

УДК 681.324.06

**АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
МОБИЛЬНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ****А.И. КУЗЬМИЧ***(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск);**д-р техн. наук, проф. В.В. КРАСНОПРОШИН**(Белорусский государственный университет, Минск)*

Рассматриваются вопросы синтеза типовой архитектуры для систем мониторинга мобильных гетерогенных объектов. Сформулирована общая задача и представлено ее решение на основе синтеза методов теории принятия решений, процессного и многоагентного подходов. Обоснована целесообразность стандартизации систем мониторинга на основе архитектуры, включающей шесть программных агентов, обеспечивающих формализацию предметной области, идентификацию, оценку и синтез управляющих решений для мобильных объектов на основе собственной базы знаний для априори известных ситуаций и опыта экспертов для новых ситуаций.

Введение. В последнее десятилетие наблюдается рост аварийности сложных технических объектов, к которым относятся железнодорожные составы, большегрузные автомобили, тягачи, карьерные самосвалы, караваны судов и другие транспортные средства, перевозящие дорогостоящие и часто опасные грузы (радиоактивные отходы, метанол, аммиак, нефть и т.п.) [1]. Такого рода объекты называют *мобильными гетерогенными объектами* (МГО), так как они состоят из разнородных компонентов и меняют свое местоположение [2]. В данной работе в качестве МГО рассматриваются технически сложные объекты, включающие одушевленные (например, машинистов железнодорожных составов) и неодушевленные (локомотив, цистерны, вагоны) компоненты. Жизненный цикл МГО включает процессы формирования, использования и деструкции МГО в рамках некоторой сцены. Под сценой понимается среда, включающая одушевленных (людей) и искусственных (интеллектуальные программы) участников реализации жизненного цикла МГО и коммуникации для обмена информацией между ними.

Поддержка жизненного цикла МГО осуществляется лицами, принимающими решения (ЛПР), и интеллектуальными программными системами [3, 11, 12, 14]. Разработка таких систем требует значительных финансовых затрат, поэтому они используются в основном крупными компаниями (Terex, Caterpillar, Liebherr, Euclid, Komatsu, БелАЗ и др.). В связи с этим актуальной является задача разработки недорогостоящих технологий для построения систем мониторинга, доступных средним и малым компаниям. В данной работе предлагается вариант этой задачи на основе стандартизации базовых процессов и архитектуры систем мониторинга.

Постановка задачи. В основу постановки задачи положена гипотеза о возможности стандартизации методологии для построения унифицированной архитектуры систем мониторинга МГО. Пусть имеется организация, которая реализует бизнес-проекты с использованием МГО. Управление организацией осуществляет центр, их формирующий, состав и функциональность которого соответствуют требованиям проекта. На МГО установлено некоторое количество датчиков, фиксирующих характеристики его элементов. Траектория движения МГО проходит в среде, фрагментарно обеспеченной беспроводной связью. Центр и МГО имеют коммуникационное оборудование для удаленного диалога. Возможность выполнения проекта зависит от состояния МГО, которое характеризуется конечным множеством показателей. Список показателей формируется центром и соответствует датчикам, установленным на МГО. Каждому состоянию соответствует релевантное управляющее решение.

Требуется разработать архитектуру мониторинга МГО. Эту достаточно общую цель необходимо уточнить на основании следующих соображений.

Существующие системы мониторинга обладают рядом существенных недостатков. К ним, в частности, можно отнести: большой объем трафика данных с датчиков между МГО и центром, отвлекающий внимание ЛПР центра потоком не всегда нужной информации; сложность выбора решения ЛПР для объекта в «зоне молчания» (участки, где затруднена или отсутствует связь) с целью разрешения нестандартных ситуаций; необходимость запроса ЛПР для оперативного получения экспертной информации при возникновении неизвестных ранее ситуаций в «живой зоне» (участки, обеспеченные стабильной связью); отсутствие какого-либо общего подхода и методологии для построения унифицированной архитектуры, инвариантной типу, составу и назначению МГО.

Для устранения этих недостатков предлагается разработать архитектуру системы мониторинга МГО, обеспечивающую:

- формирование МГО, структура которого отвечает требованиям текущего проекта;

- синтез управляющего решения для априори известных ситуаций;
- формирование управляющего решения для неизвестных ранее ситуаций;
- минимизацию объема информационного трафика МГО – центр – МГО;
- стандартизацию архитектуры при решении перечисленных выше задач для уменьшения объема ручного труда и стоимости целевой системы.

