УДК 004.054:519.68:681.51

РЕФЛЕКСИВНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ И ЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ КОЛЛЕКТИВА АГЕНТОВ

Артеменко В.А., Андрюхин А.И.
Донецкий Национальный Технический Университет
кафедра прикладной математики и информатики
E-mail: veraa86@rambler.ru

Аннотация

Артеменко В.А., Андрюхин А.И., Рефлексивная компьютерная модель и логическая идентификация состояния коллектива агентов. *Рассмотрено понятие рефлексивного предприятия, представлена система моделей для описания логического состояния коллектива агентов. Представлен метод решения системы булевых уравнений. Приведены результаты расчетов.*

Общая постановка проблемы

Рефлексивный подход при использовании в системе управления предприятиями учитывает поведение других участников рынка и способствует принятию обоснованного адекватного управленческого решения.

Рефлексия предприятия как социальной системы формируется через ее рефлексивные элементы: сотрудников, группы и другие социальные образования. Человек является базовым рефлексивным элементом любой социальной системы.

Рассматривая систему корпорации, определяем, что сотрудники корпорации постоянно вовлечены в различные формы сотрудничества друг с другом. Для выполнения глобальной цели задачи могут быть подразделены и адресованы разным сотрудникам. Сотрудники выполняют свои действия в локальном масштабе, но при этом они могут общаться друг с другом для обмена информацией и координации своих действий для получения более эффективного и быстрого результата. Когда сотрудники сообща выполняют одну задачу, они всегда должны реагировать на действия, предпринимаемые друг другом. [1]

Таким образом, для эффективного сотрудничества в рамках не только одного предприятия, но и рынка в целом, участники должны оценивать не только собственные действия, но и действия, предпринимаемые конкурентами. При рефлексивном подходе мы исследуем систему многократных отражений наблюдаемой реальности и субъектами могут выступать агенты, которыми можно считать отдельных людей, фирмы и предприятия, страны.

В работе определяются логические состояния коллектива агентов на основании их оценок истинности множества наблюдаемых отношений, используя модель коллектива и программу эффективной обработки данных наблюдений.

Постановка задачи

Набор определенных состояний внешней среды и элементов систем в каждый момент времени назовем ситуацией. Ситуация может быть описана множеством отношений $\mathbf{R}$ между объектами внешней среды и элементами систем $\mathbf{S_i}$. На базе информации, поступающей из внешней среды и собственных подсистем, система $\mathbf{S_i}$ может построить информационную модель ситуации $\mathbf{A}$, которую мы обозначим $\mathbf{J_i(A)}$ – информационная модель ситуации $\mathbf{A}$ для системы $\mathbf{S_i}$. Само состояние модели $\mathbf{J_i(A)}$ описывается путем указания истинности некоторых предикатов $\mathbf{P_{ij}(A)}$. Эти предикаты соответствуют отношениям $\mathbf{r_{ij} \in R_i}$, где $\mathbf{R_i}$ – множество отношений для системы $\mathbf{S_i}$, которые определяются на основании ее данных наблюдений.

Рассмотрим коллектив из **N** агентов, состояние каждого из которых может быть описано набором булевых переменных $\mathbf{a_i=(a_{i,1},\ a_{i,1},\ldots,\ a_{i,n}),i=1,N}$[2-3]. Будем понимать под состоянием ситуации **A** в определенные моменты времени $\mathbf{t_1,\ t_2,\ldots,\ t_K\ ,k=1,K}$ значения компонентов $\mathbf{a_i}$. Каждый агент $\mathbf{a_i}$ выполняет оценку ситуации **A** указанием истинности или ложности булевозначной функции $\mathbf{f_i(t_k,A)}$, которые принадлежат **П**. Считаем, что функционирование агентов представимо наиболее применяемой автоматной моделью для описания систем согласно рис.1.

