Phi_n) \rangle \xrightarrow{\text{MD}, t_k} \text{Str}, \end{aligned} \quad (6)$$

где I_O – информационное обеспечение ЗД (структурные и параметрические характеристики ЗРВС, априорная информация о пакете заданий),

M_O – методическое обеспечение, необходимое при работе СППР (РАД, многоверсионные модели ЗРВС, система правил кластеризации ЗД и т.п.),

Ψ – система решающих правил, позволяющая выполнять кластеризацию ЗД с учетом априорно доступной о них информации,

KZD – КЗД (класс задачи диспетчеризации).

Таким образом, предлагаемый подход к реализации диспетчерских сервисов в ЗРВС сводится к решению следующих подзадач:

- кластеризация задач диспетчеризации (соответствует оператору Ξ в $\Phi_{\text{отбр}}$);
- адаптивный выбор метода диспетчеризации (соответствует оператору Ω в $\Phi_{\text{отбр}}$);
- реализация комплекса многоверсионного моделирования (соответствует множеству моделей $\text{ml} \in \text{ML}, \text{ML}$ в $\Phi_{\text{отбр}}$).

1. Кластеризация задач диспетчеризации

Функционирование диспетчерских сервисов происходит в условиях различного объема априорной информации о пакете обрабатываемых заданий. Наряду с точными методами (теория расписаний, булевское программирование и т.п.), применимыми для детерминированного случая, в условиях стохастичности априорной информации приходится при-

бегать к поиску субоптимальных решений (эвристика, методы искусственного интеллекта, приближенное решение на основе имитационного моделирования [4], нейронных сетей и т.п.).

Таким образом, идентификацию информационных ситуаций следует проводить исходя из уровня априорной информации о пакете обрабатываемых заданий. Для всех заданий пакета могут быть априорно заданы следующие характеристики:

- время обработки всех заданий пакета для всех узлов ЗРВС с учетом доставки и пересылки данных;
- информация об ограничениях на территориальную распределенность;
- ограничения на максимальное время доставки и пересылки данных;
- требования к ресурсам обрабатывающих узлов ЗРВС;
- потребность в данных (связи между заданиями пакета);
- модель обмена данными;
- необходимая платформа для развертывания ЗРВС;
- список зарезервированных ресурсов, время ожидания в очереди;
- повышенные требования к гарантоспособности используемого узла ЗРВС.

Выделим восемь информационных ситуаций, характеризующих уровень априорной информации о пакете обрабатываемых заданий.

$$\text{Inf} @ \xrightarrow{I_O} \{ \text{InfS}_d \}, d = 0 \dots 7, \quad (7)$$

Процесс идентификации информационной ситуации может быть формализован при помощи графа переходов, изображенного на рис. 1. Состояния в графе упорядочены таким образом, что при движении слева направо уровень априорной информации возрастает от полной неопределенности до детерминированного случая, к которому уже может быть применен аппарат теории расписаний.

На основании данных о информационной ситуации построим систему правил Ψ , выполняющую кластеризацию задач диспетчеризации и имеющую следующий вид:

$$\begin{aligned} & \text{InfS}_0^\eta, \text{InfS}_0^\alpha, \text{InfS}_0^\gamma, \text{InfS}_0^\theta \xrightarrow{\Psi} \text{KZD} = \eta^\emptyset \alpha^\emptyset \gamma^\emptyset \theta^\emptyset \\ & \text{InfS}_1^\eta, \text{InfS}_2^\eta, \text{InfS}_3^\eta, \text{InfS}_4^\eta \xrightarrow{\Psi} \text{KZD}^\eta = \eta^+ \\ & \text{InfS}_5^\eta, \text{nfS}_6^\eta, \text{nfS}_7^\eta \xrightarrow{\Psi^\eta} \text{KZD}^\eta = \eta^-, \end{aligned} \quad (8)$$

где KZD^η – бинарный идентификатор класса ЗД.

