УДК 004.7:004.93

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСКРЕТНОЙ ТЕОРИИ ПАТТЕРНОВ

И.И. КОВАЛЕНКО, О.А. КУДИН

Рассмотрены основные понятия и положения дискретной теории паттернов и паттерновых сетей — нового направления анализа и моделирования модульных систем. Описаны примеры использования паттерновых сетей в задачах моделирования локальных компьютерных сетей и представления сценариев на основе И–ИЛИ-графов (деревьев).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для моделирования структур и содержаний информационных систем используются чаще всего два метода — графовый и табличный, которые позволяют создавать наглядные и понятные модели информационных и других систем. Однако появление в последние 10–15 лет сложных территориально-распределенных информационных систем, работающих на основе компьютерных сетей, всевозможных Web-страниц, языков HTML, XML и т.д. обусловило необходимость создания новых методов моделирования и проектирования информационных систем, расширяющих и дополняющих графовые и табличные методы.

Этой потребности отвечают паттерновые сети и основанная на них «парадигма модульного мышления», которая появилась в конце 20-го века в результате создания У. Гренандером теории паттернов (*pattern* — образ) [1–4]. В дальнейшем в результате ограничения области действия формального аппарата теории паттернов были созданы основы дискретной теории паттернов, опубликованные в работе [5]. Данная теория послужила основой построения нового вида модульных систем, названных паттерновыми сетями. Благодаря своим модульным свойствам, паттерновые сети моделируют структуры, содержание и другие характеристики модульных систем. Дискретная теория паттернов и паттерновые сети в настоящее время находятся в начальной стадии развития и их практическое применение в основном сводится к моделированию компьютерных гипертекстов как модульных систем.

Цель статьи — изложение основных положений нового направления анализа систем (теории паттернов и паттерновых сетей) и рассмотрение некоторых примеров их возможного применения в компьютерной науке и практике.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ ТЕОРИИ ПАТТЕРНОВ [5]

Прежде всего рассмотрим основные понятия и определения теории паттернов.

Паттерновые сети состоят из элементарных модульных логических объектов, называемых *образующими* (*generators*), которые являются моделями реальных модулей. Любая образующая имеет неотделимые от нее *связи* (*bonds*), ориентированные (входные/выходные) или неориентированные. Две связи, принадлежащие разным образующим, соединяются в *связку* паттерновой сети (*linkage*). Путем такого попарного (одна с одной) соединения связей в связки из образующих строятся паттерновые сети (*pattern network — PN*) — модели реальных модульных систем. На рис. 1 дано графическое представление информационных структур паттерновыми и графовыми сетями, что дает возможность оценить их основные различия.

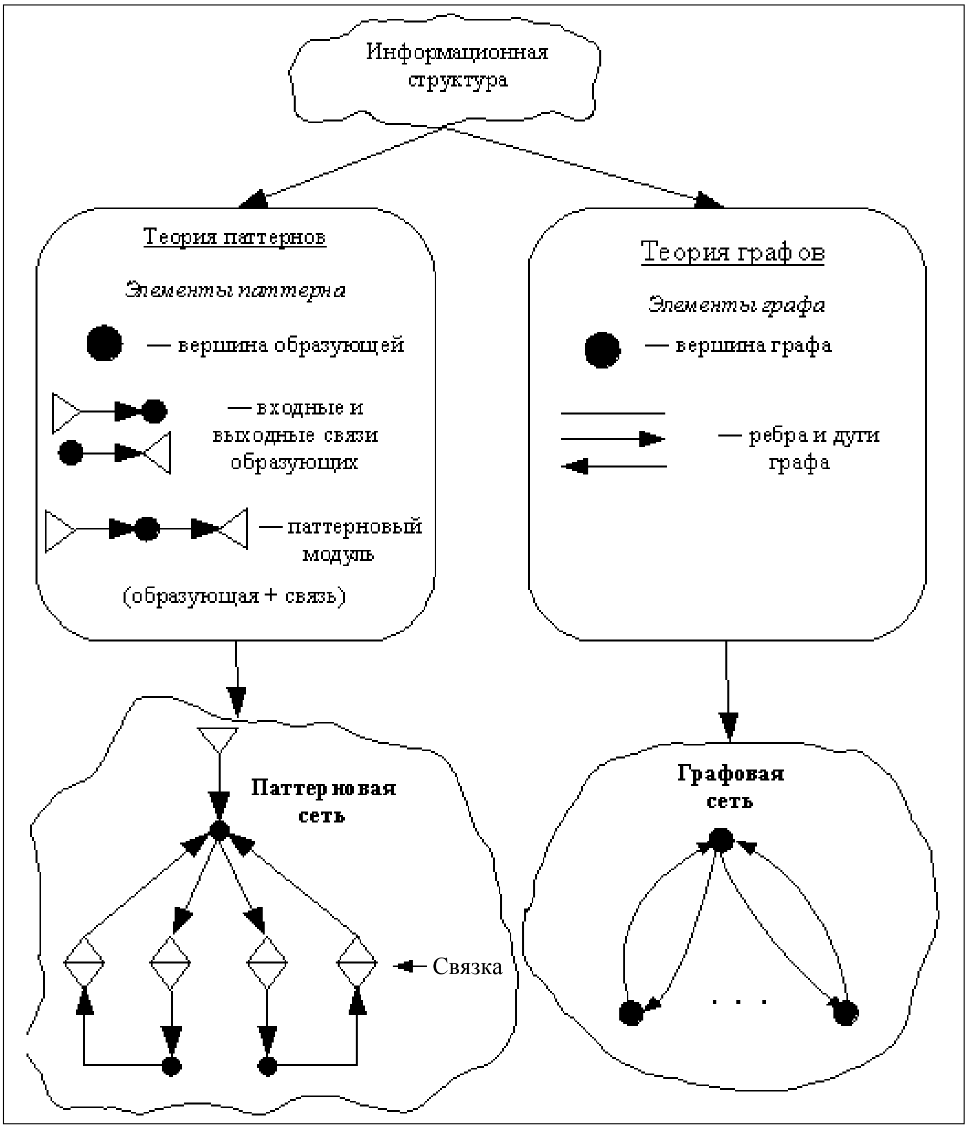

Рис. 1. Графическое представление информационных структур паттерновыми и графовыми сетями

Практика решения компьютерных задач с помощью паттерновых сетей показала, что реальные модули с разным числом входов и выходов моделируются ориентированными образующими, определяемыми следующим параметрическим вектором признаков [5]:

$$a(g_i) = a(i, \gamma_{i1}, \beta_{im}^{\text{in}}, \beta_{ir}^{\text{out}}), \tag{1}$$

где g_i — образующая ($i = 1,2,\ldots,n$); $a(g_i)$ — вектор признаков образующей; i — порядковый номер образующей g_i в конечном множестве образующих G_n; γ_{i1} — компонента вектора признаков, называемая атрибутом образующей; β_{im}^{in}, β_{ir}^{out} — компоненты вектора, называемые показателями (переменными) входных и выходных связей образующей g_i; m, r — параметры, числовые значения которых обозначают соответственно числа входных и выходных связей образующих.

