

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

E.N. Chichirin

RECOGNITION OF THE STRUCTURE OF GRAPHIC IMAGES OF BLOCK SCHEMES

A model of representation and an algorithm for syntactic analysis and recognition of graphic block diagrams are developed. The expediency of development of neural network recognition methods is substantiated.

Key words: syntactic analysis, recognition, neural networks.

Розроблена модель представлення та алгоритм синтаксичного аналізу та розпізнавання структур графічних зображень блок-схем. Обґрунтовано доцільність розвитку нейромережових методів розпізнавання.

Ключові слова: синтаксичний аналіз, розпізнавання, нейромережі.

Разработана модель представления и алгоритм синтаксического анализа и распознавания структур графических изображений блок-схем. Обоснована целесообразность развития нейросетевых методов распознавания.

Ключевые слова: синтаксический анализ, распознавание, нейросети.

© Е.Н. Чичирин, 2017

УДК 004.932

Е.Н. ЧИЧИРИН

РАСПОЗНАВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЛОК-СХЕМ

Введение. Работа с графическими изображениями является важным элементом практически любых современных систем автоматизированного проектирования, управления и документооборота. Основные результаты, полученные в области технического зрения и нейросетевой, в том числе глубокой обработки изображений, связаны прежде всего с улучшением их качественных характеристик или распознаванием классов принадлежности присутствующих на них объектов.

За исключением многочисленных программ идентификации лиц освещаемые в открытой печати работы редко затрагивают исследования семантической составляющей распознаваемых изображений, заключенной в его структуре, т. е. взаимоотношениях представленных на изображении объектов. Сцены из реального мира требуют значительных затрат на разработку и реализацию узкоспециализированных систем технического зрения. Унификация и ускорение проектирования подобных систем в последнее время связано с применением глубоких искусственных нейронных сетей (ИНС), например, для автономных роботов и в качестве автопилотов различных транспортных средств.

Основные сложности в случае нейросетевого распознавания переносятся на подготовку обучающих и тестовых множеств примеров и частично на достаточно длительный процесс машинного обучения. При этом распознавание и локализация объектов производятся в рамках перемещаемого окна с

последующим анализом сцен одним из стохастических или синтаксических методов. Причем, с увеличением площади окна затраты на обучение и реализацию ИНС распознавания очень сильно возрастают, а на последующий анализ – умеренно уменьшаются.

Применительно к автоматизированным системам обработки технической, в том числе патентной документации анализ структур блок-схем (БС) возможен на уровне отрезков линий и их соединений, или объектов-фигур, связывающих их отрезков линий и их соединений. В силу ограниченности длины линий и вариантов их соединений лишь размерами всего изображения количество выходов и размер классифицирующей их ИНС, был бы нереально большим для современных технологий. Такие схемы человеческий мозг распознает по частям, а потом "сшивает" и делает это медленнее, чем распознает сцены реального мира из-за отсутствия профессионального и "эволюционного" опыта.

При этом схожий (радиально ориентированный) характер соединений отрезков линий БС позволяет реализовать альтернативный обучаемому нейросетевому распознаванию таких узлов метод последовательного сравнения с набором эталонных радиус-векторов. Данный подход предполагает более высокую итоговую производительность распознавания, а обучаемыми (адаптируемыми) параметрами остаются, возможно, пороги сравнения с эталонами.

С другой стороны, развитие "правополушарных" нейросетевых методов вскоре позволит применять их и на этапе "левополушарного" лингвистического анализа, как это происходит в системах перевода от Google и Microsoft. Во всяком случае, скорость и точность адаптации ИНС в новых областях приложений, как минимум, сравнима с человеческой.

В конечном итоге, далее рассматриваются вариант выделения атомарных структурных примитивов – узлов межсоединений отрезков линий путем сравнения их с заранее сгенерированным эталонными векторами. По ходу изложения указывается на возможность реализации этапа распознавания первичных примитивов нейросетевыми методами. Окончательный синтаксический анализ итоговой структуры БС выполняется на основе общих для обоих подходов правил грамматического разбора.

Постановка задачи и соглашения. В рамках настоящего исследования ставится и решается задача локализации, и идентификации графических элементов (далее – фигур), их связей и приписанных им текстовых строк в изображениях блок-схем, необходимых для последующего адекватного семантического анализа БС.