Кроме того, к современным программным системам предъявляется требование интероперабельности элементов архитектуры, что позволяет использовать их по отдельности или интегрировать в другие системы. В целом поставленная задача тесно связана с созданием принципиально новых систем, обладающих программируемыми и адаптивными свойствами, учитывающими целевое назначение и изменения окружающей среды.

Подход к решению. Поставленная задача достаточно сложна, поэтому важно изначально выбрать конструктивный подход к ее решению, который позволит выделить основные процессы решения, определить соответствующие группы алгоритмов и построить архитектуру типовой системы для их реализации. Такую архитектуру можно считать универсальной в рамках выбранного подхода. Для описания достаточно сложной в деталях предметной области задачи будем использовать онтологический подход, интуитивно понятный и обеспечивающий последовательную формализацию проблемы от концепции до программного кода [4].

На основе анализа поставленной задачи можно выделить три возможных подхода к решению: теорию активных систем [5], теорию автоматов [6] и теорию принятия решений [7]. *Первый подход* ориентирован на одушевленных акторов и применение методов теории игр, что затрудняет его использование для работы с искусственными акторами, характерными для МГО. *Второй подход* используется для задачи принятия решения (ЗПР) в условиях определенности, искусственных акторов на основе объективных (формальных) методов. *Третий подход* применяется для разрешения ситуаций в условиях неопределенности и использует как формальные, так и субъективные (экспертные) методы. В случае МГО управляющее решение традиционно выбирает ЛПР объекта или центра, поэтому для мониторинга целесообразно выбрать третий подход. В результате появляется возможность использования хорошо развитого математического аппарата принятия решений, включая методы распознавания образов [8].

В общем случае задача принятия решений (ЗПР, Decision Making, DM) сводится к выбору лучшей согласно определенному критерию альтернативы из множества возможных вариантов для разрешения возникшей проблемной ситуации [7]. Ситуация может быть двух типов: встречающаяся ранее или новая. Формально ЗПР можно описать кортежем:

$$DM = (S, X, L_{pr}, G, Kr, Lim, Source, U, alg\hat{U}, \hat{U}), \quad (1)$$

где S – проблемная ситуация; X – описание (характеристики) ситуации; L_{pr} – лицо, принимающее решение; G – цель; Kr – критерий выбора; Lim – ограничения; $Source$ – источники информации для построения альтернатив; U – альтернативы (варианты решения); $alg\hat{U}$ – алгоритм (метод) выбора лучшего решения; $\hat{U}$ – выбранное решение.

Онтология ЗПР (1) носит общий характер и часто уточняется в зависимости от специфики решаемых практических задач.

Формализация предметной области. Решение ЗПР всегда происходит в рамках некоторой сцены (*Scene*). В данном случае в сцене решения участвуют центр (C), МГО (P) и коммуникационное оборудование (com):

$$Scene = (C, P, com). \quad (2)$$

Таким образом, мониторинг МГО, в принципе, может осуществляться на двух уровнях: МГО и центра. В обоих случаях важно знать не только характеристики объекта, но и спектр возможных состояний (V), текущее состояние ($\tilde{V}$) и алгоритм его определения ($alg\tilde{V}$). Поэтому включим соответствующие реквизиты в онтологию ЗПР:

$$DM = (S, X, L_{pr}, G, Kr, Lim, Source, V, alg\tilde{V}, \tilde{V}, U, alg\hat{U}, \hat{U}). \quad (3)$$

С точки зрения ЗПР множество альтернатив U следует рассматривать как управляющие решения, соответствующие состояниям V .

Согласно классической модели передачи линейных сообщений Шеннона – Уивера [9] и специфике МГО для обеспечения удаленного информационного обмена центр должен как минимум иметь: собствен-

ный адрес ($adrC$); адрес МГО ($adrP$); программное обеспечение $aInit$ для построения $Scene$ и формирования параметров DM ; стандартные протоколы $aDial^{CP}$; интеллектуальный модуль ведения диалога с МГО (IMc); оборудование ($hardC$) и стандартное коммуникационное программное обеспечение ($softC$):

$$C = (adrC, adrP, aInit, aDial^{CP}, IMc, hardC, softC). \quad (4)$$

Мобильный гетерогенный объект имеет аналогичное описание:

$$P = (adrP, adrC, gps, sens, IMp, box, Dial^{CP}, hardP, softP). \quad (5)$$

Данный вариант существенно отличается от описанного в [11, 12] за счет интеграции в кортеж (4) и (5) датчиков ($sens$), устройства спутниковой системы навигации для определения текущих координат МГО (gps) и интеллектуальных модулей IMc и IMp для поддержки принятия решений на уровне МГО и организации диалога МГО – центр – МГО. Модуль gps позволяет центру отслеживать координаты географического положения МГО в масштабе планеты. Структура box является стандартной единицей обмена информацией между объектом и центром. Необходимое требование к использованию box – совместимость оборудования и программного обеспечения, нарушение которого часто приводит к тяжелым аварийным ситуациям.