Чтобы вектор (1) представлял как структуры, так и информационное содержимое образующих, его компонентам ставятся в соответствие домены D_{i1}, D_{im}^{in}, D_{ir}^{out}, которые определяются как конечные или счетные множества данных о реальных модулях.

На каждой связке паттерновой сети устанавливается бинарное отношение между двумя ее переменными β, называемое отношением связей и обозначаемое символом ρ (соединено). В общем случае связка сети может быть представлена в виде $\beta^{\text{out}} \rho \beta^{\text{in}}$, ρ — соединено ИСТИНА или ЛОЖЬ.

Изменение числовых параметров m и r в векторе (1) позволяет моделировать реальные модули с различным числом входных и выходных связей, а также формировать различные типы (классы) образующих. Например, если $m = r = 1$, то в результате получается линейная образующая (L-образующая, рис. 2,*а*) — модель модулей с одним входом и одним выходом.

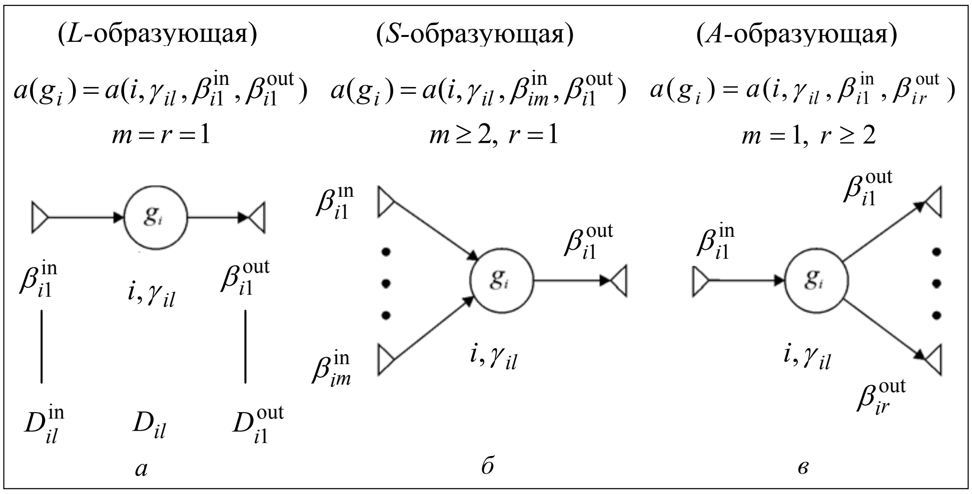

Рис. 2. Основные типы образующих

При $m \geq 2$ и $r = 1$ линейная образующая преобразуется в образующую синтеза (S-образующую, рис. 2,*б*), а при $m = 1$, $r \geq 2$ получается образующая анализа (A-образующая, рис. 2,*в*).

В качестве примера приведем формальное описание некоторой абстрактной паттерновой сети (рис. 3).

