

V. V. Tsehanovsky, V. D. Chertovskoy
Saint Petersburg state electrotechnical university «LETI»

SPECIAL FEATURES OF COMPUTER REALIZATION FOR STATIC LINEAR PROGRAMMING TASKS

Requirements to program products for computer realization of static linear programming tasks are formed. It is shown universal product is absent. It is suggested to use database InterBase in environment Delphi or C++ Builder. The possibility of such realization is confirmed by numerical example in environment Delphi. It is marked that application in environment C++ Builder is analogous but is preferred.

Realization, task, static linear programming, integration, program product

УДК 004.896, 004.414.2

С. В. Лебедев, М. Г. Пантелеев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Концептуальная модель подсистемы оценки обстановки интеллектуального агента реального времени

Анализируется роль оценки обстановки в рамках интеллектуальных агентов реального времени. Определяется множество требований и общих принципов построения соответствующих подсистем. На основе анализа подходов к оценке ситуации, а также с учетом предложенных требований и принципов формулируется концептуальная модель подсистемы. Предложен обобщенный процесс проектирования подсистемы с использованием сформулированной модели.

Интеллектуальный агент реального времени, оценка обстановки, концептуальная модель

Концепция интеллектуальных агентов (ИА) в последние годы находит все более широкое практическое применение, обуславливая актуальность разработки моделей, методов и средств проектирования и разработки программного обеспечения данного класса систем. Под ИА в рамках настоящей статьи будем понимать программную или программно-аппаратную систему, способную осуществлять автономное целенаправленное поведение в некоторой предзаданной среде (как, например, физический мир).

Внешние интерфейсы ИА включают множество сенсоров и исполнительных механизмов. По внутренней организации ИА могут подразделяться на реактивные и на основе модели [1]. К последним можно отнести так называемые делиберативные агенты [2].

Отличительной особенностью делиберативных архитектур служит использование явной внутренней символической модели мира (ММ), кон-

струируемой на основе восприятий и используемой для формирования собственных действий. Важно отметить, что ММ семантически богаче непосредственного восприятия среды. Именно такого рода описания требуются при решении сложных задач [3]. Недостатком таких систем является, в общем случае, сложность построения и большая временная емкость по сравнению с реактивными архитектурами.

На рис. 1 представлена одна из возможных архитектур делиберативного ИА, в которой за построение ММ отвечает подсистема оценки обстановки (ПОО). ПОО преобразует низкоуровневые данные, получаемые подсистемой восприятия, в высокоуровневое представление – ММ, используемая подсистемой планирования для формирования действий.

Настоящая статья посвящена основаниям процесса проектирования и разработки ПОО. Для этого определяется совокупность функциональных

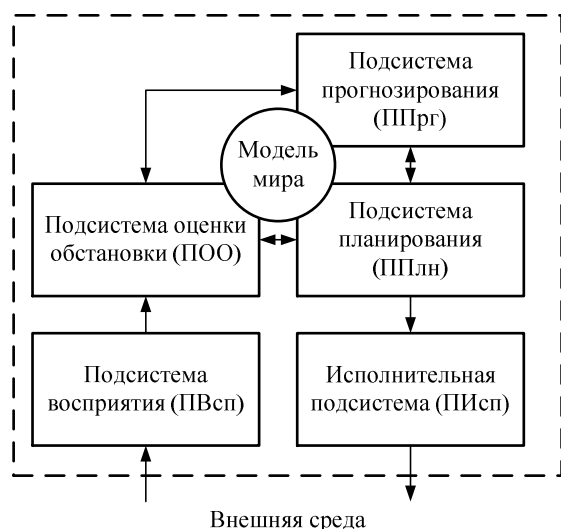


Рис. 1

требований к системе, на базе которой предлагаются принципы и концептуальная модель, учитывающие данные требования.

Функциональные требования. Определение требований предполагает фиксацию архитектуры ИА, представленной на рис. 1. ПОО занимает промежуточное положение между подсистемой восприятия и подсистемой планирования. Особенности функционирования каждой из смежных подсистем предъявляют ряд взаимосвязанных требований к ПОО.

