моделирования» создается улучшенная фильтрационная модель разработки месторождения с уточненными дебитами нефти по скважинам и извлекаемыми запасами, появляются новые данные о динамике напряжений и деформаций, действующих в пласте-коллекторе и вмещающих породах, которые являются важными для оценки ситуации на месторождении.

Технология трехмерной визуализации экстремально-масштабных данных 3DeepView, также являющаяся важной частью системы управления жизненного цикла месторождения УНОФАКТОР, существенно повышает качество анализа информации и вырабатываемых решений. При этом обеспечивается совместная загрузка и визуализация сейсмических и скважинных данных, геологических и гидродинамических моделей, в том числе экстремально-масштабных, для их наглядного представления, сопоставления и анализа.

Применение технологии интерактивного управления жизненным циклом месторождения позитивно сказывается на продуктивности работы нефтегазовой отрасли. Компьютерный анализ позволяет прогнозировать вероятность возникновения проблем с продуктивностью месторождений, эффективно использовать системы «раннего предупреждения» для технического обслуживания скважин и замены оборудования. В конечном счете, это позволяет компенсировать падение суточной добычи, сократить объем энергозатрат, в рамках геологического сопровождения бурения существенно увеличить коэффициент «попадания в цель», что позволит значительно снизить расходы на бурение.

РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ И СЕТЕЙ: МОНИТОРИНГ И МУЛЬТИАГЕНТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Амелина Наталья Олеговна, Амелин Константин Сергеевич,
Граничин Олег Николаевич, Кияев Владимир Ильич

Санкт-Петербургский государственный университет

В «Концепции долгосрочного развития нефтяной промышленности России» и «Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года» поставлены задачи по перспективному развитию нефтегазовых комплексов и нефтегазотранспортных сетей Российской Федерации и стран СНГ [1, 2]. Решение этих чрезвычайно серьезных задач невозможно без применения современных методов управления сложными системами и сетями и эффективного их мониторинга. Причин тому несколько. Разведка перспективных месторождений нефти и газа всё дальше уходит в малонаселенные и труднодоступные районы Центральной и Восточной Сибири (Якутия), Крайнего Севера (п-ов Ямал и арктический шельф).

Глобальная топология разведывательных и добывающих скважин, перекачивающих станций, накопительных и резервных емкостей, нефтегазотранспортных сетей (НГТС) на территории России, стран СНГ и стран-покупателей в Европе и Азии постоянно усложняется и распадается на ряд локальных сетей, функционирующих в различных географических и политических условиях. Всё это чрезвычайно усложняет централизованное управление и эффективный мониторинг, что приводит к затруднениям в принятии решений в режиме реального времени. И если эффективность прогнозирования, разведки, добычи и накопления природных ресурсов в большой степени решается за счет средств автоматизации и механизации бизнес-процессов и максимальном

использовании программно-вычислительных комплексов большой мощности (вплоть до использования современных суперкомпьютеров), то эффективный мониторинг, координация работы многочисленных узлов сети и оперативное управление инцидентами сталкивается с рядом трудностей иного характера. Это, прежде всего, связано с необходимостью сбора и анализа огромного количества текущей информации о состоянии различных параметров НГТС на больших географически разнесенных территориях в условиях неопределенности. Время сбора и первичной обработки данных со стационарных датчиков и управляющих станций и доставки их в обрабатывающие суперкомпьютерные центры становится критичным. Кроме того, локальные управляющие сети построены, как правило, по схеме PMP (Point to Multipoint), что предусматривает наличие центральной станции и управляемых объектов с однонаправленным потоком управления и обратной связью. При этом чаще всего фактическая реализация локальной НГТС определяется не условиями оптимальности, а реальными географическими и хозяйственными условиями. Подобная система управления описывается плоским графом в одной из конфигураций: «звезда», «кольцо», «дерево» и т. д. Нетрудно показать, что в таком случае выход из строя одной перекачивающей станции или одной нитки нефтегазопровода может привести к отказу функционирования всей локальной транспортной сети. Таким образом, организация эффективного мониторинга НГТС с обработкой и анализом данных в режиме реального времени с использованием «классических» схем управления часто не отвечает задачам развития таких сетей.