Источник исходных данных – двумерные изображения *Image* (x, y) или выделяемые их части, отображаемые в произвольном графическом формате системными средствами на экране монитора компьютера:

- интернет файл или локальный файл с изображениями;
- внешняя программа захвата (capture) реальных изображений;
- синтезируемые (тестовые, обучающие) ненагруженные текстом скелетные графы БС.

Выход – структурированный текстовый файл.

Словарь базовых фигур БС включает основные автофигуры Microsoft Office и Visio: прямоугольник, ромб, параллелограмм, окружность, эллипс (овал) и т. п.

Необходимыми и достаточными ограничениями на графическое изображение БС на входе детерминированной (не стохастической) процедуры распознавания ее структуры являются:

- замкнутость выпуклых контуров фигур, отсутствие внутренних от них отводов и стрелок на контурных линиях;
- отсутствие циклов в линиях связи фигур и их объединениях;
- линии связи (со стрелками или без них) должны быть вертикальными или горизонтальными, заканчиваться в вершинах ромбовидных фигур предикатов или на сторонах остальных фигур и не являться прямолинейными продолжениями сторон этих фигур;
- отсутствие разрывов в любых линиях и в точках их соединения более заданного порога S_r пикселей и расстояние между различными линиями не менее $S_r + 1$ пикселей.

Вышеперечисленные ограничения являются типовыми для начертания БС алгоритмов. Более того, формально допускаются связи между фигурами типа сходящихся и расходящихся деревьев (без образования сходящихся разветвлений) для отображения параллельных процессов, например, в электронных схемах.

Модель процесса распознавания. В силу конечности числа элементов изображения БС из-за очевидных ограничений на его размеры правила синтаксического его разбора могут быть представлены регулярной грамматикой или конечным автоматом. Однако, учитывая специфику постановки задачи и чрезмерное количество вариантов БС, для упрощения восстановления и восприятия алгоритма распознавания их структуры целесообразно использовать устоявшиеся программные конструкции в виде стека (или даже динамического массива), т. е. перейти к модифицированным контекстно-независимым грамматикам и реализующим их магазинным программным автоматам [1, 2].

Программные грамматики отличаются тем, что дополнительно к списку возможных правил подстановок содержат множество предикатов, определяющих дополнительные условия применения этих правил.

Можно показать, что язык, порождаемый бесконтекстной программной грамматикой, может быть языком непосредственно составляющих. Более того, показано, что класс языков, порождаемых бесконтекстными программными грамматиками, включает все бесконтекстные языки. При этом модифицированные программные грамматики позволяют описать алгоритм распознавания структуры БС более привычными программными конструкциями [3].

Далее под синтаксической моделью (грамматикой) БС будем подразумевать пятерку:

$$(N, T, J, P, N_0), \quad (1)$$

где N, T, J, P – соответственно конечные множества вспомогательных переменных (нетерминальных символов), терминальных графических символов, меток предикатов и правил подстановки; $N_0 \in N$ – начальный символ.

Множество T терминальных графических символов – это объединение конечных множеств непроеизводных графических символов V , производных от них символов фигур F_T , связей между фигурами C_T и ассоциированных с фигурами и связями слов текста W_T

$$T = V \cup F_T \cup C_T \cup W_T. \quad (2)$$

В процессе распознавания БС в ассоциированных с F_T, C_T, W_T упорядоченных множествах F, C, W сохраняются списки текстовых атрибутов, представляющих порядковые (по ходу распознавания) номера соответственно фигур, объединений линий связи и блоков слов, а также их тип, сигнатуры и пространственные координаты принадлежащих им узлов на плане $Img(x, y)$ изображения БС. Большая часть текстовых атрибутов в виде отчета сохраняется в выходном текстовом файле.