Структура box содержит все необходимое (включая координаты gps) для идентификации МГО и формирования управляющего решения на уровне МГО или центра:

МГО-центр:

$$boxPC = (adrC, adrP, gps, S, X, \tilde{V}_p, \hat{U}_p, K); \quad (6)$$

центр-МГО:

$$boxCP = (adrP, adrC, S, \tilde{V}_p, \hat{U}_c \tilde{V}_p), \quad (7)$$

где $\tilde{V}_p, \hat{U}_p$ – состояние и управляющее решение, определенные на уровне МГО модулем IMp ; K – категория ситуации ($K = 0$ – ситуация была предусмотрена при инициализации, $K = 1$ – ситуация не предусмотрена); $\hat{U}_c$ – вариант решения, сформированный на уровне центра модулем IMc и отправленный модулю IMp для реализации ЛПР объектов.

В (6) ситуация S относится к числу известных ЛПР МГО, в (7) – ситуация ему не известна, и для ее разрешения требуются знания центра и, возможно, привлеченных экспертов.

С практической точки зрения сцену (2) удобно рассматривать на основе принципов искусственного интеллекта: как дистанционный диалог двух интеллектуальных модулей IMp и IMc , которые в случае необходимости (при попадании МГО в неизвестную ситуацию) обращаются за помощью к ЛПР центра и экспертам):

$$Scene = (IMc, IMp, boxPC / CP, com). \quad (8)$$

В (8) одушевленные акторы рассматриваются только как механизм настройки IMc на конкретный проект и источник знаний для IMp при встрече с неизвестной ранее ситуацией.

В (2)–(8) онтологии формируют общий взгляд на предметную область решения и дают основание для определения процессов их реализации.

Выделение процессов решения. Один из современных подходов к решению задач заключается в определении конечного множества процессов, приводящих в совокупности к достижению результата [10]. На основе онтологий (1)–(8) и общей методологии принятия решений [7] можно выделить шесть основных процессов реализации мониторинга МГО.

На уровне центра:

процесс 1: инициализация проекта, т.е. формирование сцены, задание параметров DM, C, P , создание соответствующей базы данных (DBc) и ее отображение в базе данных МГО (DBp);

процесс 2: формирование решения для МГО в случае возникновения ситуации, не предусмотренной при инициализации проекта.

На уровне МГО:

процесс 3: построение текущего образа X объекта на основе сигналов датчиков;

процесс 4: оценка состояния $\tilde{V}_p$ на основе $alg\tilde{V}$, X и V ;
 процесс 5: синтез управляющего решения $\hat{U}_p$ на основе $alg\hat{U}$ и $\tilde{V}_p$;
 процесс 6: анализ ситуации, если ситуация неизвестна ($K = 1$), формируется и отправляется сообщение $boxPC$ для ЛПР центра и ожидается ответ $boxCP$. В противном случае решение $\hat{U}$ визуализируется только для ЛПР МГО (например, для машиниста).

Определение процессов дает основание для построения архитектуры программной системы для их реализации.

Агентный подход к архитектуре. Описанные выше процессы 1–6 используют данные из территориально распределенных источников $P_1, P_2, \dots, P_n$, знания ЛПР центра и, возможно, знания привлеченных экспертов. Для построения систем обработки распределенной информации обычно используется многоагентный подход [14], т.е. делегирование процессов решения задачи автономным программам, которые принято называть агентами. В информатике агент трактуется как «аппаратно-программный объект, существующий в некоторой среде и способный реагировать на изменения среды, обмениваться информацией со средой и другими агентами в процессе решения общей задачи» [13, 14].

Классическая архитектура агента включает сенсор, процессор, память, эффектор. Через сенсоры агент воспринимает окружающую среду. Процессор перерабатывает полученную сенсором информацию. Память сохраняет необходимые результаты. Эффектор использует результаты для воздействия на среду. Универсализация структуры обеспечивает интероперабельность агентов.

Для реализации процессов поставим каждому из них в соответствие агента и определим основные группы методов для их реализации, которые относятся к искусственному интеллекту [13], теории нечетких множеств [15] и распознавания образов [8]. Результат представлен в таблице.

