

УДК 519.7

М.Ф. Бондаренко, В.А. Чикина, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко

МОДЕЛИ ЯЗЫКА

«Язык — это в сущности живая система, открытая непосредственному наблюдению. Чтобы наблюдать язык, не нужно ни электронного микроскопа, ни меченых атомов, ни других дорогостоящих приборов. (Эксперименты на ЭВМ при всей их важности имеют все-таки второстепенное значение для постижения самой природы языка). Нужны только наблюдения над текстами и над реакцией информантов — носителей языка и интенсивное размышление. А между тем изучение языка может оказать неоценимую пользу для понимания сущности живых систем».

Шрейдер Ю. А. [1, с. 29]

1. Склонение полных непряжательных имен прилагательных

Совершенствование машинной обработки естественно-языковой информации является одной из важнейших задач компьютеризации и информатизации [2]. Особенно важно совершенствовать общение человека с ЭВМ на естественном языке, улучшать качество машинного перевода, поиска необходимой деловой и научной информации в Интернете. Решение этой задачи существенно сдерживается недостаточной глубиной формального описания механизмов языка. Компьютер — это математическая машина, в нем не удается привести в действие неформализованные знания о языке, которыми располагает лингвистика. До появления ЭВМ лингвистика обучала языку только людей, которые усваивают его гораздо легче, чем это могут делать машины, поскольку люди обладают неизмеримо более развитым интеллектом. До настоящего времени преобладают чрезвычайно трудоемкие и вместе с тем малоэффективные «силовые» методы решения задач машинной обработки информации, основанные на чисто эмпирических попытках искусственного воспроизведения на ЭВМ непосредственно наблюдаемых естественно-языковых процессов, то есть речевого поведения людей.

Между тем, многовековой опыт науки и техники учит, что гораздо более результативным и практичным является выявление и формальное описание глубинных законов, лежащих в основе изучаемых процессов. Известный московский лингвист, математик и философ Ю.А. Шрейдер пишет: «Рост науки в гораздо большей степени, чем добытыми фактами измеряется возникновением новых содержательных концепций. И очень часто существенно новые концептуальные достижения определя-

ются не силовыми методами с помощью ультрасовременных «отмычек», а возникают в тиши кабинета с помощью наиболее совершенного инструмента — человеческого разума. В начале пятидесятых годов складывалось впечатление, что электронные вычислительные машины послужат той самой «отмычкой», которая даст принципиально новые сведения о языке и позволит быстро автоматизировать процессы языковой коммуникации (проблема машинного перевода и некоторые связанные с нею проблемы). Смысл неудачи грубых чисто эмпирических попыток машинного перевода как раз и состоял в том, что электронные вычислительные машины не сумели сыграть роль отмычки по отношению к языку. Волей — неволей пришлось использовать человеческий разум и его способности математического описания явлений. Только весьма развитое математическое описание языка делает осмысленным дальнейшее использование технико-кибернетических методов в лингвистике для всякого рода практических приложений» [1, с. 38–39].

Чтобы подойти к выявлению и формальному описанию законов естественного языка, полезно воспользоваться опытом классической физики, которая описывает законы, царящие во внешнем мире, посредством уравнений. Каждое уравнение выражает некоторую связь между вполне определенными переменными, которая с математической точки зрения представляет собой какое-то отношение. За многие века наука не обнаружила в мире ни одного объекта или процесса, которые невозможно было бы выразить на языке отношений. Фразы, которыми люди выражают свои мысли, — это отношения; более того, весь механизм языка представляет собой систему отношений и ничего более. Отсюда вытекает рекомендация: законы естественного языка следует описывать в виде уравнений на некотором математическом языке. Можно ли для этой цели воспользоваться тем языком математики, на котором описывает свои объекты классическая физика? Нет, нельзя. Дело в том, что во внешнем мире наблюдаются, в основном, непрерывные процессы, которые для своего формального описания нуждаются в языке числовой математики. Во внутреннем же мире человека преобладают процессы, имеющие логическую природу. Для формального описания законов естественного языка уместен язык логической математики, а именно, *алгебра предикатов*, на языке которой могут быть записаны в виде уравнений любые отноше-

ния. Аппарат алгебры предикатов развит настолько, что с его помощью можно уже в настоящее время приступить к формальному описанию механизма естественного языка.