$$\begin{aligned} & \text{InfS}_i^\alpha, i = 1 \dots 7 \xrightarrow{\Psi} \text{KZD}^\alpha = \\ & = \begin{cases} \alpha^+, & \text{если } \text{Inf} @ \rightarrow \text{pRVS} \approx C_{\alpha^+}, \\ \alpha^-, & \text{если } \text{Inf} @ \rightarrow \text{pRVS} \approx C_{\alpha^-} \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

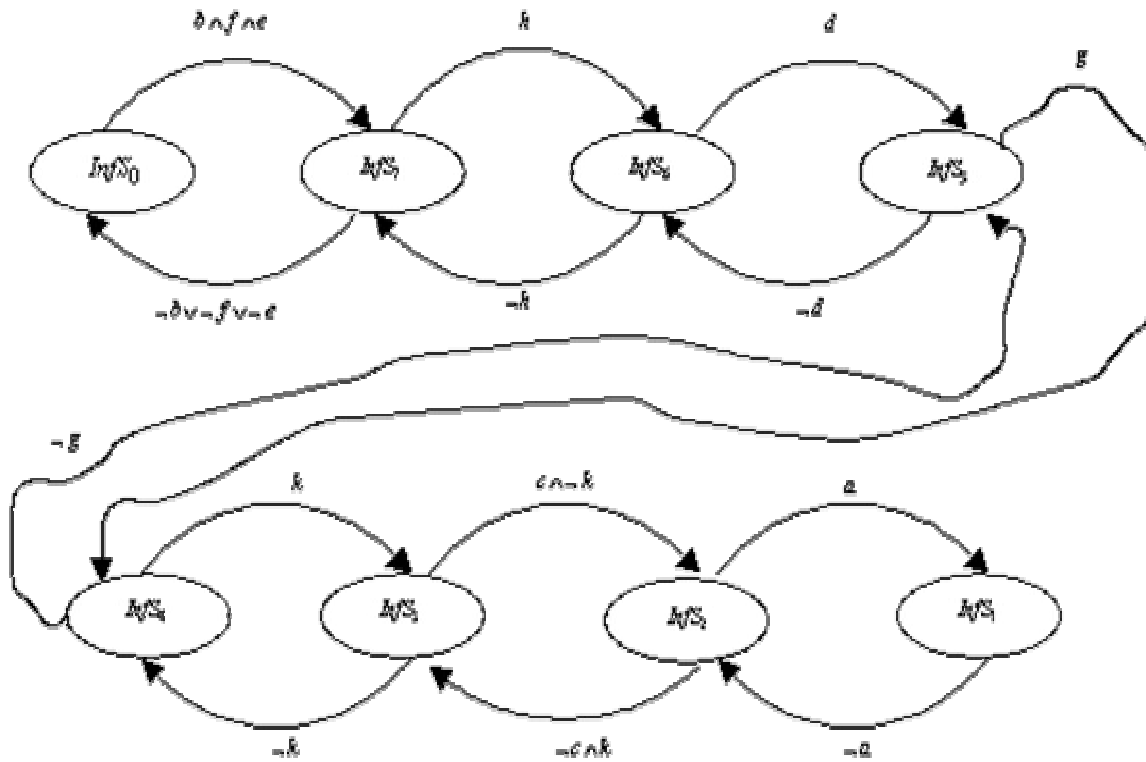


Рис. 1. Граф переходов между информационными ситуациями:

- a) время обработки всех заданий пакета для всех узлов ЗРВС с учетом доставки и пересылки данных;
- b) информация об ограничениях на территориальную распределенность;
- c) ограничения на максимальное время доставки и пересылки данных;
- d) требования к ресурсам обрабатывающих узлов ЗРВС;
- e) потребность в данных (связи между заданиями пакета);
- f) модель обмена данными;
- g) необходимая платформа для развертывания ЗРВС;
- h) список зарезервированных ресурсов;
- k) повышенные требования к гарантоспособности используемого узла ЗРВС.