Множество V вспомогательных непроеизводных графических символов выбирается из условия простоты их выделения на изображении БС до начала собственно структурного анализа. С другой стороны, это множество должно обеспечивать возможность (желательно наиболее простым способом) структурной композиции из него множеств F_T терминальных фигур и C_T – связей между ними. Применительно к БС в качестве V выбрано множество из k радиус-векторов R_i единичной (условно) длины с различной ориентацией на поле изображения, кратной постоянному шагу $\Delta\varphi = 2\pi/k$ их угла поворота против часовой стрелки относительно начального угла φ_0 :

$$\begin{aligned} V &= \{R_i \mid i = \overline{0, k-1}\}, \\ \varphi_i &= 2\pi * i / k = 360 * i / k, \\ R_i &= \{(x_i^v, y_i^v) \mid v = \overline{0, r}\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $(x_i^v, y_i^v) \in R_i, v = \overline{1, r}$ и (x_i^0, y_i^0) – координаты r точек вектора относительно центра вращения и очередного центра вращения в направлении луча R_i .

Последовательное сканирование конкатенирующих цепочек (конфигураций) элементарных отрезков (лучей) БС, сравнение их с эталонами из V и дальнейшие морфологические преобразования позволяют получить их сигнатуры Z – компактные представления о пространственном расположении, типе и связях фигур из F_T и объединений связей из C_T , инвариантные при необходимости к операциям масштабирования, сдвига и вращения.

При нейросетевом подходе последовательная классификация и локализация точечных соединений элементарных отрезков, в том числе многолучевых, про-

изводится с помощью сверточной ИНС, предварительно обученной на множестве примеров таких соединений.

Множество F_T терминальных символов составляют основные фигуры БС. Полный текстовый эквивалент фигуры $F_g^\theta \in F$ включает порядковый (по ходу процесса распознавания) номер фигуры g , ее тип θ : 1 – прямоугольник, 2 – ромб, 3 – параллелограмм, 4 – эллипс (овал) и т.п., адресные ссылки (координаты на плане БС) на принадлежащие им узлы соединений контурных линий, а также входные и выходные узлы линий связи с другими фигурами.

В множество C_T терминальных символов по мере распознавания включаются разнообразные конфигурации (от одиночных до разветвленных древовидных) объединений линий связи фигур. Аналогично F_g^θ атрибуты $C_u^\theta \in C$ содержат их тип θ (одно- или двунаправленный), порядковый номер u и координаты узлов соединений линий связи внутри данного объединения и с контурными линиями фигур.

Множество W_T ассоциированных с фигурами и связями слов текста представляют вторую семантическую составляющую БС (после иерархии связей). Координаты текста для дальнейшего его распознавания определяются по контурам фигур и расположению выходных узлов предикатов.

Множество P правил подстановки – это множество продукций вида

$$\alpha \rightarrow \beta, \quad \alpha, \beta \in N \cup F_T^* \cup C_T^* \cup W_T^*, \quad (4)$$

где $N \cup F_T^* \cup C_T^* \cup W_T^*$ – объединение конечных множеств всевозможных цепочек символов соответственно из N , F_T , C_T , W_T и α содержит по крайней мере один символ из N . Выражение (4) задает возможные варианты развития процесса последовательного дополнения правых частей β продукций до финального графического $F_T^* \cup C_T^* \cup W_T^*$ и далее соответственно текстового F , C , W описания БС в зависимости от его текущего состояния α .

Множество J номеров (меток) предикатов задают дополнительные к P условия их применения, вычисления координат и других атрибутов элементов БС, а также служат для организации эффективных, не переборных процедур алгоритма распознавания. Следует отметить, что реализация правил подстановки из P на программном уровне выполняется теми же средствами, что и реализация предикатов из J .

В итоге, совокупный анализ – распознавание структуры двумерного образа БС с учетом грамматики его построения и для получения его формализованного текстового описания F , C , W представляется в виде рекурсивной процедуры обновления выходного предложения из терминальных символов (F_N^* , F_T^* , C_T^*), вспомогательных переменных из N и атрибутов из F , C , W

путем применения к его текущему значению правил подстановки P и совокупности предикатов J .

$$(F, C, W, N, F_T^*, C_T^*, W_T^*)_{t-1} \xrightarrow{P, J} (F, C, W, N, F_T^*, C_T^*, W_T^*)_t. \quad (5)$$

По своей сути, правила подстановки из P на каждом шаге рекурсивной процедуры распознавания БС определяют возможные варианты ее дальнейшей структуры, например, после контура фигуры могут идти линии связи с другими фигурами, а потом контур этих фигур.

