



УДК 004.67

А. И. Водяхо, Н. А. Жукова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Адаптивные алгоритмы выявления чрезвычайных ситуаций в условиях ледовой обстановки¹

Рассматриваются адаптивные алгоритмы, ориентированные на использование в составе систем выявления чрезвычайных ситуаций в условиях ледовой обстановки. Предлагаемый подход к построению адаптивных алгоритмов основывается на использовании семантического веба. Приводятся возможные подходы к реализации систем данного класса на основе интеллектуального ГИС-фреймворка.

Интеллектуальные ГИС, чрезвычайные ситуации, адаптивные алгоритмы

В настоящее время ежегодно значительно возрастает количество чрезвычайных ситуаций на различных, в первую очередь, промышленных объектах, увеличиваются объемы наносимого ущерба, в частности, финансовые потери, повреждение дорогостоящего оборудования, загрязнение окружающей среды и т. д. [1]. Для своевременного выявления и предупреждения чрезвычайных ситуаций необходимо обеспечить получение актуальной информации о состоянии объектов и среды, в которой они функционируют, оперативную обработку полученной информации и ее комплексный анализ. Одними из наиболее сложных предметных областей с точки зрения своевременного выявления возможности возникновения чрезвычайных ситуаций являются нефтяная и газовая промышленность. В первую очередь это связано с удаленностью объектов контроля, жесткими условиями работы специализированных технических средств, а также крайне неблагоприятными условиями окружающей среды.

Мониторинг состояния нефтегазодобывающих платформ осуществляется на основе данных, поступающих с различных встроенных устройств, а также специализированных внешних датчиков и систем контроля состояния объектов. Состав реги-

стрируемых данных позволяет контролировать напряженно-деформированное состояние несущих конструктивных элементов, параметры вибраций и динамических воздействий, пространственное положение и геометрию сооружений, а также ряд других показателей, характеризующих техническое состояние анализируемых объектов [2].

На состояние нефтегазодобывающих платформ существенно влияют внешние факторы, определяемые параметрами окружающей среды. В связи с активным развитием нефтегазодобывающей отрасли в направлении освоения арктического региона одним из ключевых параметров, требующих учета, является ледовая обстановка. Первый стандарт для выполнения проектных работ по созданию различных объектов, предназначенных для работы в Арктике, был опубликован в декабре 2010 г. [3], однако процесс выработки инструментов и средств проектирования безопасных платформ в настоящее время не завершен. К основным угрозам, возникающим при создании и эксплуатации платформ, относятся возможности столкновения с дрейфующими ледовыми массивами, а также айсбергами, перемещающимися отдельно или включенными в ледовый массив. Нагрузка, возникающая при столкновении

¹ Разработка гидроакустической станции для предупреждения чрезвычайных ситуаций на нефтегазодобывающих платформах в условиях ледовой обстановки, изготовление опытного образца.

ледовой массы с платформами, может привести к их смещению. Достаточно ограниченный объем опыта эксплуатации платформ в условиях сложной ледовой обстановки требует непрерывного наблюдения и контроля за ней, а также ее учета как одного из основных факторов, способствующих возникновению чрезвычайных ситуаций на нефтегазодобывающих платформах.

Особенности задачи выявления возможности возникновения чрезвычайных ситуаций на сложных технических объектах. Для решения задачи своевременного выявления чрезвычайных ситуаций для их последующего предупреждения с учетом оперативных данных о ледовой обстановке применяемые методы и алгоритмы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

а) алгоритмы обработки и анализа данных должны обеспечивать обработку и анализ временных рядов измерений параметров объектов с непрогнозируемым или плохо прогнозируемым поведением;

б) обработка и анализ временных рядов измерений должны проводиться с учетом динамически изменяющихся условий, определяемых состоянием внешней среды, на основе оперативных данных.