Требования, обуславливаемые восприятием, определяются главным образом характером той среды, в которой функционирует ИА. Исходя из классификации агентских сред, предложенной в [1], имеем:

- *неполнота восприятия среды*, вызванная шумами, неточностью или невозможностью восприятия элементов, требует построения ММ на основе как восприятий, так и вычисления не воспринимаемых элементов, с фиксацией возможной неточности;

- *неопределенность* — невозможность однозначного определения будущего состояния среды на основе текущего состояния и планируемых действий. Требует периодического дополнения и уточнения ММ на основе новых восприятий;

- *историчность* (sequential) среды определяется наличием взаимосвязи между элементами среды во времени. Требует сохранения и использования истории при построении ММ;

- *динамизм среды* предполагает развитие среды параллельно с функционированием агента, требует регулярного уточнения ММ. В рамках

данного аспекта особое значение приобретает своевременность реакции агента на изменения среды. ИА, учитывающие данный фактор, образуют класс ИА реального времени (ИА РВ).

Динамизм, неопределенность и неполнота восприятия в совокупности препятствуют возможности получения полного описания среды, что обуславливает перманентный характер неопределенности относительно качественного и количественного состава среды — так называемая открытость среды.

В дальнейшем под ИА будем понимать ИА РВ, функционирующего в средах с описанными выше характеристиками.

При рассмотрении второго аспекта будем исходить из модели итеративного опережающего планирования, представленной в работе [4], как модели, предназначенной для ИА РВ, функционирующего в средах с указанными характеристиками. Для поддержания указанной модели планирования ПОО должна обеспечивать своевременное выделение значимых фрагментов ММ с постепенным их уточнением. Поддержка опережающего характера планирования осуществляется за счет использования подсистемы прогнозирования на основе актуальной ММ.

Таким образом, от ПОО ИА РВ требуется построение и уточнение ММ на основе потока восприятий и выделение значимых для подсистемы планирования элементов за заданное время.

Прежде чем от сформулированных требований переходить к рассмотрению базовых принципов построения ПОО и соответствующей концептуальной модели, рассмотрим кратко наиболее известные подходы и модели.

Оценка обстановки в широком контексте принятия решения. Оценка обстановки как этап, предвещающий принятие решения, не является прерогативой агентских систем, но исследуется в иных областях. Среди них в качестве наиболее значимых можно назвать слияние данных и ситуационную осведомленность. О широте данной области можно судить, например по статьям [5], [6].

В рамках этих направлений оценка обстановки не является самостоятельной задачей, а входит в более крупные системы, как правило, — поддержки принятия решений, т. е. ориентированные на то или иное участие человека (human-in-the-loop systems).

Рассмотрим названные направления в последовательности, отражающей «номинальную» ориентированность на автоматизацию. Анализ

данных работ позволит наметить основные идеи концептуальной модели ПОО.

Модель ситуационной осведомленности Эндсли [7] – одна из первых и наиболее известных моделей оценки обстановки. Она разрабатывалась с целью анализа когнитивной деятельности операторов сложных динамических систем (самолетов, АЭС, заводов и т. п.) включая сравнительную оценку эффективности их работы, поиск причин ошибок и выработку рекомендаций по обучению для автоматизации процесса управления.

Ситуационная осведомленность определена как восприятие элементов среды во времени и пространстве, их осмысление (понимание значения) и прогнозирование состояния. В соответствии с определением выделены три уровня процесса формирования ситуационной осведомленности.

Рассматриваемый процесс характеризуется высокой динамикой, большими объемами и структурной сложностью обрабатываемой информации, а также необходимостью одновременного решения нескольких задач в условиях ограниченных субъективных возможностей (например, рабочей памяти). В работе отмечена роль ментальных моделей, формируемых в процессе обучения и получения опыта и способствующих формированию ситуационной осведомленности на всех уровнях. *Ментальные модели* представляют собой конкретизируемые структуры (шаблоны) для описания состояний и поведения некоторой системы или предметной области и задают «вектор» интерпретации поступающей информации. Именно наличие таких моделей отличает эксперта от новичка.

Сопоставление ментальной модели с моделью ситуации (ситуационной осведомленностью) основано на механизме сопоставления с образцом, где в качестве элементов сравнения выступают *характерные стимулы* (salient cues). Таким образом, ментальные модели опосредуют ситуационную осведомленность и процесс принятия и исполнения решений. Важной особенностью модели служит двунаправленный характер взаимодействия. С одной стороны, характерные стимулы восприятия влияют на формирование первого и последующих уровней осведомленности, выбор ментальной модели, формирование целей и планов. С другой стороны, новые цели влияют на выбор ментальной модели, фокусирующей внимание на тех или иных воспринимаемых элементах.

