

Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике*

Л. В. МАССЕЛЬ, А. Г. МАССЕЛЬ

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия
e-mail: massel@isem.sei.irk.ru, amassel@gmail.com

Рассматривается разработка распределённой интеллектуальной интерактивной советующей системы (РИИСС), предназначенной для поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике (как чрезвычайных, так и критических). Приводятся архитектура, основные компоненты и технология применения РИИСС.

Ключевые слова: экстренные вычисления, экстремальные ситуации, интеллектуальные технологии, поддержка принятия решений.

Введение

В настоящее время развивается специфическое направление суперкомпьютерных технологий — технология экстренных вычислений (Urgent Computing — UC). Особенностью UC является интерактивность поддержки принятия решений, в котором могут участвовать несколько лиц, имеющих доступ к одним и тем же инструментальным средствам. При этом лица, принимающие решения, могут самостоятельно формулировать и исследовать разные сценарии развития ситуации в процессе обоснования принимаемого решения.

Технологии UC находят применение, в частности, в системах раннего предупреждения о нагонных наводнениях в Санкт-Петербурге [1]. При этом делается акцент на суперкомпьютерных вычислениях, основанных на применении сложных математических моделей.

Представляется, что технологии UC могут быть полезны также при поддержке принятия решений в энергетике, причём под экстремальными понимаются как чрезвычайные (ЧС), так и критические (КС) ситуации (различие между ними рассматривается ниже).

Учитывая, что критические, а тем более чрезвычайные ситуации в энергетике, как правило, связаны с перебоями в энергоснабжении, при реализации UC не всегда можно надеяться на бесперебойную работу вычислительных кластеров. Так, в экстремальных ситуациях в энергетике авторы предлагают применять двухуровневую технологию поддержки принятия решений, которая является развитием технологии, разработанной ра-

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 229, РФФИ (гранты № 12-07-00359 и № 13-07-00140) и интеграционного проекта СО РАН и НАН Беларуси № 18.

нее для поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности России и её регионов [2, 3].

На первом, верхнем, уровне предлагается экспресс-оценка экстремальных ситуаций с применением интеллектуальных технологий: когнитивного моделирования угроз энергетической безопасности (возникновения КС), событийного моделирования возможного развития КС и ЧС и оценки рисков их возникновения с помощью байесовских сетей доверия (БСД-моделирования). Авторами совместно с сотрудниками лаборатории информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН разработаны инструментальные средства поддержки этой технологии: библиотеки CogMap, EventMap и BayNet.

На втором уровне технологии предлагается выбор наиболее вероятных вариантов развития ситуаций и их детальный расчёт с применением математических моделей и традиционных программных комплексов, в том числе и на суперкомпьютерах, если реальные условия это позволяют.

Под руководством авторов выполняется разработка распределённой интеллектуальной интерактивной советующей системы (РИИСС) для поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике, интегрирующей как вышеперечисленные инструментальные средства, так и экспертные системы с описанием прецедентов экстремальных ситуаций и мероприятий, рекомендуемых как для их предотвращения (в случае КС), так и ликвидации (в случае наступления ЧС).

1. Описание распределённой интеллектуальной интерактивной советующей системы

Под экстремальными ситуациями (ЭКС) в энергетике понимают как чрезвычайные, так и критические ситуации, определение которых базируется на оценке состояния систем или объектов по шкале: “норма”, “предкризис” — критическая ситуация, “кризис” — чрезвычайная ситуация. Исходя из этого под критическими ситуациями понимаются ситуации, когда возникают угрозы бесперебойному функционированию технических объектов и объектов обеспечения жизнедеятельности и/или угрозы жизни или здоровью как отдельных людей, так и социальных (профессиональных) групп.

Эти угрозы могут быть устранены принятием соответствующих превентивных и оперативных мер, которые не позволят критической ситуации перерасти в чрезвычайную. В настоящее время внимание уделяется преимущественно поддержке принятия решений и управлению в чрезвычайных ситуациях, когда необходимы оперативные и ликвидационные мероприятия, на это направлена в том числе деятельность подразделений МЧС. Понимание актуальности моделирования и анализа критических ситуаций позволят сформировать перечень превентивных и оперативных мер, предотвращающих возможную чрезвычайную ситуацию.