Таким образом, генеративные методы распознавания, к которым можно отнести структурное распознавание (структуры БС), на основании синтаксического анализа правильности построения последней позволяют разделить входные изображения на "правильные" БС и "неправильные" БС. При сохранении соответствующего формализма структурных алгоритмов распознавания они могут, в отличие от дискриминантных методов, использоваться для генерации множества (например, обучающего) различных новых БС.

В то же время, в чистом виде без дополнительных средств фиксации прямых и производных количественных, качественных параметров анализируемой или генерируемой структуры эти методы не дают информации о ее конкретных характеристиках и семантической составляющей. Именно расширение (4) до (5) за счет введения атрибутов F, C, W и предикатов J для их обработки обеспечивает эти возможности.

Алгоритм синтаксического разбора структуры блок-схем.

Предварительные определения и замечания.

1. Графическое изображение БС (возможно после удаления шумов, выделения контуров и т. п.) – это ориентированный (возможно частично) связный нагруженный текстом граф $\Gamma_{BC}(\Phi, E)$ с множеством вершин Φ и ребер E . В силу принятых выше ограничений, ребра графа образуют замкнутые, возможно дугообразные контуры фигур F_g БС и древовидные объединения C_u линий связи между контурами, вершины – узлы соединений линий контуров и линий связи.

2. Продвижение сканера по ребрам и узлам графа осуществляется по координатам очередных центров $O(x_i^0, y_i^0)$ кругового сканирования $\oplus(x_i^0, y_i^0)$ возможных продолжений, поворотов и разветвлений (лучей), получаемых путем сравнения (с заданным порогом δ) локальной области БС с эталонными векторами $R_i \in V$ с центром в текущей точке $O^*(x, y)$. Если за направление вектора φ_0 принять направление линии сканируемое из центра вращения, т. е. обратное направлению продвижения по этой линии, то при $k = 24$ возможны, например, следующие варианты круговых диаграмм (здесь и далее для лучей линий изображения используются обозначения ближайших эталонных радиус-векторов):

- однолучевая R_{12}, R_6 – начало и R_0 окончание текущей линии;

- двухлучевые: R_0, R_{12} – продолжение текущей линии; R_0, R_6 – узел связи текущей линии с другой линией под прямым углом; R_0, R_{13} – возможное искривление текущей линии влево;

- трехлучевые: R_0, R_6, R_{18} – узел соединения текущей линии с другой линией связи или фигуры под прямым углом; R_0, R_6, R_{12} – узел объединения линий связи или контура фигуры с отводом вправо; R_0, R_8, R_{16} – узел соединения текущей линии предположительно с вершиной фигуры предиката (ромба);

- четырехлучевые: R_0, R_6, R_{12}, R_{18} – пересечение без соединения или крестообразное соединение, в зависимости от принятых соглашений и наличия стрелок на линиях связи;

- пятилучевые: $R_0, R_5, R_6, R_7, R_{12}$ – узел с входом стрелки справа и т. д.

3. Последовательность по возрастанию значений индексов лучей, в которой вместо нулевого значения индекса при R_0 , храниться его абсолютное значение $i_0 = \varphi_0 / \Delta\varphi$ относительно оси X , будем называть сигнатурой узла $z_q^p = i_0 i_1 \dots i_\rho$, где ρ – количество лучей узла q . Сигнатура позволяет классифицировать узлы по типам: вход, выход, поворот левый, правый, отвод и т. д. относительно исходных лучей R_0 линий связи, и без i_0 инвариантна к ориентации R_0 . Для классификации симметричных пар лучей стрелок, имеющих 4 возможные ориентации, используется абсолютная сигнатура $z_q^p = i_0 i_1 \dots i_\rho$, $i = i_0 + i\Delta\varphi$.

4. Сканирование против часовой стрелки конкатенирующих цепочек линий контуров фигур позволяет получить координаты узловых точек U_q , изменение максимальных индексов i_{\max} лучей в которых по сравнению с предыдущим узлом U_* превышает пороговое значение $i_0^q + i_{\max}^q - i_0^* > \Delta i$. При записи контура некоторой фигуры в виде цепочки из индексов i_{\max} его узлов, начиная с крайнего верхнего левого узла $U_q(x_{\min} | y_{\min})$, получаемая сигнатура, например, ромба – $Z_g^4 = 16201620$, инвариантная к масштабированию и сдвигу фигуры, используется для сравнения с эталонными значениями или их вариантами.