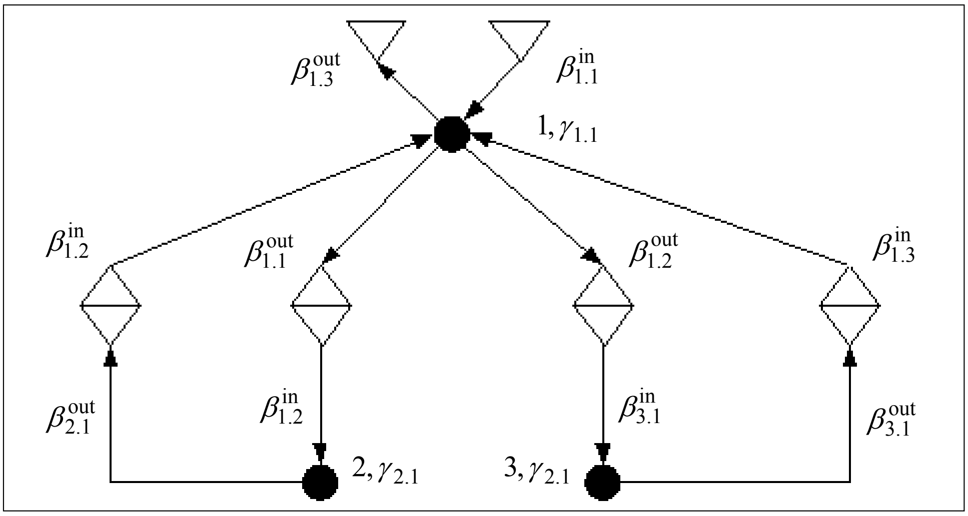

Рис. 3. Абстрактная паттерновая сеть

$$\text{Структурный скелет сети} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \text{Состав} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} a(g_1) = a(1, \gamma_{11}, \beta_{11}^{in}, \beta_{12}^{in}, \beta_{13}^{in}, \beta_{11}^{\text{out}}, \beta_{12}^{\text{out}}, \beta_{13}^{\text{out}}) \\ a(g_2) = a(2, \gamma_{21}, \beta_{21}^{in}, \beta_{21}^{\text{out}}) \\ a(g_3) = a(3, \gamma_{31}, \beta_{31}^{in}, \beta_{31}^{out}) \end{array} \right. \\ \text{Структура} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \beta_{21}^{\text{out}} \rho \beta_{12}^{in}, \beta_{11}^{\text{out}} \rho \beta_{21}^{in}, \beta_{12}^{\text{out}} \rho \beta_{31}^{in}, \beta_{31}^{\text{out}} \rho\, \beta_{31}^{in} \\ \rho - \text{соединение ИСТИНА} \end{array} \right. \\ \text{Содержание} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} D_{11}, D_{21}, D_{31} \\ D_{11}^{in}, D_{12}^{in}, D_{13}^{in}, D_{11}^{\text{out}}, D_{12}^{\text{out}}, D_{13}^{\text{out}} \\ D_{21}^{in}, D_{21}^{\text{out}}, D_{31}^{in}, D_{31}^{\text{out}} \end{array} \right. \end{cases}$$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрим локальную компьютерную сеть (ЛКС) с соединением компьютеров по схеме типа «звезда». Эта схема наиболее часто применяется в ЛКС из-за ее надежности и удобства в эксплуатации. Типовая схема и граф такой ЛКС приведены на рис. 4.

На основании теории паттернов в этой схеме можно выделить три атомарных (модульных) объекта — компьютеры, коммутатор и соединительные линии. Их можно представить в виде образующих (рис. 5).

В качестве примера рассмотрим процесс формализации параметров образующей, моделирующей соединительную линию. Сначала зададим образующую в абстрактном виде, без учета среды, в которой она может действовать. Так как мы говорим о соединительной линии между компьютером и коммутационным устройством или между двумя коммутационными устройствами, то эта образующая будет иметь один вход и один выход (рис. 6).

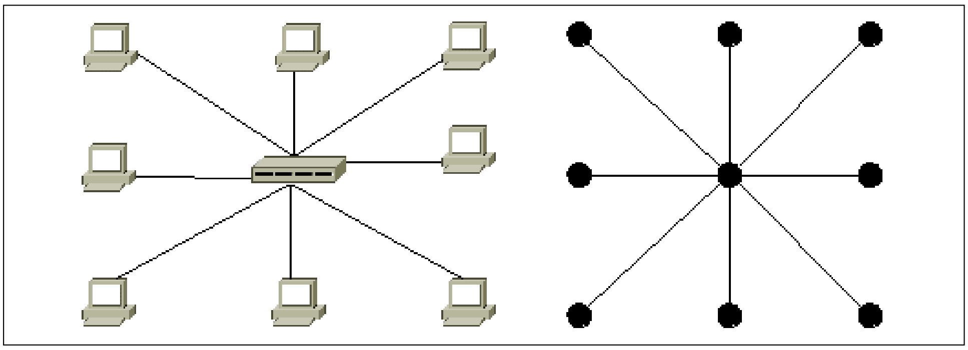

Рис. 4. Схема и граф соединения компьютеров в локальную сеть с топологией «звезда»

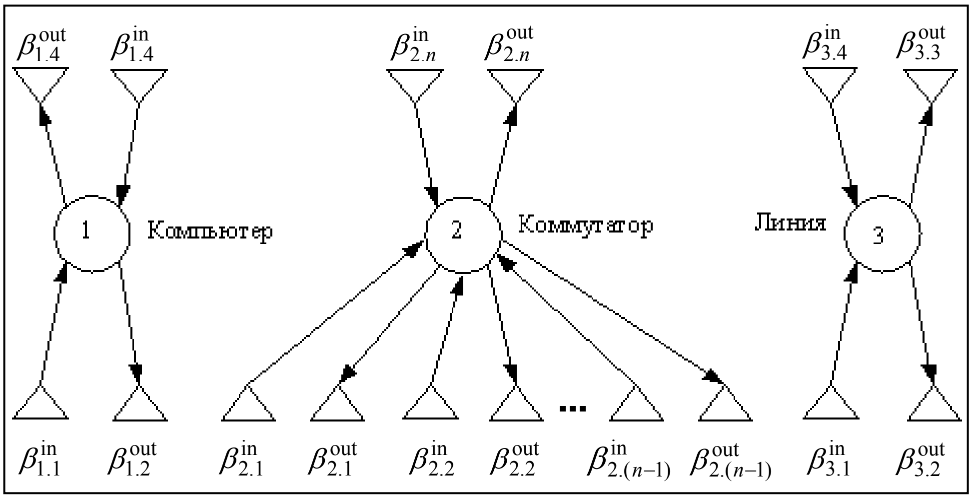

Рис. 5. Образующие паттерновой сети

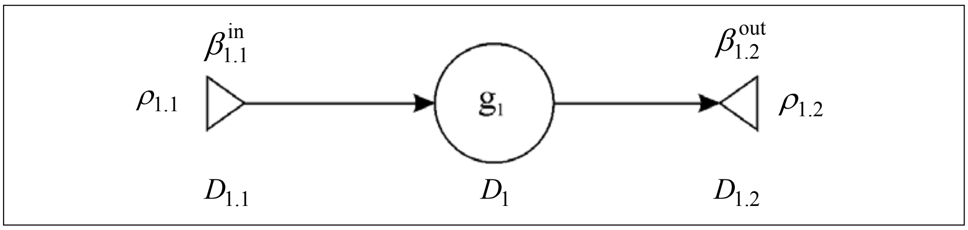

Рис. 6. Абстрактная образующая соединительной линии

В качестве идентификатора образующей примем обозначение g_i, которое является индексом образующей во множестве образующих G, $g_i \in G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$. Тогда вектор признаков образующей будет иметь вид

$$a(g_1) = \left(1, \gamma_1, \beta_{1.1}^{\text{in}}, \beta_{1.2}^{\text{out}}, D_1, D_{1.1}, D_{1.2}, \rho_{1.1}, \rho_{1.2}\right), \tag{2}$$

где 1 — индекс класса, а γ_1 — атрибут (идентификатор) образующей; $\beta_{1.1}^{\text{in}}$ — показатель входной и $\beta_{1.2}^{\text{out}}$ — выходной связи; D_1 — домен допустимых значений параметров образующей и $D_{1.1}$ — домен входной и $D_{1.2}$ — выходной связи; $\rho_{1.1}$ — отношение согласования (отношение связи) для входной и $\rho_{1.2}$ — выходной связи.