Цель создания РИИСС — повышение эффективности и научной обоснованности решений, а также обеспечение поддержки коллективного принятия решений как при наступлении критической ситуации (для её ликвидации и предотвращения перерастания её в чрезвычайную ситуацию), так и при наступлении чрезвычайной ситуации, если принятые меры оказались недостаточными или несвоевременными. Проект направлен в первую очередь на поддержку принятия решений на уровне как муниципального, так и регионального управления.

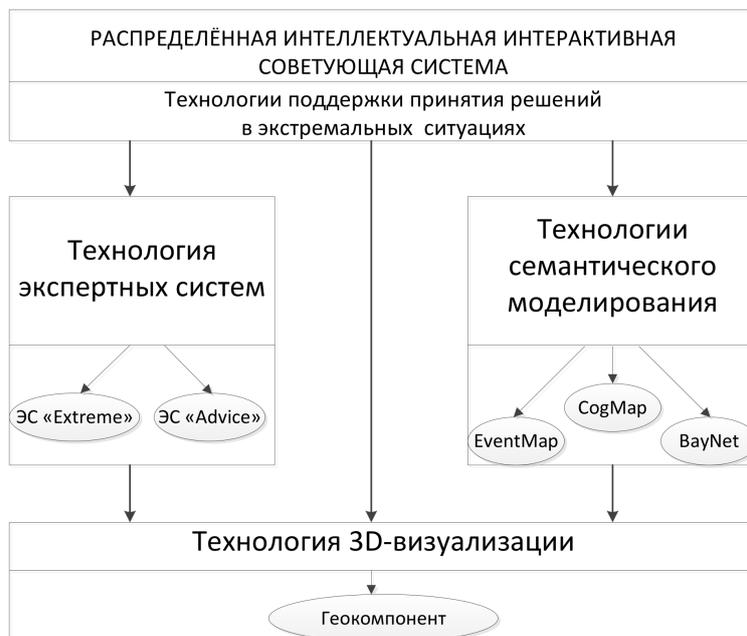


Рис. 1. Взаимосвязь технологий и поддерживающих их инструментальных средств в распределённой интеллектуальной советующей системе

Предусмотрены два режима работы: использование РИИСС в стабильной и в стрессовой (в условиях ЭкС) обстановке. В первом случае возможно использовать её, с одной стороны, как тренажёр для подготовки сотрудников к согласованным коллективным действиям, направленным на выработку и принятие решений в условиях экстремальных ситуаций, с другой — как инструмент для моделирования ЭкС (возможностей развития и предотвращения КС и ЧС) и пополнения баз знаний на основе результатов моделирования. В стрессовой обстановке при экстремальных ситуациях предлагается использование РИИСС для оперативной поддержки коллективного принятия решений.

В соответствии с режимами разрабатываются две версии РИИСС. Пилотная версия предполагает реализацию первого режима. Для реализации второго режима потребуются опытная эксплуатация пилотной версии и доработка РИИСС по результатам опытной эксплуатации.

Технология поддержки принятия решений в условиях ЭкС опирается на такие интеллектуальные технологии, как технология экспертных систем и семантические технологии моделирования (когнитивное, событийное и моделирование рисков ЭкС на основе байесовских сетей доверия). В свою очередь, для визуализации возможных ЭкС и мероприятий по их предупреждению и/или устранению используется технология 3D визуализации. Взаимосвязь технологий и поддерживающих их инструментальных средств приведена на рис. 1. Инструментальные средства описаны ниже при рассмотрении архитектуры РИИСС.

2. Интеллектуальные (семантические) технологии

Семантическое моделирование развивается в рамках одного из трендов направления “Семантические технологии” [4], а именно семантические технологии в приложениях. Под семантической технологией понимается совокупность методов и инструментальных

средств для выполнения действий, связанных с представлением знаний и управлением ими. Для представления знаний используются когнитивные и событийные модели, а также фреймовые и продукционные модели представления знаний [5].

Под когнитивным моделированием понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги — связям между факторами (положительным или отрицательным) в зависимости от характера причинно-следственного отношения [6]. Математическим аппаратом для построения когнитивных моделей является теория графов. Когнитивное моделирование используется для описания ситуаций и влияющих на их развитие событий (угроз). В исследованиях проблем энергетической безопасности последние группируются в семь видов: техногенные, экономические, природные, социально-политические, внешнеэкономические и внешнеполитические, а также вызванные несовершенством управления (управленческо-правовые) [1, 7]. В последнее время авторами предложено расширить этот перечень, включив в него киберугрозы [8].

