

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ЗАДАНИЙ ЦКП ССКЦ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СРЕДЕ AGNES

Д.В. Винс, Д.И. Подкорытов

Введение. Широкое распространение в науке, образовании и в решении прикладных задач приобрели сегодня высокопроизводительные вычислительные центры коллективного пользования (ВЦ КП). ВЦ КП – это объединенная вычислительная среда, предназначенная для обслуживания ресурсных запросов пользователей, состоящая из разнородных вычислительных систем (ВС), администрируемых независимо друг от друга и предоставляющих неотчуждаемые ресурсы для общего пользования [1]. К таким многопользовательским и одновременно обслуживающим множество вычислительных задач большого масштаба центрам предъявляются требования по обеспечению качества обслуживания – загруженности, гарантированному времени выполнения поступающих ресурсных запросов, отказоустойчивости и эффективности работы. Применительно к объединенной вычислительной среде, рассматриваемой в настоящей работе, возможно указать следующие основные свойства:

- *автономность ресурсов:* База вычислительных ресурсов среды формируется из независимых друг от друга ВС или отдельных компьютеров. Ресурсы обслуживаются и администрируются владельцами, которые имеют право реализовывать независимую политику доступа к ним;
- *коллективный режим работы с неотчуждаемыми ресурсами:* Ресурсы используются в коллективном режиме, поэтому должно обеспечиваться гибкое и скоординированное их распределение между пользователями, решающими различные задачи. При этом остается возможность использования ресурсов ВС локально, без полного отчуждения ресурсов в объединенную вычислительную среду;
- *вариативность среды:* Состав ресурсов, состав пользователей и их заданий динамично меняются.

Рассматриваемые в работе ресурсные запросы – параллельные задания пользователей (назовем их заданиями) помимо ограничений по времени обслуживания, выраженных в виде характеристических функций потери ценности решения, обладают случайным временем выполнения. В качестве исходного условия принимается априорное превышение количества заданий над возможностями обслуживающей системы.

Таким образом, встает вопрос о реализации распределенной системы управления потоком заданий для ВЦ КП. Реализация распределенной системы управления требует разработки алгоритмов синхронизации объектов (или процессов), функционирующих на различных узлах ВЦ КП. Эффективность реализации, в свою очередь, зависит от равномерности распределения (балансировки) вычислительной нагрузки по узлам ВЦ КП во время функционирования распределенной программной системы [2,3], каковой является, в частности, распределенная система управления [4].

Проблема балансировки вычислительной нагрузки распределенной системы управления возникает, если:

- структура заданий неоднородна, различные их части требуют различных вычислительных мощностей;
- структура вычислительного центра, также неоднородна, т.е. разные вычислительные узлы обладают разной производительностью;
- структура межузлового взаимодействия неоднородна, т.к. линии связи, соединяющие узлы, могут иметь различные характеристики пропускной способности [5].

К таким ВЦ КП относится и Сибирский Суперкомпьютерный центр Коллективного Пользования, созданный при Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (ЦКП ССКЦ). В настоящее время он оказывает вычислительные услуги 22 академическим институтам СО РАН, трем университетам г. Новосибирска и некоторым фирмам. ЦКП ССКЦ включает в себя разнородные вычислительные кластера на платформе Itanium 2, Xeon 54, 55, 56 серий (сервера HP BL2x220G6, G7), гибридной платформе Xeon+Tesla M2050 (сервера HP Proliant SL390s G7). Поток задач ССКЦ характеризуется относительно большим временем счета, наличием последовательных и параллельных задач. При этом задачи, требующие большого количества вычислительных модулей – от 16 и выше – тормозят в очереди последовательные задачи и параллельные задачи с относительно небольшим количеством вычислительных модулей. И наоборот. Все это усложняет эффективное планирование потока заданий.

Одной из фундаментальных задач центра является управление потоком задач, поступающих от пользователей через сеть Internet, на вычислительные ресурсы ЦКП ССКЦ с целью оптимизации загрузки ресурсов.

Целью работы является создание алгоритмов и программных средств, предназначенных для планирования заданий и ресурсов в распределенной вычислительной среде ЦКП ССКЦ. Дисциплина

планирования заданий, основанная на условно-стоимостном исчислении, должна отвечать требованиям прогнозируемости времени их обслуживания.