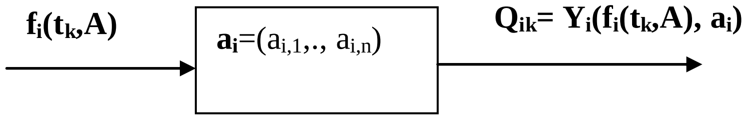

Рисунок 1 - Оценка значения $\mathbf{f_i(t_k,A)}$ агентом $\mathbf{a_i}$ логическим значением $\mathbf{Q_{ik}}$.

Следовательно, информация, получаемая в моменты времени $\mathbf{t_k,\ k=1,K}$, может быть выражена системой булевых уравнений

$$\mathbf{Y_i(f_i(t_k,A),\ a_i)\oplus Q_{ik}=0,i=1,N,\ k=1,K} \qquad (1)$$

где $\mathbf{Q_{ik}}\in$(**True,False**), $\oplus$(**Exor**)-операция сумма по модулю 2.Далее считаем, что значения **True(False)** кодируются **1(0)** соответственно.

Пусть **P1**(**A**) и **P2(A)** булевозначные функции (предикаты, булевы функции). Определим булеву функцию **T(P1,P2)** равную 1,если **P1=P2** и 0 в противном случае. Тогда значение функции **T(P1,P2)** можно вычислять согласно формуле (2), следуемой из ее таблицы истинности.

$$\mathbf{T(P1,P2)=\neg(P1\oplus P2)} \qquad (2)$$

Легко показать, что для булевой переменной *x* $\mathbf{T(x,0)=\overline{x}}$, $\mathbf{T(x,1\ )=x}$.

Важно отметить, что система булевых уравнений (1) может не иметь решений для определенного момента времени $\mathbf{t_k}$ или определенного множества **П**.

Примерами являются известные классические парадоксы, которые показывают ограниченность булевой логики для описания человеческого мышления, т.е. нет булевых решений для систем логических уравнений, которыми мы описываем парадоксы.

1.Парадокс лжеца: «Я лгу».

2.Парадокс о Сократе и Платоне: Сократ: «То, что сказал Платон, есть ложь», Платон: «Сократ говорит только правду» .

3.Парадокс Журдэна (эквивалент предыдущего парадокса)

«Второе предложение ложно. Первое предложение верно» .

4.Парадокс Альберта Саксонского: *Q*1: «Предложение *Q*2 ложно»;

*Q*2: «Предложение *Q*3 ложно»; *Q*3: «Предложение *Q*1 ложно».

Для этих парадоксов нет булевых решений.

Рассмотрим парадокс лжеца. Обозначим через **Q** тип высказывающего человека.

Имеем уравнение $\mathbf{Q=\ T(Q,False)=T(Q,0)}$ и получаем противоречие $\mathbf{Q=\overline{Q}}$.

Рассмотрим парадокс Журдэна. Учитывая кодировку **True(False)** соответственно **1(0),** получаем уравнения $\mathbf{Q1=T(Q2,0),\ Q2=T(Q1,1).}$ Отсюда $\mathbf{Q1=\overline{Q2},\ Q1=Q2}$.Складывая их по модулю 2, получаем $\mathbf{Q1\oplus Q1=\overline{Q2}\oplus Q2}$ или 0=1.

Рассмотрим парадокс Альберта Саксонского. Имеем уравнения $\mathbf{Q1=T(Q2,0),}$ $\mathbf{Q2=T(Q3,0),\ Q3=T(Q1,0).}$ Согласно (2) $\mathbf{Q1=\overline{Q2},\ Q2=\overline{Q3},\ Q3=\overline{Q1}}$. Складывая их по модулю 2, получаем $\mathbf{Q1\oplus Q2\oplus Q3=\overline{Q1}\oplus\overline{Q2}\oplus\overline{Q3}}$. Прибавляя к левым и правым частям $\mathbf{Q1\oplus Q2\oplus Q3}$, получим $\mathbf{0\oplus 0\oplus 0=1\oplus 1\oplus 1}$ или **0=1.**

Важной для анализа ситуаций в различных научных дисциплинах, является системная модель, в которой взаимодействуют системы (агенты, субъекты), оценивающие истинность предикатов, которые ассоциируем с соответствующими отношениями в определенное множество моментов времени. Считаем, что возможны три типа агентов, которые :

а) всегда правильно оценивают наличие или отсутствие отношения или истинность соответствующего предиката;

б) всегда неправильно оценивают истинность предиката, т.е. инвертируют его значение;

в) случайным образом выполняют оценку истинности предикатов.