Процессы и агенты

Процессы	Агенты	Методы реализации агентов
Процесс 1	Init	Инженерия знаний
Процесс 2	Corrector	Инженерия знаний
Процесс 3	Image	Нечеткие множества
Процесс 4	State	Распознавание образов
Процесс 5	Decision	Распознавание образов
Процесс 6	Analyzer	Искусственный интеллект

Агентов Init и Corrector следует рассматривать как элементы интеллектуального модуля *ИМс*. Соответственно, агенты Image, State, Decision, Analyzer в совокупности составляют модуль *ИМр*. Такого рода «сообщества» принято называть многослойными агентами, которые позволяют кратко описывать многоагентные системы, состоящие из сотен агентов. Имена агентов в таблице носят субъективный характер, отвечают требованиям мнемоники и понятны разработчикам и руководителям, как показал опыт их применения на Латвийской железной дороге. Интеллектуальность модулей *ИМс* и *ИМр* заключается в том, что они фактически выполняют функции человека (строят предметную область и базу данных) в традиционных системах мониторинга. В качестве типичного примера приведем архитектуру агента Init (рис. 1).



Рис. 1. Архитектура агента инициализации проекта

На вход агента поступают знания ЛПР центра (и, возможно, экспертов), на выходе формируются базы данных по текущему проекту для центра и МГО. Другие агенты построены по такому же принципу.

Необходимо отметить, что представленный на рисунке 1 вариант визуализации агентов дает ряд преимуществ при управлении группами программистов, так как каждый элемент проекта (агент) имеет одинаковую структуру и интуитивно понятен как разработчикам, так и руководителям. Для разработки агентов можно использовать любой объектно-ориентированный язык программирования, например C#.Net, а для обмена между ними применять XML-формат и стандартные средства сериализации .Net для построения баз данных DBc и DBp [16].

Многоагентная архитектура. Представленные в таблице агенты сами по себе не решают проблему мониторинга МГО. Только их совместная работа в рамках адекватной проекту виртуальной организационной системы может привести к результату. Поэтому агенты обычно работают в группе, решающей общую задачу. Эта группа является многоагентной системой [14], построить которую для мониторинга МГО на основе методологии принятия решений, онтологий (1)–(8) и агентов, представленных в таблице, достаточно просто. Один из вариантов такой системы (рис. 2) хорошо зарекомендовал себя на практике [11, 12].

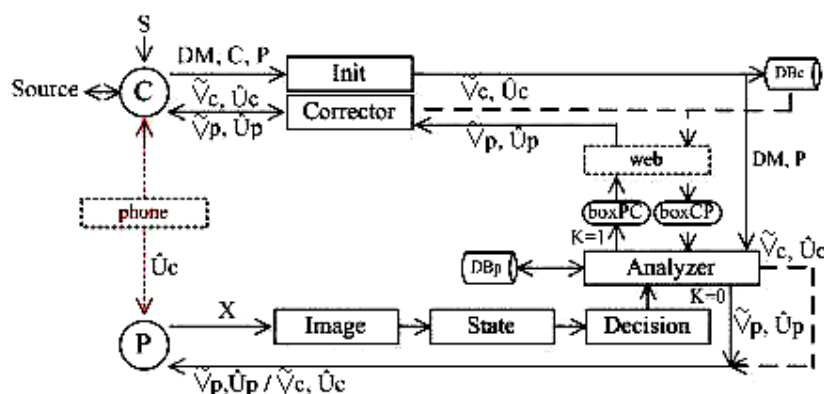


Рис. 2. Архитектура многоагентной системы для мониторинга МГО

Данный вариант архитектуры можно рассматривать как типовой, так как он построен в рамках хорошо апробированной методологии принятия решений [7]. Архитектура рассчитана на реализацию в форме портала, что позволяет контролировать доступ пользователей к ресурсам и формировать системы мониторинга по единой методике для различных типов МГО. Фактически она является виртуальной организацией, участники которой (агенты) решают общую задачу оценки текущего состояния и синтеза релевантного управляющего решения для МГО, а в случае попадания в неизвестную ситуацию получают знания для ее разрешения из центра.

Предложенная архитектура многоагентной системы носит весьма жесткий характер, так как «привязана» к конкретным агентам, реализующим конкретные процессы. Тем не менее она обеспечивает свободу выбора метода и языка программирования для практической реализации агентов. Научные дисциплины, включающие такие методы, показаны в третьем столбце представленной выше таблицы, хорошо известны и апробированы [7, 8, 11–13]. В экстренных случаях управляющее решение передается МГО из центра по телефонным беспроводным каналам (phone) в форме голосовой команды или sms-сообщения. Таким образом обеспечивается адаптация многоагентной системы (в рамках знаний экспертов) к различным непредвиденным ситуациям, которые неизбежны в характерной для настоящего времени быстро изменяющейся среде.

