ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Легович Ю.С., Максимов Д.Ю.
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва
legov@ipu.ru, phoenixjhanjaa@yandex.ru

Ключевые слова: принятие решения, самоорганизующиеся системы, сети Петри, трансформации графов, многозначная логика, реконфигурируемые системы, мобильные ad-hoc сети.

Введение

В настоящее время ведутся широкие исследования по разработке самоорганизующихся сетевых систем, которые адаптируются к внешним событиям и внутренним изменениям. К этой области относятся, например, распределенные вычисления, мультиагентные системы, мобильные сети, некоторые системы управления. В качестве фундаментальной концепции адаптации к новым требованиям в таких сетях используются графовые трансформации. Работы по формализации этого подхода ведутся с начала 70-х гг. прошлого века, и уже существуют теории параллелизма, конкуренции графовых трансформаций, семантики графовых грамматик [1]. Этот подход используется, например, в проекте MANETS (Mobile Ad-hoc NETworks для управления сетью мобильных устройств, связанных друг с другом по радиоканалу без какой-либо подлежащей инфраструктуры (например, ячеистой), когда каждое устройство является одновременно и оконечным и роутером [2].

Главная идея графовых трансформаций заключается в пошаговом изменении графа по заданным правилам, которые можно представлять как замену одного подграфа другим с сохранением контекста (общей части). При этом в системе можно выделить следующие составляющие:

- граф физических носителей сети;
- граф подчиненности (иерархии системы);
- граф действий, которые должны выполнять объекты системы (представляется сетью Петри процесса функционирования системы);
- решетка целей, которая определяет выполняемые действия.

В существующих работах по графовым трансформациям рассматривается только граф действий, который изменяется по определенным правилам (с учетом изменения графа-носителя), но не рассматривается проблема выбора правила при возможности разных подстановок, т.е. проблема выбора решения. Та же проблема возникает при трансформации графа иерархии системы, когда требуется выбирать уже среди разных групп правил. В данной работе предлагается подход к решению этой проблемы, который использует новые операции в многозначной логике, естественно возникающей в системной иерархии.

Дело в том, что с каждой иерархически организованной системой можно связать некое множество внутренних смыслов (целей) этой системы, являющееся брауэровой решеткой (алгеброй Гейтинга), в узлах которой находятся группы правил действий, присущих соответствующим объектам системы. В этой решетке можно менять частичный порядок, используя текущий приоритет смыслов, что позволяет менять приоритет подстановок правил трансформации системы.

1. Категорное описание системы

1.1. Описание иерархии

С любой иерархически организованной системой можно связать категорию расслоений **Bn**(I) [3], базой которых I является множество оконечных объектов управления, а дискретными слоями пространств расслоений являются подмножества множеств путей, кончающихся в элементах базы и представляющих собой управленческие цепочки (т.е. элементом слоя является пара (*a, f(c)*), где *f(c)* – путь, кончающийся в элементе базы *c*, $a \neq c$ – вершина графа, лежащая на пути *f* (рис. 1).

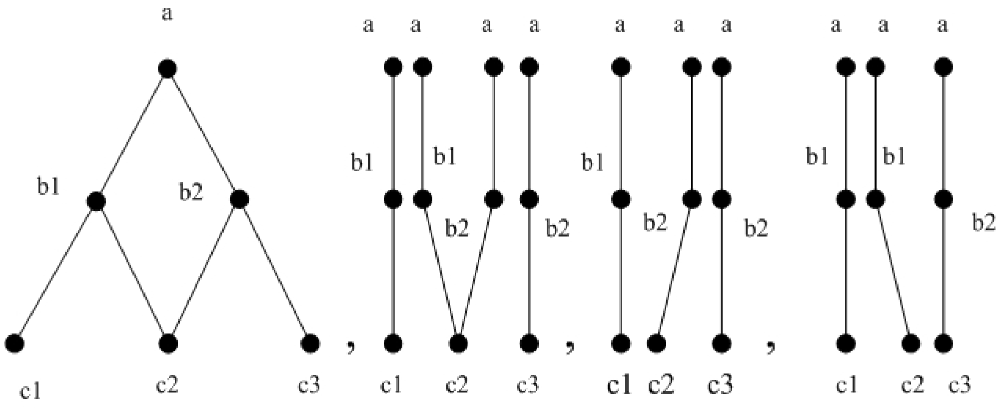

Рис. 1. Граф иерархии и некоторые соответствующие расслоения

Отметим, что самоорганизующиеся системы являются системами со слабыми связями [4], т.е. объект нижележащего уровня управления может быть подчинен не одному объекту вышележащего уровня. Такие расслоения являются графами, морфизмы между которыми подчиняются общим правилам графовых трансформаций.

