УДК 519.179.2:004.94

А.О. Аристов

КВАЗИКЛЕТОЧНЫЕ СЕТИ. МИКРО- И МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЕ

Рассмотрены вопросы применения квазиклеточных сетей в задачах моделирования. Квазиклеточные сети позволяют в рамках одной дискретной структуры реализовать микро- и макромоделирование, независимо от предметной интерпретации.
Ключевые слова: квазиклеточная сеть, дискретная структура, моделирование, микромодель, макромодель.

В настоящее время в различных областях науки и техники широко применяется моделирование, предполагающее исследование поведения как существующего объекта, так и объекта проектирования на основе его модели. Модель представляет собой замену исходного объекта, отражающую ряд его свойств, принципиально важных в условиях решаемой задачи. Среди многочисленных подходов к моделированию [1, 2, 3 и др.] особое место занимает математическое моделирование, причем речь идет не только о непрерывных математических моделях, но и о дискретных. В настоящее время дискретные структуры широко применяются при проектировании и моделировании сложных организационно-технических систем [1]. При использовании дискретных структур в моделировании важную роль играют их предметные интерпретации [1], фактически устанавливающие связь между фундаментальными дискретными структурами и объектами прикладных предметных областей. Предметные интерпретации существенно влияют на построение модели, поскольку в первую очередь «сужают» фундаментальные дискретные структуры и устанавливают какие-либо специфические свойства и ограничения, характерные для предметной области.

В работе [1] рассмотрены дискретные структуры, представляющие собой многосортные множества. В работах [4, 5] автором статьи введен новый тип дискретных структур – квазиклеточные сети. Согласно базовому определению [4], квазиклеточными сетями названы дискретные структуры, не имеющие явно заданной сигнатуры. Квазиклеточные сети синтезируются на базе графов, описанных в [1] (рис. 1).

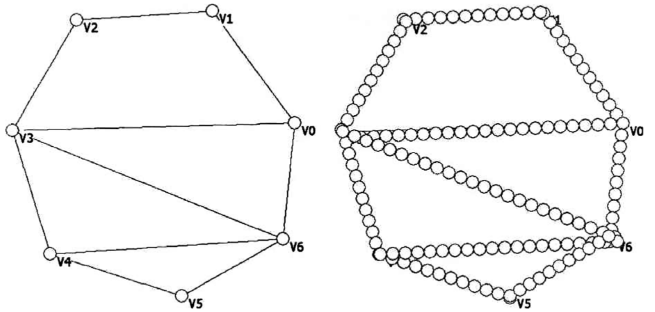

Рис. 1. Базовый граф и построенная на его основе квазиклеточная сеть

Однако, в работе [4] введено понятие «циркуляция» в квазиклеточной сети, предполагающая изменение ее состояния по определенным законам [5]. Таким образом, квазиклеточная сеть представляет собой динамическую дискретную структуру, обладающую некоторыми свойствами сетей Петри, конечных автоматов, графов, клеточных автоматов и др. Автором отмечены перспективы использования квазиклеточных сетей в задачах моделирования систем [4].

Исходя из этого, особое внимание следует уделить проблеме применения квазиклеточных сетей как фундаментальных динамических дискретных структур в задачах моделирования систем. Не будем останавливаться на какой-либо предметной интерпретации. Целесообразно рассматривать квазиклеточные сети как фундаментальные дискретные структуры, укладывающиеся в общую теорию моделирования систем [2, 3]. Учитывая фундаментальные аспекты, связанные с циркуляцией и структурой квазиклеточных сетей, будем считать, что с помощью них возможно осуществлять моделирование каких-либо сложных систем, для которых характерно наличие множества объектов, влияющих на общее состояние сети и распределение каких-либо ее свойств в пространстве. Интуитивно понятно, что подобная ситуация характерна для различных предметных областей. В общем случае, предполагается несколько подходов к рассмотрению сложной системы [2]:

- структурный подход;
- объектно-ориентированный подход.

