

# Управление ресурсами информационно-вычислительных систем в условиях неопределённости

В. В. Грызунов<sup>1</sup>, Н. В. Яготинцева<sup>2</sup>

Российский государственный гидрометеорологический университет

<sup>1</sup>viv1313r@mail.ru, <sup>2</sup>solnishko234@yandex.ru

**Аннотация.** В процессе применения информационно-вычислительных систем (ИВС) могут появляться незапланированные ситуации, связанные с резким увеличением количества решаемых задач и/или с деградацией системы как по естественным причинам, так и в результате целенаправленного воздействия злоумышленника. Это вызывает дефицит ресурсов ИВС. Предлагаемый метод позволяет динамически реконфигурировать структуру и функции распределённой гетерогенной информационно-вычислительной системы, включающей в себя стационарные и мобильные элементы. Процесс адаптации может носить характер самоорганизации. Цель реконфигурации – собрать агрегированные ресурсы (пулы), достаточные для решения поставленных задач. Пул может быть собран из вычислительных устройств, каналов связи, устройств ввода-вывода, накопителей. Метод базируется на принципе постепенного распространения задач по информационно-вычислительной системе. Доказаны сходимость и завершаемость предлагаемого метода. Показаны условия применимости.

**Ключевые слова:** формирование пулов; структурно-функциональная адаптация; дефицит ресурсов; самоорганизация систем

## I. ВВЕДЕНИЕ

Современные информационно-вычислительные системы (ИВС) имеют переменную структуру, включают в себя стационарные и мобильные элементы и распределены в пространстве. ИВС лежат в основе таких сущностей, как Индустрия 4.0, Интернет вещей, «облака» и др. [1–4]. ИВС сталкиваются с двумя видами неопределённости: неопределённость потока задач (входных данных) и неопределённость состояний ИВС. Каждая из этих неопределённостей может иметь стохастическую природу или нестохастическую [5]. Работа ИВС со стохастическими неопределённостями хорошо изучена и описана, например, в работе [6]. К нестохастическим неопределённостям можно отнести агрессивную целенаправленную среду, а именно интеллектуальное воздействие злоумышленника (ИВЗ). В этом случае невозможно говорить об оптимальном управлении, поскольку ни детерминированные, ни стохастические модели не применимы. В этом случае можно говорить о

удовлетворительном (satisfaction) адаптивном управлении. Чтобы поставить и решить вопрос адаптивного управления в условиях ИВЗ, рассмотрим представление задач в ИВС.

## II. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАДАЧ В ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Семантическое наполнение задач, решаемых ИВС, самой ИВС безразлично. Для ИВС важно знать, сколько и какого именно ресурса на какой срок требуется выделить. Следовательно, задача адаптивного управления ИВС будет сводиться к управлению производительностью ИВС. Производительность – количество задач, решаемых в единицу времени. Любая ИВС имеет в своём составе вычислители, каналы связи, память и устройства ввода-вывода. Так как именно эти ресурсы требуют выполняемые в ИВС задачи, то задачи могут быть представлены в ИВС в виде набора производительностей, требуемых для их решения. Если какого-то ресурса не хватает, ресурс может быть объединён в пул. Пул формируется на уровне логической структуры ИВС (УЛС). Требования к пулу задаются на уровне программного обеспечения (УПО). Модель ИВС, как иерархической системы с обратными связями между уровнями, представлена в работе [7].

**Пул** – временное объединение ресурсов, предназначенное для решения какой-то задачи (группы задач). Пул существует в период решения задачи. После решения задачи пулы могут быть расформированы.

Типичные представители технологий формирования пулов: кластеры на базе Windows Server 2012; Dynamic Trunking Protocol (DTP), разработанный компанией Cisco для формирования транков (пулов из каналов связи); пул ресурсов Sun Solaris 11.x. Эти методы не позволяют в полной мере решить задачи управления ресурсами ИВС, а точнее производительностями ИВС, в условиях нестохастической неопределённости.

**Текущей производительностью** ( $\Omega$ ) будем считать производительность, доступную для решения задачи, то есть производительность, которая может быть выделена задаче. **Требуемой производительностью** ( $\Omega^{треб}$ ) назовём производительность, которую необходимо предоставить

задаче, чтобы она была решена с требуемой точностью за заданное время.

Текущая производительность ИВС увеличивается путём формирования пулов из доступных ресурсов.

### III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Формирование пула является комбинаторной задачей, которая может быть сведена к модифицированной задаче об упаковке контейнеров, где

$N^{mpeб}$  – требуемое количество пулов (количество контейнеров),

$N$  – текущее (доступное) количество пулов,

$\Omega_i^{mpeб}$  – требуемая производительность  $i$ -ого пула (размер контейнера),

$\Omega_i$  – текущая производительность  $i$ -ого пула,

$\omega_j \in U_{i=1}^N \Omega_i, j = 1, \overline{card(V)}$  – текущая производительность  $j$ -ого элемента (размер упаковываемого объекта),

$V$  – множество элементов ИВС (множество упаковываемых объектов).