Наполнение элементов вектора признаков соответствующими значениями параметров позволит перейти от абстрактной образующей к конкретной. Это наполнение будем производить в следующем порядке.

1. **Определение атрибута образующей**. В качестве атрибута (идентификатора образующей) примем $L_{1.i}$, где L — идентификатор образующей (line); 1 — индекс класса образующей; i — порядковый номер образующей в классе.

2. **Определение множества допустимых значений доменов**. Для определения множества допустимых значений доменов $D_1, D_{1.1}, D_{1.2}$ воспользуемся таблицей.

Домен D_1 содержит множество данных, относящихся ко всей образующей. Его можно представить так:

$$D_1 = \{T_i, L_j\}, \quad i = 1,2,\ldots,n, \;\; j = 1,2,\ldots,m, \tag{3}$$

где T_i — множество подмножеств параметров, характеризующих тип соединительной линии; L_j — множество всех допустимых значений, которые может принимать длина соединительной линии.

В свою очередь, множества T_i и L_j имеют вид

$$T_i = \{s_i, k_i, l_{\max i}, v_{\max i}\}, \quad L_j = \{l_1, l_2, \ldots, l_m\}, \tag{4}$$

где i — номер подмножества T_i ($i = 1,2,\ldots,n$); j — номер множества L_j ($j = 1,2,\ldots,m$); s_i — обозначение типа линии по спецификации IEEE 802.3; k_i — категория кабеля; $l_{\max i}$ — максимально допустимая длина линии согласно спецификации IEEE 802.3; $v_{\max i}$ — максимальная пропускная способность линии.

Домен $D_{1.1}$ содержит множество данных, относящихся к входной связи образующей. Это множество запишем как

$$D_{1.1} = \{X_{\text{in}}, Y_{\text{in}}, Z_{\text{in}}, N_{p(\text{in})}\}, \tag{5}$$

где X_{in} — множество координат x_{in} точек соединения входной связи соединительной линии с выходной связью коммутационного устройства; Y_{in} — множество координат y_{in}; Z_{in} — множество координат z_{in}; $N_{p(\text{in})}$ — номер порта коммутационного устройства, к которому подключается входная связь соединительной линии.

Параметры соединительной линии

Наименование образующей	Наименование технологии сетевого соединения	Атрибут образующей	Наименование спецификации по IEEE802.3	Категория кабеля	Максимальная длина соединения, м	Максимальная пропускная способность, Мбит/с	Примечание
		γ_1	s_i	k_i	$l_{\max}$	$v_{\max}$	
g_1	Fast Ethernet	L1.1	100Base-TX	UTP5	100	100	
g_2		L1.2	100Base-TX	STP1	100	100	
g_3		L1.3	100Base-T4	UTP3	100	100	
g_4		L1.4	100Base-T4	UTP4	100	100	
g_5		L1.5	100Base-T4	UTP5	100	100	
g_6		L1.6	100Base-FX	MMF	412	100	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм (полудуплекс)
g_7		L1.7	100Base-FX	MMF	2000	100	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм (дуплекс)
g_8	Gigabat Ethernet	L1.8	1000Base-SX	MMF	500	1000	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм, λ=850нм
g_9		L1.9	1000Base-SX	MMF	500	1000	Многомодовое оптоволокно 50/125 мкм, λ=850нм
g_{10}		L1.10	1000Base-LX	MMF	500	1000	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм, λ=1300нм
g_{11}		L1.11	1000Base-LX	MMF	500	1000	Многомодовое оптоволокно 50/125 мкм, λ=1300нм
g_{12}		L1.12	1000Base-LX	SMF	2000	1000	Одномодовое оптоволокно, λ=1300нм
g_{13}		L1.13	1000Base-CX	STP	25	1000	Экранированный сбаланс. медный кабель с волн. сопр. 150 Ом
g_{14}		L1.14	1000Base -T	UTP5	100	1000	Счетверенная неэкр. витая пара
g_{15}	10G Ethernet	L1.15	10GBase-LX4	MMF	200	10000	Многомодовое оптоволокно, λ=1310нм
g_{16}		L1.16	10GBase-LX4	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, λ=1310нм
g_{17}		L1.17	10GBase-WS	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, λ=850нм
g_{18}		L1.18	10GBase-WL	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, λ=1310нм
g_{19}		L1.19	10GBase-WE	SMF	40000	10000	Одномодовое оптоволокно, λ=1550нм
g_{20}		L1.20	10GBase-RS	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, λ=850нм
g_{21}		L1.21	10GBase-RL	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, λ=1310нм
g_{22}		L1.22	10GBase-RE	SMF	40000	10000	Одномодовое оптоволокно, λ=1550нм

Домен $D_{1.2}$ содержит множество данных, относящихся к входной связи образующей. Это множество можно представить в виде

$$D_{1.2} = \{X_{\text{out}}, Y_{\text{out}}, Z_{\text{out}}, N_{p(\text{out})}\}, \tag{6}$$

где X_{out} — множество координат x_{out} точек соединения выходной связи соединительной линии с входной связью коммутационного устройства; Y_{out} — множество координат y_{out}; Z_{out} — множество координат z_{out}; $N_{p(\text{out})}$ — номер порта коммутационного устройства, к которому подключается выходная связь соединительной линии.

3. **Определение показателей связи**. Показатели связи образующей $g_i \beta_{1.1}$ и $\beta_{1.2}$ будут результатами конъюнкции параметров s_i и k_i (3). Тогда

$$\beta_{1.1}^{\text{in}} = \beta_{1.2}^{\text{out}} = s_i \wedge k_i\,. \tag{7}$$

4. **Определение отношения согласования**. Условием соединения $\beta_{\text{ком}}^{\text{out}}$ и $\beta_{\text{лин}}^{\text{in}}$, а также $\beta_{\text{лин}}^{\text{out}}$ и $\beta_{\text{ком}}^{\text{in}}$, является равенство

$$\begin{cases} \beta_{\text{ком}}^{\text{out}} = \beta_{\text{лин}}^{\text{in}}, \\ \beta_{\text{лин}}^{\text{out}} = \beta_{\text{ком}}^{\text{in}}, \end{cases} \tag{8}$$

где $\beta_{\text{ком}}^{\text{out}}$ — показатель выходной связи коммутационного устройства; $\beta_{\text{лин}}^{\text{in}}$ — показатель входной и $\beta_{\text{лин}}^{\text{out}}$ — выходной связи линии; $\beta_{\text{ком}}^{\text{in}}$ — показатель входной связи коммутационного устройства.