Для кодировки 1,2,3 типа агента $\mathbf{a_i}$ будем использовать два двоичных бита ($\mathbf{a_{i1}, a_{i2}}$) со следующими значениями (0,0), (1,0), (0,1) соответственно. Сопоставим также каждому агенту случайную величину ξ_i. В общем случае, она принимает в определенный момент времени значения 0 или 1 согласно некоторому распределению, но в данной работе, мы считаем, что ξ_i =0(1) с вероятностью $\mathbf{p_i(1-\ p_i)}$ соответственно. Тогда следуя автоматной модели на рис.1, функция отклика таких агентов на входной сигнал $\mathbf{f_i(t_k,A)}$ может быть записана следующим образом

$$\mathbf{Y_i(f_i(t_k,A),\ a_i)\oplus Q_i= f_i(t_k,A) \oplus a_{i1}\oplus \xi_{ik}\ a_{i2})\oplus Q_{ik} =0,\ i=1,N,\ k=1,K\ .} \qquad (3)$$

При ξ_{ik} =0 отклик **i**-го агента в момент времени $\mathbf{t_k}$ совпадает с выходной реакцией агента первого типа. При ξ_{ik} =1 отклик агента совпадает с выходной реакцией агента второго типа. Подчеркнем, что если в один момент времени $\mathbf{t_k}$ выполняется **i**-ым агентом несколько оценок, то последним соответствуют столько же переменных ξ. Заметим, что в приведенных выше парадоксах действуют агенты 1 и 2 типов, которые можно кодировать одной компонентой $\mathbf{a_{i1}}$ равной 1 и 0 соответственно. При этом $\mathbf{Y_i(f_i(t_k,A),\ a_i)= \neg(\ f_i(t_k,A) \oplus a_{i1})= Q_{ik}}$.

Можно условно интерпретировать уравнения (3), как преобразование агентом $\mathbf{a=(a1,a2,\ \xi_a)}$ булевого значения **f** в значение $\mathbf{f \oplus g(a1,a2,\ \xi_a)}$ в определенный момент времени. Построив таблицу истинности, в которой представлены все случаи изменения **f** выражением $\mathbf{a_1\oplus \xi_a\, a_2}$ и доопределив ее, можно показать, что простейшей функцией является $\mathbf{g(a1,a2,\ \xi_a)=a1\vee a2^*\ \xi_a\overline{a1}}$.

Рассмотрим простой пример для уяснения основных моментов данной модели. Предположим, что два агента А и В выполняют взаимные оценки: оценка А: В – агент первого типа, оценка В: А - не агент первого типа. Какой вывод можно сделать согласно этим оценкам ?

Обозначим неизвестные компоненты типов агентов через $\mathbf{A - (a_1,\ a_2,\ \xi_a)}$, $\mathbf{B - (b_1,\ b_2,\ \xi_b)}$. Так как информация для ситуации принятия решения представлена для одного момента времени, считаем $\mathbf{f_i(t_k,A) = f_i(A)}$. Согласно взаимным оценкам **A** и **B**, составим и решим систему уравнений на основании вышеописанной системной модели. Истинность оценки агентом **A**, утверждения, что **B** агент первого типа есть $\mathbf{Q_a}$, равная истинности $\mathbf{f_a(A)= T(b_1,0\ )\&T(\ b_2,0)}$, которая равна 1(**True**). Истинность оценки агентом **B**, утверждения,что **A** не агент первого типа есть $\mathbf{Q_b}$, равная истинности $\mathbf{f_b(A)= T(a_1,0\ )\ \&T(\ a_2,0\ )}$, которая равна **0(False)**.