Исходя из этих подходов, можно считать, что система обладает некоторыми свойствами и некоторым поведением. С другой стороны, в зависимости от уровня детализации при рассмотрении системы, ее можно рассматривать как совокупность взаимодействующих объектов, каждый из которых обладает определенными свойствами и поведением. В зависимости от уровня детализации системы различают микроскопическое, макроскопическое и мезоскопическое моделирование [6]. На сегодняшний день не существует единого подхода к формализации уровней моделирования и перехода между ними [7]. В ряде работ [6, 7] представление о микро- и макромоделировании дано на конкретных предметных интерпретациях, связанных с построением моделей транспортных потоков, однако стоит отметить, что полученные модели для разных уровней существенно отличаются. Рассмотрим возможности применения квазиклеточных сетей для моделирования сложных систем на различных уровнях.

При рассмотрении квазиклеточной сети на микроуровне, она представляет собой некоторую структуру, в которой определены клетки вида $Q_i = (x_i, y_i, S_i)$, состояние которых меняется динамически. Параметры x_i, y_i являются константами, в то время как S_i меняется во времени. Фактически, состояние S_i клетки является ее динамически изменяющимся параметром.

Однако для интуитивного понимания циркуляции, рассмотрены динамические объекты, совершающие эту циркуляцию в квазиклеточной сети – фишки [4]. С одной стороны как таковое понятие фишки введено для лучшего понимания сущности квазиклеточных сетей и их классификации, но с другой стороны фишка рассматривалась лишь как определенное состояние клетки, а не как автономный объект. Однако, стоит отметить, что фишка вполне представима как некоторый объект, имеющий свои параметры и поведение, тесно связанное с особенностями циркуляции в квазиклеточной сети, зависящими в значительной степени от того, в какой клетке фишка расположена. Рассмотрим представление фишки как отдельного объекта и описание ее поведения. Выше рассматривались клетки вида $Q_i = (x_i, y_i, S_i)$, где S_i являлось дискретной скалярной величиной $S_i \in (0,1)$, однако в работе [4] упоминалась возможность представления состояния клетки в виде вектора фазовых переменных $S_i = (s_{i1}, s_{i2}, s_{i3},\ldots)$. В простейшем случае единственная бинарная фазовая переменная только отражала наличие фишки в клетке, однако расширение вектора фазовых переменных позволит представить в каждой клетке не только данные о наличие фишки, но и данные о ее свойствах. С другой стороны в качестве ряда значений параметров фишки как объекта выступают константы самой клетки, в частности координаты x_i, y_i, которые приобретает фишка, находясь в клетке. Кроме того, возможны параметры, зависящие от констант клетки. Также при микроциркуляции [5] константами клетки становятся величины, определяющие направление циркуляции фишек dx_i, dy_i, которые с точки зрения фишки как объекта представляют собой ничто иное, как направление ее движения.

Кроме того, стоит отметить, что циркуляция фишек также может влиять на некоторые характеристики клетки. В простейшем случае введем величину – счетчик, определяющий количество фишек, прошедших через данную клетку. Указанная величина меняется под воздействием фишек. С другой стороны, изменяющиеся параметры клетки могут также влиять на циркуляцию фишек через эту клетку. Например, если устанавливать ограничения на количество фишек, проходящих через клетку. Таким образом, очевидно, что клетка в квазиклеточной сети является многосортным множеством, включающим в себя три категории параметров, т. е.

$$Q_i = (B_i, C_i, S_i) \quad (1)$$

где B_i – неизменные (базовые) параметры клетки (от англ. Basic), C_i – параметры клетки, изменяющиеся при прохождении фишек через клетку (от англ. Changeable), S_i – параметры фишки как объекта, находящегося в клетке, т.е. переменные состояния (фазовые переменные) клетки (от англ. State).

Таким образом, согласно (1), каждый элемент квазиклеточной сети включает в себя ряд параметров микроописания, среди которых базовые (неизменные параметры клетки), изменяемые параметры клетки и параметры фишки (микрообъекта, находящегося в клетке). Фактически, предложенный набор параметров дает возможность осуществлять моделирование квазиклеточной сети на микроуровне [7].