Требуется найти функцию со свойствами:

$$f^{УЛС} : (\Delta \Omega_i = \Omega_i^{mpeб} - \Omega_i \rightarrow 0, \Delta N = N^{mpeб} - N \rightarrow 0), i = \overline{1, N}$$

при ограничениях:  $\Omega_i \geq \Omega_i^{mpeб}, N = N^{mpeб}$

### IV. МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПУЛОВ

Как правило, все элементы ИВС имеют связи между собой, поэтому могут быть соединены в пул. При этом число возможных комбинаций элементов в пуле нелинейно увеличивается с удалением от точки входа задачи (элемента ИВС, на котором начинается выполнение задачи), что увеличивает время формирования пула и, как следствие, время решения задачи. Однако ИВС необходимо формировать пулы именно в реальном или близком к реальному масштабу времени. Это вынуждает снижать количество возможных комбинаций, которые должна проанализировать система управления пулами ( $f^{УЛС}$ ). Снижение числа возможных комбинаций может быть реализовано посредством применения **принципа постепенного распространения задач по ИВС**. Согласно этому принципу в пул включаются элементы ИВС, которые:

1. подходят для этого (обладают минимально допустимой производительностью);
2. находятся на минимальном расстоянии от точки входа задачи. В качестве расстояния могут выступать различные величины: *hop*; число связей, образованных элементом; число путей, проходящих через элемент и т.п.

Принцип постепенного распространения задач по ИВС лежит в основе метода динамического формирования пулов.

Введём следующие обозначения:

$\omega_i^{\min} > 0$  – минимальная допустимая производительность элемента в  $i$ -м пуле;

$$r_{\omega_j} = \frac{\omega_i^{\min}}{\omega_j}, \quad (1)$$

$r_{\omega_j}$  – радиус  $j$ -ого элемента в  $i$ -м пуле;

$V_r \subset V$  – множество элементов будущего пула;

$V$  – множество элементов ИВС;

$V_r$  – упорядоченное множество элементов-кандидатов, которые могут участвовать в формировании пулов;

$V_{\Omega_j}$  – множество элементов, запланированных в  $i$ -й пул;

$x_j$  – количество физических связей  $j$ -ого элемента;

$U_x$  – мн-тво команд на образование физических связей;

$U_l$  – мн-тво команд на образование логических связей;

$U_k$  – мн-тво команд на перемещение элементов.

Логическая связь – связь, образованная на LLC-подуровне канального уровня, сетевом или транспортном уровнях модели OSI.

Физическая связь – связь на физическом уровне или MAC-подуровне канального уровня модели OSI.

Входными данными для предлагаемого метода динамического формирования пула являются: количество  $N$  пулов; размеры пулов  $\Omega_i^{mpeб}, i = \overline{1, N}$ ; минимально возможная производительность элемента в  $i$ -м пуле  $\omega_i^{\min} > 0$ , текущая производительность  $j$ -ого элемента  $\omega_j > 0$ . Схема метода приведена на рис. 1. На первом шаге метода производится сужение множества возможных комбинаций путём выбора и упорядочивания элементов-кандидатов, подходящих для формирования пула.

Шаг 1. Выбор элементов-кандидатов (рис. 2)

Выбор подходящих элементов производится на основании значения радиуса элемента  $r_{\omega_j}$  (1). Если  $r_{\omega_j} \leq 1$ , значит, элемент обладает необходимой минимальной производительностью и может использоваться в пуле. Элементы, для которых  $r_{\omega_j} \leq 1$ , составляют множество  $V_r$ . После отбора элементов производится их упорядочивание. Правило упорядочивания может быть различным, например, по уменьшению текущей производительности элемента  $\omega_j$ .



Рис. 1. Схема метода динамического формирования пулов

Как результат первого шага метода получаем упорядоченное множество элементов-кандидатов ( $V_r$ ), которые могут участвовать в формировании пула. Это множество содержит исходные данные для второго шага метода.

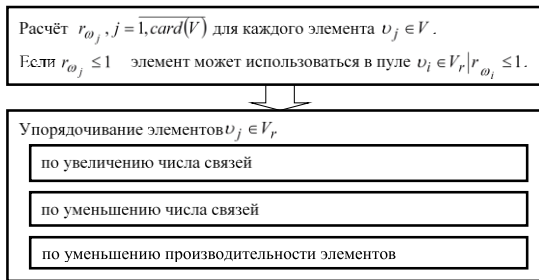


Рис. 2. Шаг 1 метода формирования пулов

### Шаг 2. Комбинирование пула (рис. 3)

На втором шаге производится дополнительное сужение множества возможных комбинаций, отбираются элементы ИВС, смежные с точкой входа решаемой задачи (расстояние до точки входа 1).