Имеем $\mathbf{T(b_1,0\ )\ \&T(\ b_2,0\ ) \oplus a_1\oplus \xi_a\ a_2=1,\ T(a_1,0\ )\ \&T(a_2,0\ ) \oplus b_1\oplus \xi_b\ b_2=0,\ a_1\&\ a_2=0\ ,\ b_1\&\ b_2=0.}$

Последние два уравнения отражают свойства кодировки. Выполнив преобразования согласно (2), получаем $\mathbf{\overline{b_1}\ \&\overline{b_2} \oplus a_1\oplus \xi_a\ a_2=1,\ \overline{a_1}\ \&\overline{a_2}\oplus b_1\oplus \xi_b\ b_2=0,\ a_1\&\ a_2=0,\ b_1\&\ b_2=0.}$

Решение этих уравнений можно найти, перебирая значения всех шести логических независимых переменных. Мы же приведем аналитическое решение, полагая, что $\mathbf{\overline{b_1}\ \&\overline{b_2} =1}$ или $\mathbf{\overline{b_1}\ \&\overline{b_2} =0.}$

1.Допустим, что $\overline{\mathbf{b_1}}$ &$\overline{\mathbf{b_2}}$ =**1**, тогда $\mathbf{b_1}$ =$\mathbf{b_2}$**=0** и $\overline{\mathbf{a_1}}$ &$\overline{\mathbf{a_2}}$**=0.** Вследствие того, что $\mathbf{a_1}$& $\mathbf{a_2}$**=0** и $\mathbf{a_1}\oplus\ \xi_a\ \mathbf{a_2}$**=0** (при условии $\overline{\mathbf{b_1}}$ &$\overline{\mathbf{b_2}}$**=1)** имеем единственное решение $\mathbf{a_1}$**=0** и $\mathbf{a_2}$**=1,** ξ_a**=0.** Это означает, что **A** – агент третьего типа.

2.Допустим, что $\overline{\mathbf{b_1}}$ &$\overline{\mathbf{b_2}}$ **=0** , тогда $\mathbf{a_1}\oplus\ \xi_a\ \mathbf{a_2}$**=1** и либо $\mathbf{b_1}$**=1** , $\mathbf{b_2}$**=0** либо $\mathbf{b_1}$**=0** , $\mathbf{b_2}$**=1,** ξ_b **=0.** Если $\mathbf{b_1}$**=1** , $\mathbf{b_2}$**=0** , то $\overline{\mathbf{a_1}}$ &$\overline{\mathbf{a_2}} = \mathbf{1}$ и следовательно $\mathbf{a_1}$**=0** и $\mathbf{a_2}$**=0.**Но это противоречит соотношению $\mathbf{a_1}\oplus\ \xi_a\ \mathbf{a_2}$**=1** и следовательно этот вариант невозможен. Рассматривая вариант $\mathbf{b_1}$**=0** , $\mathbf{b_2}$**=1,** ξ_b **=0** получаем что **B** – агент третьего типа. Окончательный ответ при рассмотрении этого примера: либо **A** – агент третьего типа либо **B** – агент третьего типа.

Эффективное решение системы булевых уравнений

Известно, что в общем виде определить решения системы булевых уравнений от **L** переменных является нетривиальной задачей уже при **L~**30. Уравнения (3) имеют специфичный вид и возможно для них использовать методику из [4]. Для этого выполняем замену булевых выражений алгебраическими выражениями, согласно $X\vee Y=\mathbf{X+Y-XY}$, $X\wedge Y=\mathbf{XY}$, $\overline{X}=\mathbf{1-X}$, $X\oplus Y=\mathbf{X+Y-2XY}$, где **X, Y** в правых частях равенств являются положительными действительными переменными не больше 1.

Логическому выражению $a1\vee a2^*\ \xi_a\overline{a1}$ соответствует алгебраическое выражение $\mathbf{a1+ a2^*\ \xi_a(1- a1)^2}$, где вещественные переменные **a1,a2,** ξ_a лежат в интервале (0,1).

