Бондаренко И.Б., Мишина Н.С., Мишин Я.Д.
Формализация модели многоагентной иерархической системы посредством
теории нечетких множеств

*Университет информационных технологий, механики и оптики
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-70

idsp: sciencerussia-10-04-2019-70

Практически каждая система, как природного происхождения, так и созданная человеком, так или иначе содержит в своей основе некоторую иерархию. Подобное структурирование процесса функционирования позволяет не только упорядочить имеющиеся представления об этой системе, но и определить роль каждого ее элемента, а также взаимодействие этих элементов между собой. Определенная иерархия формируется не только в рамках государства, общества, коллектива, но и переносится на искусственно создаваемые механизмы, призванные решать поставленные перед ними задачи. Проблемой в данном случае является то, каким образом данная иерархическая структура будет формализована, поскольку важно не только удовлетворить все требования к правилам построения иерархических систем, но и предусмотреть возможность автоматизации процедуры принятия решений поставленной задачи в условиях изменяющихся внешних параметров.

На сегодняшний день в рамках теории принятия решений существует большое количество работ, которые посвящены как построению сложных технических систем, [2, 4-5], так и развитию методов принятия решений, к каковым относятся:

- методы анализа иерархий и аналитических сетей;
- методы комбинаторно-морфологического анализа и синтеза систем;
- методы эволюционного проектирования [1];
- методы теории полезности и теории игр и др.

Однако, основной проблемой всех вышеперечисленных методов заключается в том, что все они оперируют довольно точными формулировками, не предполагающими наличия каких-либо неточностей, в то время как сама естественная сущность любой иерархической системы подразумевает наличие определенного рода условностей. Например, в рамках некой неавтоматизированной иерархической структуры, осуществляющий технологический процесс сборки изделия Y , подразумевается не только строгое выполнение каждым из элементов определенного действия, но и некоторое взаимодействие между ними, причем данное взаимодействие может быть как прямым (получение неоконченного изделия для выполнения следующего этапа сборки), так и косвенным (консультация по поводу последующей сборки изделия), которое необязательно будет происходить постоянно, при этом нет гарантии в том, что каждый раз оно будет осуществляться одинаково.

В то же время, при создании автоматизированной иерархической системы, состоящей из группы взаимоподчиненных интеллектуальных агентов, осуществляются попытки искоренения этих условностей и формирования некой строгой последовательности действий и подчиненности элементов, в результате чего теряется ее гибкость к постоянно возникающим новым условиям функционирования.

Все вышесказанное формирует потребность в использовании при описании сложных технических систем такой теории, которая учитывала бы все происходящие в рамках выполняемых в них действий условия и могла бы подстраиваться под них, т.е. которая сделала бы ее более устойчивой к изменениям внешней среды. Методом решения данной проблемы служит применение теории нечетких множеств для построения модели иерархической системы.

Пусть U – универсальное множество, и X – множество в пространстве U , такое, что для любого $X \subset U$ выполняется условие $X \cap U = X$ [6]. Тогда в общем виде (рис. 1) иерархическая структура данного множества будет представлена следующим образом:

$$X = \{x_{101}, x_{211}, \dots, x_{21j2}, \dots, x_{ik1}, \dots, x_{ikji}\}, \quad (1)$$

где x_{ikjn} – элемент иерархической системы;

i – уровень иерархии, $i=1 \dots I$;

k – указатель на подчиняющий узел, $k=1 \dots K$;

ji – порядковый номер элемента, $j=1 \dots J$.

Рис. 1

Таким образом, получаем некоторую модель системы, состоящей из N элементов, взаимосвязанных между собой прямой иерархической структурой. Одновременно с этим, мы поставили перед моделью определенный набор ограничений, препятствующих иной взаимосвязи элементов, если это не будет предусмотрено заранее. В свою очередь, на практике нередки случаи, когда элементы, хотя и имеют некоторые связи, но воздействуют друг на друга либо непостоянно, либо с неполной силой, т.е. без указания на какое-либо определенное действие, а с возможностью действия, исходя из сложившихся внешних и внутренних условий. По сути, абсолютно любой элемент иерархической системы может так или иначе взаимодействовать с абсолютно любым другим элементом этой же иерархической системы. Например, рассмотрим, как частный случай, набор элементов низшей ступени иерархии $x_{ik1}, x_{ik2}, \dots, x_{ikji-1}, x_{ikji}$ (рис. 2).

Рис. 2

Если опустить тот факт, что все они подчиняются некоторому общему узловому элементу $x_{i-1 k-1 j(i-1)}$, и попробовать представить взаимосвязь между ними, то можно обнаружить, что довольно сложно на этапе проектирования системы заранее решить, каким образом тот или иной элемент будет взаимодействовать с другими элементами

того же уровня иерархии и даже того же подчиняющего узла. Поэтому уже заранее следует учесть предположение, что потенциально каждый из этих элементов может взаимодействовать друг с другом (рис. 3).