1.2. Логика в категории расслоений

Категория расслоений является топосом [3], поэтому в ней можно моделировать логические системы. Истинностными значениями в **Bn**(*I*) будет являться множество всех подмножеств *I* (эквивалентно: множество сечений расслоения Ω – классификатора подобъектов). В иерархической системе за базу можно принимать элементы на каждом уровне управления и, соответственно, рассматривать разные категории. В случае возможности любых сочетаний элементов базы соответствующие решетки истинностных значений относятся к типу 2^N [5], где *N* – число элементов *I*. Так, например, для графов таких, как на рис. 2, будет 4 истинностных значения для категории расслоений с базой из элементов верхнего уровня, и 16 – из элементов нижнего. Соответствующие возможные решетки истинностных значений показаны в правой части рисунка. При этом первая из них, соответствует по смыслу целям деятельности двух групп управления, объединенных общей сверхзадачей.

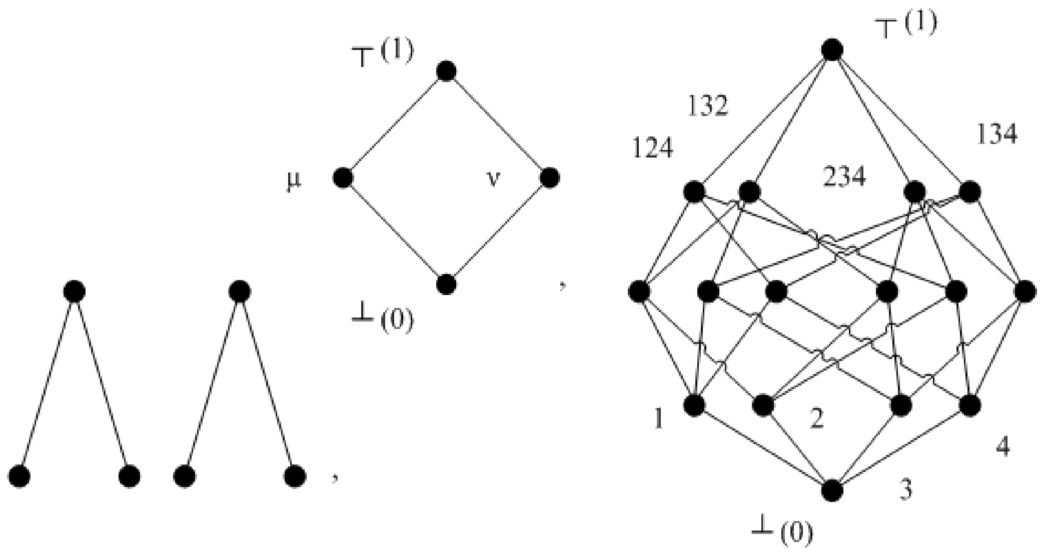

Рис. 2. Граф и возможные соответствующие решетки истинностных значений

В отличие от двузначной логики, для утверждений в таких системах можно говорить «истинно в смысле μ (например)», где μ – правила, в соответствии с которыми функционирует данный объект или подчиненная ему группа, цели их деятельности. Таким образом, множество истинностных значений является множеством внутренних смыслов системы. Если рассматривать не только глобальные, но и локальные сечения, то элементы базы, не входящие в данный граф, могут представлять среду и задавать множество внешних смыслов.

В такой категории определим новые отношения: отношение отрицания «в смысле μ» ($\neg_\mu$: $\neg_\top = id$, $\neg\bot = \neg$) и отношение частичного порядка «в смысле μ» ($\leq_\mu$). С помощью таких отношений можно оценивать степень влияния слабых связей в системной иерархии при выборе трансформаций.

По аналогии с обычным определением отрицания, определим отношение $\neg_\mu$, как характеристическую стрелку истинностного значения T_μ, которое само является характером подобъекта μ конечного объекта. Примем, что $\kappa = \neg_\mu \alpha$ равно степени эквивалентности μ и α, т.е. $\kappa = 1/\mu \cup \alpha + \mu \cap \alpha$. В частности получается, что $\neg_\top = id$, $\neg\bot = \neg$, $\neg_\mu \mu = true$, как и должно быть.