Слияние данных (Data Fusion) представляет собой процесс комбинирования множества полученных из разных источников данных для вычисления или предсказания состояний некоторой части реальности. Поскольку проблема слияния данных представляет интерес для разных профессиональных сообществ, с целью повышения эффективности взаимодействия максимально широкого спектра специалистов группой по слиянию данных (Data Fusion Group) Объединенной дирекции лабораторий (Joint Directors of Laboratories) Министерства Обороны США была разработана общая функциональная модель слияния данных JDL DF. Рассмотрим одну из редакций данной модели, предложенную в [8].

Обобщенная модель слияния данных – это набор модулей (уровней), объединенных общей шиной, с описанием функции каждого модуля. В основе разделения два аспекта – технический и прагматический. Технический аспект характеризуется типами данных, методами их обработки и моделями представления; прагматический – сущностями, в качестве которых могут выступать сигналы, объекты, агрегаты и т. п., что определяется уровнем модели и интересами конечного пользователя.

Выделены следующие уровни: нулевой – оценивание (assessment) сигнала/признака; первый – оценивание индивидуальных сущностей; второй – оценивание ситуации; третий – оценивание воздействия (impact); четвертый – оценивание процесса слияния данных через показатели эффективности и производительности.

При упорядочении уровней предполагается возможность не только восходящего процесса вычисления – конструктивный процесс, но и нисходящего – аналитический процесс, что рассматривается как вычисление на основе контекста. Это позволяет, например, вычислять индивидуальную сущность, для которой нет данных нулевого уровня.

Кроме того, предлагается модель управления ресурсами, двойственная к модели слияния данных и образующая с ней единую систему. Между моделями возможны не только межуровневые, но также и перекрестные связи.

В рамках данной базовой модели рассматриваются различные аспекты, в том числе применение различных методов для решения отдельных задач оценки ситуации (методы классификации,

вероятностные модели и т. д.). К наиболее актуальным темам последнего десятилетия в области слияния данных и информации относят [6]: теорию моделирования ситуаций, процесс поддержки принятия решений, стандартизированные методы оценки эффективности и производительности, методы проектирования систем, представление информации.

Принципы построения и функции ПОО.

В соответствии с функциональными требованиями выделим три базовые функции ПОО: вычисление и уточнение ММ на основе восприятий, а также выделение значимого фрагмента ММ на основе запросов подсистемы планирования. Реализация функций должна учитывать определенные ранее требования.

Модель ПО является метамоделью по отношению к ММ и формируется на основе экспертных знаний. В общем виде она может быть представлена как

$$DM = E = O \cup R,$$

где DM – модель ПО; E – множество элементов; O – множество объектов; R – множество отношений. ММ конкретизирует элементы модели ПО (можно провести аналогию с взаимосвязью схемы XML-документа с самим XML-документом).

Учитывая неполноту восприятия, ММ представляет собой

$$WM = \{e\}_p \cup \{e\}_c : \{e\}_p \cap \{e\}_c \neq \emptyset, \quad (1)$$

где WM – ММ; $\{e\}_p$ – множество *воспринятых* элементов; $\{e\}_c$ – множество *вычисленных* элементов.

Функция вычисления ММ реализуется как вычисление факта существования одних элементов на базе других. Возможность вычисления опирается на априорные знания, представленные в модели ПО. Т. е. происходит вычисление на основе модели ПО (первый принцип):

$$F(\{e\}, DM) = \{e\}'.$$

Исходные параметры функции вычисления – воспринятые элементы:

$$F(\{e\}_p, DM) = \{e\}_c.$$

С учетом непересечения множеств по формуле (1) получаем множество вариантов вычисления в зависимости от конкретного восприятия: некоторые элементы могут быть как восприняты, так и вычислены. Обобщая, получаем следующий принцип вычисления: одна модель ПО – множе-

ство вариантов вычисления ММ (второй принцип). Данный принцип отвечает свойству открытости среды.

Вторая функция ПОО – *уточнение ММ* на базе новых восприятий:

$$F(WM, \{e\}'_p, DM) = WM', \quad (2)$$

где WM' – ММ, уточненная на базе новых восприятий; $\{e\}'_p$ – множество *повторно* воспринятых элементов. Данный принцип отвечает требованию историчности.