Естественных языков много, мы останавливаемся на русском языке. Механизм естественного языка слишком обширен, чтобы его можно было охватить одним конкретным исследованием. По неволе приходится выделить в нем для исследования небольшую посильную часть. Такое выделение мы осуществим, применяя методы алгебры предикатов к знаниям, накопленным классическим языкознанием, которые содержатся в грамматиках русского языка (см. напр. [3, 4]). Грамматика распадается на два больших раздела: морфологию — учение о слове и синтаксис — учение о предложении. Мы останавливаемся на морфологии, поскольку в грамматике она предшествует синтаксису. Морфология, в свою очередь, делится на учение о словоизменении и учение о словообразовании. Остановившись на словоизменении, мы далее расчленим его на склонение имен и спряжение глаголов. Избрав склонение имен, далее останавливаемся на именах прилагательных. Наконец, последний выбор производим, ограничивая себя склонением полных непряжательных имен прилагательных. Описывая формально различные механизмы естественного языка, можно будет затем воспроизводить их средствами вычислительной техники, постепенно повышая за счет этого уровень искусственного интеллекта.

В этой статье для примера рассматривается, формально описывается на языке алгебры предикатов и доводится до воспроизведения на *логической сети мозгоподобной ЭВМ* механизм склонения полных непряжательных имен прилагательных. Грамматика знакомит школьников с процессом склонения полных непряжательных имен прилагательных с помощью табл. 1, называемой *парадигматической*.

Таблица 1

Падеж, x_3	Число, x_2			Множественное
	Единственное			
	Род, x_1			
	мужской	женский	средний	
именительный	сла'бый	сла'бая	сла'бое	сла'бые
родительный	сла'бого	сла'бой	сла'бого	сла'бых
дательный	сла'бому	сла'бой	сла'бому	сла'бым
винительный	сла'бый	сла'бую	сла'бое	сла'бые
	сла'бого			сла'бых
творительный	сла'бым	сла'бой	сла'бым	сла'быми
		сла'бою		
предложный	сла'бом	сла'бой	сла'бом	сла'бых

В ячейках таблицы указаны *формы слова* в зависимости от их рода x_1 , числа x_2 и падежа x_3 . Таблица составлена для конкретного слова *сла'бый*. В каждом слове и во всех его формах будем отмечать ударение знаком ', который ставим после буквы, произносимой с ударением. Каждое *слово* будем задавать его *словарной формой*, приводимой в орфографических словарях, которая соответствует мужскому роду, единственному числу и именительному падежу. Формальное описание процесса склонения полных непряжательных имен прилагательных нами выполняется для множества слов, указанных в «Грамматическом словаре русского языка» [5]. В ячейках таблицы для мужского рода, единственного числа и винительного падежа, а также для множественного числа и винительного падежа содержатся по две формы слова: одна — для неодушевленных предметов и другая — для одушевленных. Две формы слова — современная и архаичная содержатся также и в ячейке таблицы для единственного числа женского рода творительного падежа.

Любую форму каждого слова можно расчленим на ее *основу* и *окончание*, например, *сла'б-ого*. Основа и окончание словарной формы слова называются соответственно *основой* и *окончанием слова*. Ударение в формах слов может падать как на основу, так и на окончание, например, *сла'бый, седа'й*. Ударение в полных непряжательных именах прилагательных *неподвижно*. Это значит, что при склонении слова ударение не меняет своего положения. При склонении других частей речи ударение может оказаться подвижным (например, *но'ж — ножка'*). Существуют полные непряжательные имена прилагательные, которые склоняются по-разному. Многие же слова склоняются однотипно. Все слова одного *типа склонения* имеют парадигматические таблицы с одними и теми же окончаниями. Слова различных типов склоняются по-разному, имеют различные таблицы окончаний. Типы склонения характеризуют *влияние слова* на его окончание. Всего имеется семь типов склонения полных непряжательных имен прилагательных. Ниже приведены таблицы 2–8 окончаний для всех типов склонения с указанием их номеров, которые сопровождаются примерами слов, склоняемых по данному типу.