Определим также $\leq_\mu$: $\alpha \leq_\mu \beta$, если $\alpha \wedge \beta \geq [\mu \approx \alpha]$, где $[\mu \approx \alpha] = \mu \cap \alpha$ – степень равенства μ и α. При этом $[\mu \approx \mu] = true$ и, в отличие от степени эквивалентности, $[\mu \approx \alpha] = \mu \cap \alpha$ для остальных вершин. Отсюда видно, что в смысле $\mu = true$, это определение превращается в обычное определение отношения частичного порядка. В смысле $\mu = false$ все вершины равны между собой и меньше *false*. Также можно заметить, что $\alpha \leq_\beta \beta$ для любого α, поскольку в обратную сторону это отношение всегда ложно, т.е. в своем смысле каждая вершина решетки больше всех других, «для себя она самая важная». Так же в смысле β можно рассматривать частичный порядок на всей решетке, которая будет отличаться от исходной, поскольку в таком случае вершина β будет наибольшим элементом.

2. Пример

Рассмотрим пример, в котором объединены и чуть усложнены модельные задачи из [2, 6]: в зону бедствия после землетрясения направляются две группы, снабженные мобильными устройствами связи и обработки информации, одна – с целью обследовать и сфотографировать разрушенные и поврежденные здания, другая – установить и устранить утечки в сети газоснабжения. Общая дополнительная задача – при наличии в опасных местах людей выводить их в безопасные места. Решетка целей при этом получается из решетки 4-х истинностных значений графа, представленного на рис. 2. Эта решетка изображена на рис. 3, где: $\varepsilon_1 = true$ – объединение всех видов деятельности, ε_0 – группа правил трансформации для выполнения эвакуации, $\bot$ (*false*) - бездействие, μ и ν – группы правил трансформации графа действий для выполнения основных задач. При этом ε_0 – одного уровня значимости с μ и ν. Т.е. в этом смысле самым важным является максимальная активность, а наименее значимым – полное бездействие. Можно рассмотреть вариант этой решетки, в котором уровни μ – ν и C_1 – C_3 меняются местами. Это может иметь место, если множества правил в вершинах μ – ν не пересекаются. Здесь этот вариант не рассматривается.

При трансформации графа подчиненности (переподчинении другому управляющему узлу), в его узлах одна группа правил из решетки целей заменяется другой. Проблема возникает тогда, когда надо выбрать узел, который следует переподчинить. Например, при обнаружении людей объектом группы ν, кто должен их эвакуировать – он (или другой из ν) или кто-то из группы μ? Решение этой проблемы зависит от ситуации, в которой находится система, например, от уровня опасности и степени выполнения задач разными группами, т.е. от текущего приоритета в смыслах деятельности системы. Использование отношений «в смысле текущего приоритета» позволяет менять приоритет правил трансформации в данный момент.

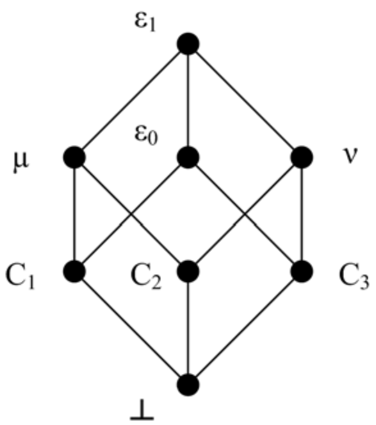

Рис. 3. Решетка целей при наличии параметров

Так, на рис. 3 имеем: $\neg\varepsilon_0 = C_2$, $\neg\nu = C_1$, $\neg\mu = C_3$, что позволяет интерпретировать C_1 как отсутствие необходимости выполнять задачи ν, C_3 – как отсутствие, соответственно, μ и C_2 – как отсутствие необходимости эвакуации. Но во всех этих случаях выполняются задачи, дополнительные к данным. Так же, например, $C_3 = \varepsilon_0 \cap \nu$, т.е. при необходимости эвакуировать и выполнять задачу ν, будет осуществляться вывод группой μ. Обозначим такой смысл как C_3^{μ}. Но также C_3 может означать и эвакуацию силами ν. Такой смысл обозначим как C_3^{ν}. Согласованность всех этих интерпретаций будет видна ниже. Аналогично C_1 также означает вывод группой ν (μ), а C_2 может означать и совместные действия μ и ν. При этом ε_0 так же означает объединение задач C_1 и C_3, т.е. эвакуация объединенными усилиями, что важнее, чем то же по отдельности. Бездействие тоже может иметь разные смысловые значения.