где KZD^α – бинарный идентификатор класса ЗД,

$rRVS$ – используемый тип планирования,

$C_{\alpha+}$ – внешнее планирование (присутствует в глобальной среде Grid),

$C_{\alpha-}$ – локальное планирование (характерно для кластеров, мультимпьютеров, SMP и DSM архитектур).

$$\begin{aligned}
 & \text{InfS}_i^\gamma, i = 1 \dots 7 \xrightarrow{\psi} KZD^\gamma = \\
 & = \begin{cases} \gamma^+, & \text{если } \text{Inf @} \rightarrow dRVS \geq C_\gamma, \\ \gamma^-, & \text{если } \text{Inf @} \rightarrow dRVS < C_\gamma, \end{cases} \quad (10)
 \end{aligned}$$

где $dRVS$ – противоречивость критериев эффективности качества диспетчеризации,

KZD^γ – бинарный идентификатор класса ЗД,

C_γ – порог возникновения конфликта между критериями оценивания эффективности диспетчерских решений.

$$\begin{aligned}
 & \text{InfS}_i^0, i = 1 \dots 7 \xrightarrow{\psi^0} KZD^0 = \\
 & = \begin{cases} \theta^+, & \text{если } \text{Inf @} \rightarrow \exists C_\theta, \\ \theta^-, & \text{иначе} \end{cases} \quad (11)
 \end{aligned}$$

где KZD^0 – бинарный идентификатор класса ЗД,

C_θ – организация диспетчеризации производится с дообслуживанием заданий в узле ЗРВС.

На рис. 2. показана иерархическая структура множества RVS.

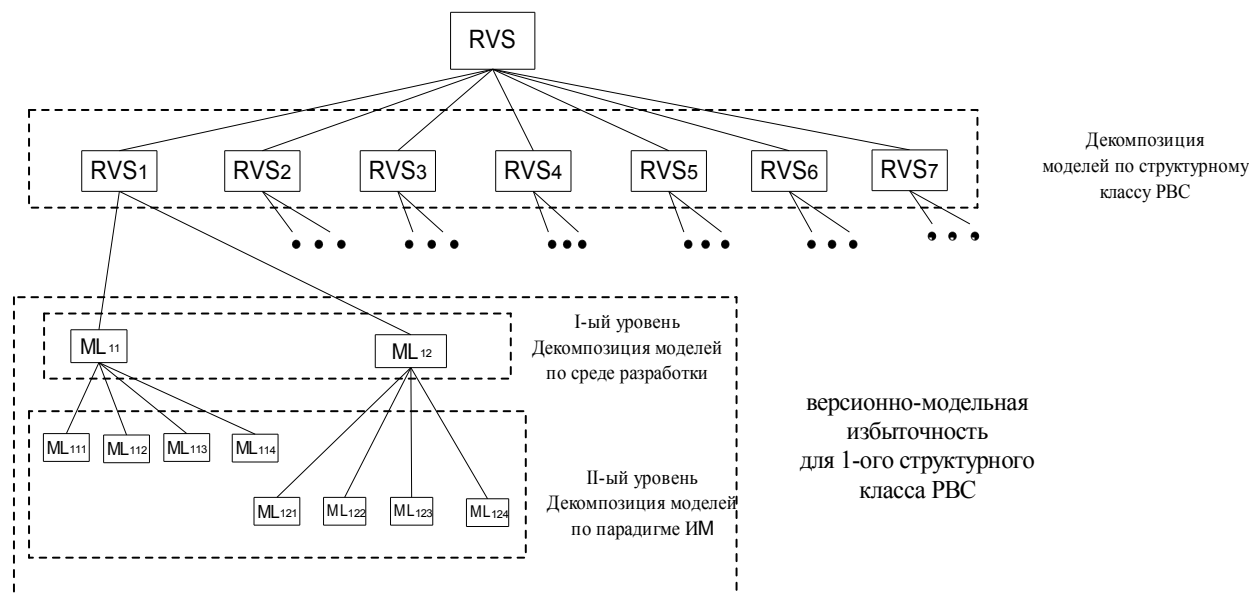


Рис. 2. Иерархическая структура множества RVS.