Рассмотрим метод сведения решения системы булевых уравнений к нахождению минимума вещественной функции многих переменных. Вид этой функции определяется (3). Здесь мы используем известный метод решения систем уравнений $\mathbf{F_i(x)=0, i=1,N}$ путем определения $\mathbf{min}\sum_1^N \mathbf{F_i}^2(\mathbf{x})$. Если минимальное значение равно нулю, координаты точки минимума являются решениями исходной системы уравнений. Если $\mathbf{F_i(x)\geq 0}$ для **i=1,N,** то можно определять $\mathbf{min}\sum_1^N \mathbf{F_i}(\mathbf{x})$.

Мы также можем считать в момент времени $\mathbf{t_k}$, что в коллективе агентов присутствуют только агенты 1 и 2 типов, так как агенты s_i третьего типа выступает как агент 1(2) при ξ_s равным 0(1) соответственно.

Поэтому мы должны решать систему уравнений (1) для каждого момента времени $\mathbf{t_k}$ независимо. Следовательно мы решаем **К** раз систему вида

$$\mathbf{f_i(A) \oplus a_{i1}\oplus \xi_i\ a_{i2})\oplus Q_i = 0 \quad i=1,N,} \tag{4}$$

Без ограничения общности можно считать, что $\mathbf{Q_i=0}$, т.е. можно всегда рассматривать систему булевых уравнений с нулевыми правыми частями

$$\mathbf{w_i(A) \oplus a_{i1}\oplus \xi_i\ a_{i2} = 0 \qquad i=1,N} \tag{5}$$

где $\mathbf{w_i(A)= f_i(A)}$ при $\mathbf{Q_i}$ **=0** и $\mathbf{w_i(A)=1-f_i(A)}$ при $\mathbf{Q_i}$ **=1.**

Обозначим через $\mathbf{aw_i(A)}$ алгебраическое представление булевого значения $w_i(A)$. Рассмотрим для каждого k функцию

$$\sum_1^N (\mathbf{(aw_i(A)+ a1_i+ a2_i^*\ \xi_i(1- a1_i)^2-2^*\ (a1_i+ a2_i^*\ \xi_i(1- a1_i)^2)^*\ aw_i(A))}$$

Ее минимальное значение равно 0 при значениях переменных равных 0,1. Система булевых уравнений не имеет решения, если найденный минимум не равен 0. Агент имеет тип 1(2) соответственно, если для него мы получаем одинаковое значение первой компоненты 0(1) для всех **К** опросов, иначе агент имеет третий тип.

Полученные результаты

Были получены следующие результаты для систем булевых уравнений, которые заведомо имели решения и зависели от 32, 36, 40 двоичных переменных.

При решении исходных булевых уравнений расчет насильственно прекращался после истечения 30 минут.

Во втором случае использовали функцию minimize для соответствующих целевых функций действительных неотрицательных переменных не больших единицы. Найдены 256, 512, 1024 решения за 6.4, 10.9 ,15.5 секунд соответственно.

Расчеты выполнялись на двухядерном процессоре **Intel** с частотой 1.86 МГгц в системе Maple 15.

Выводы

Результаты работы, помимо теории мультиагентных систем, могут быть использованы в технической диагностике, логической идентификация систем, бизнес-моделях.

Перспективными представляются исследования условий единственности решения и обобщения модели при увеличении типов агентов и условий их взаимодействия.

Список литературы

1. Лепский В.Е., Зорина Г.И. Рефлексивное предприятие XXI века. 21//Рефлексивные процессы и управление, № 2, 2005, том 5,с.21-40
2. Wenpin Jiao. Multi-agent cooperation via reasoning about the behavior of others. Computational Intelligence, Vol. 26, Num. 1, 2010
3. J. M. Vidal.Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples.March 1, 2010.
4. Малюгин В.Д. Параллельные логические вычисления посредством арифметических полиномов. - М.: Наука, Физматлит, 1997