Посмотрим с другой стороны на эту решетку – построим решетку рис. 3 «в смысле ν» (левый граф) и в «смысле ε_0» (правый граф):

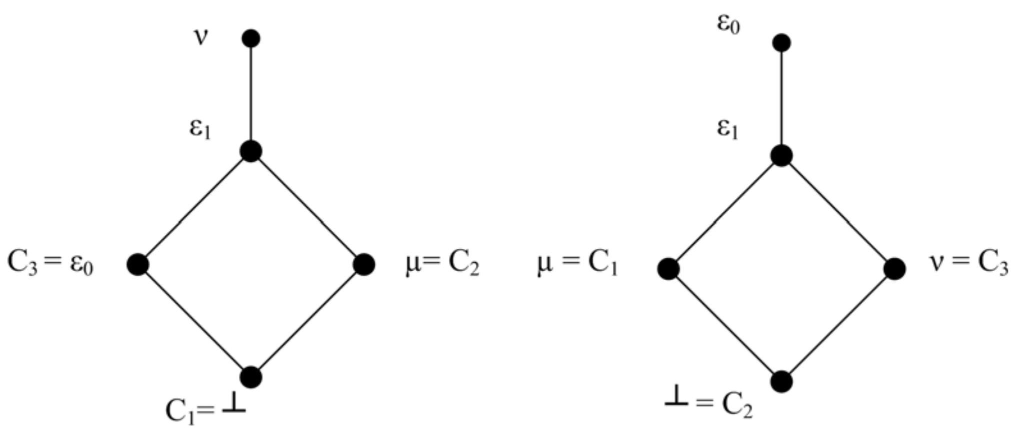

Рис. 4. Решетки целей «в разных смыслах»

В этих решетках некоторые вершины исходного графа совпадают, что позволяет придать им дополнительные смысловые оттенки. При этом равенство здесь – это равносильность, а не уравнение. Используем более тонкое отношение отрицания «в некотором смысле» для различения разных значений одной вершины:

$\neg_\nu\mu = C_2$, $\neg_\nu C_2 = \mu$, $\neg_\nu C_3 = \varepsilon_0$, $\neg_\nu\varepsilon_0 = C_3$, $\neg_\nu\varepsilon_1 = \nu$, $\neg_\nu\nu = \varepsilon_1$, $\neg_\nu\bot = C_1$; $\neg_\nu C_1 = \bot$.

$\neg_{\varepsilon 0}\mu = C_1$, $\neg_{\varepsilon 0}C_1 = \mu$, $\neg_{\varepsilon 0}\nu = C_3$, $\neg_{\varepsilon 0}C_3 = \nu$, $\neg_{\varepsilon 0}\bot = C_2$, $\neg_{\varepsilon 0}C_2 = \bot$.

Тогда можно сказать, что в отсутствие необходимости вывода выполняются действия группы μ ($\neg\varepsilon_0 = C_2 = \mu$), но «в смысле ν», т.е. совместные с ν ($\mu = C_2 = \neg_\nu\mu$), а не в исходном смысле занятости только своими задачами. Иначе, отсутствие задачи эвакуации означает совместные действия μ и ν (оба смысла C_2 совпадают). Но также μ эквивалентно отсутствию «в смысле ν» необходимости совместных действий ($\neg_\nu C_2 = \mu$), поэтому все совместные действия выполняются только группой μ. Формально: $\mu = \mu\cap\nu$, откуда, в частности, следует, что $\mu \leq \nu$ в данном смысле. Также необходимость эвакуации означает невыполнение задач μ в исходном смысле ($C_3 = \neg\mu = \varepsilon_0$). Как и выше, $\varepsilon_0 = \varepsilon_0 \cap \nu$, откуда следует, что $\varepsilon_0 \leq \nu$ и при выполнении совместных задач ε_0 и ν выполнялись бы только задачи ε_0. Но в данном примере ε_0 не имеет группы-носителя, это внешний к системе смысл. Поскольку смысл ε_0 менее важен, чем ν в данном случае, то эти действия должны выполняться свободными участниками, т.е. μ (т.к. $\varepsilon_0 = C_3^{\mu} = \neg\mu$). Также присутствие необходимости совместных действий «в смысле ν» равносильно отсутствию «в смысле ν» необходимости эвакуации ($C_3 = \neg_{\nu}\varepsilon_0 = \neg\neg_{\nu}C_2$), т.е. отсутствию необходимости выполнения ε_0 силами ν, что в данном случае отсутствия других вариантов согласуется с эвакуацией силами μ.

