

УДК 621.3

А.Н. Буханько, Е.В. Дуравкин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В УПРАВЛЯЮЩИХ ПЕРЕХОДАХ Е-СЕТЕЙ

В данной статье рассматриваются вопросы введения математического аппарата нечеткой логики в управляющие переходы Е-сетей, что позволяет моделировать процессы QoS в сетях связи, использующих различные протоколы. Получены выражения функций перехода для нечетких управляющих переходов МХ и МУ, которые не противоречат определениям и свойствам четких Е-сетей. Соответственно нечеткие Е-сети можно считать обобщением и дополнением классических Е-сетей для случая нечетких управляющих агентов.

**Ключевые слова:** мультиагентная сеть, управляющий переход, сеть, имитационный аппарат, нечеткая логика, функция принадлежности.

### Постановка задачи

Развитие телекоммуникационных технологий, повышение скорости передачи информации, ее объема, появление ресурсоемких сетевых приложений приводит к тому, что актуальным становится вопрос о более эффективном управлении сетями передачи данных (СПД).

Централизованная модель управления сетью становится неэффективной в условиях возрастания требований к скорости передачи, пропускной способности, а особенно ко времени реакции сети на возрастающие нагрузки. В настоящее время более эффективной является распределенная система управления. Наиболее часто в качестве элементов такой системы используются управляющие агенты [1]. В этом случае сеть управляется множеством агентов, распределенных по сети и обменивающихся управляющей информацией между собой. Совокупность агентов представляет собой обобщенную распределенную систему управления сетью. Зачастую для повышения эффективности работы агентов их поведение описывается с помощью аппарата нечеткой логики (НЛ) [2, 3]. Использование НЛ позволяет более гибко реализовывать функции качества обслуживания QoS в случае мультисервисных сетей.

При исследовании таких систем в настоящее время наиболее часто используются методы имитационного моделирования. Для этого в существующие математические аппараты вносятся дополнения, позволяющие описывать нечеткость поведения системы, при этом наиболее часто такие дополнения основываются на НЛ.

Однако может возникнуть ситуация, при которой использование НЛ изменяет основные свойства аппарата моделирования, а это в свою очередь приводит к получению неадекватных результатов моделирования СПД, а соответственно и неверных показателей качества сети.

Таким образом, необходимо разработать принципы и правила введения НЛ в структуру имитационного языка высокого уровня.

В работах [4, 5] отмечено, что одним из наиболее эффективных средств имитационного моделирования сетей и протоколов связи является аппарат Е-сетей. Е-сети являются средством исследования и количественного анализа сложных систем, таких как СПД.

Использование Е-сетей позволяет:

- легко моделировать параллельные взаимодействующие асинхронные процессы, отражая общую динамику работы дискретной системы;
- удобно отражать возможности многих других механизмов, предложенных для описания других систем;
- допускать любую смысловую интерпретацию своих составляющих, что позволяет одновременно моделировать как информационные потоки, так и аппаратную часть, применительно ко всей сети передачи данных;
- допускать различную трактовку своих элементов по уровню абстракции (детализации), что позволяет строить иерархические модели, в которых переход может транслироваться в подсеть более низкого уровня детализации – это значительно снижает противоречие между требованиями к простоте и адекватности модели.

Формально Е-сеть задается как двудольный ориентированный граф, описываемый следующим множеством:

$$E = (P, H, L, D, A, M_0),$$

где  $P$  – конечное множество мест в рассматриваемой сети;  $H$  – конечное множество переходов;  $L$  – прямая функция инцидентности;  $D$  – обратная функция инцидентности;  $A$  – конечное множество набора характеристик перехода;  $M_0$  – начальная разметка сети.