Точка входа  $v^*$  — элемент, на котором начинается выполнение задачи. В общем случае быть не известна.

После отбора смежных элементов решается модифицированная задача по упаковке контейнеров. Если пул с требуемой производительностью не может быть скомбинирован на элементах, смежных с точкой входа решаемой задачи, то реализуется попытка скомбинировать пул с использованием элементов ИВС смежных с теми, которые уже входят в комбинацию (расстояние до точки входа 2). Затем осуществляется проверка на соответствие скомбинированного пула предъявляемым требованиям. Если скомбинирован пул с требуемой производительностью, то переходим к этапу 3, иначе повторяются действия по комбинированию пула с использованием элементов, уже входящих в пул (расстояние до точки входа 3). И так далее, до тех пор,

пока не будет скомбинирован пул с требуемой производительностью или не будут исчерпаны все элементы, имеющие физическую связь. Если пул так и не был скомбинирован, то производится попытка образовать комбинации с использованием элементов, между которыми может быть установлена физическая связь, например, с мобильными перемещаемыми устройствами (беспилотные летательные аппараты, подвижные центры обработки данных и т.п.). Затем выполняются операции по комбинированию пула согласно правилам шага 2. Результаты комбинирования пула передаются системе управления задачами, запросившей ресурс, то есть на УПО, где принимается решение о целесообразности использования скомбинированного пула. Если пул целесообразно использовать, выдаются команды на его формирование, т.е. на физическое перемещение/коммутацию элементов ИВС (шаг 3), образование физических и/или логических связей.

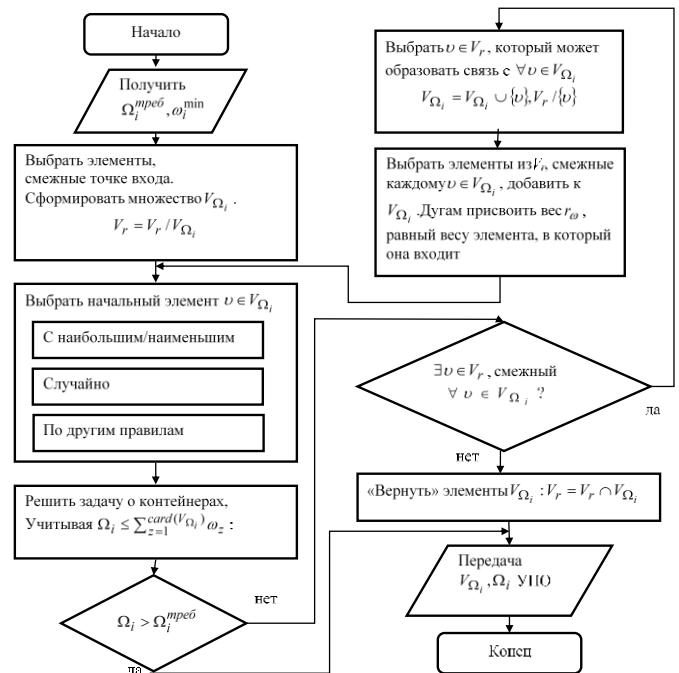


Рис. 3. Шаг 2 метода формирования пулов

### Шаг. 3. Формирование управления на изменение (рис. 4)

На данном шаге выполняется проверка на физическую связность комбинаций, созданных на шаге 2. Если между всеми элементами ИВС, входящими в комбинацию, существует физическая связь, то реализуется формирование пула, т.е. образуются требуемые логические связи. Иначе по специальному алгоритму формируются новые связные сегменты.

В случае нескольких возможных вариантов формирования пула, могут предъявляться дополнительные требования к структуре, например, по максимизации живучести [8].

После формирования  $i$ -ого пула шаги 1-3 метода повторяются для  $i+1$  пула.

Метод применяется, если производительность существующего пула  $\Omega_i$  меньше требуемой  $\Omega_i^{треб.}$ :

$$\Omega_i < \Omega_i^{мреб}, \Omega_i^{мреб} = Const.$$

Если в ходе выполнения метода был изменён поток задач, вызвавший изменение требований к пулам  $(\Omega_i^{мреб}, \omega_i^{\min}, i = \overline{1, N})$ , либо произошли разрушающие воздействия, изменившие состав ИВС ( $V$ ), то на уровне программного обеспечения может быть принято решение выполнить метод сначала.

Очевидно, метод целесообразно использовать для распараллеливаемых задач. Задача, которая не может быть распараллелена, представляется в виде единственного пула  $\Omega$  с минимальной допустимой производительностью.