В настоящей работе рассматривается вопрос гарантированного обслуживания центром части поступающих заданий, основанного на конкурентном доступе к разделяемым ресурсам и субъективной пользовательской оценке важности результатов выполнения задач.

В качестве методологии исследования выбрано имитационное моделирование, которое является одним из основных методов исследования сложных систем вообще и вычислительных систем в частности. Многие известные ученые и научные коллективы, работающие в области исследования и проектирования информационных и вычислительных систем и сетей, используют или использовали метод имитационного моделирования в качестве одного из основных инструментов исследования. Непосредственно в задачах управления потоком заданий и распределения ресурсов в мультикластерных системах метод имитационного моделирования применялся, например, в INRIA (Франция) при исследовании мультикластерных VLIW архитектур, Мичиганском технологическом институте для управления внутренним трафиком, Технологическом университете г.Делфт, Нидерланды, для сравнительного анализа алгоритмов динамического управления загрузкой и др. В современном имитационном моделировании весьма популярен мультиагентный подход [6], т.е. моделирование с применением мультиагентных систем (МАС). Применение программных агентов для представления компонентов модели обладает рядом преимуществ, наиболее существенными из которых являются:

- Предоставление естественных возможностей интеллектуализации процесса моделирования (вообще, программные агенты изначально появились для решения задач построения систем искусственного интеллекта).
- Существование стандартов взаимодействия программных агентов, позволяющее интегрировать новые модели с существующими агентными моделями и системами, разработанными третьими лицами.
- Существование открытых платформ разработки МАС.

Дополнительным преимуществом применения мультиагентного подхода является возможность органического перехода от моделирования ЦКП ССКЦ, к непосредственно управлению. Стандартизация механизмов взаимодействия между интеллектуальными агентами, позволяет заменять программных агентов реальными [7-11].

Среда моделирования AGNES (Agent Network Simulator). Не существует единого общепринятого понятия программного интеллектуального агента (далее, для краткости, просто агента). Специалисты различных областей по-своему определяют понятие агента, с учетом специфики своей работы. Но есть наиболее общее определение агента. *Агент* – это сущность, живущая в среде обитания, обладающая сенсорами для восприятия среды и исполнительными механизмами для воздействия на среду обитания.



Рис. 1 Интеллектуальный агент

Мультиагентная система (МАС) – это система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами в единой среде. Мультиагентные системы характеризуются рядом свойств:

- *Автономность* – т.е. каждый агент действует самостоятельно;
- *Ограниченность представления* – т.е. не один агент не обладает знаниями обо всей системе целиком;
- *Децентрализация* – т.е. нет выделенного агента или группы агентов, управляющих всей системой;

- *Самоорганизация* – агенты самостоятельно находят друг друга, и взаимодействуют образуя единую систему;
- *Интеллектуальность поведения* – т.е. агенты принимают решения о дальнейших действиях исходя из множества факторов. Они могут координировать свои решения друг с другом и принимать групповые решения.

Благодаря этим свойствам агенты органично подходят для моделирования неоднородных систем и атомарными элементами.

Одной из широко распространённых платформ разработки МАС является JADE [12], предоставляющая средства создания МАС на Java. В свою очередь, использование Java как основного языка реализации снимает много вопросов по обеспечению переносимости моделей и самой системы моделирования. JADE это мощный инструмент для создание мульти-агентных систем, и он состоит из 3-х частей:

- Это среда исполнения агентов;
- Это библиотека базовых классов, необходимых для разработки агентной системы;
- Это набор утилит позволяющих наблюдать и администрировать МАС.

Все взаимодействие между агентами JADE приложения происходит путем обмена сообщениями, согласно спецификации FIPA. Ключевым свойством JADE агента является набор его «поведений». И жизненный цикл агента заканчивается, когда у агента нет активных поведений. AGNES использует все эти возможности, и расширяет мультиагентную систему до системы моделирования. Всех агентов, составляющих среду моделирования, можно разделить на 2 группы: функциональные и управляющие. Управляющие агенты (УА) занимаются обслуживанием процесса моделирования и решают следующие задачи: инициализация и запуск модели, сбор и хранение информации о ходе моделирования и состоянии модели, синхронизация модели, восстановление модели при сбое, предоставляют возможность изменение модели в ходе исполнения, перераспределение нагрузки между вычислителями. Функциональные агенты (ФА) занимаются непосредственно имитацией исследуемого объекта: принятием решений о дальнейшем поведении, реагированием на изменения в окружающей среде, взаимодействием с другими агентами. Функциональные агенты имеют высокую степень самостоятельности при принятии решений о дальнейшей деятельности.