Заключение. В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

- сформулирована задача разработки универсальной архитектуры для систем мониторинга МГО, инвариантная по отношению к функциональности и свойствам объекта;
- построены онтологические модели глобальной сцены и участников мониторинга, обеспечивающие идентификацию МГО в любой точке земного шара;
- определены типовые процессы мониторинга МГО, инвариантные структуре и параметрам объекта на основе теории принятия решений и процессного подхода;
- построены программные агенты и многоагентная архитектура, реализующая типовые процессы; совместно обеспечивают настройку параметров МГО в соответствии с требованиями текущего проекта и разрешение априори известных и новых проблемных ситуаций;
- обеспечено разрешение прогнозируемых проблемных ситуаций на уровне МГО и передача в центр только той информации, которая относится к неизвестным ранее ситуациям, что существенно

снижает трафик данных и нагрузку на ЛПР центра и в целом подтверждает гипотезу о возможности стандартизации архитектуры систем мониторинга МГО.

Интероперабельность агентов допускает их индивидуальное и групповое использование, а также интеграцию в другие системы. Стандартизация методологии мониторинга в рамках теории принятия решений и унифицированная архитектура системы способствуют снижению объема ручного труда и стоимости разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рушкевич, А. Мониторинг подвижных объектов / А. Рушкевич, В. Осадчий // Беспроводные технологии. – 2010. – № 3. – С. 56–60.
2. Pasco, A. Heterogeneous objects modelling and applications / A. Pasco, V. Adziev, P. Comninos. – Springer, 2008. – 285 p.
3. Needles, D. IBM Tivoli Ncoool Configuration Manager (ITNCM): Proof of Concept (POC) Guide Paperback / D. Needles. – ICU Publishing, 2013. – 134 p.
4. Смирнов, С.В. Онтологическое моделирование в ситуационном управлении / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2012. – № 2. – С. 16–24.
5. Новиков, Д. Курс теории активных систем / Д. Новиков, С. Петраков. – М.: Синтез, 1999. – 108 с.
6. Гаврилов, М. Теория автоматов / М. Гаврилов. – М.: Наука, 1976. – 148 с.
7. Петровский, А.Б. Теория принятия решений / А.Б. Петровский. – М.: Академия, 2009. – 400 с.
8. Murty, M. Pattern Recognition: An Algorithmic Approach / M. Murty. – Springer, 2011. – 275 с.
9. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Иностран. лит., 1963. – 830 с.
10. Елиферов, В. Процессный подход к управлению / В. Елиферов, В. Репин. – М.: Стандарты и качество, 2005. – 408 с.
11. Kuzmich, A.I. Remote Monitoring System for Mobile Objects / A.I. Kuzmich, G. Shakah, A.N. Valvachev // Proceedings of 10-th International Conference, Minsk, 2011. – P. 427–430.
12. Краснопрошин, В.В. Технология оперативного управления распределенными организационными системами / В.В. Краснопрошин, А.Н. Вальвачев // Вестн. БГУ. Сер. 1. Физика. Математика. Информатика. – 2009. – № 1. – С. 90–97.
13. Russel, S. Artificial Intelligence. A Modern Approach / S. Russel, P. Norvig. – Prentice Hall, 2010. – 1152 p.
14. Андреев, В. Методы и средства создания открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений / В. Андреев, В. Виттих // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2003. – № 1. – С. 126–137.
15. Zadeh, L. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems / L. Zadeh, G. Klir, B. Yuan. – World Scientific Pub. Co. Inc., 1996. – 840 p.
16. Троелсен, Э. Язык программирования C# и платформа .NET 4.5 / Э. Троелсен. – М.: Вильямс, 2013. – 1312 p.

Поступила 16.12.2013

REMOTE MONITORING ARCHITECTURE FOR MOBILE HETEROGENEOUS OBJECTS

A. KUZMICH, V. KRASNOPROSHIN

Issues of a typical architecture synthesis for mobile heterogeneous objects monitoring are discussed. The general problem and its solution are presented on the basis of the decision-making theory methods synthesis, process- and agent-based approaches. The reasonability of monitoring systems standardization on the basis of architecture consisting of six program agents providing subject area formalization, identification, evaluation and control solution synthesis for mobile objects on the basis of our own knowledge base for a priori known situations and experts know-how in new situations is justified.