

МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СТРАТЕГИЙ ИГР В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ

В. А. Бобина

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 17.02.2016 г.

Аннотация. В данной статье представлена методология мультиагентной системы для верификации времени, знаний, и стратегий, с помощью математического представления системы обработки знаний. В связи с этим, исследуется содержание ATL и эпистемологические формулы для различных классов экспертных систем, представлен алгоритм верификации моделей, их реализация, а также экспериментальные результаты.

Ключевые слова: верификация, алгоритмы, логика альтернированного времени, верификация моделей мультиагентных систем (MAS).

Annotation. In this paper we consider methodology for verifying time, game strategies and knowledge in multi-agent systems with the aid of mathematical implementation for interpreted system. For this purpose we investigate the interpretation of alternating-time temporal logic and epistemic formulae for different classes of expert systems. Also we present model checking algorithms, their implementation and experimental results.

Keywords: verification, algorithms, Alternating-time Temporal Logic (ATL), Multi-Agent systems (MAS).

ВВЕДЕНИЕ

Верификация моделей была изначально предложена для проверки установленных требований, на момент существования темпоральной логики. Темпоральные логики являются языком, на котором удобно формулировать утверждения, использующие понятия времени, таким образом, истинность формулы зависит от момента. Недавно, однако, исследователи расширили техники верификации моделей до других модальных логик, включая некоторую специфичную логику MAS, таким образом, позволяя проверить формально в пределах MAS относительно временных, эпистемологических и других характеристик. Эти работы разделяют подход к верификации моделей, но различаются в многообразии языков описания требований и в особенностях использованного метода проверки модели. В случае параллельной разработки (внедренной в ATL) это логические рассуждения о стратегии в многопользова-

тельских играх. Были разработаны методы проверки моделей касательно такой логики. Позднее Хук и Вулдридж предложили логику ATEL, расширяющую логику альтернированного времени с эпистемологическими операторами, чья семантика была определена через модели многоагентных систем. Однако, эта идея вызвала множество споров, в связи с её неполным соответствием первоначальному смыслу логики ATL. С учетом этого и наряду с обсуждениями, были предложены разные техники, базирующиеся на единственном существующем на тот момент контроллере модели ATL под названием МОСНА – определенным с целью сокращения проблем логики ATEL, в особенности задачи выполнимости. Однако, законченной реализации на данный момент так и не существует. Данная статья рассматривает дальнейший прогресс в данной области через раскрытие понятия эпистемологического и ATL операторов в контексте системы обработки знаний, изучая смысловую нагрузку MAS и раскрытие методологии верификации для нее.

Мультиагентная система

Агент – вычислительная система, помещенная во внешнюю среду, способная взаимодействовать с ней, совершая автономные рациональные действия для достижения целей.

Под автономностью обычно понимают отсутствие прямого вмешательства человека или другой управляющей сущности. Также необходимо отметить, что внешняя среда не контролируется агентом, т. е. он способен лишь оказывать на нее влияние. Таким образом, мультиагентная система – это направление искусственного интеллекта, которое для решения сложной задачи использует системы, состоящие из множества взаимодействующих агентов.

Логика альтернированного времени (Alternating-time Temporal Logic, ATL)

Определим синтаксис логики альтернированного времени. Пусть мультиагентная система включает в себя конечный не пустой набор агентов $AG = \{ag_1, ag_2, \dots, ag_n\}$, который находится в единой внешней среде с конечным не пустым множеством состояний S . Каждый i -ый агент системы представляет собой набор: $ag = \{ACA_{ag}, I_{ag}, action_{ag}, refine_{ag}\}$, где

- $ACA_{ag} = \{aca_{ag,1}, \dots, aca_{ag,m_{ag}}\}$ – конечное не пустое множество действий конкретного агента;

- I_{ag} – конечное не пустое множество внутренних состояний данного агента;

- $action_{ag}: I_{ag} \rightarrow ACA_{ag}$ – функция выбора действия, сопоставляющая каждому внутреннему состоянию определенное действие для данного агента;

- $refine_{ag}: I_{ag} \times S \times ACA_{ag} \rightarrow I_{ag}$ – функция обновления внутреннего состояния, сопоставляющая предыдущему внутреннему состоянию, новому состоянию внешней среды и действию, совершенному агентом, новое внутреннее состояние.