Отметим, что в настоящее время активно развиваются методы формирования и построения сложных адаптивных систем на базе мультиагентных методов и технологий. Такие системы часто применятся для управления ансамблями (роями, swarms) динамических объектов, выполняющих общую задачу или задачу с разделяющимися целями в условиях неопределенности [3]. В качестве исполнительных элементов таких систем используются робототехнические устройства различного назначения, которые могут действовать одновременно в трех средах — на земле (колесные и гусеничные устройства), под водой (миниатюрные подводные лодки) и в воздухе (беспилотные летательные аппараты, БПЛА). Все эти робототехнические устройства могут эффективно действовать для реализации оперативного мониторинга состояния НГТС, плавучих буровых и добывающих платформ и для исследования береговых линий и шельфов крупных рек и озер, морей и океанов. В таких системах, функционирующих на базе мультиагентного управления (МАУ), можно обходиться без выделенной управляющей станции, так как роль такой станции может выполнять один из агентов мультиагентного роя, выбранный на основе консенсуса. Это обстоятельство является большим преимуществом, так как выход из строя мультиагентного «лидера» не приводит к отказу всей системы, и оставшиеся агенты на основе нового консенсуса с учетом изменившихся условий формируют новый управляющий центр.

Задачи группового управления (управления формациями, роями) в таком случае сводятся к задачам частичной координатной синхронизации с помощью метода виртуального лидера. При большом числе агентов (а в ряде задач число агентов достигает тысяч и миллионов), требование заданного поведения всех без исключения агентов оказывается излишне жестким и трудновыполнимым. В таких случаях выделяется характерная точка в множестве состояний агентов (центр, лидер, центр тяжести), а желательным поведением является заданное поведение центра при условии ограниченности отклонений от него состояний всех агентов. При этом достижение консенсуса или согласования характеристик достигается при условии, в котором каждый агент стремится уменьшить отклонение своей целевой переменной от соответствующих переменных своих соседей.

Для группы взаимодействующих агентов, обменивающихся данными с задержкой в дискретные моменты времени, при изменяющейся топологии связей предложен и обоснован алгоритм стохастической аппроксимации для решения задачи о достижении консенсуса. Стохастическая аппроксимация с убывающим размером шага позволяет каждому агенту получать информацию о состоянии своих соседей при одновременном снижении воздействия помех. Популярным инструментом для доказательства состоятельности этих алгоритмов являются квадратичные функции Ляпунова, наличие которых гарантировано при фиксированной топологии сети [4-8].

При построении такой системы можно использовать мультиагентную систему управления планированием задач в программно-конфигурируемых сетях (ПКС). Система предназначена для моделирования распределения и выполнения задач на вычислительных ресурсах с учетом динамических характеристик и топологии сети [9]. Преимущества предлагаемого мультиагентного подхода заключаются в следующем:

онтологическое описание сцены мира вычислительных ресурсов, задач и конфигурации сети позволяет вводить новые сущности ПКС и задавать их характеристики без значительных затрат на перепрограммирование;

динамическое управление состоянием всех объектов сцены мира ПКС с помощью сценариев (скриптов);

изменения в топологии сети могут производиться в режиме реального времени;

динамическое планирование задач на серверы (управляющие центры) в мультиагентной системе, обеспечивающаяся постоянной проактивностью задач и ресурсов на основе самоорганизации, основанной на стремлении агентов к максимизации виртуальной прибыли в актах взаимодействий путем обмена сообщениями;

локальная оптимальность и непротиворечивость текущего расписания;

локальная оптимальность путей маршрутизации пакетов и очередей задач;

учет изменений в сетевом окружении и в статистических характеристиках потоков задач в реальном времени (адаптивность) не приводит к полному перерасчету расписаний, что уменьшает вычислительные затраты системы моделирования;

динамическое перераспределение трафика с учетом загруженности каналов;

простота логики взаимодействия агентов на основе максимизации виртуальной прибыли.

Система может быть реализована как открытая многоцелевая программно-аппаратная платформа, на базе которой разрабатываются устройства, встраиваемые в робототехнические комплексы, различные по типу, размеру и переносимому оборудованию. Такая платформа представляет собой высокопроизводительный мини-компьютер со специализированной ОС реального времени, на базе которой функционирует система управления ресурсами и поддержки различных головных устройств, средств связи, датчиков, исполнительных механизмов и др. [10].

Предлагается использовать следующую модель. Основными метафорами новой операционной системы будут «заказы» и «ресурсы». Внутренний «мир» системы состоит из узлов-агентов. Каждый агент обладает набором методов и используемых ресурсов, которые он может использовать для решения задач, свойствами производительности, стоимости единицы времени и загруженности. Задачи имеют определенные «цены», характеризующие свойства, цели, времена постановки, решения и критического ответа-подтверждения о приемке заказа. При поступлении задачи в систему на одном из ресурсов генерируется агент, отвечающий за прием-отказ в решении задачи и выбор способа ее решения.