Рис. 3

Представим, что каждый элемент множества $\{x_{ik1}, x_{ik2}, \dots, x_{ikj-1}, x_{ikji}\}$ содержит информацию друг о друге. В таком случае целесообразным было бы представить каждый элемент в виде функции:

$$X_{ikji} = \{x_{ik1}, x_{ik2}, \dots, x_{ikj-1}, x_{ikji}\} \quad (2)$$

Как можно заметить, каждый элемент узла представлен одновременно и множеством, и параметром, которые, хотя и привязаны к одной и той же структурной единице, однако рассматриваются с совершенно разных позиций. Так, данная запись означает, каждый элемент является не только частью некоторого множества, но и сам имеет представление о данном множестве. В тоже время, данная информация является для него исчерпывающей, а потому важно определить, насколько тесной будет взаимосвязь этого элемента с другими элементами узла. Для этого следует ввести такое понятие, как степень принадлежности $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji})$ (при этом $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji}) = [0..1]$), которое отражало бы, каким образом остальные элементы узла $x_{i-1 k-1 j(i-1)}$ связаны с указанным элементом. В общем виде это выглядело бы следующим образом:

$$X_{ikji} = \{x_{ik1} | \mu_{X_{ikji}}(x_{ik1}), x_{ik2} | \mu_{X_{ikji}}(x_{ik2}), \dots, x_{ikj-1} | \mu_{X_{ikji}}(x_{ikj-1}), x_{ikji} | \mu_{X_{ikji}}(x_{ikji})\} \quad (3)$$

При этом в каждом таком наборе параметров, в том случае, если и функция, и переменная будут указывать на один и тот же элемент, функция принадлежности $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji}) = 1$. В остальных случаях $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji}) \leq 1$, при этом знак равенства здесь будет говорить о том, что некоторые элементы данного узла полностью идентичны.

Если настроить работу памяти элементов таким образом, чтобы функция элемента выступала лишь в качестве носителя нечеткого множества, тогда в тех случаях, когда $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji}) = 0$, элемент просто перестает ею учитываться. Так, если окажется, что ни один из заявленных одноуровневых элементов не взаимодействует с элементом x_{ikji} (рис. 4), тогда носитель X_{ikji} «забудет» о существовании других элементов и будет действовать в рамках решаемой им задачи индивидуально. В то же время, обнуленные параметры не влияют на текущую деятельность элемента, однако, если значение кого-либо из них станет больше нуля, этот параметр будет снова учитываться при выполнении последующих действий.

В общем виде, как уже заявлялось ранее, можно предположить, что абсолютно каждый элемент иерархической системы может взаимодействовать с абсолютно любым другим ее элементом в различной степени близости, а потому граф, который описывал бы данную взаимосвязь, представлял бы собой разветвленную сеть с низкой степенью информативности, а равенство отличалось бы громоздкостью. По этой причине наиболее наглядно описать взаимосвязь любого элемента иерархической системы с остальными ее элементами можно было бы с помощью графика, схематично представленного на рисунке 5 и подчиняемого следующему правилу: степень принадлежности $\mu_{x_{ikji}}(x_{ikji})$ обратно пропорциональна количеству элементов.

Рис. 4

Действительно, иерархическая система, как правило, содержит довольно мало (или же не содержит вовсе) абсолютно одинаковых элементов, в то время как количество элементов, с которыми взаимодействие вообще отсутствует, составляет абсолютное большинство.

Рис. 5

В настоящее время перед представленной моделью стоят следующие основные проблемы:

1. Отсутствие описания принципа функционирования элемента иерархической структуры с учетом степеней взаимодействия с другими ее составляющими, без которого система в настоящее время представляется статической, а не динамической сущностью.

2. Необходима разработка алгоритма принятия решений о наиболее оптимальном взаимодействии элементов между собой с целью решения поставленных перед иерархической системой задач.

3. Внедрение α -уровней в рамки формирующейся нечеткой модели позволило бы сформировать систему приоритетов при взаимодействии между элементами

иерархии, независимую от ее уровней (но, в основном, следующую им), однако в настоящее время формализация представленной идеи не произведена.

4. Основным недостатком служит субъективность выбора набора правил и параметров функций принадлежности входных переменных, которая может серьезно сказаться на результате, и сложности корректировки этих параметров на основе экспериментальных данных [6]. С этими проблемами позволили бы справиться нейро-нечеткие системы, которые необходимо интегрировать в рамки формирующейся в настоящее время модели.

В целом же, как можно заметить, теория нечетких множеств позволяет в довольно гибкой форме описать иерархическую структуру, что не только увеличивает удобство ее восприятия, но и позволяет оперативно реорганизовывать систему под изменяющиеся условия существования. В случае же автоматизации данного процесса можно получить систему, способную на самостоятельную перенастройку в режиме реального времени.

1. Бондаренко И. Б., Шиманчук С. Н., Назарова В. В. Использование моделей эволюции для управления мутациями генетического алгоритма при оптимизации многопараметрической функции // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 660—665.
 2. Алиев, Р. А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р. А. Алиев, Н. М. Абдинеев, М. М. Шахназаров. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
 3. Дубов Ю. А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
 4. Колмогоров, А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. – М. : Физматгиз, 1968. – 494 с.
 5. Мелихов, А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Бернштейн, С. Я. Коровин. – М. : Наука, 1990. – 272 с.
 6. Чернов, В. Г. Основы теории нечетких множеств. Решение задач многокритериального выбора альтернатив / В. Г. Чернов. – Владимир:, 2005. – 106 с.
-