Для описания поведения технических объектов в условиях чрезвычайных ситуаций традиционно формируются группы сценариев, которые определяют возможные варианты развития ситуаций. Для разработки сценариев привлекаются высококвалифицированные эксперты предметных областей и используется опыт, накопленный в процессе эксплуатации объектов. Однако чрезвычайные ситуации на объектах возникают достаточно редко, и практически все они являются уникальными. Используемые средства моделирования возможных чрезвычайных ситуаций и условий их возникновения не позволяют учесть все влияющие факторы и рассмотреть все возможные варианты. В связи с этим разработанные сценарии в большинстве случаев не соответствуют фактически возникающим чрезвычайным ситуациям.

Большинство существующих алгоритмов ориентированы на согласованную с набором созданных сценариев обработку и анализ получаемых измерений. Согласованная обработка предполагает, что поведение временных рядов измерений соответствует описанному в сценариях поведению параметров объектов. В результате используются методы и алгоритмы обработки,

применение которых приводит к потере части информации о состоянии объекта, что в условиях чрезвычайных ситуаций недопустимо.

При обработке результатов измерений контекст внешней среды, как правило, учитывается с использованием фиксированного набора априорно определенных параметров. Для получения данных о значениях параметров используются статистические базы данных, построенные по ранее накопленным историческим данным. Статистические базы данных обладают двумя основными недостатками. Во-первых, не по всем районам и временным интервалам накоплен достаточный объем данных для описания закономерностей поведения внешней среды, что определяет наличие расхождений между значениями параметров, получаемыми из баз, и фактическими значениями. Во-вторых, применение статистических методов при создании баз приводит к потере многих важных деталей в поведении временных рядов. Обновляются базы данных достаточно редко, что в условиях высокой динамики изменения среды, наблюдаемой в последние несколько десятилетий, не позволяет получать по статистическим базам актуальную информацию о ее состоянии [3].

Перечисленные требования предлагается обеспечить за счет применения адаптивных алгоритмов обработки и анализа измерений, которые активно развиваются в рамках общего подхода к адаптивной обработке многомерных измерений параметров пространственно соотнесенных объектов [4]. К настоящему времени алгоритмы апробированы при решении прикладных задач нескольких предметных областей, в частности, области обработки и анализа телеметрической информации [5] и области обработки и анализа океанографических данных [6].

Источники информации о ледовой обстановке. К настоящему времени актуальная информация о ледовой обстановке формируется набором различных источников. Одним из основных источников данных являются мультиспутниковые съемки. Для съемки используются космические аппараты с оптической и радиолокационной аппаратурой высокого и среднего разрешения (от 0.7 до 30 м), в частности, Radarsat-1, Radarsat-2, EROS-A, EROS-B, SPOT-4 и SPOT-5. Для мониторинга ледовой обстановки достаточно широко используются технологии, основанные на комбинировании мультиспутниковых съемок, данных

мировых баз и архивов, а также результатов моделирования. По результатам мониторинга готовятся карты ледовой обстановки. Для ряда ключевых акваторий оценивается положение крупных ледовых образований и кромки льда по отношению к производственным объектам (нефтяным платформам и терминалам), а также изучается их динамика и разрабатываются прогнозы изменения ситуации во времени. Готовые продукты поставляются потребителям через веб-порталы и в виде экспресс-отчетов, составленных по результатам совместного анализа оптических снимков и данных о гидрометеорологической обстановке в регионе. Современные методики позволяют ежедневно формировать и поставлять продукты.

Информация о ледовой обстановке, получаемая от внешних источников, дополняется информацией от радиолокационных и гидроакустических средств, расположенных на нефтегазодобывающих платформах. Радиолокационные и гидроакустические средства обеспечивают круговой поиск ледовых образований на дистанции от единиц до несколько десятков километров, сопровождение ледовых образований и определение характеристик их подводных и надводных частей.

Как правило, совокупной информации от внешних источников и собственных средств наблюдения о ледовой обстановке достаточно для ее оценки. Однако несогласованность данных различных источников требует специализированной обработки информации до ее использования для анализа ледовых образований при выявлении возможных чрезвычайных ситуаций на нефтегазодобывающих платформах.