Таблица 2

1 — сла'бый			
ый	ая	ое	ые
ого	ой	ого	ым
ому	ой	ому	ым
ый	ую	ое	ые
ого			ых
ым	ой	ым	ыми
	ою		
ом	ой	ом	ых

Таблица 3

2 — ветхий			
ий	ая	ие	ие
ого	ой	ого	их
ому	ой	ому	им
ий	ую	ое	ие
ого			их
им	ой	им	ими
	ою		
ом	ой	ом	их

Таблица 4

3 – кущий			
ый	ая	ее	ые
его	ей	его	ых
ему	ей	ему	ым
ый	ую	ее	ые
его			ых
ым	ей	ым	ыми
	ею		
ем	ей	ем	ых

Таблица 5

4 – рыжий			
ий	ая	ее	ие
его	ей	его	их
ему	ей	ему	им
ий	ею	ее	ие
его			их
им	ей	им	ими
	ею		
ем	ей	ем	их

Таблица 6

5 – синий			
ий	ая	ее	ие
его	ей	его	их
ему	ей	ему	им
ий	ую	ее	ие
			их
им	ей	им	ими
	ею		
ем	ей	ем	их

Таблица 7

6 – седой			
ой	ая	ее	ие
ого	ой	ого	ых
ому	ой	ому	ым
ой	ую	ее	ие
			их
ым	ой	ым	ыми
	ою		
ом	ой	ом	ых

Таблица 8

7 – сухой			
ой	ая	ее	ие
ого	ой	ого	их
ому	ой	ому	им
ой	ую	ее	ие
			их
ым	ой	ым	ими
	ою		
ом	ой	ом	их

2. Математическое описание склонения полных непряжательных имен прилагательных

Приступаем к формальному описанию процесса склонения полных непряжательных имен прилагательных, руководясь таблицами 2–8. С этой целью вводим необходимые предметные переменные: x_1 – род формы слова со значениями М – мужской, Ж – женский, С – средний; x_2 – число формы слова со значениями Е – единственное, М – множественное; x_3 – падеж формы слова со значениями И – именительный, Р – родительный, Д – дательный, В – винительный, Т – творительный, П – предложный; x_4 – признак одушевленности формы слова со значениями О – одушевленный, Н – неодушевленный; x_5 – признак употребляемости формы слова со значениями С – современная, А – архаичная; t – тип склонения слова со значениями 1–7; z – окончание формы слова со значениями АЯ, А'Я, ЯЯ, УЮ, У'Ю, ЮЮ, ОЕ, О'Е, ЕЕ, О'И, О'Й, ОМ, О'М, ЕМ, ОГО, О'ГО, ЕГО, ОМУ, О'МУ, ЕМУ, ОЮ, О'Ю, ЕЮ, БИ, ИИ, БИМ, ОМ, ИМ, И'М, БЕ, Б'Е, ИЕ, И'Е, БИХ, Б'ИХ, ИИХ, БИМИ, Б'МИ, ИМИ, И'МИ.

Контекст, в который включено полное непряжательное имя прилагательное, влияет на форму слова грамматическими признаками $x_1 - x_5$. Влияние контекста на окончание слова определяется значениями грамматических признаков.

Влияний контекста не может быть больше, чем ячеек парадигматической таблицы. Производим нумерацию ячеек парадигматической таблицы. Полученные номера ячеек в дальнейшем будут использованы для обозначения влияний контекста. Некоторые из влияний контекста получают более одного имени, однако, от этого недостатка мы впоследствии постараемся избавиться. Для каждой ячейки парадигматической таблицы вводим свой номер q (табл. 9).