Предлагаемый алгоритм синтаксического разбора структуры БС предполагает рекурсивный обход по направлениям выделенных в узлах лучей всех ветвей дерева текущего объединения C_u , включая его листья – замкнутые контуры предполагаемых фигур F_g .

С учетом принятых выше ограничений и замечаний алгоритм распознавания структуры БС строится следующим образом.

0. Выполняется инициализация координат начального узла $v_q = v_0(x, y)$ $x = 0, y = 0$, указателей вершин стеков StI и StO , номера текущей фигуры $g = 0$ и объединения связей $u = 1$, очищается память атрибутов F, C, W , меток $m = 0$ и т. п. Алгоритм переводится в состояние $S = 1$ поиска первого узла объединения $C_u = C_1$. Переход на п. 1.

1. Путем построчного анализа пикселей прошедшего предобработку плана БС находится крайняя верхняя левая черная точка – центр первого узла для кругового сканирования. Эта часть алгоритма имитирует продвижение по начальной (виртуальной) линии связи L_0 до узла $v_1(x, y)$ ее соединения с некоторой линией L_1 связи или контура фигуры. Переход на п. 2.

2. Выполняется круговое сканирование возможных направлений R_i^1 для дальнейшего продвижения сканера. Если текущий узел $v_q(x, y) \notin C_u$, т. е. $m_q \neq u$, переход на п. 3, иначе сообщение "Цикл в C_u !" и переход на п. 12.

3. Если $m_q = -1$, то узел $v_q(x, y)$ попадает в C_u и получает метку $m_q = u$. Переход на п. 9, иначе – на п. 4.

4. Если $m_q = 0$, то лучи $R_i^q \in v_q(x, y)$ с координатами узлов сохраняются в C , получают метку $m_q = u$ и ссылку на плане БС. Поиск по дереву C_u осуществляется в глубину по узлам v_q , справа налево по возрастанию индексов i^q лучей (опционально, с выделением приоритетного прямого направления $i_d = 12$). Соответственно, загрузка индексов в стек StI с ссылкой на их родительский узел – по убыванию значений i^q с предварительным инкрементом указателя стека $+ StI \leftarrow q, i$. Лучи с симметричными индексами стрелок получают метку "вход" и удаляются из дальнейшего рассмотрения. Индекс i_{\min}^q используется для продолжения сканирования без его загрузки в стек. Переход на п. 5.

5. Необходимым условием (признаком) вхождения в стартовый узел v_s и перехода на п. 6 – начало обхода контура предполагаемой фигуры F_g является его трехлучевая (после удаления стрелок) без прямого луча сигнатура $z_q^3 = i_0 i_1 i_2$, $(i = 12) \notin z_s^3$, иначе возврат на п. 2.

6. Обход начинается с правого i_{\min} индекса узла v_s и продолжается против часовой стрелки по левым i_{\max} индексам последующих узлов. Выделяемые лучи с координатами узлов контура сохраняются в F и C , получают метку $m = -1$ и ссылку на плане БС. Индексы i_{\min} внешних правых отводов с ссылками на их

родительские узлы помещаются в стек $+StO \leftarrow q, i$. По вторым индексам сигнатур узлов формируется сигнатура контура $Z_g = Z_g + i_1^q$. Переход на п. 7.

7. Так как ветви дерева связей C_u имеют конечное число узлов и заканчиваются листьями контуров фигур F_g с конечным числом узлов, то при обходе контура предполагаемой фигуры за число шагов $\eta \leq \eta_{\max}$, где η_{\max} – максимальное количество узлов у фигуры $F_g \in F_T$ или ветви дерева C_u , возможны следующие продолжения, достаточные для успешного завершения алгоритма:

- переход на п. 8 для классификации контура по Z_g в случае попадания в стартовый узел $v_q = v_s$;