Адаптивные алгоритмы обработки и анализа измерений. Под адаптивностью (гибкостью, agility) в широком смысле понимается возможность приспособления к изменившимся условиям. В области информационных технологий (ИТ) под адаптивностью понимается возможность адаптации (приспособления) типовых решений или практик к конкретным условиям (контексту). При обработке измерений адаптивность рассматривается применительно к процессу разработки систем (agile software), архитектурным решениям (agile architecture), алгоритмам (agile algorithms), бизнес-логике работы систем (agile business logic) [7]. К гибким относятся алгоритмы вычисления, в которых учитывается контекст обработки измерений. Под контекстом понимается совокупность условий, определяющих среду, в которых были

получены измерения и в которых выполняется их обработка. Для различных условий определяются факторы, влияющие на формируемые результаты обработки. Задачи выявления чрезвычайных ситуаций требуют их решения в контекстах предметной области, геоинформационном, исторических данных и оперативных данных. Контекст предметной области обеспечивает учет информации и знаний об объектах и характерных закономерностях предметной области. Контекст геоинформационной среды позволяет учитывать влияние внешней среды, оказываемое на характеристики обрабатываемых измерений, состояние анализируемых объектов, развитие наблюдаемых ситуаций. Контекст исторических данных рассматривается для учета информации о характерном поведении объектов при их штатном функционировании, контекст оперативных данных – для учета оперативной информации о состоянии объектов предметной области и окружающей среды.

Адаптивные алгоритмы обработки и анализа измерений параметров технических объектов, ориентированные на выявление чрезвычайных ситуаций. Непредсказуемость поведения объектов и, соответственно, временных рядов измерений их параметров в условиях чрезвычайных ситуаций исключает возможность априорного определения набора алгоритмов и настройки алгоритмов практически для всех этапов обработки и анализа измерений, предусмотренных общей технологией [4]. Для обработки и анализа измерений могут учитываться только информация и знания, содержащиеся в оперативных данных и извлекаемые в ходе их обработки и анализа.

Применение адаптивных алгоритмов обработки позволяет формировать комбинации алгоритмов и осуществлять их настройку в процессе решения задач. Адаптивные алгоритмы обработки, ориентированные на выявление чрезвычайных ситуаций, строятся в соответствии со следующими положениями:

– до начала обработки данных, а также на всех ранних этапах обработки, которые наиболее чувствительны к исходным данным, для адаптации применяемых алгоритмов необходимы информация и знания добываются средствами разведочного анализа [8];

– определение состава и настройка параметров адаптивных алгоритмов предполагают формирование различных вариантов, их итерационную оценку и уточнение.

Адаптивные алгоритмы формируются в соответствии со следующими правилами:

– структура адаптивных алгоритмов обработки измерений должна соответствовать реализуемому этапу обработки измерений;

– состав и способы представления формируемой адаптивными алгоритмами информации и знаний об измерениях определяются информационной моделью представления измерений [9];

– результаты выполнения алгоритмов оцениваются на основе процедур, предусмотренных для алгоритмов, входящих в состав адаптивных алгоритмов, а также для этапов анализа;

– при определении состава и настроек адаптивных алгоритмов из множества возможных вариантов выбираются варианты, позволяющие получить максимальный объем информации и знаний об измерениях;

– при формировании адаптивных алгоритмов и их настройке учитываются ограничения, обусловленные требованиями, предъявляемыми к формируемому решению задачей выявления чрезвычайных ситуаций, объемом доступной информации и знаний, а также составом применяемых технических средств.

Для повышения качества и надежности получаемой в результате обработки измерений информации и знаний в алгоритмах предусматривается мультиразрешающая обработка, реализуемая применительно к измерениям, а также применяемым алгоритмам. Мультиразрешающая обработка измерений предусматривает представление измерений на различных уровнях детализации, обработку измерений на каждом из уровней и интеграцию полученных результатов средствами поддержки принятия решений [10]. При обработке измерений параллельно применяются различные алгоритмы, обеспечивающие решение одной и той же задачи или подзадачи. На основе анализа полученных решений вырабатывается и обосновывается единое решение.