Таблица 9

x_2	МЕ	ЖЕ	СЕ	-М
x_1				
И	1	8	15	21
Р	2	9	16	22
Д	3	10	17	23
В	4	11	18	24
	5			25
Т	6	12	19	26
		13		
П	7	14	20	27

q
H
O
C
A
 x_4
 x_5

Выражаем номера q ячеек парадигматической таблицы через признаки $x_1 - x_5$:

$$\begin{aligned}
 x_1^M x_2^E x_3^И &= q^1; x_1^M x_2^E x_3^Р &= q^2; x_1^M x_2^E x_3^Д &= q^3; \\
 x_1^M x_2^E x_3^В x_4^H &= q^4; x_1^M x_2^E x_3^В x_4^O &= q^5; x_1^M x_2^E x_3^Т &= q^6; \\
 x_1^M x_2^E x_3^П &= q^7; x_1^Ж x_2^E x_3^И &= q^8; x_1^Ж x_2^E x_3^Р &= q^9; \\
 x_1^Ж x_2^E x_3^Д &= q^{10}; x_1^Ж x_2^E x_3^В &= q^{11}; x_1^Ж x_2^E x_3^Т x_5^C &= q^{12}; \\
 x_1^Ж x_2^E x_3^Т x_5^A &= q^{13}; x_1^Ж x_2^E x_3^П &= q^{14}; x_1^C x_2^E x_3^И &= q^{15}; \\
 x_1^C x_2^E x_3^Р &= q^{16}; x_1^C x_2^E x_3^Д &= q^{17}; x_1^C x_2^E x_3^В &= q^{18}; x_1^C x_2^E x_3^Т &= q^{19}; \\
 x_1^C x_2^E x_3^П &= q^{20}; x_2^M x_3^И &= q^{21}; x_2^M x_3^Р &= q^{22}; x_2^M x_3^Д &= q^{23}; \\
 x_2^M x_3^В x_4^H &= q^{24}; x_2^M x_3^В x_4^O &= q^{25}; x_2^M x_3^Т &= q^{26}; x_2^M x_3^П &= q^{27}.
 \end{aligned}$$

Выполняем операцию почленной дизъюнкции возможно большего числа родственных равенств:

$$\begin{aligned}
 x_1^M x_2^E x_3^И &= q^1; (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Р &= q^2 \vee q^{16}; \\
 (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Д &= q^3 \vee q^{17}; x_1^M x_2^E x_3^В x_4^H &= q^4; \\
 x_1^M x_2^E x_3^В x_4^O &= q^5; (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Т &= q^6 \vee q^{19}; \\
 (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^П &= q^7 \vee q^{20}; x_1^Ж x_2^E x_3^И &= q^8; \\
 x_1^Ж x_2^E (x_3^Р \vee x_3^Д \vee x_3^П) &= q^9 \vee q^{10} \vee q^{14}; x_1^Ж x_2^E x_3^В &= q^{11}; \\
 x_1^Ж x_2^E x_3^Т x_5^C &= q^{12}; x_1^Ж x_2^E x_3^Т x_5^A &= q^{13}; \\
 x_1^C x_2^E (x_3^И \vee x_3^В) &= q^{15} \vee q^{18}; x_2^M x_3^И &= q^{21}; \\
 x_2^M (x_3^Р \vee x_3^П) &= q^{22} \vee q^{27}; x_2^M x_3^Д &= q^{23}; \\
 x_2^M x_3^В x_4^H &= q^{24}; x_2^M x_3^В x_4^O &= q^{25}; x_2^M x_3^Т &= q^{26}.
 \end{aligned}$$

Родственными называются такие равенства, которые после выполнения над ними операции почленной дизъюнкции приводят к равенствам с левой частью в виде логического произведения, каж-

дый сомножитель которого зависит лишь от одной предметной переменной. Мотивом, побудившим выполнить операцию почленной дизъюнкции, является стремление получить экономное множество имен влияний контекстов, в котором каждому влиянию контекста соответствовало бы в точности одно имя.