**Основная часть**

Отличительной особенностью Е-сетей является использование в них управляющих переходов *МХ* и *МУ* (рис. 1, 2):

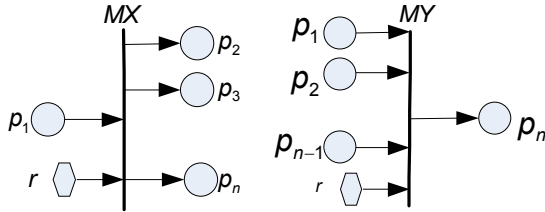


Рис. 1. Переход *МХ*

Рис. 2. Переход *МУ*

Управляющие переходы дают возможность исследовать процессы управления потоками данных, приоритетности в обработке информации, исходя из значений управляющего предиката *г*.

При исследовании мультиагентного управления, оценке его эффективности и количественных характеристик, места в переходах *МХ* и *МУ* представляют собой возможные состояния управляемой сети, а предикаты – значения управляющих воздействий агентов. При условии наличия нечеткости в логике работы агентов возникает проблема адаптации аппарата Е-сетей, а именно их управляющих переходов *МХ* и *МУ*, к введению НЛ. Условие адаптации НЛ к теории Е-сетей является необходимым для использования данного аппарата при моделировании работы нечетких мультиагентных сетей.

Для доказательства возможности использования НЛ в управляющих переходах Е-сетей необходимо показать, что ее введение не изменит основных правил работы перехода [4, 5], таких как, условие активности перехода, функция перехода.

1) Условие активности перехода

При введении НЛ в работу перехода *МУ* данное условие не отличается от классического:

$$(p_1 \in L(MY) \{M(p_1) = 1\} \vee \dots \vee p_{n-1} \in L(MY); \quad (1)$$

$$\{M(p_{n-1}) = 1\} \wedge p_n \in D(MY) \{M(p_n) = 0\},$$

где *M* – вектор разметки; *M*(*p<sub>i</sub>*) – значение вектора в *i*-м месте, *M*: *P* → {0,1}, где *P* – множество всех позиций.

Другими словами, если в любом входном месте присутствует метка, а выходное место *p<sub>n</sub>* пусто, то переход является активным.

Аналогично для *МХ*:

$$p_1 \in L(MX) \{M(p_1) = 1\} \wedge (p_2 \in L(MX) \{M(p_2) = 0; \quad (2)$$

$$\vee \dots \vee p_n \in D(MX) \{M(p_n) = 0\}).$$

Это означает, что переход считается активным, если входное место *p<sub>1</sub>* имеет метку, а все некоторое выходное место *p<sub>k</sub>* пусто.

2) Функция перехода

Рассмотрим данную функцию для управляющего перехода *МУ*. Каждому входному месту

{*p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, ..., p<sub>n-1</sub>*} ставится в соответствие функция принадлежности [2, 3] (ФП) {*μ<sub>1</sub>, μ<sub>2</sub>, ..., μ<sub>n-1</sub>*}. Данные ФП указывают степень принадлежности возможности передачи метки от определенного входного места выходному управляющему переходу. ФП определяются на характеристическом множестве *X*, задаваемом на определенном интервале.

Характеристикой перехода, например, может являться вероятность блокировки пакетов, входная нагрузка и т.д.

Для СПД целесообразно использовать трапециевидный вид ФП, исходя из необходимости задания свойств неопределенностей типа «расположен в интервале», следующего вида:

$$\mu_{p_1}(X) = \begin{cases} 0, x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b; \\ 1, b \leq x \leq c; \\ \frac{d-x}{d-c}, c \leq x \leq d; \\ 0, d \leq x, \end{cases} \quad (3)$$

где *x* – выборочное значение из *X*, где *X* определяется на определенном интервале, например, для вероятности блокировки *P<sub>бл</sub>* это [0,1];

*a, b, c, d* – некоторые числовые параметры, упорядоченные отношением *a ≤ b ≤ c ≤ d*, где параметры *a, d* характеризуют нижнее основание трапеции, *a, b, c* – верхнее основание трапеции.

Соответственно, предикат *г* управляющего перехода принимает следующие значения:

$$r = \begin{cases} p_1 = \mu_1, X \in [a, d]; \\ p_2 = \mu_2, X \in [d, g]; \\ \dots \\ p_{n-1} = \mu_{n-1}, X \in [g, h], \end{cases} \quad (4)$$

где параметры *a < d < g < h ∈ [X<sub>min</sub>, X<sub>max</sub>]*.