На формирование адаптивных алгоритмов влияют следующие факторы, определяемые контекстами выполнения обработки:

– в контексте предметной области при обработке измерений учитываются ограничения, накладываемые физическими характеристиками объектов и их параметров, состав параметров, которые могут обрабатываться совместно, а также взаимосвязи между параметрами, определяемые конструктивными особенностями объектов;

– в контексте геоинформационной среды учитывается пространственное и временное размещение объектов, которое определяет допустимые режимы эксплуатации объектов и допустимые состояния объектов и их параметров;

– в контексте оперативных данных учитываются новые данные о состоянии объектов, отражающие развитие процессов, происходящих на объектах, в частности, осуществляется уточнение и, при необходимости, коррекция ранее сформированных результатов.

Адаптивные алгоритмы выявления чрезвычайных ситуаций на основе информации и знаний о состоянии отдельных объектов. Выявление возможности возникновения чрезвычайных ситуаций на основе информации и знаний о состоянии технических объектов, полученных в результате адаптивной обработки измерений их параметров, предполагает решение двух основных задач:

– формирование динамической информационной модели внешней среды, предоставляющей актуальную интегрированную информацию о состоянии среды, в частности, ледовой обстановке;

– формирование и оценка динамической модели ситуации, описывающей состояния технических объектов в условиях, определяемых динамической моделью внешней среды.

Динамическая модель внешней среды строится на основе существующих математических моделей среды или на основе статистических моделей. Для построения математических моделей необходимы, как правило, значительные временные ресурсы. При этом не предусмотрено уточнение моделей с появлением новых данных, что ограничивает возможность их применения при создании динамических моделей. Статистические модели формируются на основе информации и знаний, предоставляемых моделью предметной области, и результатов обработки исторических данных. Обработка исторических данных осуществляется с использованием как математических, так и эмпирических методов, что позволяет быстро уточнять модели при изменении параметров среды.

К основным функциям динамической модели внешней среды относятся предоставление полученных от различных источников оперативных данных о состоянии внешней среды, результатов обработки данных, поступивших от каждого из источников, а также интегральных оценок измеряемых параметров среды, построенных на основе результатов совместной обработки данных от различных источников.

Для получения интегральных оценок состояния ледовой обстановки по данным от внешних источников, а также от радиолокационных и гидроакустических станций, установленных на платформах, применяются технологии гармонизации, интеграции и слияния данных, адаптированные для обработки и анализа измерений [10].

Динамические модели ситуаций, наблюдаемых на нефтегазодобывающих платформах, основаны:

- на использовании актуальной информации, предоставляемой динамической моделью среды;
- применении методов интеллектуального анализа для обработки данных об объектах и среде.

Построение динамической модели предусматривает:

- формирование структуры модели на основе статической информации об объектах и среде, их характеристиках и взаимосвязях, содержащейся в модели предметной области;
- расширение модели информацией и знаниями об объектах и среде, сформированных в результате обработки исторических данных, накопленных в ходе эксплуатации нефтегазодобывающих платформ, а также в результате наблюдения ледовой обстановки в районе размещения платформы.

Актуализация модели ситуаций выполняется при получении новых измерений с анализируемых технических объектов или при изменении динамической информационной модели среды.

Применение модели предусматривает возможность оценки вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций исходя из данных модели о текущем состоянии объектов и среды и результатов прогноза возможных вариантов развития наблюдаемой ситуации. Для моделируемых ситуаций осуществляется их анализ, оценка вероятности возникновения и возможного ущерба и ранжирование с использованием адаптивных алгоритмов, ориентированных на применение интеллектуальных методов. Необходимость интеллектуализации решения задач обусловлена наличием большого количества взаимосвязанных факторов, оказывающих прямое и косвенное влияние на формируемые решения, а также условиями неопределенности, в которых вырабатываются решения по прогнозируемым вариантам развития ситуаций. Предполагается включение в состав адаптивных алгоритмов интеллектуальных методов, модифицированных для работы с информа-

цией и знаниями, извлекаемыми из измерений, и предназначенных для решения задач на уровне ситуаций, например [10].