Формулы (2)−(8) являются математической моделью соединительной линии.

Образующие (рис. 5) можно объединить в паттерновую сеть (конфигурацию), если задать систему правил, определяющих, какие конфигурации можно считать допустимыми или регулярными [4]. Для этого найдем показатели связи β и отношение связи ρ.

Показатели связи β для всех входных и выходных связей являются результатом конъюнкции логических высказываний A и B, например: A — соединительный разъем RJ45; B — протокол физического уровня Fast Ethernet. Тогда значение показателя связи можно записать в виде логической формулы $\beta = A \wedge B$. Если считать отношение связи ρ равенством, то правило соединения образующих можно записать в виде $\beta^{\text{out}} \rho\, \beta^{\text{in}} \to$ $\to \beta^{\text{out}} = \beta^{\text{in}}$.

Приведенные на рис. 5 образующие позволяют сформировать конфигурацию паттерновой сети PN для ЛКС типа «звезда» (рис. 7). Выполним ее формальное описание. Принимая во внимание, что все ветви являются идентичными, выкладки приведем для одной из них.

$$PN = \begin{cases} \text{Состав} \begin{bmatrix} a(g_1) = a(1, \gamma_1, \beta_{11}^{\text{in}}, \beta_{13}^{\text{in}}, \beta_{12}^{\text{out}}, \beta_{14}^{\text{out}}) \\ a(g_2) = a(2, \gamma_2, \beta_{21}^{\text{in}}, \beta_{2n}^{\text{in}}, \beta_{22}^{\text{out}}, \beta_{2n}^{\text{out}}) \\ a(g_3) = a(3, \gamma_3, \beta_{31}^{\text{in}}, \beta_{33}^{\text{in}}, \beta_{32}^{\text{out}}, \beta_{34}^{\text{out}}) \end{bmatrix} \\ \text{Связи} \begin{bmatrix} \text{Входные } \beta_{11}^{\text{in}}, \beta_{13}^{\text{in}}, \beta_{31}^{\text{in}}, \beta_{33}^{\text{in}}, \beta_{21}^{\text{in}}, \beta_{2n}^{\text{in}} \\ \text{Выходные } \beta_{12}^{\text{out}}, \beta_{14}^{\text{out}}, \beta_{32}^{\text{out}}, \beta_{34}^{\text{out}}, \beta_{21}^{\text{out}}, \beta_{2n}^{\text{out}} \end{bmatrix} \\ \text{Структура} \begin{bmatrix} \beta_{14}^{\text{out}} \rho \beta_{31}^{\text{in}}; \beta_{34}^{\text{out}} \rho \beta_{21}^{\text{in}}; \beta_{21}^{\text{out}} \rho \beta_{33}^{\text{in}}; \\ \beta_{32}^{\text{out}} \rho \beta_{13}^{\text{in}};. \quad \rho \text{ — соединение ИСТИНА} \\ \beta^{\text{out}} \rho \beta_{11}^{\text{in}}; \beta^{\text{in}} \rho \beta_{12}^{\text{out}}; \beta^{\text{out}} \rho \beta_{2n}^{\text{in}}; \beta^{\text{in}} \rho \beta_{2n}^{\text{out}} \\ \rho \text{ — соединение ЛОЖЬ} \end{bmatrix} \\ \text{Связки } N_{23}, N_{31}, N_{13}, N_{32} \\ \text{Содержание} \begin{bmatrix} D_1, D_2, D_3 \\ D_{11}^{\text{in}}, D_{13}^{\text{in}}, D_{31}^{\text{in}}, D_{33}^{\text{in}}, D_{21}^{\text{in}}, D_{2n}^{\text{in}} \\ D_{2n}^{\text{out}}, D_{21}^{\text{out}}, D_{34}^{\text{out}}, D_{32}^{\text{out}}, D_{14}^{\text{out}}, D_{12}^{\text{out}} \end{bmatrix} \end{cases}$$

Если сравнить рис. 4 и рис. 7, то очевидно, что рис.7 содержит больше информации о структуре, составе и содержании ЛКС, чем графовая модель, что позволяет более детально подойти к процессу их анализа и синтеза.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И–ИЛИ-ГРАФОВ (ДЕРЕВЬЕВ) ПАТТЕРНОВЫМИ СЕТЯМИ

Графы-деревья широко используются для построения различных сценариев, возникающих в процессе прогнозирования и исследования технических, экономических, социальных и других процессов и систем. Наиболее общей интерпретацией И–ИЛИ-графа является то, что его вершинам соответствуют отдельные задачи, а дуги отображают взаимосвязь между задачами.

Для отображения различного рода альтернатив на входах и выходах вершин графа могут быть использованы логические условия $\wedge$ (И), $\vee$ (ИЛИ) и $\overline{\vee}$ (логическая операция, исключающая ИЛИ). Причем любой тип входа может быть скомбинирован с любым типом выхода. Опыт построения рассматриваемых моделей показывает, что для отображения альтернативных ситуаций в реальном процессе можно выделить восемь типов вершин *e*, которые образуются различными комбинациями входов и выходов.

$$\wedge e \wedge,\ \wedge e \vee,\ \wedge e \overline{\vee},\ \vee e \wedge,\ \vee e \vee,\ \vee e \overline{\vee},\ \overline{\vee} e \vee,\ \overline{\vee} e \wedge .$$