2. Адаптивный выбор метода диспетчеризации

Рассмотрим вопросы синтеза программных моделей РАД. Программным моделям РАД поставлено в соответствие множество ПМ, эти модели имеют следующее функционально-целевое назначение:

ПМ₁ – оптимизирует использование ресурсов на основе теории расписаний и математического аппарата сетевого планирования [9,10];

ПМ₂ – решает задачу о назначении в условиях ограниченности ресурсов [9,10];

ПМ₃ – решает векторную задачу о назначении [9, 10];

ПМ₄ – реализует нейросетевую оптимизацию процесса дообслуживания задания в узле ЗРВС;

ПМ₅ – реализует метод метадиспетчера (интерфейс между службами Grid и локальными планировщиками);

ПМ₆ – решает задачу диспетчеризации методом брокеров (агентов уровня приложений, занимающихся поиском свободных ресурсов. Пример: проект AppLes);

ПМ₇ – организует функционирование метода совместного, связанного планирования (gang-scheduling);

ПМ₈ – решает задачу диспетчеризации методом обратного заполнения (backfilling) и справедливого распределения ресурсов (fairshare) Пример: Maui;

ПМ₉ – реализует метод Топоркова, состоящий в согласованном выделении ресурсов в ЗРВС.

Подходы к построению моделей ПМ₅-ПМ₉ являются общеизвестными, однако задача разработки ПМ₁-ПМ₄ обладает элементами научной новизны и состоит в модификации известных методов принятия детерминированных решений по диспетчеризации заданий в сосредоточенных системах. Например, задача гарантоспособной диспетчеризации в ЗРВС дополнительно расширяется следующей оптимизационной подзадачей [9].

Программные модели РАД выбираются адаптивно, на основе априорной информации о пакете обрабатываемых в ЗРВС заданий, правил кластеризации ЗД и информации о наиболее подходящих программных моделях РАД для основных классов ЗД (на основании матрицы соответствия TSM, которая формируется в процессе анализа экспериментальных данных).

3. Комплекс многоверсионного моделирования

Использование принципа многоверсионности дает возможность диверсифицировать используемые алгоритмы, сопоставляя результаты, обнаруживать, идентифицировать и парировать дефекты проектирования и взаимодействия алгоритмических и вычислительных составляющих комплекса имитационных моделей ЗРВС.

Как известно из [2, 6, 7] дефекты разработки (ДР) характерны для программных средств и проявляются при определенных условиях. В предлагаемой версионно-модельной избыточности будем разделять ДР алгоритмической (ДР_А) и вычислительной (ДР_В) природы. ДР_А состоят в логических ошибках

при реализации модели в рамках определенной парадигмы имитационного моделирования, проявляющиеся в недостаточной адекватности получаемой модели из-за принципиальных ограничений в логике работы использованной парадигмы, либо в ограничениях накладываемых на точность или оперативность требуемых решений. ДР_В имеют отношение к конкретной реализации парадигмы в рамках конкретного инструментального средства для разработки имитационных моделей (например, AnyLogic), а также к процедурам импорта, экспорта, статистической обработки и визуализации данных. Под дефектами взаимодействия (ДВ) [2, 6, 7] будем понимать ошибки, вызванные внешними по отношению к проектируемому комплексу воздействиями (например, вследствие низкой квалификации ЛПП при работе с системами поддержки принятия решений или ошибками обслуживающего персонала при развертывании комплекса для конкретной ЗРВС). ДВ могут вызвать ошибку вычислительного процесса и привести к необратимым последствиям.