Общее действие, совершаемое мультиагентной системой, представляет собой вектор действий каждого агента системы, а именно:

$$ACS = \left\{ (aca_{ag_1}, \dots, aca_{ag_n}) \mid aca_{ag_i} \in ACA_{ag_i} \right\}.$$

Участие i -го агента в общем действии системы будем обозначать следующим образом:

$$acs[ag] \in ACA_{ag}.$$

Модель исследуемой системы является фундаментом для методов формальной спецификации, верификации и автоматического тестирования. Обычно семантика формулы альтернативного времени (ATL) дается в терминах сходящейся игровой структуры, которая представляет собой кортеж $CGS = \langle \Sigma, S, AP, h, d, \delta \rangle$, где Σ – множество игроков, S – конечное не пустое множество состояний, AP – множество атомарных предложений, $h: AP \rightarrow 2^S$ – оценочная функция, d – количество ходов, доступных i -му игроку (ходам присваиваются числа натурального ряда) и δ – оценочная функция, определяющая развитие системы.

Стратегия i -го игрока может быть представлена функцией f_i , сопоставляющей ряду состояний множество натуральных чисел, которое соответствует ходу, доступному для игрока. Например, $f_i: S^+ \rightarrow N$, где $f_i(s) < d(i, s)$ для всех выраженных состояний последовательности. Для заданного состояния $s \in S$, множество игроков Γ , и множество стратегий $F_\Gamma = \{f_i \mid i \in \Gamma\}$ представляют $(s, F_\Gamma) \subseteq S^+$ – набор последовательностей, являющихся подмножеством s . Последовательность состояний s_0, s_1, \dots , где каждый элемент s_i , $i \geq 0$ связан с последующим s_{i+1} через оценочную функцию δ , выраженную через значение π и $\pi(i) = s_i$ описывает i -ое состояние последовательности. Последовательность состояний обычно называют вычислениями.

Семантика формул описания внешней среды (ATL) будет описываться с помощью отношения $s \models \varphi$ между моделью, состоянием внешней среды $s \in S$ и формулой языка спецификации поведения внешней среды, удовлетворяющего следующим семантическим правилам:

- $s \models p$ тогда и только тогда, когда $s \in h(p)$,
- $s \models \neg \varphi$ тогда и только тогда, когда $s \not\models \varphi$,
- $s \models \varphi_1 \vee \varphi_2$ тогда и только тогда, когда $s \models \varphi_1$ or $s \models \varphi_2$,
- $s \models [\alpha] \varphi$ тогда и только тогда, когда $s \models \varphi$.

Первое семантическое правило описывает интерпретацию пропозициональных символов, второе и третье являются стандартными для логических связок. Наибольший интерес представляет четвертое семантическое правило, интерпретируемое как «Если система в состоянии внешней среды s выполнит действие, удовлетворяющее условию α , то внешняя среда перейдет в одно из состояний, удовлетворяющих условию φ ». Имеет смысл обратить внимание на то, что данное выше определение основывается на непосредственном восприятии того, что каждый игрок имеет полный набор данных о системе (полное представление состояния $s \in S$ в каждый момент времени) и идеальную память.

Для спецификации свойств системы используется вариант логики альтернированного времени с логикой описания состояния внешней среды в качестве основы и формулой логики описания поведения внешней среды в качестве части модели.

Система обработки данных

Система обработки данных представляет собой формальное описание вычислений, выполняемых набором агентов $\Sigma = \{1, \dots, n\}$. Каждый i -ый агент характеризуется конечным множеством индивидуальных внутренних состояний L_i и конечным множеством действий Act_i , которые могут быть выполнены. Действия выполняются в соответствии с правилом $P_i: L_i \rightarrow 2^{Act_i}$. Заметим, что определенное выше правило предусмотрено и для недетерминированности. При условии, что реакция внешней среды недетерминирована, но подчиняется некоторым законам, позволяющим определить возможную реакцию на те или иные действия мультиагентной системы. С формальной точки зрения, система обработки данных или интерпретируемая система (IS) представляет собой кортеж:

$$IS = \left\langle (L_i, Act_i, P_i, t_i)_{i \in \Sigma \cup \{E\}}, I, h \right\rangle.$$

IS доказывают подходящую формулировку в отношении временных и эпистемологических характеристик агентов. Можно заметить, что IS и сходящаяся игровая структура (CGS) тесно связаны между собой.

1. Обе структуры включают в себя множество агентов (или игроков) Σ , а также набор состояний, называемый глобальными состояниями в IS.