Чтобы обеспечить высокий уровень отказоустойчивости, AGNES реализует несколько механизмов:

- Отсутствие централизованного хранения данных для восстановления. Хранение необходимой информации ведется подобно peer-to-peer сетям, т.е. информация располагается частями на разных агентах среды моделирования, и эта информация хранится с избытком, для гарантии её восстановления.
- Динамическое изменение хранилищ информации во время работы среды моделирования.
- Т.е. основные принципы улучшенной отказоустойчивости среды моделирование, это децентрализация хранилищ и избыточность информации.

Внутри AGNES циркулируют два типа сообщений: управляющие команды и информационные сообщения внутри модели. Для моделирования важно собирать и хранить информационные сообщения, т.е. все обмены данными внутри самой модели. Для этого служат агенты логгеры. Они подписываются на все сообщения определенного типа и получают их копии. В зависимости от специфики модели существует необходимость сбора сообщений определенного типа, для этого у логгера можно настроить фильтр и собирать только значимую информацию. Эта возможность реализована за счет структуры FIPA сообщений и удобных механизмов классификации сообщений.

Также при моделировании важно иметь информацию о состоянии ФА. Благодаря сервису «Желтых страниц» JADE, УА могут найти всех интересующих агентов модели и опрашивать их, сохраняя у себя нужную информацию.

JADE приложения это распределенные приложения, запускаемые на сети из вычислителей. JADE позволяет динамически менять среду исполнения МАС, т.е. подключаться к уже существующей программе или исключать работающие контейнеры. Для того чтобы обеспечить наилучшую производительность среды моделирования, AGNES следит за этими процессами. И при обнаружении изменений в среде исполнения старается перераспределить агентов равномерно по всем доступным ресурсам. Т.е. инициирует миграцию агентов из одного контейнера на другой, средствами JADE. Т.к. агенты отличаются по своим функциям и задачам, то AGNES старается перераспределить равномерно агентов всех типов.

Модель ЦКП ССКЦ. Модель включает в себя программные агенты, реализующие модели: внешних источников задач, распределителя заданий, вычислительных систем.