Бездействие в этом смысле эквивалентно не только отсутствию задач ν (C_1), но и своему отрицанию «в смысле ν» ($\neg_{\nu}\perp = C_1 = \perp$), т.е. выполнению эвакуации силами ν (присутствию «в смысле ν» задач ν: $\perp = \neg_{\nu}C_1$), которое, таким образом, имеет наименьший приоритет по сравнению с остальными задачами (в этом смысле).

Также «в смысле ε_0», т.е. при приоритете эвакуации, ($\neg_{\varepsilon 0}\mu = \mu \cap \varepsilon_0 = \mu$) => ($\mu \leq \varepsilon_0$) в данном случае μ менее важно, чем ε_0. Можно сказать, что выполнение μ означает, что ν осуществляет эвакуацию, что эквивалентно присутствию «в смысле ε_0» задачи ν ($\mu = \neg_{\varepsilon 0}C_1 = C_1^{\nu}$) или ν бездействует ($\mu = C_1$). Но также μ равно своему отсутствию «в смысле ε_0», т.е. μ занимается эвакуацией, если этого не делает ν ($\mu = \neg_{\varepsilon 0}\mu = C_1^{\mu}$). Так различаются смыслы C_1 для μ и аналогично для ν (μ и ν при таком приоритете эквивалентны).

Отсутствие бездействия в этом смысле эквивалентно совместным действиям μ и ν ($\neg_{\varepsilon 0}\perp = C_2$). Естественно, что в смысле выполнения эвакуации занятость обеих групп своими задачами имеет наименьший приоритет.

Суммируя, можно утверждать: в решетке целей одна вершина несет не одну смысловую нагрузку, различать которые можно при приоритете («в смысле») других вершин. На рис. 3, например, вершина μ имеет кроме смысла «фотографировать», также смысл «объединенное выполнение задач C_1 и C_2», каждая из которых тоже имеет не один смысл. Тогда, «в смысле ν» в отсутствие ε_0 μ в одиночку выполняет общие с ν задачи (если таковые есть) и (опять в одиночку) эвакуирует в присутствии ε_0. Но «в смысле ε_0» новых деталей не добавляется – либо ν либо μ занимаются эвакуацией. Это все относится к среднему уровню важности в указанных смыслах.

Таким образом, использование многозначных отношений для оценки влияния слабых связей в системной иерархии может позволить устанавливать приоритет правил ее трансформации в зависимости от текущего состояния. Эти результаты получены только из множества внутренних смыслов системы. Если же число параметров превосходит выразительные возможности этого множества, то возможно расширение базы расслоений для включения внешних смыслов, связанных с дополнительными параметрами. Варьируя структуру множества элементов базы, можно получать разные смысловые решетки, что позволит выбирать правило трансформации сетевого графа при наличии различных возможностей, исходя из текущей структуры системы и ее окружения. В дальнейшем предполагается разобрать такие более сложные примеры.

Литература

1. *Ehrig H, Padberg J.* Graph Grammars and Petri Net Transformations. // LNCS. Vol. 3098. 2004 г. P. 496-536.
2. *Hoffman K.* Formal Modeling and Analysis of Mobile Ad Hoc Networks and Communication Based Systems using Graph and Net Technologies // Bulletin of the EATCS № 101. June 2010. – P.148-160.
3. *Голдблатт Р.* Топосы. Категорный анализ логики. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 486с.
4. *Волкова В.Н., Денисов А.А.* Теория систем и системный анализ. – М.: Юрайт. 2010. – 679с.
5. *Биркгоф Г.* Теория решеток. – М: Наука. 1984. – 568с.
6. *Ehrig H.,Hoffman K., Padberg J. and oth.* Petri Net Transformations. – in Petri Net, Theory and Applications. –Vienna: I-Tech Education and Publishing. February 2008., – 534p.