В когнитивных картах, моделирующих ситуации и угрозы, отображаются основные факторы, влияющие на развитие ЭКС, выявляются факторы-угрозы и факторы-мероприятия по их предотвращению, а также причинно-следственные связи между этими факторами. Весовые коэффициенты связей назначаются экспертами, по умолчанию весовые коэффициенты составляют +1 и -1.

Под событийным моделированием понимается построение поведенческих моделей, причём в качестве объектов моделирования могут рассматриваться как люди, так и технические объекты [9]. Сущность событийного метода моделирования заключается в отслеживании на модели последовательности событий в том же порядке, в каком они происходили бы в реальной системе. Задаваемые моделью последовательности реализации событий — цепочки событий — описывают сценарии реакции системы на возникновение инициирующего события, стоящего в начале цепочки.

В качестве инструмента событийного моделирования используется аппарат Joiner-сетей — одной из разновидностей алгебраических сетей, предложенной в [9]. Joiner-сети (Joiner-net, JN) можно рассматривать как расширение сетей Петри, ориентированное на построение поведенческих моделей. В основе теории JN лежит описание логики взаимодействия асинхронных процессов в виде набора пусковых и флаговых функций, состоящих из булевых функций. Особенностью JN является то, что они предусматривают как графическое представление, так и описание в виде логических формул, обработку которых можно автоматизировать. Опыт применения Joiner-сетей для моделирования чрезвычайных ситуаций в энергетике рассмотрен, в частности, в [3, 10].

Байесовские сети доверия [11] решают задачу выражения зависимости между различными переменными, которые (и зависимости, и переменные) можно представить в виде направленного графа причинно-следственных связей. Граф в БСД ациклический, т. е. не содержит направленных циклов. Вершинами ациклического направленного графа являются утверждения, а направленные рёбра соответствуют причинно-следственным связям между этими утверждениями. Инструмент основывается на теореме Байеса теории вероятностей для определения апостериорной вероятности события A при условии, что имеет место событие B , по их априорным вероятностям. Суть рассуждений в байесовской сети — апостериорный, или байесовский, вывод: в систему поступает информация о том, что события, соответствующие тем или иным её узлам, произошли и следует оценить, как изменилась вероятность других узлов. Опыт применения БСД в исследованиях проблем энергетической безопасности рассмотрен в [12].

3. Архитектура и технология РИИСС

В состав распределённой интеллектуальной интерактивной советующей системы входят следующие компоненты (указаны ссылки на статьи, в которых описаны научно-исследовательские прототипы программных компонентов):

- 1) компонент описания или выбора экстремальных ситуаций (экспертная система (ЭС) Extreme и база знаний об экстремальных ситуациях) [13];
- 2) компонент построения и корректировки когнитивных карт экстремальных ситуаций (библиотека CogMap) [7];
- 3) компонент моделирования угроз безопасности и оценки рисков возникновения КС и их перерастания в ЧС на основе байесовских сетей доверия (BayNet) [12];
- 4) компонент событийного моделирования развития ЭКС — EventMap [10];
- 5) общая база знаний на основе Репозитория [14], включающая базы знаний прецедентов экстремальных (критических и чрезвычайных) ситуаций, когнитивных и событийных моделей, байесовских сетей доверия и описаний мероприятий;
- 6) геокомпонент 3D визуализации экстремальных ситуаций и мероприятий на трёхмерной карте города или региона [15];
- 7) компонент задания управляющих воздействий (превентивных и/или оперативных мероприятий) (экспертная система Advice);
- 8) редактор планов мероприятий.

Все компоненты реализуются в архитектуре клиент-сервер, основанной на использовании сервис-ориентированной архитектуры (Service Oriented Architecture, SOA). На втором этапе предполагается реализация РИИСС как корпоративного облака, интегрирующего специализированные Web-сервисы, разработанные на основе компонентов, реализованных на предыдущем этапе [16].

Архитектура РИИСС приведена на рис. 2.