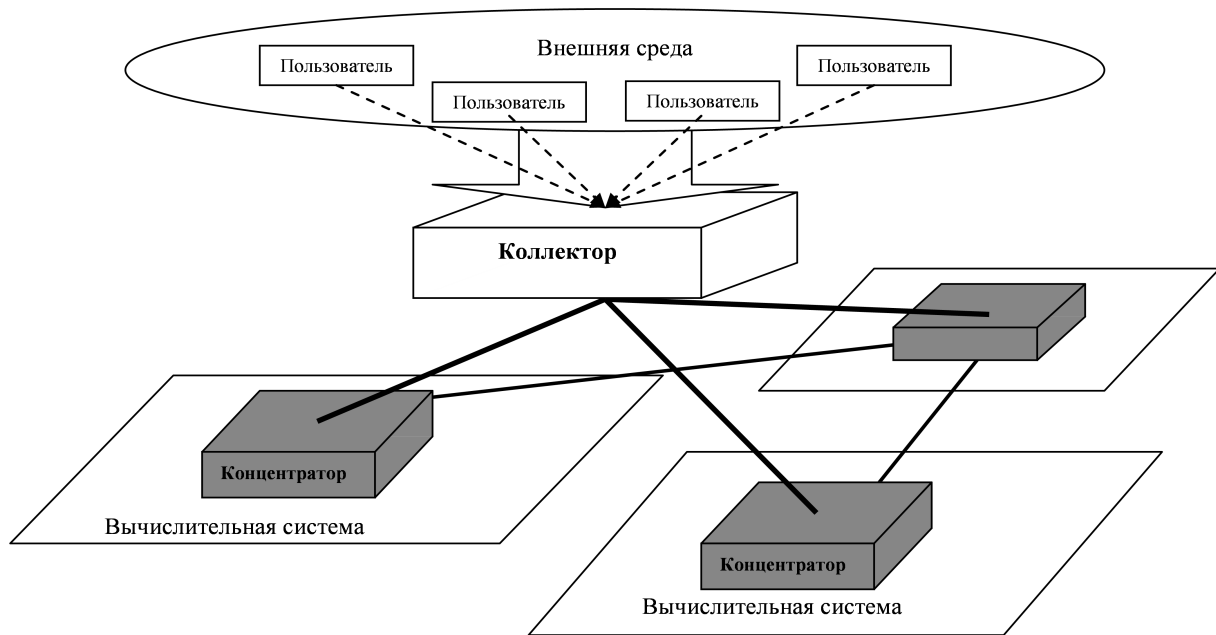


Рис. 2 Модель ВЦ КП

Модель внешней среды источников заданий представлена однотипными программными агентами, имитирующими пользователей, отправляющих задания на ВЦ КП. Для использования модели в системе управления реальным ВЦ КП поток заданий меняется с моделируемого на реальный.

Распределитель заданий представлен агентом коллектором, в чьи обязанности входит распределение поступивших заданий на отдельные вычислительные системы (кластера) ВЦ КП. Обладая информацией о загруженности кластеров и длине их очереди заданий, этот агент принимает решение – в очередь заданий какого кластера отправить поступившую задачу.

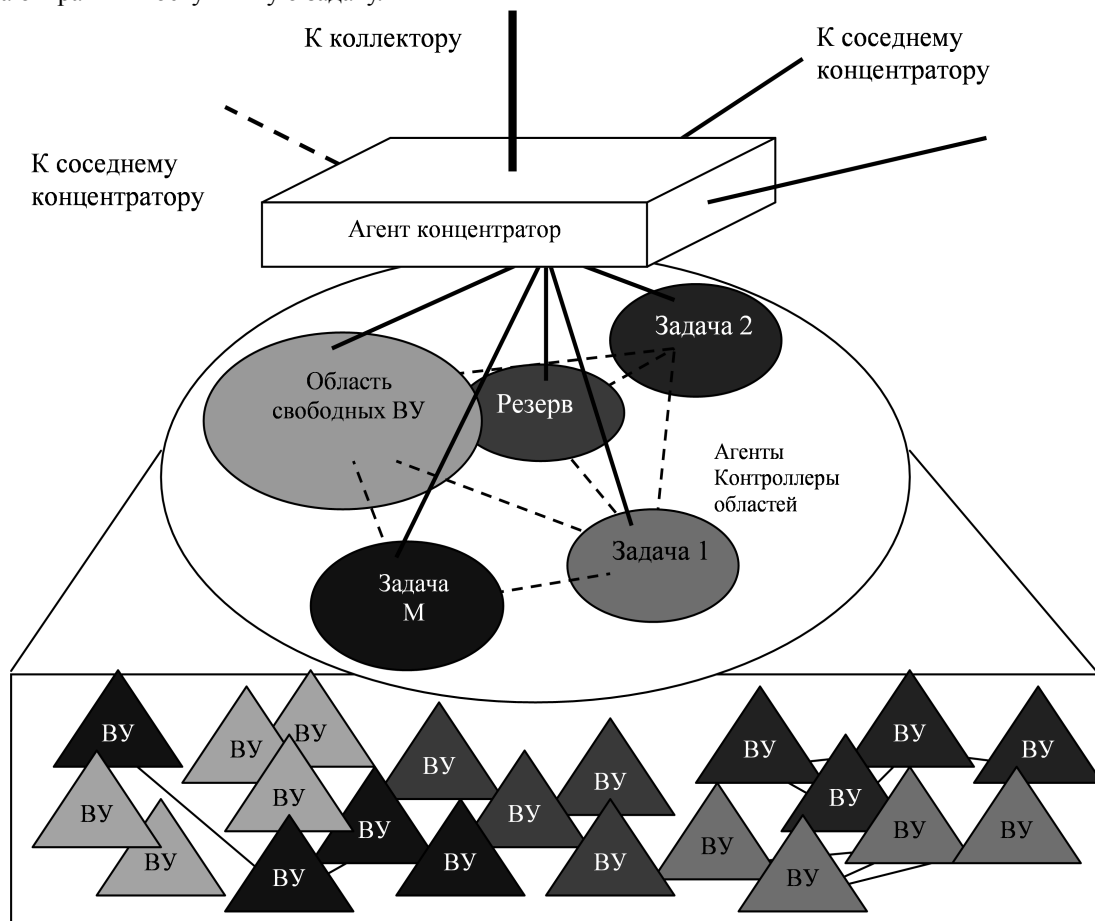


Рис. 3 Мультиагентная модель вычислительной системы

Модель отдельных кластеров ВЦ КП является мультиагентной, т.е. состоит из агентов различного типа:

1) агента концентратора ВС 2) агента контроллера работающих областей ВС 3) агента контроллера области свободных вычислительных узлов (ВУ) 4) агента контроллера резерва 5) агента анализа ВУ 6) агента-датчика ВУ 7) агента-датчика выполнения задания.

Агенты каждого типа действуют по своему сценарию для достижения цели, а все вместе реализуют систему балансировки нагрузки на ВС.

Агент-датчик вычислительного узла постоянно собирает информацию о нагрузке ВУ и состоянии линий связи.

Агент-датчик выполнения задания ведет постоянное наблюдение за ходом выполнения задания на ВУ, регистрируя интенсивность обмена между ветвями параллельной программы, частоту появления тех или иных событий, изменения переменных и т.п.

Агент анализа ВУ, взаимодействуя с агентами-датчиками, отслеживает тенденции изменения параметров ВУ и хода решения задачи и принимает решение о необходимости перераспределения нагрузки или освобождения данного узла. В агенте анализа имеется индивидуальная для каждого узла база знаний, в которой содержатся определенные правила для всех параметров вычислительного узла, например, диапазон значений параметра загрузки вычислительного ядра, при котором возможны отказы. Эти правила определяются или модифицируются пользователем на начальном этапе загрузки модели (инициализация).

Агент контроллер работающей области занимается загрузкой выделенных ему вычислительных узлов параллельной задачей на момент начала ее решения. Также этот агент занимается выявлением порции вычислительной нагрузки (ветви параллельной программы) на определенном ВУ из его области, которую необходимо передать другим узлам, чтобы избежать дисбаланса, и определить целевой узел, на который следует перенести эту нагрузку.