Графически это выглядит следующим образом (рис. 3):

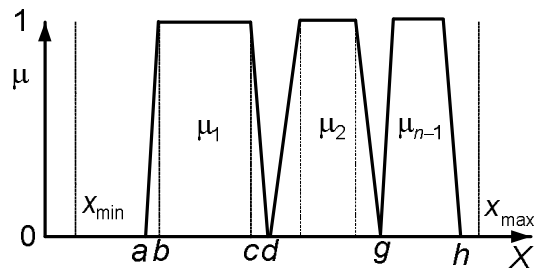


Рис. 3. Управляющий переход

В данном случае правило срабатывания перехода выглядит следующим образом:

$$(m, f, f, M(p_m) = 1, f, f, M(p_n) = 0) \mapsto \quad (5)$$

$$(\exists, f, f, M(p_m) = 0, f, f, M(p_n) = 1),$$

где  $f \rightarrow \{0,1\}$  – возможная разметка входных мест;  $\mathfrak{R}$  – неопределенное значение предиката после срабатывания перехода.

Управляющее значение предиката  $r$  определяется из выражения (4). Из (4) следует, что предикат одновременно принимает  $n-1$  значение. Если на момент времени активности перехода значение параметра  $x$  принадлежит промежутку, определяемому функцией принадлежности  $\mu_m$ , то предикат принимает значение  $m$ ; при этом метка места  $p_m$  будет передана со всеми атрибутами в выходное место  $p_n$ .

Примечания:

Если место  $p_m$  не имеет метки, то функция перехода определяется специальными правилами, инициализированными заранее.

Если значение  $x$  попадает в точку совпадения ФП, то функция перехода определяется правилами, определенными заранее.

Для перехода  $MX$  правило определяется следующим образом:

$$r = \begin{cases} p_2 = \mu_2, X \in [a, d]; \\ p_3 = \mu_3, X \in [d, g]; \\ \dots \\ p_n = \mu_n, X \in [g, h], \end{cases} \quad (6)$$

$$(m, M(p_1) = 1, M(p_2) = 0, f, f, M(p_m) = 0) \mapsto (7) \\ (\mathfrak{R}, M(p_1) = 0, M(p_2) = 0, f, f, M(p_m) = 1).$$

Управляющее значение предиката  $r$  определяется из выражения (6). Если на момент времени активности перехода значение параметра  $x$  принадлежит промежутку, определяемому функцией принадлежности  $\mu_m$ , то предикат принимает значение  $m$ ; при этом метка с входного места  $p_1$  будет передана со всеми атрибутами в выходное место  $p_m$ .

Однако на практике более интересен случай, когда одному и тому же значению  $x$  будут соответствовать более одной функции принадлежности, что проиллюстрировано на рис. 4.

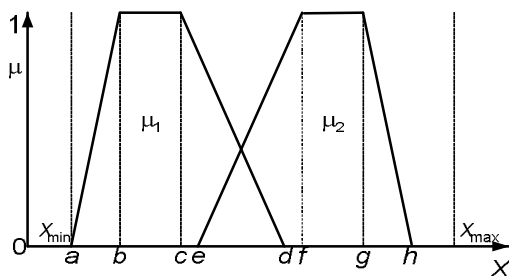


Рис. 4. Пересечение ФП

При определенных значениях  $x$  возникает неопределенность в выборе той или иной функции принадлежности, а соответственно и места для передачи/приема метки.

Для принятия решения в условиях данной неопределенности будут использованы следующие алгоритмы:

Алгоритм «площади треугольника»:

1. Определить предикат управляющего перехода, используя выражение (4), (6).
2. Определить тип функции перехода в зависимости от управляющего перехода.
3. При принадлежности значения  $x$  отрезку неопределенности в момент активности перехода, для данного параметра вычислить точные значения ФП для каждого из входных/выходных мест  $\mu_n^x$  путем пересечения ФП перпендикуляром из точки  $x$  (рис. 5).