Предлагаемый метод оптимизирует функцию  $\Omega_i \leq \sum_{z=1}^{card(V_{\Omega_i})} \omega_z$ . Элементы ИВС, на базе которых формируются пулы, обладают  $\omega_z > 0$ , следовательно, на каждом шаге метода (при каждом добавлении элемента, обладающего производительностью  $\omega_z$ ) происходит положительное приращение (монотонное возрастание)  $\Omega_i$ . Таким образом, метод сходится, а  $\Omega_i$  стремится к  $\Omega_{sup}$ .

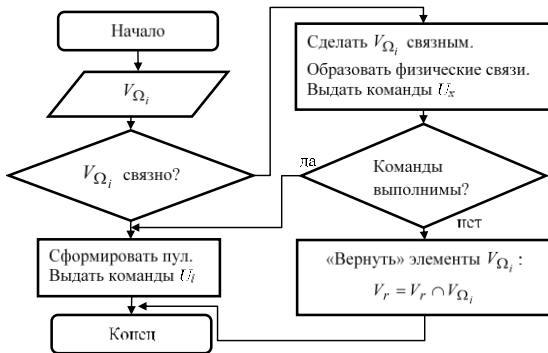


Рис. 4. Шаг 3 метода формирования пулов

Метод выполняется, пока  $\Omega_i < \Omega_i^{мреб}$  либо пока  $V_r \neq \emptyset$ . На каждом шаге увеличивается  $\Omega_i$  и уменьшается  $V_r = V_r \setminus \{v\}$ . Т.к.  $V_r$  и  $\{v\}$  ограничены и замкнуты, следовательно,  $card(V_r) < \infty$ , а значит, метод завершаем.

Работоспособность предложенного метода проверена путём построения имитационной модели в среде MatLab 7.0 [9].

Разработанный метод может также применяться для создания транков. В этом случае этого требуется вершинам графа сопоставить каналы связи. Здесь  $\omega$  – пропускная способность канала,  $\Omega$  – пропускная способность транка.

Если метод применяется для создания пулов из устройств ввода-вывода и накопителей данных, вместо закономерности  $\Omega_i \leq \sum_{z=1}^{card(V_{\Omega_i})} \omega_z$ , связывающей производительности пулов и отдельных элементов,

следует рассмотреть другие закономерности, подходящие для устройств ввода/вывода и накопителей.

Реализацией рассмотренного метода «в железе» может быть распределённый гипервизор. Гипервизор должен иметь многоагентскую архитектуру, размещая агентов на каждом элементе ИВС. Такая реализация позволит осуществить описанный в статье принцип постепенного распространения задач по ИВС, сократить издержки на управление и продолжать решение задач даже в том случае, если ИВС деградирует до отдельных несвязных сегментов. Наиболее близким прототипом, имеющим централизованное управление, выступает система управления кластерами LSF. Метод работает и в случае с самоорганизацией ИВС. Отдельно стоит отметить вопросы идентификации ресурсов ИВС. Здесь имеет смысл использовать механизмы самоорганизующихся сетей Netsukuku, Hyperboria или подобные им, дополненные механизмами блокировок запрошенных ресурсов и усиленные процедурами аутентификации.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в процессе эксплуатации ИВС возникают неопределённости различной природы, влекущие за собой деградацию ИВС и/или дефицит ресурсов ИВС. Доступные ресурсы ИВС могут объединяться в пулы. Объединение в пулы производится в реальном масштабе времени с использованием метода динамического формирования пулов, путём реконфигурации ИВС. Этот метод целесообразно применять для задач, допускающих параллельную обработку и/или передачу данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Черняк Л. Платформа для облаков // Открытые системы. СУБД. 2014. №8. С.42–46.
- [2] Черняк Л. Гибридные облака: новый виток виртуализации // Открытые системы. СУБД. 2014. №9. С.11–15.
- [3] Namiot D.E. [Smart cities 2016]. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. vol. 4. no. 1. pp. 1–3. (In Russ.).
- [4] Яготинцева Н.В. Методика проектирования ГИС корабля. // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник научных трудов. Санкт-Петербургское общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. 2017. С. 156-160.
- [5] Калинин В.Н. Теоретические основы системных исследований: краткий авторский курс лекция для адъюнктов академии. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. 278 с.
- [6] Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 520 с.
- [7] Грызунов В. В. Аналитическая модель целостной информационной системы // Доклады ТУСУР. 2009. №1(19), ч.1. С. 226-230.
- [8] Грызунов В. В. Оценивание живучести неоднородных структур // Вестник СибГУТИ. 2011. № 1. С. 28-35.
- [9] Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ РФ. №2013617271. Программный комплекс моделирования работы единого информационного пространства в части формирования пулов / В.В. Грызунов (РФ), Э.Г. Хамзин. №2013615037; зарег. 07.08.2013.