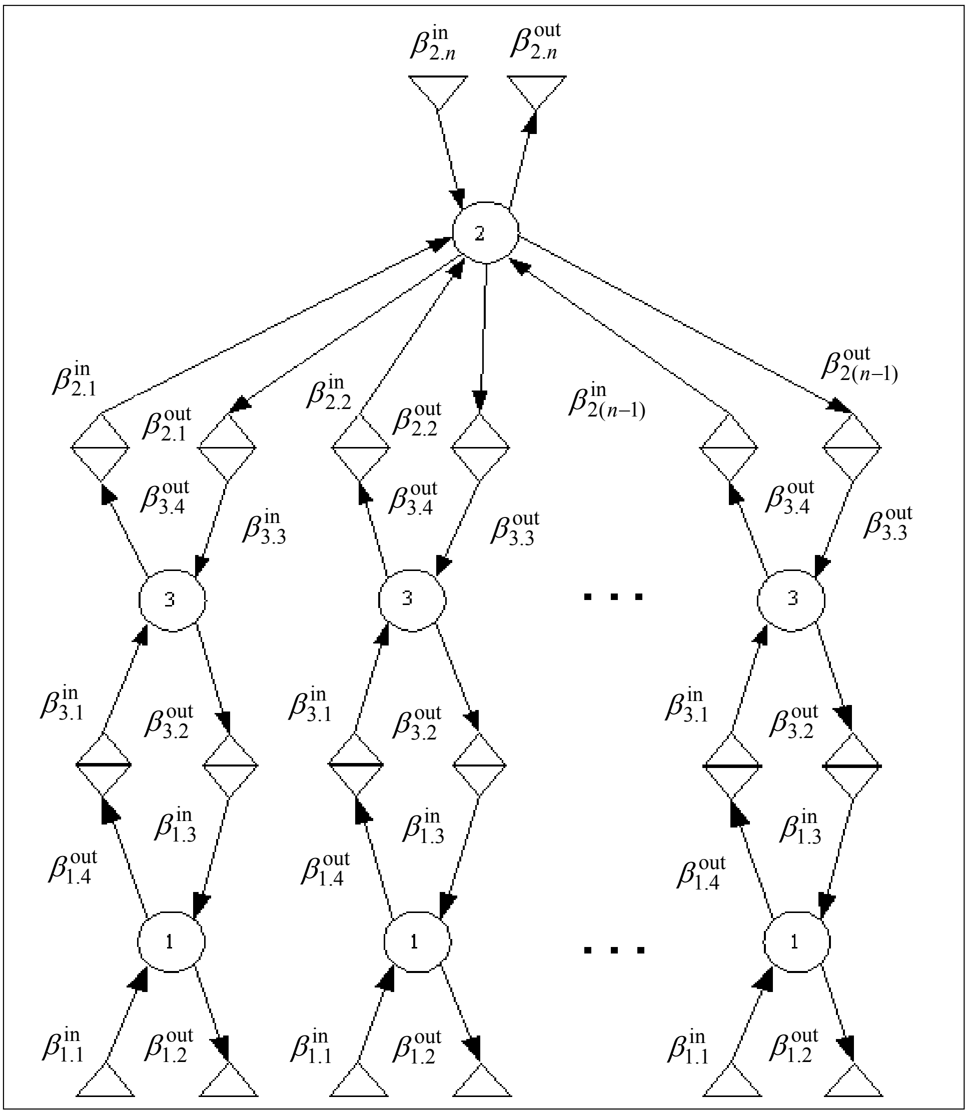

Рис. 7. Конфигурация паттерновой сети для ЛКС типа «звезда»

Например, тип вершины $\wedge e \overline{\vee}$ означает, что на входе e имеет место условие И, т.е. вершина e считается свершенной после окончания всех работ, непосредственно предшествующих ей, а условие $\overline{\vee}$ на выходе e означает, что будет реализована одна и только одна из всех работ, исходящих из нее.

Рассмотренные типы вершин можно представить паттерновыми образующими, связям которых приданы логические условия (рис. 8).

Выполним формальное описание каждой из образующих.

Образующая 1.

$$a(g_1) = a(1, \gamma_{11}, \beta_{1m}^{\text{in}}, \beta_{1r}^{\text{out}}, D_{11}, D_{1m}^{\text{in}}, D_{1r}^{\text{out}}),$$