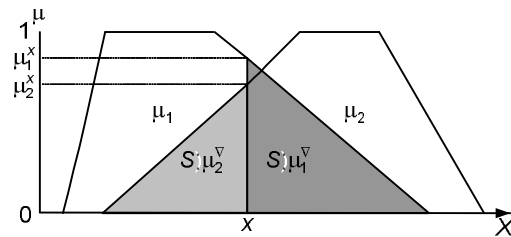


Рис. 5. Алгоритм «площади треугольника»

4. Найти площадь треугольников, образованных перпендикуляром на шаге 3. Данная задача является тривиальной при известных параметрах трапециевидных ФП и значения  $x$ .

5. В общем случае выбрать треугольник с максимальной площадью из набора:  $\max \{S(\mu_1^\nabla), S(\mu_2^\nabla), \dots, S(\mu_n^\nabla)\}$ , где  $S(\mu_n^\nabla)$  – площадь  $n$ -го треугольника, входящего в неопределенность.

6. Принять значение предиката  $r$  равным значению номера ФП с наибольшей площадью  $\max S(\mu_m^\nabla)$  из всех, входящих в неопределенность следующим образом:  $r = m \leftrightarrow \max S(\mu_m^\nabla)$ .

7. Данное значение использовать в выражении (5) для перехода  $MY$  и в выражении (7) для перехода  $MX$ , при определении входных/выходных мест передачи/получения метки со всеми атрибутами.

Данный алгоритм сохраняет работоспособность при любом количестве ФП, входящих в неопределенность.

Примечания:

Если все треугольники, образованные перпендикуляром, имеют одинаковую площадь, переход работает по заранее инициализированным правилам.

Если перпендикуляр создает область не треугольного вида, то предикат принимает значение номера ФП, которой принадлежит данная область.

Алгоритм «правила треугольника»:

1. Определить предикат управляющего перехода, используя выражение (4), (6).
2. Определить тип функции перехода в зависимости от управляющего перехода.

3. При принадлежности значения  $x$  области пересечения ФП, задача определения ближайшей к этому значению ФП сводится к задаче нахождения точки на оси  $X$ , лежащей на одной прямой с противоположной ей вершиной (рис. 6). Найти данную точку  $x'$ , используя уравнения трапециевидных ФП (2).

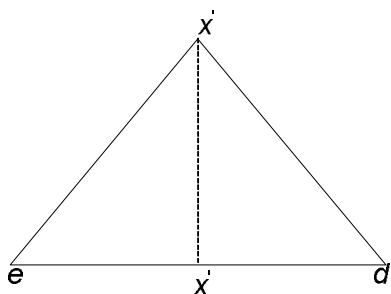


Рис. 6. Алгоритм «правило треугольника»

Для случая рис. 5 стороны треугольника задаются следующими уравнениями:

$$y(\mu_1) = \frac{d - x''}{d - c};$$

$$y(\mu_2) = \frac{x'' - e}{f - e}.$$

Найти  $x'$ :

$$x'' = x' = \frac{ec - df}{e + c - f - d}.$$

4. Определить отрезки на оси  $X$ , которые образуются перпендикуляром, опущенным с точки  $x''$  в точку  $x'$  и их принадлежность определенным ФП, следующим образом:

$$X_1(\mu_1) \in [x', d];$$

$$X_2(\mu_2) \in [e, x'],$$

где  $d, e$  – параметры соответственно первой и второй функции принадлежности, образующие неопределенность (рис. 4, 5).

5. Определить управляющее значение предиката  $\gamma$  равным номеру ФП, исходя из следующего условия:

$\gamma = m \leftrightarrow x \in X_1(\mu_1); \gamma = m + 1 \leftrightarrow x \in X_2(\mu_2)$ . Другими словами, если в момент активности перехода значение  $x$  попадает в отрезок, определяемый  $m$ -й ФП, то предикат принимает значение  $m$ .