Объединим понятия вычисления и уточнения под общим термином *актуализация*, используя для этого формулу (2), в которой $\{e\}'_p$ будет трактоваться как множество воспринятых элементов, в том числе и повторно.

Открытость и динамизм среды, а также особенности организации планирования, обуславливают принцип динамического итеративного вычисления ММ (третий принцип). Данный принцип позволяет адаптировать вычисление ММ к работе смежных подсистем: «динамическое» подразумевает структурную, а «итеративное» – временную адаптацию процесса вычисления. Выделение временных итераций позволяет переписать формулу (2) следующим образом:

$$F(WM_t, \{e\}_{p_{t+1}}, DM) = WM_{t+1}, \quad (2)$$

где индекс t обозначает момент времени.

Очевидной реализацией указанного принципа служит грануляризация структуры процесса вычисления, которая позволит компоновать вычислительную итерацию в заданных ограничениях. Ограничения на итерацию можно рассматривать как модификаторы процесса вычисления. Модификаторы можно представить как множество правил:

$$RL = \langle RL_t, RL_f, RL_{ct} \rangle,$$

где RL_t – правила компоновки итерации исходя из выделенного времени; RL_f – правила фокусировки вычисления на значимых элементах в соответствии с запросами подсистемы планирования; RL_{ct} – правила интерпретации элементов ММ в соответствии с постановкой задачи подсистемы планирования. Модификаторы реализуют третью функцию ПОО в заданных ограничениях.

Окончательно функция вычисления (3) имеет следующий вид:

$$F(WM_t, \{e\}_{p_{t+1}}, DM, RL) = WM_{t+1}.$$

Концептуальная модель ПОО ИА РВ. Ведущим мотивом разработки концептуальной модели служит создание вычислительного инварианта, который можно было бы доопределить и/или настроить для конкретной ПО, т. е., иными словами, «настроить» ИА РВ для работы в заданной среде. Такой подход к проектированию носит название модель-ориентированного. Например, в [9] рассматривается подход построения системы слияния, базирующейся на использовании моделей. Модели формализуют на основе экспертных знаний, после чего интегрируют в систему слияния данных, в рамках которой происходит их последующее обучение. Модели используются для представления отношений между событиями и объектами; вывода ситуаций и угроз; оперирования неопределенностью. В качестве общего подхода к проектированию с использованием моделей можно обратиться к спецификации MDA (ModelDriven Architecture – архитектура, управляемая моделью) [10].

Выделяя в задаче проектирования проблемы представления ПО и вычисления ММ, определим концептуальную модель разработки ПОО как

$$KM = \langle MPO, MPP \rangle,$$

где МПО – модель ПО; МПП – модель проектирования и разработки ПОО. Последняя формализует архитектуру и процесс функционирования ПОО. МПП представляет собой вычислительный инвариант, модифицируемый в соответствии с заданной МПО.

В свою очередь МПО представляет собой совокупность трех моделей, фиксирующих экспертные знания:

$$MPO = \langle MBM, CMM, MBnM \rangle,$$

где MBM – модель внешнего мира; CMM – ситуационная модель мира; MBnM – модель внутреннего мира.

MBM фиксирует объекты и отношения среды, воспринимаемые и выводимые ИА. MBnM – это множество сущностей подсистемы планирования, необходимое и достаточное для организации взаимодействия с ПОО. Например, это могут быть цели, намерения, желания, планы и т. п. CMM – связующее звено между MBM и MBnM, которое позволяет интегрировать и интерпретировать элементы MBM в свете отношений с элементами MBnM. В качестве базового интерпретирующего отношения предлагается использовать понятие *внешнего конфликта*, фиксирующего элементы MBM, необходимые или препятствующие реали-

зации элементов MBnM (например, элементы среды, препятствующие достижению поставленной цели). Предложенная интерпретация лежит в основе механизма фокусировки вычисления, когда из всех воспринятых элементов особое внимание уделяется конфликтным элементам.