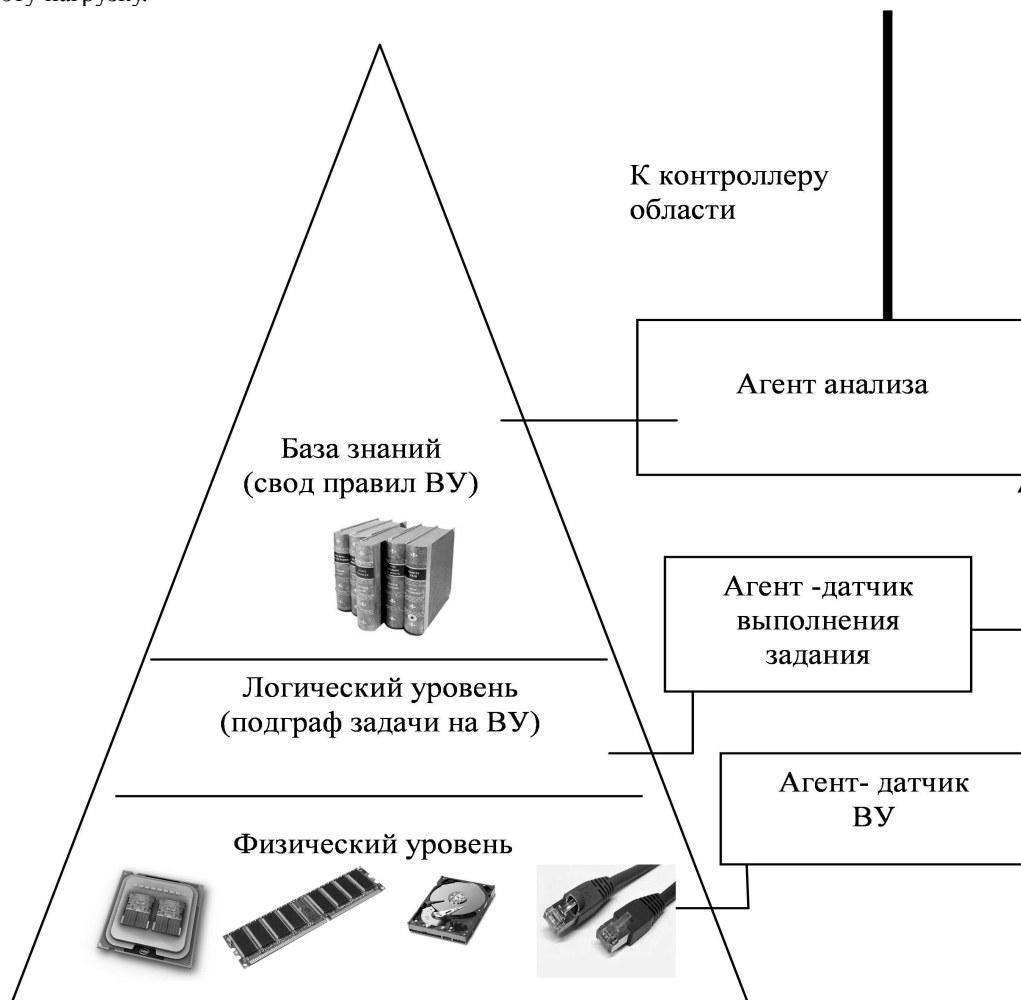


Рис. 4 Мультиагентная модель вычислительного узла

Целевой узел отыскивается из числа ВУ, находящихся в данной работающей области. Если же таковых нет, то агент контроллер взаимодействуя с агентами контроллерами соседних рабочих областей, области свободных ВУ и резерва, узнает адрес вычислительного узла, способного принять дополнительную нагрузку. Если и тут происходит неудача, то с этой целью он обращается к агенту концентратору ВС.

Агент контроллер области свободных ВУ и резерва содержит адреса свободных вычислительных узлов и находящихся в резерве, соответственно. Также в агенте контроллере области свободных ВУ находится

статический планировщик заданий, который занимается составлением очереди поступивших заданий исходя из их приоритетов и свободных вычислительных ресурсов. По запросам от агентов контроллеров работающих областей выдает им адрес ВУ, который способен удовлетворить их ресурсные требования.

Агент концентратор ВС переправляет полученные им пользовательские задания агенту контроллеру области свободных ВУ, а также является посредником при поиске агентом контроллером работающий области вычислительных узлов, способных принять дополнительную нагрузку и агентами контроллерами работающей области, которые не являются соседями первому.

Заключение. Полученную таким образом модель ЦКП ССКЦ можно использовать для моделирования прохождения заданий через ВЦ КП (используя статистику поступающих задач), используя различные алгоритмы планирования и параметры этих алгоритмов, для выявления наиболее оптимального варианта.