Формируем функцию перехода от номеров ячеек парадигматической таблицы q к номерам влияний контекста r :

$$\begin{aligned} q^1 &= r^1; & q^2 \vee q^{16} &= r^2; & q^3 \vee q^{17} &= r^3; & q^4 &= r^4; & q^5 &= r^5; \\ q^6 \vee q^{19} &= r^6; & q^7 \vee q^{20} &= r^7; & q^8 &= r^8; & q^9 \vee q^{10} \vee q^{14} &= r^9; \\ q^{11} &= r^{10}; & q^{12} &= r^{11}; & q^{13} &= r^{12}; & q^{15} \vee q^{18} &= r^{13}; & q^{21} &= r^{14}; \\ q^{22} \vee q^{27} &= r^{15}; & q^{23} &= r^{16}; & q^{24} &= r^{17}; & q^{25} &= r^{18}; & q^{26} &= r^{19}. \end{aligned}$$

Вводим номера влияний контекста, перенумеровывая ячейки парадигматической табл. 9 (табл. 10):

Таблица 10

$x_1 \backslash x_2$	М	Ж	С	-М
И	1	8	13	14
Р	2	9	2	15
Д	3	9	3	16
В	4	10	13	17
	5			18
Т	6	11	6	19
		12		
П	7	9	7	15

r

x_2

x_3

Н
О
С
А

Формируем зависимость номера влияния контекста r от переменных x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 :

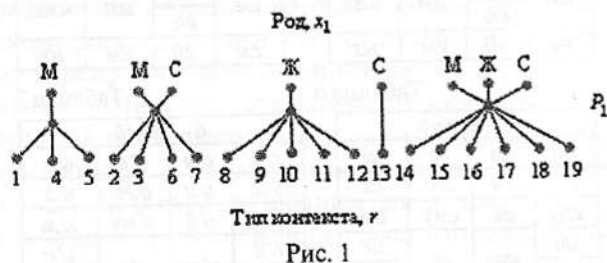
$$\begin{aligned} x_1^M x_2^E x_3^H &= r^1; & (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^P &= r^2; \\ (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^D &= r^3; & x_1^M x_2^E x_3^B x_4^H &= r^4; \\ x_1^M x_2^E x_3^B x_4^O &= r^5; & (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^T &= r^6; \\ (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^H &= r^7; & x_1^J x_2^E x_3^H &= r^8; \\ x_1^J x_2^E (x_3^P \vee x_3^D \vee x_3^H) &= r^9; & x_1^J x_2^E x_3^B &= r^{10}; \\ x_1^J x_2^E x_3^T x_4^C &= r^{11}; & x_1^J x_2^E x_3^T x_4^A &= r^{12}; \\ x_1^C x_2^E (x_3^H \vee x_3^B) &= r^{13}; & x_2^M x_3^H &= r^{14}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2^M (x_3^P \vee x_3^H) &= r^{15}; & x_2^M x_3^D &= r^{16}; & x_2^M x_3^B x_4^H &= r^{17}; \\ x_2^M x_3^B x_4^O &= r^{18}; & x_2^M x_3^T &= r^{19}. \end{aligned}$$

Производим бинаризацию только что записанного отношения, связывающего переменную r с переменными x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 . Для этого отыскиваем отношение P_1 , связывающее переменные x_1 и r :

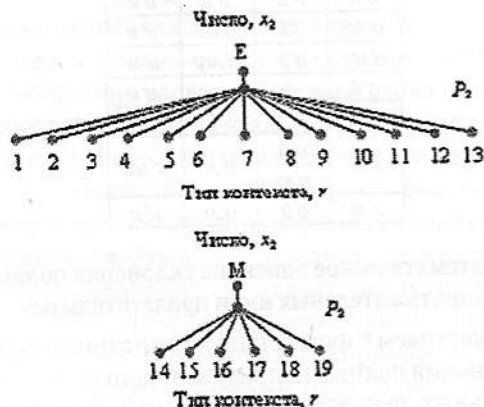
$$\begin{aligned} P_1(x_1, r) &= x_1^M (r^1 \vee r^4 \vee r^5) \vee (x_1^M \vee x_1^C) (r^2 \vee r^3 \vee r^6 \vee \\ &\vee r^7) \vee x_1^J (r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12}) \vee x_1^C r^{13} \vee \\ &\vee (x_1^M \vee x_1^J \vee x_1^C) (r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}). \end{aligned}$$