Для анализа возможных способов решения задачи используются знания, формализованные в распределенной онтологии системы, в которой, кроме описания

абстрактных понятий системы, заданы известные правила декомпозиции задач по определенным типам ресурсов с соответствующими затратами. При отсутствии в онтологии необходимых правил решения или при загруженности необходимых ресурсов при наличии времени и свободных ресурсов выбор новых правил решения задачи будет проводиться с помощью рандомизированных алгоритмов, обеспечивая адаптацию к возникающим неопределенностям. Если в ходе такого подхода будут найдены новые способы решения, то они будут добавляться в онтологию, которая разделяет задачи по определенным свойствам на типы агентов и затраты на их решения. Таким образом, агенты системы могут самостоятельно решать поставленные задачи, производить декомпозицию задач, порождать во внутренний мир новые задачи, пополнять онтологию после успешного решения ранее неизвестных задач.

Платформа предназначена для реализации заданной функциональности головного устройства робототехнического комплекса без изменения уже настроенного и работающего программного обеспечения в этом комплексе, и сохранением надежности его работы.

Основными функциями разрабатываемой платформы могут быть:

адаптация к конструкции робота, системе его управления и заданному алгоритму работы с возможностью перенастройки алгоритма;

взаимодействие с головным устройством робота для организации автономной работы без перенастройки алгоритма;

организация адаптивного взаимодействия между роботами при постановке выполнения коллективной задачи без наличия базовой станции управления.

В случае необходимости основные функции могут быть расширены.

Робототехнические комплексы с наборами необходимых специализированных датчиков, которые действуют в группах в условиях неопределенности и управление которыми осуществляется на рассмотренных выше принципах МАУ, могут успешно использоваться для активного мониторинга целостности, работоспособности, безопасности НГТС и оперативным управлением инцидентами в трех средах (на земле, под водой и в воздухе) с перераспределением ролей и локальных задач в ходе мониторинга и принятия текущих решений для решения общей задачи.

Работа выполнена в рамках исследований в СПбГУ (тема № 6.38.71.2011) и при поддержке РФФИ (проекты № 13-07-00250-а и 11-08-01218-а).

Литература

1. Концепция долгосрочного развития нефтяной промышленности России // Прил. к обществ.-дел. журн. "Энергетическая политика". — М.: ИАЦ "Энергия", 2010. — 28 с.

2. Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года — Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 июня 2014 г. № 1032-р.

3. Бендерская Е.Н., Граничин О.Н., Кияев В.И. Мультиагентный подход в вычислитель-ных технологиях: новые грани параллелизма и суперкомпьютинг. // Сборник научных статей 8-й Международной научной конференции «Информационные технологии в бизнесе». СПб, изд-во «Инфо-да», 2013, с. 7-13.

4. Амелина Н.О., Васильев В.В., Граничин О.Н., Кияев В.И. Перспективный децентрализованный подход к балансировке загрузки в многоядерных процессорах // Труды Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений», г. Новороссийск, 17-22 сентября 2012 г., М: Изд-во Моск. ун-та.

5. Амелина Н.О. Применение протокола локального голосования для децентрализованной балансировки загрузки сети с переменной топологией и помехами в измерениях // Вестник СПбГУ. Сер. 1: Математика. Механика. Астрономия. №3, 2013.

6. Amelin K., Amelina N., Granichin O., Putov V. Task Allocation Algorithm for the Cooperating Group of Light Autonomous Unmanned Aerial Vehicles // Proc. of 2nd RED-UAS 2013 IFAC Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems.

7. Амелина Н.О., Корнивец А.Д., Иванский Ю.В., Тюшев К.И. Применение консенсусного протокола для балансировки загрузки стохастической децентрализованной сети при передаче данных // В сб. трудов XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2014), Россия, Москва, ИПУ РАН, 16-19 июня 2014 г.

8. Граничин О.Н. Разработка мультиагентной технологии управления распределенными гетерогенными вычислительными ресурсами для адаптивной балансировки загрузки устройств в реальном времени // Научно-практическая конференция ФЦП «Исследования и разработки 2014-2020 гг.» по направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». Зеленоград, 2-3 декабря 2014 г. С. 16, 2014.

9. Скобелев П.О., Граничин О.Н., Будаев Д.С. и др. Мультиагентная система планирования задач в программно-конфигурируемых сетях // Компьютерные инструменты в образовании. — 2013, № 4.

10. Амелин К.С., Баклановский М.В., Граничин О.Н. и др. Адаптивная мультиагентная операционная система реального времени // В сб. Стохастическая оптимизация в информатике. — СПб. Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2013, с. 3-16.