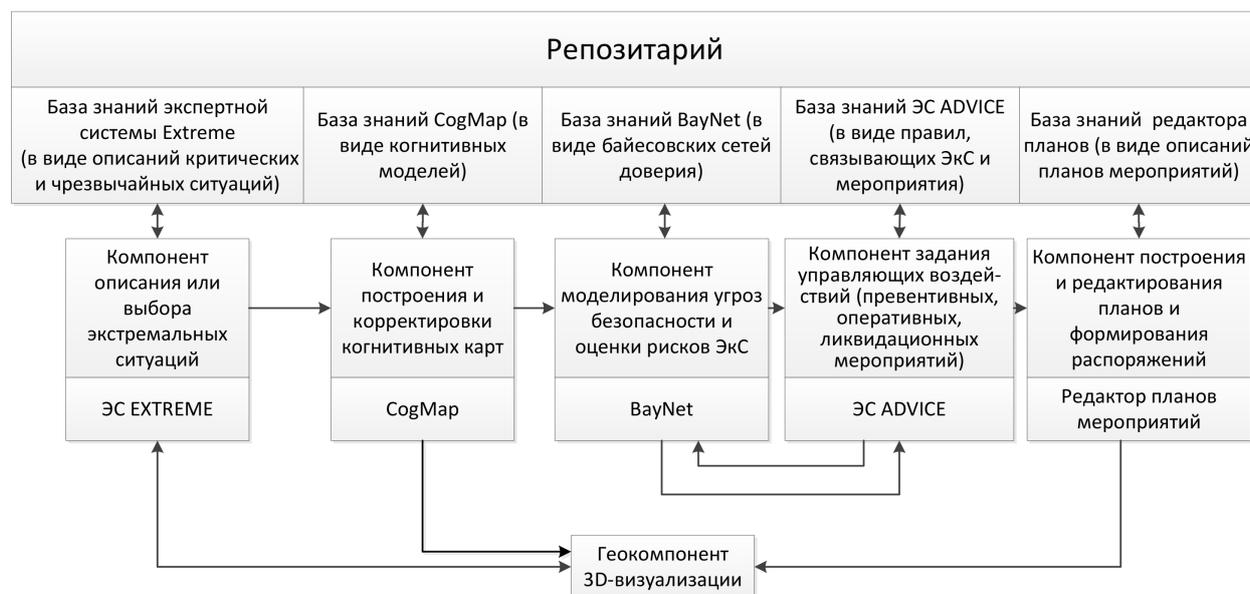


Рис. 2. Архитектура распределённой интеллектуальной советующей системы

Технология применения РИИСС для поддержки принятия решений
в экстремальных ситуациях

Этап	Наименование этапа	Инструментальные средства поддержки
1	Описание экстремальных ситуаций или их выбор из базы знаний с использованием при необходимости 3D-визуализации экстремальных ситуаций	ЭС Extreme, Геокомпонент
2	Построение когнитивных карт экстремальных ситуаций и их анализ с использованием когнитивных карт	Библиотека CogMap
3	Оценка рисков перерастания критической ситуации в чрезвычайную с помощью байесовских сетей доверия	Библиотека BayNet
4	Построение событийных карт и моделирование развития ЭКС	Библиотека EvenMap
5	Установление соответствия критических ситуаций и мероприятий, рекомендуемых для их устранения (ввод правил — продукции)	ЭС Advice
6	Описание или выбор управляющих воздействий	ЭС Advice
7	Редактирование плана мероприятий, сформированного в соответствии с выбранными управляющими воздействиями	Редактор планов
8	3D визуализация экстремальных ситуаций и планируемых мероприятий на трёхмерной карте города или региона	Геокомпонент

Основные этапы технологии применения РИИСС для поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях и используемые на этих этапах инструментальные средства приведены в таблице.

В целом технология включает:

— использование РИИСС в стабильной обстановке — на этапах как предварительной подготовки информации (в том числе моделирование и анализ ЭКС), так и применения РИИСС как ситуационного тренажера;

— использование РИИСС в стрессовой обстановке для оперативной поддержки принятия решений. После заполнения соответствующих баз знаний (этапы 2–5) для поддержки принятия решений будет достаточно ограничиться этапами 1, 6–8.

Заключение

Предложено расширить понятие экстренных вычислений, например, введением двухуровневой технологии поддержки принятия решений. В условиях ЭКС в энергетике, сопровождающихся нарушением энергоснабжения, предусматриваются варианты использования как распределённой версии РИИСС (если сохраняется возможность подключения к серверам), так и автономной, локальной версии.

Для реализации РИИСС предлагается использовать интеллектуальные технологии и поддерживающие их научно-исследовательские прототипы программных компонентов, разработанные и применявшиеся авторами ранее для исследований проблем энергетической безопасности России и её регионов. Предложено расширить перечень угроз энергетической безопасности включением в него киберугроз, последствия реализации которых могут привести как к аварийным, так и катастрофическим ситуациям в энергетике.