Рассмотрим аспекты перехода от микроописания в квазиклеточной сети к макроуровню. Выберем некоторое множество клеток $Q^{(m)} \subset Q$, называемое измерительным участком квазиклеточной сети. Справедливо, что для каждой клетки измерительного участка

$$\begin{cases} Q_i \in Q^{(m)} \\ Q_i = (B_i, C_i, S_i) \end{cases} \quad (2)$$

Следует также уделить особое внимание вопросам представления модельного времени в квазиклеточных сетях. Учитывая специфику циркуляции [4], очевидно применение дискретного времени [3, 7], однако возможен вариант и с дискретно непрерывным модельным временем (рис. 2).

Тогда для каждого момента времени справедливо:

$$t_m = m \cdot \theta \quad (3)$$

и возможно нахождение величин вида

$$S_i^{(C)}(t_m) = \sum_i C_k(t_m) \quad (4)$$

$$S_i^{(S)}(t_m) = \sum_i S_j(t_m) \quad (5)$$

$$P_i^{(C)}(t_m) = \prod_i C_k(t_m) \quad (6)$$

$$P_i^{(S)}(t_m) = \prod_i S_j(t_m) \quad (7)$$

где $S_j \in S_i$ $j = 1, 2,\ldots$, $C_k \in C_i$ $k = 1, 2,\ldots$, а для Q_i справедливо (2).

Очевидно, что рассмотренные величины зависят от состояния элементов квазиклеточной сети, изменяющихся в процессе циркуляции. Однако, фактически значения рассматриваемых величин учитывают не каждую клетку в отдельности, а измерительный участок квазиклеточной сети, следовательно указанные величины являются макропараметрами квазиклеточной сети. Назовем величины (4) и (5) аддитивными макропараметрами измерительного участка квазиклеточной сети, а величины (6) и (7) мультипликативными макропараметрами измерительного участка квазиклеточной сети.

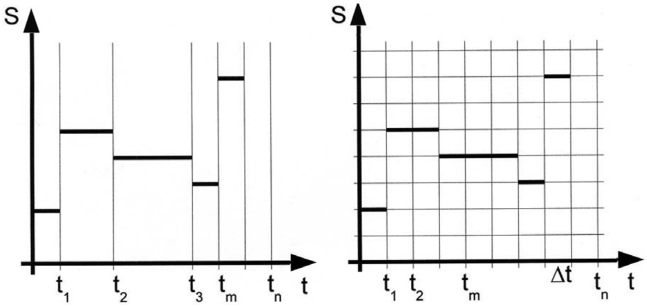

Рис. 2. Модельное время

Также следует отметить величины, параметры вида:

$$M\left[S_i^{(C)}(t_m)\right] = \frac{\sum_i C_k(t_m)}{t_m} \quad (8)$$

$$M\left[S_i^{(S)}(t_m)\right] = \frac{\sum_i S_j(t_m)}{t_m} \quad (9)$$

$$M\left[P_i^{(C)}(t_m)\right] = \frac{\prod_i C_k(t_m)}{t_m} \quad (10)$$

$$M\left[P_i^{(S)}(t_m)\right] = \frac{\prod_i S_j(t_m)}{t_m} \quad (11)$$

где $S_j \in S_i$ $j = 1, 2, \ldots$, $C_k \in C_i$ $k = 1, 2, \ldots$, а для Q_i справедливо (2).

Указанные величины показывают среднее значение какого-либо параметра измерительного участка за время $t_m = m \cdot \theta$.

Выше были рассмотрены макроскопические параметры, тесно связанные с выбранным измерительным участком. Рассмотрим измерительный участок, построенный на основе ребра базового графа. Пусть имеем базовый граф $G = \langle V, U \rangle$, где рассмотрим ребро (V_i, V_j), разделенное на клетки, согласно (5), (6), (7). Тогда, параметры, получаемые согласно соотношениям (4)–(11) ставятся в соответствие ребрам базового графа. Следовательно, получаем взвешенный ориентированный граф [1].