- откат к узлу $q = s + 1$, $m_q = u$, $z_q = z_q(C)$ и продолжение обхода дерева C_u начиная с п. 5 в случае попадания в узлы с сигнатурами: z_q^ρ , $\rho \geq 5$ или z_q^5 , $i_1 = 1$, $i_4 = 23$ (недопустимая стрелка на линии контура), $z_q^4 = i_0 i_1 i_2 i_3$, (недопустимое пересечение контура другой линией), $z_q^3 = i_0 i_1 i_2$, $(i = 12) \notin z_s^3$ (недопустимый не горизонтальный и не вертикальный $(i_0 + i_{\min}) \notin \{0, 6, 12, 18\}$, или являющийся продолжением линии i_{\max} контура $i_{\max} - i_{\min} = 12$ правый отвод связи), $z_q^2 = i_0 i_1$, $i_1 > \Delta i$ (недопустимый не выпуклый с правым поворотом контур), $z_q^0 = i_0$ (недопустимый обрыв линии контура);

- выход из цикла распознавания контура с сообщением " $\eta > \eta_{\max}$ – нет контура, превышение длины линии" и переход на п. 12;

- иначе – переход на п. 6, продолжение сканирования контура.

8. Классификация контура выполняется путем сравнения формируемой по его узлам сигнатуры Z_g с возможными эталонными значениями (для фигур с нелинейными очертаниями). В случае успеха, номер и тип фигуры с указанием входов (со стрелками) и выходов сохраняются в F и переход на п. 9, иначе выводится сообщение о недопустимом контуре в БС и переход на п. 12.

9. Если стек StI не пуст, из него выбирается отложенный индекс и ссылка на родительский узел $q, i \leftarrow StI$ – для продолжения поиска ветвей и контуров фигур-листьев C_u с переходом на п. 2, иначе переход на п. 10.

10. Если стек StO не пуст, индекс первого с меткой $m = -1$ узла из StO используется в качестве начального для распознавания очередного объединения C_{u+1} , $q, i \leftarrow StO$, $u = u + 1$, $m = 0$, и переход на п. 2, иначе – на п. 11.

11. Обработка атрибутов $File \leftarrow f(F, C, W)$. Переход на п. 12.

12. Конец алгоритма.

Использование для накопления и отложенной обработки лучей текущего объединения $R_i \in C_u$ внутреннего стека StI , а для лучей $R_i \notin C_u$, выделяемых при обходе листьев контуров фигур – внешнего StO позволяет ранжировать и упростить последующую сортировку множеств F и C . Эффективная организация распознавания БС без применения стеков возможна за счет организации списковых структур непосредственно в памяти плана изображения.

Описанная последовательность шагов является алгоритмом распознавания структур БС, удовлетворяющих ограничениям 1 – 4.

В силу определения (п. 1) графовой структуры изображения БС, использование классических процедур обхода деревьев связей C_u в глубину – по стеку StI и в ширину по стеку StO гарантирует перебор всех вершин (узлов) и ребер (линий связи) графа БС. Возможные дублирования обходов контуров устраняются с помощью механизма меток.

Правильная классификация контуров "правильной" БС (удовлетворяющей принятым ограничениям) обеспечивается выполнением необходимых и достаточных шагов алгоритма (соответственно п. 5 и п. 7, 8), гарантирующих выход из процесса распознавания псевдоконтура при первом же входе в настоящий контур фигуры.

Классификация БС, как содержащая ошибки, сопровождается выдачей поясняющих сообщений, кроме случая отказа от распознавания из-за лимита времени $\eta_{\max} \approx 10$, который также можно отнести к разряду "неправильной" БС. Исключением, требующим повышенный лимит, может быть вхождение в длинный псевдоконтур левоповоротной спирали возможно с правосторонними отводами, что совершенно не характерно для реальных БС. Основные погрешности в работу алгоритма могут вносить технологические особенности процессов сканирования и отчасти, сигнатурной классификации криволинейных фигур.

Выводы. Построена расширенная модель представления и разработан алгоритм синтаксического анализа и распознавания структуры графических изображений блок-схем. Получены подтверждения эффективности и целесообразности дальнейшего исследования синтаксических методов распознавания структур БС. Отмечается недостаточная достоверность классификации первичных для структурного анализа узлов связи прежде всего за счет сложности позиционирования эталонов. Целесообразно проведение альтернативных исследований решения этой задачи обучаемыми нейросетевыми методами.

1. Палагин А.В., Семотюк М.В., Чичирин Е.Н., Сосненко К.П. Моделирующая среда для создания и отладки систем цифровой обработки. *УСМ*. 2013. № 1. С. 42–45.
2. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1977. 320 с
3. Хант Э. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1978. 560 с.

Получено 05.09.2017