6. Данное значение использовать в выражении (5) для перехода  $MU$  и в выражении (7) для перехода  $MX$ , при определении входных/выходных мест передачи/получения метки со всеми атрибутами.

Данный алгоритм наиболее пригоден для использования в случаях пересечения двух функций принадлежности.

В случаях пересечения большого количества ФП он становится менее эффективным из-за увеличения объемов вычисления.

**Примечания:**

Если значение  $x$  попадает в середину отрезка, образованного перпендикуляром из  $x''$ , то срабатывает входное/выходное место, определенное по правилу, инициализированному заранее.

Для примера будет рассмотрен случай управляющего перехода  $E$ -сетей  $MX$ , который моделирует процессы перенаправления и разветвления процессов. Данный переход моделирует реакцию управляющего агента  $A_\Gamma$  участка сети (узла) на вероятность перегрузок, полученной, исходя из значения вероятности потери пакетов (рис. 7).

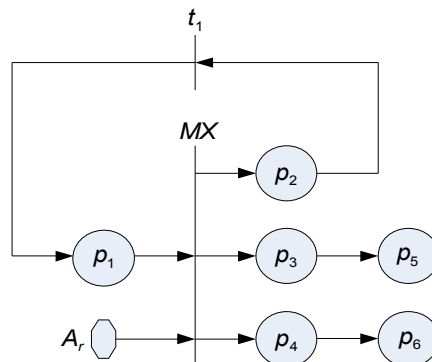


Рис. 7. Управляющий агент

В данном переходе:

- $p_1$  – исходное состояние участка сети связи;
- $p_2$  – состояние «ВОЗМОЖНАЯ ПЕРЕГРУЗКА, ВЗЯТЬ ТАЙМ-АУТ ПЕРЕДАЧИ»;
- $p_3$  – состояние «ПЕРЕГРУЗКИ НЕТ»;
- $p_4$  – состояние «ПЕРЕГРУЗКА ЕСТЬ»;
- $p_5$  – дальнейшая обработка пакетов в сети;
- $p_6$  – реакция сети на состояние перегрузки;
- $t_1$  – тайм-аут передачи и возвращение в исходное состояние.

Нечеткий управляющий предикат, зависящий от параметра вероятности блокировки пакетов  $P_{\text{бл}}$ , определяется следующим выражением:

$$A_\Gamma = \begin{cases} \mu(p_2), P_{\text{бл}} \in [0, 4; 0, 8]; \\ \mu(p_3), P_{\text{бл}} \in [0; 0, 5]; \\ \mu(p_4), P_{\text{бл}} \in (0, 8; 1], \end{cases}$$

где интервалы  $P_{\text{бл}}$  и форма ФП инициализируются заранее экспериментально либо экспертной оценкой.

Итоговое дерево разметок для данного перехода представлено на рис. 8

Соответствующая разметка  $\{M_1, \dots, M_4\}$  определяется выражением (7), исходя из значения параметра  $P_{\text{бл}}$ . Неопределенность пересечения двух ФП в разметке  $M_4$  раскрывается, используя алгоритмы «площади» и «правила треугольника».

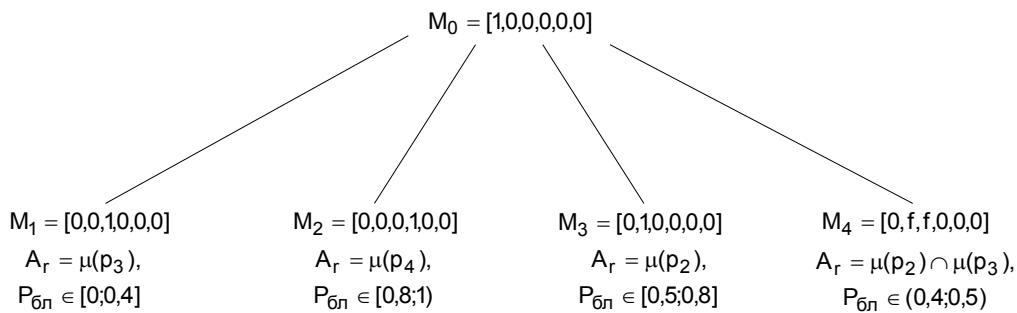


Рис. 8. Дерево возможных разметок

## Выводы

Полученные условия активности (1), (2) и функции управляющих переходов с НЛ (5), (7) не противоречат их определениям, полученным в [5] для четких E-сетей, и являются их дополнением в случае нечеткого управления.