Для реализации предлагаемого проекта разрабатываются дополнительно: компонент задания управляющих воздействий (превентивных и/или оперативных мероприятий) (экспертной системы Advice) и редактор планов мероприятий; адаптация существующих компонентов для решения поставленной задачи (реализация Web-сервисов); интеграция всех компонентов в рамках РИИСС; заполнение баз знаний прецедентов экстремальных ситуаций и мероприятий; отладка технологии совместного использования компонентов в рамках РИИСС для поддержки принятия решений в ЭкС.

Разработаны архитектура РИИСС и технология её использования для поддержки принятия решений как в стабильной обстановке (ситуационный тренажер или исследовательский инструмент), так и в стрессовой — для оперативной поддержки коллективного принятия решений в экстремальных ситуациях.

Список литературы

- [1] Бухановский А.В., Житников А.Н., Петросян С.Г., Слоот П.М.А. Высокопроизводительные технологии экстренных вычислений для предотвращения угрозы наводнений // Изв. высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 10. С. 14–20.
- [2] МАССЕЛЬ Л.В., МАССЕЛЬ А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Изв. Томского политехн. ун-та, 2012. Т. 321, № 5. С. 135–140.
- [3] МАССЕЛЬ Л.В., АРШИНСКИЙ В.Л., МАССЕЛЬ А.Г. Интеллектуальные информационные технологии поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: Тр. Междунар. конф. Т. 1. Украина, Евпатория: ХНТУ, 2010. С. 192–196.
- [4] ХОРОШЕВСКИЙ В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: Тр. II Междунар. науч.-техн. конф. Беларусь, Минск: БГУИР, 2012. С. 143–158.
- [5] МАССЕЛЬ Л.В., МАССЕЛЬ А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // Матер. III Междунар. науч.-техн. конф. OSTIS-2013. Беларусь, Минск: БГУИР, 2013. С. 247–250.
- [6] ТРАХТЕНГЕРЦ Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.
- [7] МАССЕЛЬ А.Г. Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности // Горный информ.-аналит. бюл. (науч.-техн. журн.). 2009. Т. 17, № 12. С. 194–199.
- [8] МАССЕЛЬ А.Г. Кибератаки как угроза энергетической безопасности России // Тр. Междунар. конф. “Кибербезопасность-2013”. Украина, Киев, Ин-т специальной связи и защиты информации НТУ Украины “КПИ”, 2013. С. 49–56.
- [9] СТОЛЯРОВ Л.Н., НОВИК К.В. Реализация параллельных процессов с помощью сетей Joiner-net // Информационные и математические технологии: Тр. Байкал. Всерос. конф. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2004. С. 11–14.
- [10] АРШИНСКИЙ В.Л. Событийное моделирование чрезвычайных ситуаций в энергетике // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Тр. Междунар. конф. Украина, Гурзуф, 2010. С. 299–301.
- [11] ТУЛУПЬЕВ А.Л., НИКОЛЕНКО С.И., СИРОТКИН А.В. Байесовские сети: Логико-вероятностный подход. СПб.: Наука, 2006. С. 341–342.

- [12] МАССЕЛЬ Л.В., ПЯТКОВА Е.В. Применение байесовских сетей доверия для интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности // Вест. ИрГТУ, 2012. № 2. С. 8–13.
- [13] МАССЕЛЬ А.Г., КУЗНЕЦКИХ В.Р., КУШНАРЕВ А.С. и др. Разработка экспертной системы, основанной на прецедентах чрезвычайных ситуаций в энергетике // Винеровские чтения: Тр. IV Всерос. конф. Ч. II. Иркутск: ИрГТУ, 2011. С. 154–159.
- [14] МАССЕЛЬ Л.В., КОПАЙГОРОДСКИЙ А.Н. Технологии и система хранения данных и знаний для исследований в энергетике // Современные информационные технологии для научных исследований: Матер. Всерос. конф. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2008. С. 64–66.
- [15] МАССЕЛЬ Л.В., ИВАНОВ Р.А. 3D-геомоделирование в исследованиях энергетике: примеры применения и перспективы // Вест. ИрГТУ, 2011. № 4(51). С. 6–11.
- [16] Риз Дж. Облачные вычисления. СПб.: ВHV, 2011. 288 с.

Поступила в редакцию 29 ноября 2013 г.