Отображение данных, информации и знаний о наблюдаемых ситуациях на платформах, предоставляемых динамической информационной моделью, а также вариантов их развития предполагает использование геоинформационного интерфейса. При необходимости работы с динамической информационной моделью, в частности, для проведения дополнительного анализа сформированных решений о возможных чрезвычайных ситуациях предполагается использование интеллектуальных геоинформационных систем (ИГИС) [10].

Способы описания адаптивных алгоритмов и средства их реализации. Адаптивный подход к обработке измерений предполагает описание применяемых алгоритмов средствами Ontology Web Language (OWL). Описание адаптивного алгоритма должно содержать общее описание алгоритма, а также описание его структуры и входящих в его состав алгоритмов и правил их применения.

Общее описание адаптивного алгоритма должно включать: наименование; неформальное описание; состав входных данных; состав выходных данных; описание настроечных параметров; описание информации и знаний, необходимых для настройки параметров; условия применения; ограничения по применению; состав задач и прикладных предметных областей, для которых алгоритм может применяться; критерии оценки формируемых результатов; варианты реализации алгоритма и их особенности; поставщиков, предоставляющих реализации алгоритмов; описание основных характеристик алгоритма, включая необходимые временные и вычислительные ресурсы, уровень квалификации пользователей; варианты представления результатов.

При описании структуры адаптивного алгоритма определяется перечень используемых алгоритмов, порядок и условия их применения. Последовательность применения алгоритмов и возможности параллельного выполнения описываются в виде процессов на языке Business Process Modeling Language. При описании процессов должны использоваться термины, определенные для предметной области обработки и анализа измерений. Условия переходов описываются с использованием продукционных правил.

При описании отдельных алгоритмов, входящих в состав адаптивного алгоритма, должны соблюдаться общие требования к описаниям алгоритмов, определяемые адаптивным подходом.

Формируемые в результате выполнения алгоритма данные, информация и знания должны представляться в соответствии с информационными моделями представления измерений или определять значения свойств объектов предметных областей и выражаться в виде продукционных правил.

Разрабатываемые адаптивные алгоритмы, а также входящие в их состав алгоритмы должны включаться в общий классификатор алгоритмов предметной области обработки и анализа измерений.

При описании алгоритма должны устанавливаться связи со следующими сущностями предметной области обработки и анализа измерений: прикладные предметные области, решаемые задачи, пользователи, критерии оценки, поставщики алгоритмов, обрабатываемые данные.

Наличие OWL-описания алгоритмов обеспечивает возможность их включения в состав алго-

ритмов, предоставляемых и поддерживаемых фреймворком обработки и анализа измерений и, соответственно, позволяет их использовать при построении прикладных систем.

Таким образом, применение адаптивных алгоритмов обработки и анализа измерений для выявления чрезвычайных ситуаций на нефтегазодобывающих платформах позволяет:

- повысить точность информации о состоянии наблюдаемых технических объектов за счет использования алгоритмов обработки, анализирующих временные ряды на разных уровнях детализации;

- повысить достоверность формируемых решений за счет использования оперативной информации о состоянии внешней среды, в частности, ледовой обстановки;

- сформировать обоснованные решения о возможности возникновения чрезвычайных ситуаций за счет обработки и анализа данных о наблюдаемых ситуациях и анализа возможных вариантов их развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The United Kingdom Offshore Oil and Gas Industry Association (Oil and Gas UK) / Accident Statistics for Offshore Units on the UKCS 1990–2007, 2009. URL: <http://www.oilandgasuk.co.uk/cmsfiles/modules/publications/pdfs/EC024.pdf>.

2. ISO 19906 – Проектирование морских арктических сооружений. URL: <http://www.iso.org/iso/>.

3. Hakkinen S. A., Proshutinsky I. Ashik Sea ice drift in the Arctic since 1950s // *Geophysical Research Letters*. 2008. Vol. 35, L19704, doi:10.1029/2008GL034791.