Полученные правила определения предикатов и алгоритмы раскрытия неопределенностей не противоречат классическому определению предикатов и могут трактоваться в рамках известного имитационного аппарата, как способ получения значения (номера) входного/выходного места для передачи/приема метки в управляющем переходе с НЛ. Соответственно данные правила не изменяют логики работы E-сетей и их свойств [5], а, следовательно, не уменьшают степень адекватности моделей, созданных на их основе.

В результате проведенного анализа сформулированы основные правила работы управляющих переходов с нечеткостью в их предикатах, что дает возможность создавать имитационные модели СПД, включающие в себя элементы НЛ. На базе управляющих переходов E-сетей с НЛ можно получить имитационные модели СПД с распределенной нечеткой системой управления, реализующей функции QoS, построенных на раз-

личных протоколах, таких как IP, TCP, UDP и ATM, а соответственно повести их качественный и количественный анализ. Это дает возможность сделать вывод, какой протокол эффективнее использовать в качестве базового для мультисервисной сети в определенных условиях.

## Список литературы

1. Тимофеев А.В. Проблемы и методы адаптивного управления потоками данных в компьютерных системах // *Материалы конференции "Региональная информатика-2002"* Санкт-Петербург, 26-28 ноября 2002), часть 1. – СПб., 2002. – С.87.
2. Круглов В.И., Дли М.И., Голунов Р.Ю. *Нечеткая логика и искусственные нейронные сети.* – М.: Изд. Физ.мат.лит., 2002. – 221 с.
3. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FazzTECH.* – СПб.: БВХ – Петербург, 2005. – 736 с.
4. Лосев Ю.И., Шматков С.И., Дуравкин Е.В. *Применение E-сетей для моделирования процесса функционирования СОД // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2001. – Вып. 123. – С. 99-103.*
5. Лосев Ю.И., Шматков С.И., Дуравкин Е.В. *Применение методов анализа E-сетей к моделям СОД // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2002. – Вып. 132. – С. 136-141.*

Поступила в редколлегию 3.04.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.И. Лосев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В КЕРУЮЧИХ ПЕРЕХОДАХ E-МЕРЕЖ

О.М. Буханько, Є. В. Дуравкін

*У даній статті розглядаються питання введення математичного апарату нечіткої логіки в керуючі переходи E-мереж, що дозволяє моделювати процеси QoS у мережах зв'язку, використовуючи різні протоколи. Отримано вирази функцій переходу для нечітких керуючих переходів MX і MY, які не суперечать визначенням і властивостям чітких E-мереж. Відповідно чіткі E-мережі можна вважати узагальненням і доповненням класичних E-мереж для випадку нечітких керуючих агентів.*

**Ключові слова:** мультиагентна мережа, керуючий перехід, мережа, імітаційний апарат, нечітка логіка, функція приналежності.

## APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN OPERATING TRANSITIONS OF E-NETWORKS

A. N. Bukhanko, E. V. Duravkin

*In given article questions of introduction of a mathematical apparatus of fuzzy logic in operated transitions of E-networks that allows to model processes QoS in the communication networks using various reports are considered. Expressions of functions of transition for fuzzy operating transitions MX and MY which do not contradict definitions and properties of accurate E-networks are received. Accordingly it is possible to consider fuzzy E-networks as generalisation and addition of classical E-networks for a case of fuzzy operating agents*

**Keywords:** multiagent network, operating transition, a network, the imitating device, the fuzzy logic, accessory function.