$$m \ge 1,\ r \ge 1.$$

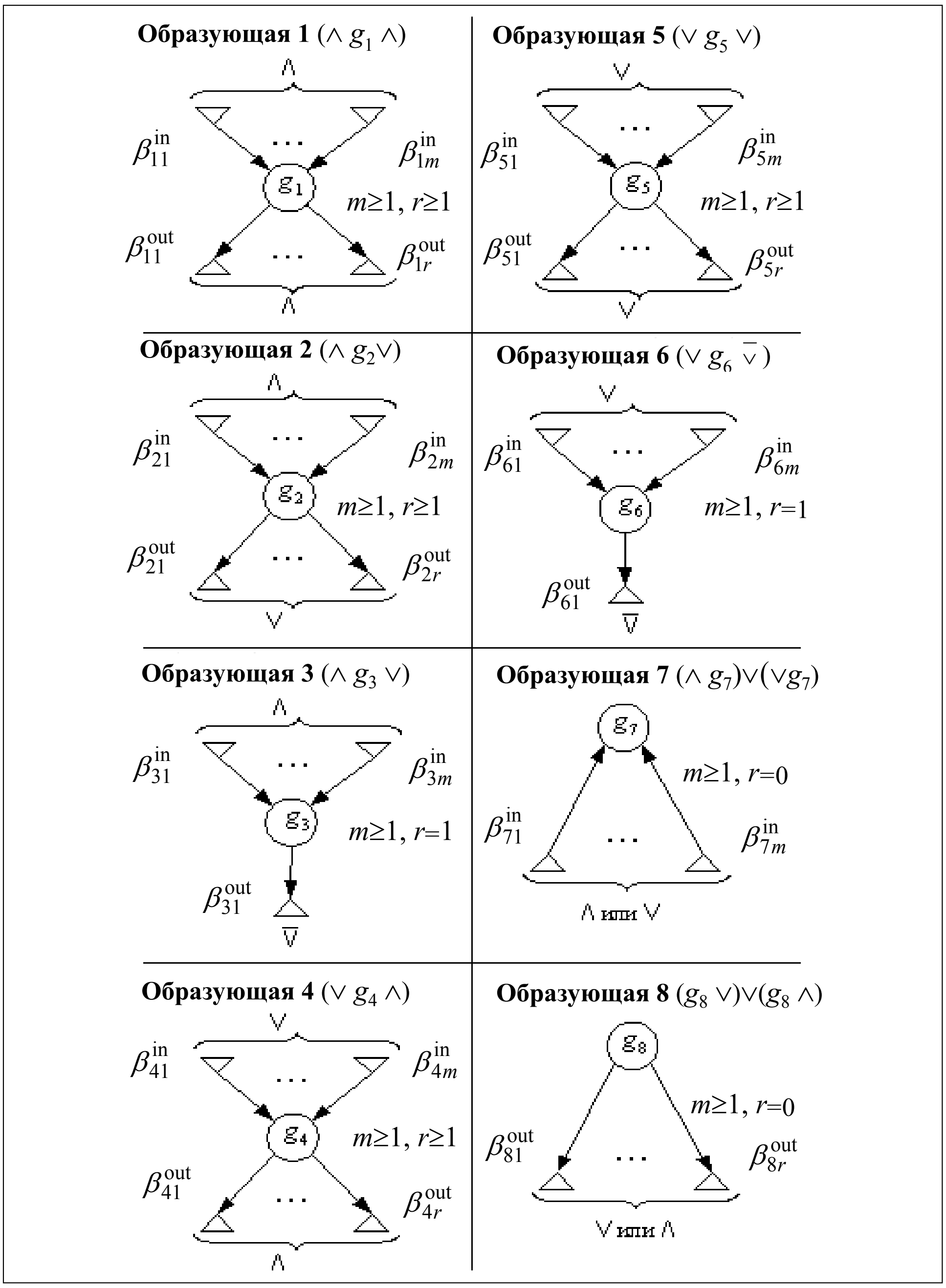

Рис. 8. Виды образующих, построенных по типовым вершинам графа типа «дерево»

$$D_{11}=\langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 1(\wedge g_1 \wedge)\rangle\,;\;\; D_{1m}^{\text{in}}=\left\langle \beta_{11}^{\text{in}}\wedge\beta_{12}^{\text{in}}\wedge\ldots\wedge\beta_{1m}^{\text{in}}\right\rangle,$$

$$D_{1r}^{\text{out}}=\left\langle \beta_{11}^{\text{out}}\wedge\beta_{12}^{\text{out}}\wedge\ldots\wedge\beta_{1r}^{\text{out}}\right\rangle.$$

Образующая 2.

$$a(g_2)=a(2,\gamma_{21},\beta_{2m}^{\text{in}},\beta_{2r}^{\text{out}},D_{21},D_{2m}^{in},D_{2r}^{\text{out}}),$$

$$m \geq 1,\ r \geq 1\,.$$

$$D_{21} = \left\langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 2(\wedge g_2 \vee) \right\rangle;\ D_{2m}^{\text{in}} = \left\langle \beta_{21}^{\text{in}} \wedge \beta_{22}^{\text{in}} \wedge \ldots \wedge \beta_{2m}^{\text{in}} \right\rangle,$$

$$D_{2r}^{\text{out}t} = \left\langle \beta_{21}^{\text{out}} \vee \beta_{22}^{\text{out}} \vee \ldots \vee \beta_{2r}^{\text{out}} \right\rangle.$$

Образующая 3.

$$a(g_3) = a(3, \gamma_{31}, \beta_{3m}^{\text{in}}, \beta_{3r}^{\text{out}}, D_{31}, D_{3m}^{\text{in}}, D_{3r}^{\text{out}})\,,$$

$$m \geq 1, r = 1\,.$$

$$D_{31} = \left\langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 3(\wedge g_3 \overline{\vee}) \right\rangle;\ D_{3m}^{\text{in}} = \left\langle \beta_{31}^{\text{in}} \wedge \beta_{32}^{\text{in}} \wedge \ldots \wedge \beta_{3m}^{\text{in}} \right\rangle,$$

$$D_{3r}^{\text{out}} = \left\langle \beta_{31}^{\text{out}} \right\rangle.$$

Образующая 4.

$$a(g_4) = a(4, \gamma_{41}, \beta_{4m}^{\text{in}}, \beta_{4r}^{\text{out}}, D_{41}, D_{4m}^{\text{in}}, D_{4r}^{\text{out}})\,,$$

$$m \geq 1, r \geq 1\,.$$

$$D_{41} = \left\langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 4(\vee g_4 \wedge) \right\rangle;\ D_{4m}^{\text{in}} = \left\langle \beta_{41}^{\text{in}} \vee \beta_{42}^{\text{in}} \vee \ldots \vee \beta_{4m}^{\text{in}} \right\rangle,$$

$$D_{4r}^{\text{out}} = \left\langle \beta_{41}^{\text{out}} \wedge \beta_{42}^{\text{out}} \wedge \ldots \wedge \beta_{4r}^{\text{out}} \right\rangle.$$

Образующая 5.

$$a(g_5) = a(5, \gamma_{51}, \beta_{5m}^{\text{in}}, \beta_{5r}^{\text{out}}, D_{51}, D_{5m}^{\text{in}}, D_{5r}^{\text{out}})\,,$$

$$m \geq 1, r \geq 1\,.$$

$$D_{51} = \left\langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 5(\vee g_5 \vee) \right\rangle;\ D_{5m}^{\text{in}} = \left\langle \beta_{51}^{\text{in}} \vee \beta_{52}^{\text{in}} \vee \ldots \vee \beta_{5m}^{\text{in}} \right\rangle,$$

$$D_{5r}^{\text{out}} = \left\langle \beta_{51}^{\text{out}} \vee \beta_{52}^{\text{out}} \vee \ldots \vee \beta_{5r}^{\text{out}} \right\rangle.$$

Образующая 6.

$$a(g_6) = a(6, \gamma_{61}, \beta_{6m}^{\text{in}}, \beta_{6r}^{\text{out}}, D_{61}, D_{6m}^{\text{in}}, D_{6r}^{\text{out}})\,,$$

$$m \geq 1,\ r = 1\,.$$

$$D_{61} = \left\langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 6(\vee g_6 \overline{\vee}) \right\rangle;\ D_{6m}^{\text{in}} = \left\langle \beta_{61}^{\text{in}} \vee \beta_{62}^{\text{in}} \vee \ldots \vee \beta_{6m}^{\text{in}} \right\rangle,$$

$$D_{6r}^{\text{out}} = \left\langle \beta_{61}^{\text{out}} \right\rangle.$$

Образующая 7.