4. Витол А. Д. Технология адаптивной обработки измерительных данных. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012.

5. Pankin A., Vodyaho A., Zhukova N. Operative Measurements Analyses in Situation Early Recognition Tasks // 11th Intern. Conf. on Pattern Recognition and Image Analyses, Russia, Samara, Sept. 23–28, 2013. P. 449–453.

6. Zhukova N., Smirnova O. Atmosphere and ocean data processing in decision making support system for Arctic ex-ploration // The 6th Intern. Workshop on Information Fusion and Geographic Information Systems: Envi-

ronmental and Urban Challenges (IF&GIS' 2013), St. Petersburg, Russia, May 12–15, 2013. P. 305–324.

7. Жукова Н. А., Водяхо А. И. Архитектурный подход к построению систем обработки многомерных измерений параметров пространственно распределенных объектов // *Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2013. № 2. С. 21–26.

8. Blischke W., Rezaul Karim M., Prabhakar Murthy D. Preliminary Data Analysis / Warranty Data Collection and Analysis. Springer Series in Reliability Engineering, Springer London, 2011. P. 592.

9. Vitol A., Zhukova N., Pankin A. Model for knowledge representation of multidimensional measurements processing results in the environment of intelligent GIS // The 20th Intern. Conf. on Conceptual Structures for Knowledge Representation for STEM Research and Education, Mumbai, India, Jan. 10–12, 2013. P. 266–276.

10. Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки / под общ. ред. Р. М. Юсупова, В. В. Поповича. СПб.: Наука, 2013.

A. I. Vodyaho, N. A. Zhukova
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

AGILE ALGORITHMS FOR EMERGENCY SITUATION DETECTION IN CONTEXT OF ICE SITUATION

Agile algorithms for emergency situation detection in context of ice situation are discussed. Suggested approach is based on use of Ontology Web Language. Possible approaches implementation of the algorithms with the help of Intelligent GIS framework is described.

Intelligent GIS, emergency situation detection, agile algorithms

УДК 681.32

А. В. Бессонов, К. А. Кноп
ООО «ЭРЕМЕКС» (Санкт-Петербург)

Ю. Т. Лячек
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Определение относительного расположения переходных отверстий на группе проводников, пересекающихся в паре слоев

Предложен алгоритм решения задачи топологической расстановки межслойных переходных отверстий на группе проводников, пересекающихся в паре слоев. Алгоритм отличается от известных существенным уменьшением площади и суммарной длины проводников монтажа соединений и/или снижением уровня перекрестных электромагнитных помех.

Печатная плата, топологическая трассировка, размещение элементов печатного монтажа

Число межслойных переходов при проектировании печатного монтажа является (наряду с минимумом суммарной длины проводников) одним из объективных показателей качества. Действительно, уменьшение числа межслойных переходов способствует более рациональному использованию площади коммутационного пространства. Однако на качество топологических решений влияет в первую очередь не количество переходов, а их расположение, точнее, топологическая ситуация в окрестности перехода. Так, например, на рис. 1 показан фрагмент топологии с переходом, разделяющим проводники на разных слоях. Если бы перехода не было, то площадь, занимаемая проводниками, могла быть в 2 раза меньше. Межслойный переход, препятствующий

назначению проводников, расположенных на разных слоях, на одноименные магистрали канала, будем называть разделяющим переходом.

Пусть на паре слоев печатной платы есть группа пересекающихся проводников. От того, в каком порядке пересекаются проводники, зависит не только относительное (топологическое) расположение межслойных переходов, но и, как следствие, суммарная длина проводников, а также площадь, занимаемая топологическим рисунком. Если прокладывать проводники последовательно (без анализа структуры их пересечений), то шансы получить оптимальную конфигурацию крайне малы. В то же время высока вероятность получения конфигурации с клинчами [см. лит.] и разделяющими переходами.