МПП также включает три модели:

$$MPP = \langle MP, MBch, MB \rangle,$$

где МП – модель представления; MBch – модель вычислимости; MB – модель вычисления. МП задает способ формализации ММ. MB формализует инвариантный процесс оценивания ситуации как процесс восприятия и вывода элементов. Получаемый на основе данной модели вычислительный процесс должен удовлетворять установленным ранее требованиям и реализовывать предложенные принципы построения ПОО. MBch – вспомогательная модель, задает способ отображения МП на MB, позволяя определить множество способов вычисления элементов ММ (поддержка второго принципа построения ПОО).

Предложенная концептуальная модель ПОО, учитывающая множество функциональных ограничений, выступает в качестве основы для разработки метода проектирования ПОО ИА РВ, а также для создания соответствующего вспомогательного инструментария.

В целом процесс проектирования и разработки ПОО с использованием предложенной концептуальной модели будет заключаться в реализации некоторого отображения МПО на МПП с последующей генерацией и/или дополнением исполнительного кода:

1. Подготовка МПО – формализация MBM, MBnM и CMM. Данные модели должны фиксировать знания экспертов.

2. Интеграция МП в вычислительный инвариант, т. е. в MB, с использованием MBch. По большей части, это выбор алгоритмов, используемых для генерации высокоуровневой ММ на основе восприятий.

3. Дополнение и настройка MB. В окончательном виде MB должна реализовывать механизмы, удовлетворяющие функциональные требования и реализующие принципы построения ПОО.

В качестве основы для реализации модель-ориентированного подхода целесообразно рассмотреть модели и методы, а также доступные готовые инструментальные средства, относящиеся к одной из перспективных и развивающихся областей, исследующих вопросы представления и обработки знаний, каким является семантический веб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence. A modern approach. 3rd edition. New Jersey: Prentice-Hall, 2010. 1152 p.
2. Genesereth M. R., Nilsson N. J. Logical Foundations of Artificial Intelligence. Palo Alto: Morgan Kaufmann, 1987. 406 p.
3. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
4. Пантелеев М. Г. Формальная модель опережающего итеративного планирования действий интеллектуальных агентов реального времени // Тр. 14-й нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2014. Казань: Физматлит, 2014. Т. 1. С. 323–334.
5. Foo P. H., Ng G. W. High-level Information Fusion: An Overview // J. Adv. Inf. Fusion. 2013. Vol. 8, № 1. P. 33–72.
6. Blasch E. P. High level information fusion (hlif): Survey of models, issues, and grand challenges // Aerospace and Electronic Systems Magazine. IEEE. 2012. Vol. 27, № 9. P. 4–20.
7. Endsley M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems // Human Factors: The J. of the Human Factors and Ergonomics Society. 1995. Vol. 37, № 1. P. 32–64.
8. Foundations of Situation and Threat Assessment / J. Llinas, D. L. Hall, A. N. Steinberg, M. E. Liggins (ed.) // Handbook of Multisensor Data Fusion: Theory and Practice. London: CRC Press, 2009. P. 437–501.
9. Das S. High-level Data Fusion. Norwood: Artech House, 2008. 373 p.
10. Kleppe A. G., Warner J. B., Bast W. MDA explained: the model driven architecture: practice and promise. Boston: Addison-Wesley Professional, 2003. 192 p.

S. V. Lebedev, M. G. Panteleyev

Saint Petersburg state electrotechnical university «LETI»

A SITUATION ASSESSMENT CONCEPTUAL MODEL FOR A REAL-TIME INTELLECTUAL AGENT

A role of a situation assessment within intellectual agents is analyzed. A set of requirements and design principles is proposed. A situation assessment conceptual model is developed based on the set of requirements and principles. A basic situation assessment subsystem design approach is proposed based on the model.

Real-time intellectual agent, situation assessment, conceptual model

УДК 681.3.06(075.8)

А. И. Воробьев

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

А. М. Колбанёв

Объединенная компания «Дом.ru InterZet»

М. О. Колбанёв

Санкт-Петербургский международный банковский институт

Модель оптимизации энергопотребления умными вещами

Описывается проблема оптимизации энергопотребления в «Интернете вещей», предлагается модель для оценки и оптимизации энергопотребления умными вещами, приводится численный пример выбора варианта передачи данных между умными вещами по критерию энергопотребления.

Информационные процессы, Интернет вещей, умные вещи, энергопотребление, принцип Р. Ландауэра

Объектом исследования в настоящей статье служат умные вещи (УВ), представляющие собой

терминальные устройства «Интернета вещей», создание которого относится к числу самых акту-