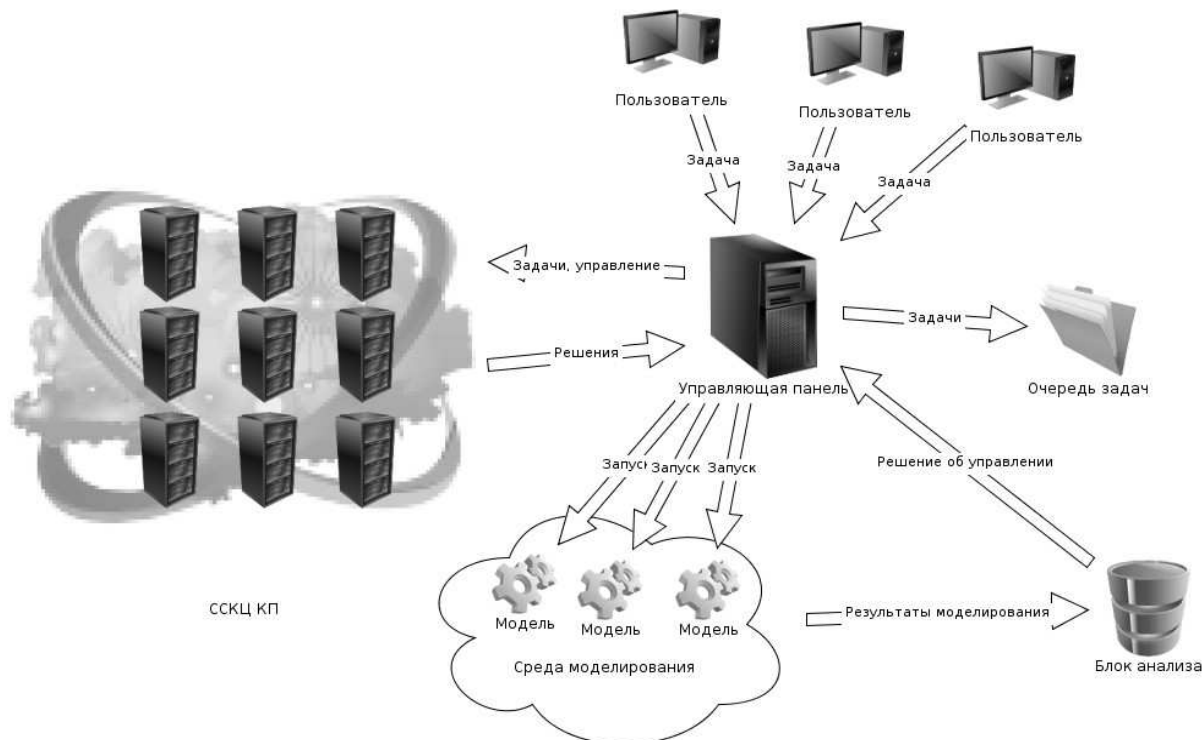


Рис. 5 Включение имитационной модели в процесс управления ЦКП ССКЦ

Также, имея рабочую модель работы ЦКП ССКЦ, можно включать её в процесс управления. Получая задачи от пользователей ЦУ (центр управления ЦКП ССКЦ), помещает их в очередь, и когда возникает задача оптимальной загрузки кластера задачами, то ЦУ запускает несколько имитационных моделей с различными вариантами приоритетизации задач в очереди, и различными вариантами распределения ресурсов по задачам. Собираются данные из моделей, и на их основе принимается решение о том какой вариант управления более предпочтительный. Т.к. ЦКП ССКЦ это «живая» система, то любое изменение в системе (приход новой задачи, завершение вычисления задачи, изменение структуры ресурсов, например отказ одного из узлов, и т.д.) может приводить к инициализации принятия нового решения об управлении, т.е. запуску имитационных моделей и т.д.

ЛИТЕРАТУРА:

1. П.Е. Голосов "Планирование заданий с временной функцией потери ценности решения в сетевой среде распределенных вычислений." // Автореферат диссертации на соискание уч. ст. к.т.н. Москва, ИКСИ – 2010г. с. 3-5.
2. С.П. Копысов "Динамическая балансировка нагрузки для параллельного распределённого МДО." // Труды Первой Всероссийской научной конференции "Методы и средства обработки информации". М.: Изд-во МГУ, 2003 г., сс. 222-228.
3. Л.С. Курилов "Прогностическая стратегия балансировки загрузки для невыделенных кластерных систем." // Труды Первой Всероссийской научной конференции "Методы и средства обработки информации". М.:Изд-во МГУ, 2003 г., сс. 413-418.
4. Linda F. Wilson, Wei Shen. "Experiments In Load Migration And Dynamic Load Balancing In Speedes." // Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds, pp. 483-490
5. А.И. Миков, Е.Б. Замятина, К.А. Осмехин "Метод динамической балансировки процессов

- имитационного моделирования." // П.: Изд-во ПГУ, 2004г. с.4.
6. M. Wooldridge "Introduction to MultiAgent Systems" // England: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2002.
 7. Pasquini R.; Rego V. "Efficient process interaction with threads in parallel discrete event simulation" // Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, Vol. 1, 1998, P. 451 -458.
 8. Fujimoto Richard M. "Distributed Simulation Systems." // Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003, P. 124-134.
 9. В.В. Окольнишников. "Разработка системы распределённого имитационного моделирования" // Информационные технологии. 2006. #12. С. 28-31.
 10. Les Gasser and Kelvin Kakugava. "MACE3J: Fast Flexible Distributed Simulation of Large, Large-Grain Multi-Agent Systems" // Электронный ресурс: <http://www.isrl.uiuc.edu/~gasser/papers/mace3j-aamas02-pap.pdf>
 11. Charles M. Macal, Michael J. North. "Tutorial On Agent-Based Modeling And Simulation." // Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference pp.
 12. F.L. Bellifemine, G. Caire, D. Greenwood. "Developing Multi-Agent Systems with JADE" // England: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2007.