Рассмотрим многоверсионный комплекс моделирования (МКМ), представляющий собой многоверсионную аппаратно-программную систему, включающую в себя для каждого структурного класса RVS_{μ} версионно-модельную избыточность, представленную версиями моделей $ML_{\alpha\beta}$, таких что

$$RVS_{\mu} = ML_{\mu1} \cup ML_{\mu2}.$$

$$RVS_{\mu} = \{q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_5 \times q_6 \times q_7 \times q_8\}. \quad (12)$$

где $Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8\}$ – множество классификационных признаков, причем $Q = \{\text{топология среды коммутации, тип распределенных ресурсов, масштабируемость, предусмотренная прозрачность, тип операционной системы, способ передачи информации в среде коммутации, назначение ЗРВС, предусмотренное количество пользователей}\}$, а « \times » представляет собой декартово произведение. Для выявления элементов множества Q автором предложен подход, интегрирующий известные методики классификации ЗРВС в единую непротиворечивую систему классификационных признаков [8].

$ML_{\mu1} = \{ML_{\mu11}, ML_{\mu12}, ML_{\mu13}, ML_{\mu14}\}$ – подмножество имитационных моделей, реализованных в среде AnyLogic;

$ML_{\mu2} = \{ML_{\mu21}, ML_{\mu22}, ML_{\mu23}, ML_{\mu24}\}$ – подмножество имитационных моделей, реализованных в сопряженной среде DG (Delphi+GPSS), причем $ML_{\mu1} \cap ML_{\mu2} = \emptyset$.

Элементы подмножеств $ML_{\mu1}$ и $ML_{\mu2}$ отображают соответственно версии моделей, отличающиеся парадигмой моделирования и степенью адекватности структурным классам ЗРВС. Версиям моделей соответствуют элементы $ML_{\mu\alpha\beta}$, где индекс $\mu = 1 \dots 7$ определяет опорный класс ЗРВС $\alpha = 1 \dots 2$ задает среду реализации модели, $\beta = 1 \dots 4$ соответствует используемой парадигме ИМ. $A_{\alpha} = \{\text{AnyLogic, сопряженная система DG (Delphi+GPSS)}\}$; $B_{\beta} = \{\text{динамическая система, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, мультиагентная система}\}$.

Выбор конкретной используемой модели в текущей ситуации осуществляет ЛПП, исходя из условий задачи, определяется требуемым уровнем реактивности и точности получаемых результатов (табл. 1).

Таблица 1
Матрица принятия решений ЛПП по выбору моделей ЗРВС

Требуемый уровень точности	Требуемый уровень реактивности		
	Низкая	Средняя	Высокая
Высокий	$ML_{\mu23}$	$ML_{\mu13}$	–
Средний	$ML_{\mu24}$	$ML_{\mu14}$	$ML_{\mu12}$
Низкий	–	$ML_{\mu22}$	$ML_{\mu11}, ML_{\mu21}$

Таким образом, решение ЗД происходит как поиск точки в фазовом пространстве состояний, представленном на рис. 3.

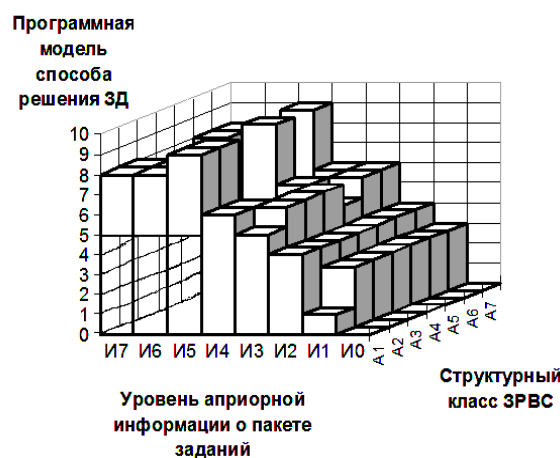


Рис. 3. Фазовое пространство состояний

Экспериментальным путем была доказана эффективность предлагаемого подхода.