2. Функция d , возвращающая число шагов доступных для игрока в конкретном состоянии, на интуитивном уровне отвечает правилу P_i в IS.

3. Функция оценивания δ представляет собой «доступность» соотношений между состояниями, также как и оценочная функция t в IS.

Отметим существенные различия между IS и CGS:

1. CGS подразумевает, что каждый игрок обладает полной информацией о состоянии $s \in S$ в любой момент времени. Тогда как в IS агент осведомлен только об индивидуальном внутреннем состоянии.

2. Описание стратегии как функции, ставящей в соответствие множеству ряда состояний множество действий. Однако, в случае IS мы описываем стратегию i -го агента как функции, ставящую в соответствие индивидуальному локальному состоянию конкретное действие i -го агента.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Условия: Агент (или игрок) играет в простую карточную игру против другого агента, оказывая влияние на окружающую среду (обычно, среда не контролируется агентом). В колоде имеется только 3 карты: козырь (A), король (K) и королева (Q). Козырь побеждает короля, король – королеву, а королева в свою очередь – козыря. Первоначальное состояние системы: карты не распределены. На первом шаге окружающая среда раздает карты игрокам и одну карту оставляет себе. На втором шаге игрок имеет возможность удержать карту или поменять ее. Выясним, имеет ли игрок стратегию выигрыша в исходном состоянии, проверив следующую формулу:

$$init \rightarrow playerF(player_win).$$

В отличие от изначально предполагаемого значения ATL операторов, данная формула оказывается верной (и возвращает true) в случае, если игрок угадывает шаг, ведущий к

победе. Однако, формула неверна (и возвращает false), если она оценивается классом однозначно интерпретируемой системы. Этот результат подтверждает важность интуиции игрока и невозможность принудительного выигрыша.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье мы выделили три основных класса IS для оценки временных, эпистемологических и ATL операторов. Агенты первого класса могут угадывать шаги, здесь ATL операторы выражают результат того, что может повлечь за собой действие агента. Второй класс представляет собой детерминированных агентов, соответственно ATL операторы показывают, какие действия агент может осуществить принудительно. Третий класс представляет собой не детерминированную, интерпретируемую систему, в которой группа агентов делает выбор стабильно, единообразно с целью выполнения конкретного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фихтенгольц Г. М.* Основы математического анализа. – М. : Наука, 1968. – 440 с.
2. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект. Современный подход. – Вильямс, 2007.

Бобина Влада Анатольевна – аспирант кафедры вычислительной математики и прикладных информационных технологий Воронежского Государственного Университета, Воронеж, Российская Федерация.
E-mail: bobina.vlada@gmail.com

3. *Зайцева Л. В., Прокофьева Н. О.* Модели и методы адаптивного контроля знаний // Educational Technology & Society. – 7(4). – 2004.

4. *Пасхин Е. Н., Митин А. И.* Автоматизированная система обучения. ЭКСТЕРН. – М. : Изд-во Моск. ун -та, 1985. – 144 с.

5. *Растринин Л. А.* Обучение с моделью. Вопросы кибернетики. Человеко-машинные обучающие системы. – М. : АН СССР, 1979, – с. 40–49.

6. *Свиридов А. П.* Основы статистической теории обучения и контроля знаний. – М. : Высшая школа, 1981. – 262 с.

7. *Parnas D. L., Eng P., Soltys M.* Basic Science for Software Developers // Dept. of Computing and Software, Faculty of Engineering, McMaster Univ., Hamilton, ON, Canada. Online Report, 2002.

8. *Bellifemine F. L., Caire G., Greenwood D.* Developing Multi-Agent Systems with JADE. Wiley, 2007.

9. Jacques Ferber, Multi-Agent Systems: An Introduction to Artificial Intelligence / Addison-Wesley, 1999.

10. Gerhard Weiss, ed. by, Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence / MIT Press, 1999.

11. Carl Hewitt, Jeff Inman. DAI Betwixt and Between: From «Intelligent Agents» to Open Systems Science IEEE Transactions on Systems / Man, and Cybernetics. Nov./Dec. 1991.

12. *Wooldridge M. J.* An Introduction to Multiagent Systems. Wiley, 2002.

Bobina Vlada Anatolevna – PG student of the Department of Computational Mathematics and Applied Information Technologies of Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation.
E-mail: bobina.vlada@gmail.com