В простейшем случае рассмотрим вариант, при котором каждая клетка имеет вид

$$\begin{cases} Q_i = (x_i, y_i, S_i) \\ S_i \in (0,1) \end{cases} \quad (12)$$

Состояние клетки задается бинарно, т. е. фактически обозначает наличие фишки в ней [4]. Тогда величина потока на каждом ребре

$$S_i^{(S)}(t_m) = \sum_i S_i(t_m) \quad (13)$$

Средняя величина потока за время

$$M\left[S_i^{(S)}(t_m)\right] = \frac{\sum_i S_i(t_m)}{t_m} \quad (14)$$

Таким образом, выведены зависимости, позволяющие определить величины потоков на ребрах базового графа, а также на участках квазиклеточной сети. Следует отметить, что квазиклеточные сети в раках одной дискретной структуры позволяют моделировать потоки на различных уровнях. При этом, возможность перехода между этими уровнями однозначно формализуется и не зависит от предметной интерпретации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горбатов В.А.* Фундаментальные основы дискретной математики. – М.: Физматлит, 1999. – 544 с.
2. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 420 с.
3. *Федоров Н.В.* Имитационное и математическое моделирование сложных систем: учебное пособие. – М.: МГГУ, 2008. – 240 с.
4. *Аристов А.О.* Квазиклеточные сети. Синтез и циркуляция // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 2. – С. 125–131.
5. *Аристов А.О.* Теория квазиклеточных сетей и ее приложения. Всероссийская выставка Научно-технического творчества молодежи. II Международная научно-практическая конференция «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях»: сборник научных докладов – М.: МГСУ, 2013. – С. 230–234.
6. *Ахмадинуров М.М.* Обзор методов моделирования транспортной сети // Транспорт Урала. – 2009. – № 3. – С. 39–44.
7. *Аристов А.О., Моргачев К.В., Рябов Л.П., Суворов А.В., Федоров А.М.* Компьютерные системы поддержки принятия решений: учебное пособие. – М.: МГГУ, 2012. – 172 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Аристов Антон Олегович – доцент, e-mail: batan-87@mail.ru,
МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 519.179.2:004.94

QUASI CELLULAR NETS. MICRO- AND MACRO SIMULATION

Aristov A.O., Assistant Professor, e-mail: batan-87@mail.ru,
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS».

There is using Quasi cellular nets in system simulation. It may create and use different simulation levels models based on one model structure. This models are using in different objective interpretations.

Key words: quasi cellular net, discrete structure, simulation, micro model, macro model.

REFERENCES

1. Gorbatov V.A. *Fundamental'nye osnovy diskretnoi matematiki* (Basics of discrete mathematics), Moscow, Fizmatlit, 1999, 544 p.
2. Shennon R. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem – iskusstvo i nauka* (Simulation modeling – Art and science), Moscow, Mir, 1978, 420 p.
3. Fedorov N.V. *Imitatsionnoe i matematicheskoe modelirovanie slozhnykh sistem: uchebnoe posobie* (Simulation and mathematical modeling of complex systems: Educational guidance), Moscow, MGGU, 2008, 240 p.
4. Aristov A.O. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2013, no 2, pp. 125–131.
5. Aristov A.O. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi – put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyakh»: sbornik nauchnykh dokladov* (Technological creativity of young people—Way to a knowledge-founded society: International Conference Proceedings), Moscow, MGSU, 2013, pp. 230–234.
6. Akhmadinurov M.M. *Transport Urala* (Transport in the Urals), 2009, no 3, pp. 39–44.
7. Aristov A.O., Morgachev K.V., Ryabov L.P., Suvorov A.V., Fedorov A.M. *Komp'yuternye sistemy podderzhki prinyatiya reshenii: uchebnoe posobie* (Decision support systems: Educational guidance), Moscow, MGGU, 2012, 172 p.