В качестве оценки качества получаемых решений был выбран интегральный критерий, отражающий основные требования к сервисам по диспетчеризации заданий в ЗРВС: точность, реактивность, объем затраченных ресурсов.

На рис. 4 графически изображены зависимости эффективности получаемых решений от выбранного способа реализации диспетчерских сервисов:

- 1) без применения предлагаемого подхода;
- 2) с применением версионно-модельной избыточности;
- 3) с использованием адаптивного выбора метода диспетчеризации и версионно-модельной избыточности.

Проанализировав данные, отображенные на рис. 4, можно сделать вывод о том, что предложенный подход наиболее эффективен для случаев, когда размерность медицинского пакета превышает 28 заданий.

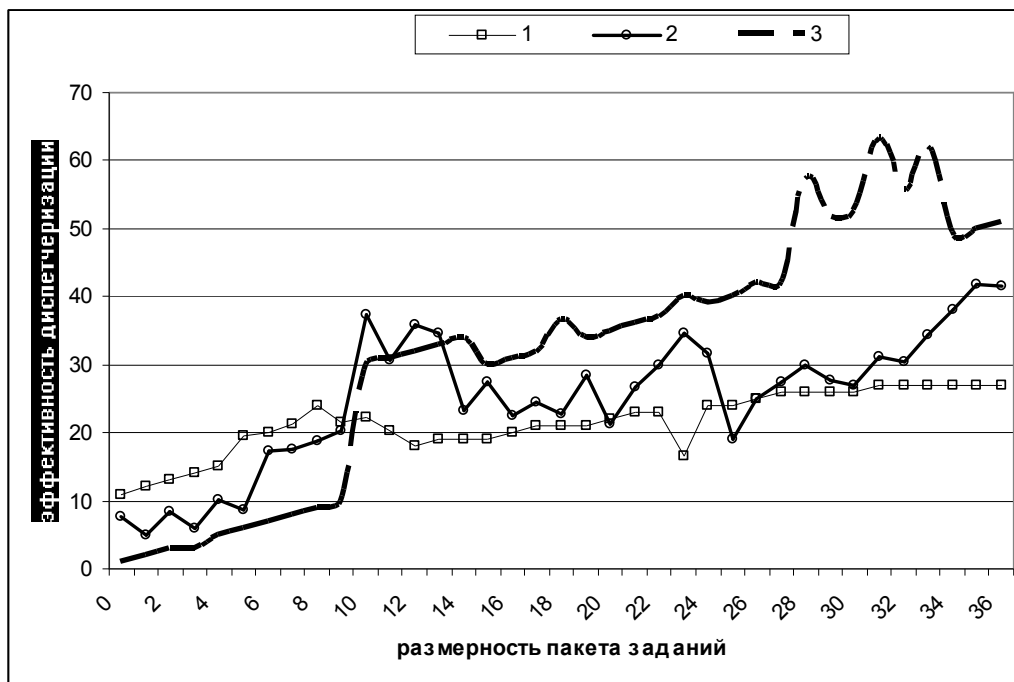


Рис. 4. Оценка эффективности получаемых решений в зависимости от способа реализации диспетчерских сервисов

Для размерности менее 14 заданий, адаптация забирает неоправданно много ресурсов у ЗРВС на свое функционирование. В случае, когда размерность пакета не превышает 11 заданий, описанный подход применять не рекомендуется (подавляющее большинство ресурсов ЗРВС будут направлены на организацию диспетчеризации, а не на обработку заданий).

Заклучение

Введение версионно-модельной избыточности и адаптивного подхода к выбору метода диспетчеризации позволило повысить гарантоспособность ЗРВС. На основе многоверсионного подхода синтезирован программный комплекс, являющийся основным инструментом моделирования и аппроксимации при решении задачи поддержки принятия решений по адаптивной диспетчеризации заданий в ЗРВС.