$$a(g_7) = a(7, \gamma_{71}, \beta_{7m}^{\text{in}}, D_{71}, D_{7m}^{\text{in}})\,,$$

$$m \geq 1, r = 0\,.$$

$$D_{71} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 7\,(\wedge g_7) \vee (\vee g_7) \rangle ,$$

$$D_{7m}^{\text{in}} = \left\langle \beta_{71}^{\text{in}} \wedge \beta_{72}^{\text{in}} \wedge \ldots \wedge \beta_{7m}^{\text{in}} \right\rangle \vee \left\langle \beta_{71}^{\text{in}} \vee \beta_{72}^{\text{in}} \vee \ldots \vee \beta_{7m}^{\text{in}} \right\rangle .$$

Образующая 8.

$$a(g_8) = a(8, \gamma_{81}, \beta_{8r}^{\text{out}}, D_{81}, D_{8r}^{\text{out}}) ,$$

$$m \geq 1, r = 0 .$$

$$D_{81} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 8\,(g_8 \vee) \vee (g_8 \wedge) \rangle ,$$

$$D_{8r}^{\text{out}} = \left\langle \beta_{81}^{\text{out}} \vee \beta_{82}^{\text{out}} \vee \ldots \vee \beta_{8r}^{\text{out}} \right\rangle \vee \left\langle \beta_{81}^{\text{out}} \wedge \beta_{82}^{\text{out}} \wedge \ldots \wedge \beta_{8r}^{\text{out}} \right\rangle .$$

Из представленных образующих путем попарного соединения составляются паттерновые сети при наличии идентичности логических условий на входных и выходных связях β^{in} и β^{out}. Эти условия являются основными для формирования отношения связи ρ $(\beta^{\text{in}} \rho \beta^{\text{out}})$.

Например, рассмотрим процедуру соединения в сеть образующих g_1 и g_2 (рис. 9) для формализации ρ. Пусть $P_n = \{\rho_j\}$, $j = 1, \ldots, k$ — множество отношений связей и $B_{\wedge}^{\text{out}} = \{\beta_1^{\text{out}} \wedge \beta_2^{\text{out}} \wedge \ldots \wedge \beta_r^{\text{out}}\}$, $B_{\wedge}^{in} = \{\beta_1^{in} \wedge \beta_2^{in} \wedge \ldots$ $\ldots \wedge \beta_m^{in}\}$ — соответственно множества входных и выходных связей, объединенных одной и той же логической функцией. Тогда

$$\exists \rho \in P_n \overset{\text{соединено}}{\Rightarrow} \begin{cases} [\exists(\beta_{1i}^{\text{out}} \in B^{\text{out}}) \wedge \exists(\beta_{2i}^{in} \in B^{in})] - \text{ИСТИНА}, \\ [\exists(\beta_{1i}^{\text{out}} \notin B^{\text{out}}) \wedge \exists(\beta_{2i}^{in} \notin B^{in})] - \text{ЛОЖЬ}. \end{cases}$$

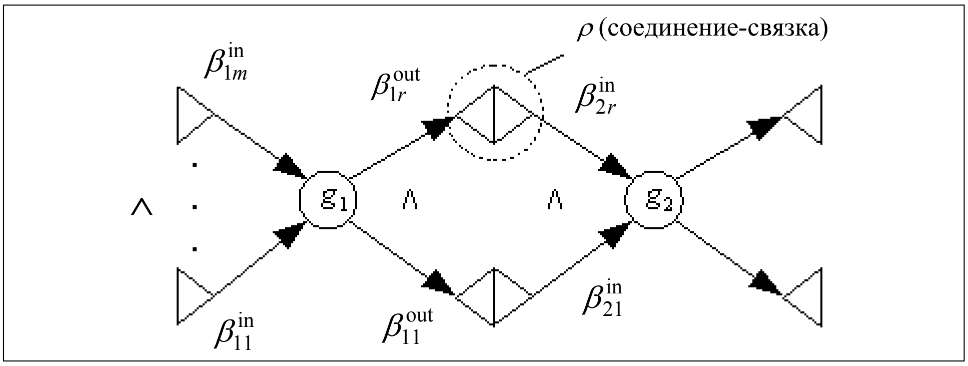

Рис. 9. Схема связывания образующих в сеть

Из представленных образующих путем попарного соединения составляются паттерновые сети при наличии идентичности логических условий на входных и выходных связях β^{in} и β^{out}. Эти условия являются основными для формирования отношения связи ρ $(\beta^{\text{in}} \rho\, \beta^{\text{out}})$.

ВЫВОДЫ

1. Паттерновые сети, наряду с табличными и графовыми методами представления и анализа систем, можно рассматривать как новый инструмент математического моделирования и инженерного проектирования модульных систем.

2. Применение паттерновых сетей при анализе и синтезе модульных систем позволяет более детально представлять модели информационных структур и потоков.

3. Путем варьирования значений параметров m и r в векторе (1), можно генерировать различные виды образующих и на этой основе создавать базы данных для автоматизированного проектирования различных модульных систем.

4. В работе [5] доказано единство модульных, графовых и табличных моделей информационных систем, что дает возможность использовать их как отдельно, так и в различных сочетаниях.

5. Дискретная теория паттернов и паттерновых сетей находится на начальной стадии своего становления и дальнейшее ее развитие, несомненно, расширит сферу практических приложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гренандер У.* Лекции по теории образов: Синтез образов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1979. — 383 с.
2. *Гренандер У.* Лекции по теории образов: Анализ образов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1981. — 446 с.
3. *Гренандер У.* Лекции по теории образов: Регулярные структуры / Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 432 с.
4. *Grenander U.* General Pattern Theory. — Oxford: University Press, 1993. — 904 p.
5. *Шуткин Л.В.* Новое мышление компьютерного мира: паттерновые сети для моделирования информационных систем. — НТИ. — Сер. 2 // Информационные процессы и системы. — 2001. — № 6. — С. 5–17.
6. *Мамиконов А.Г., Кульба В.В.* Синтез оптимальных модульных систем обработки данных. — М.: Наука, 1986. — 275 с.
7. *Трахтенгерц Э.А.* Программное обеспечение автоматизированных систем управления. — М.: Статистика, 1974. — 288 с.

Поступила 17.12.2008