Литература

1. Топорков В.В. Модели распределенных вычислений. / В.В. Топорков. – М.: Физматлит – М., 2004. – 320 с.
2. Волковой А.В. Многоверсионные системы и технологии для критических приложений: лекционный материал / А.В. Волковой, И.В. Лысенко, В.С. Харченко, О.В. Шурыгин, под ред. Харченко В.С., Мин-во образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2008. – 224 с.
3. Таненбаум Э.С. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э.С. Таненбаум. – М.: Ван Стееен. – Спб.: Питер, 2003. – 877 с.
4. Coulouris G. Distributed Systems Concepts and Design / G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg. – 3rd edn. Addison - Wesley. – Harlow, UK, 2001. – P. 31-43.
5. Attiya H. Distributed Computing Fundamentals, Simulations, and Advanced Topics / H. Attiya,

J. Welch. – 2nd edn. Wiley Inter-Science. – Hoboken, NJ 2004. – P. 46-59.

6. Харченко В.С. Многоверсионные системы, технологии, проекты / В.С. Харченко, В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко, Н.В. Нечипорук, под ред. д-ра техн. наук, проф. В.С. Харченко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 486 с.

7. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии / В.С. Харченко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – №5 (17). – Х.: ХАИ, 2006. – С. 7–19.

8. Скатков 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.

9. Скатков А. В. Обеспечение гарантоспособности распределенной вычислительной системы с использованием диверсной диспетчеризации / А.В. Скатков, Д. Ю. Воронин // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – №7 (34). – Х.: ХАИ, 2008. – С. 19-24.

10. Воронин Д.Ю. Системотехнический анализ процессов диспетчеризации в распределенных вычислительных системах. / Д.Ю. Воронин // Вестник СевГТУ. – Вып. 93: Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр. – Сев.: СевНТУ, 2008. – С. 38-42.

Поступила в редакцию 1.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Антощук, Одесский национальный технический университет «ОНТУ», Одесса, Украина.

АДАПТИВНА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЯ В РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ З ВЕРСІЙНО-МОДЕЛЬНОЮ НАДМІРНІСТЮ

О.В. Скатков, Д.Ю. Воронін

Розглянуто задачу побудови адаптивних сервісів по диспетчеризації завдань в розподілених обчислювальних системах, орієнтованих на обробку медичної інформації. Різноманітність структур таких систем суттєво ускладнило розробку єдиної моделі, що володіє достатнім рівнем адекватності і необхідної швидкодії. Виниклу конфліктну ситуацію вдалося врегулювати завдяки декомпозиції на основі класифікаційної методики, що враховує структурні відмінності в розподілених обчислювальних системах. Для отриманих структурних класів була введена версійно-модельна надмірність, паріруюча дефекти проектування та взаємодії алгоритмічних і обчислювальних складових комплексу імітаційних моделей ЗРВС.

Ключові слова: гарантосдатність, диверсність, версійна надмірність, об'єкти критичного застосування, розподілена обчислювальна система, диспетчеризація, дефекти проектування і взаємодії, адаптивний підхід.

ADAPTIVE SCHEDULING IN DISTRIBUTED SYSTEMS WITH VERSION-MODEL REDUNDANCY

A. V. Skatkov, D. Y. Voronin

The task of adaptive services synthesis in distributed calculating systems is considered. The structural variety of such systems has complicated the integrated model development. This conflict situation was adjusted thanks to decomposition based on the classification methodic, taking into account structural varieties of medical distributed calculating systems.

Keywords: dependability, diversity approach, version-model redundancy, distributed calculating system, scheduling, design and interoperate faults, adaptive approach.

Скатков Александр Владимирович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой кибернетики и вычислительной техники Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина, e-mail: kvf@sevgtu.sebastopol.ua.

Воронин Дмитрий Юрьевич – аспирант кафедры кибернетики и вычислительной техники Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина, e-mail: dima@voronins.com.