Далее получаемые отношения изображаются также в виде двудольных графов:



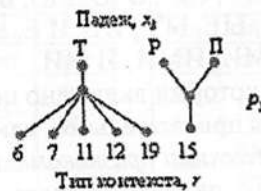
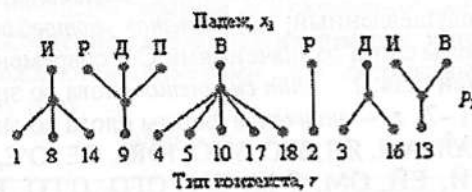
Отыскиваем отношение P_2 , связывающее переменные x_2 и r :

$$P_2(x_2, r) = x_2^E (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13}) \vee x_2^M (r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}).$$



Отыскиваем отношение P_3 , связывающее переменные x_3 и r :

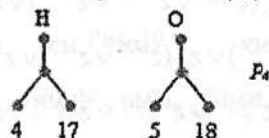
$$\begin{aligned} P_3(x_3, r) &= x_3^H (r^1 \vee r^8 \vee r^{14}) \vee x_3^P r^2 \vee x_3^D (r^3 \vee r^{16}) \vee x_3^B (r^4 \vee \\ &\vee r^5 \vee r^{10} \vee r^{17} \vee r^{18}) \vee x_3^T (r^6 \vee r^7 \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{19}) \vee \\ &\vee (x_3^P \vee x_3^D \vee x_3^H) r^9 \vee (x_3^H \vee x_3^B) r^{13} \vee (x_3^P \vee x_3^H) r^{15}. \end{aligned}$$



Отыскиваем отношение P_4 , связывающее переменные x_4 и r :

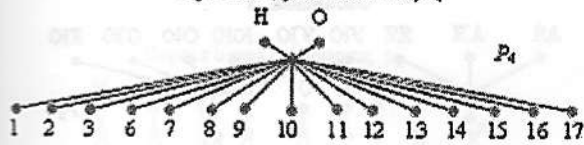
$$P_4(x_4, r) = x_4^H (r^4 \vee r^{17}) \vee x_4^O (r^5 \vee r^{18}) \vee (x_4^H \vee x_4^O) (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{19}).$$

Признак одушевленности, x_4



Тип контекста, r

Признак одушевленности, x_4



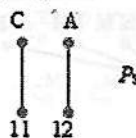
Тип контекста, r

Рис. 4

Отыскиваем отношение P_5 , связывающее переменные x_5 и r :

$$P_5(x_5, r) = x_5^C r^{11} \vee x_5^A r^{12} \vee (x_5^C \vee x_5^A) (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}).$$

Признак употребляемости, x_5



Тип контекста, r

Признак употребляемости, x_5



Тип контекста, r

Рис. 5

Вводим левую z_n и правую z_n части окончания. Окончание z естественным образом расчленивается на левую и правую части, например, АЯ → (А, Я), А'Я → (А', Я), ОГО → (О, ГО), О'ГО → (О', ГО). Левая часть окончания состоит из двух компонентов: первой буквы окончания и значения признака ее ударности. Правая часть окончания состоит также из двух компонентов — второй и третьей букв окончания. Основанием для разделения окончания на левую и правую части является то, что правая часть окончания определяется исключительно влиянием контекста (признаки $x_1 - x_5$), тогда как левая часть окончания определяется, кроме того, еще и типом склонения сло-

ва s . Рассмотрим отношение P_6 , связывающее номер влияния контекста r с левой частью окончания z_n формы слова, присутствующей в этом контексте. Эта связь выражена табл. 11.

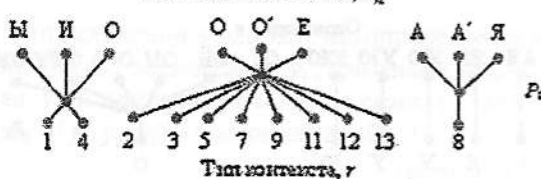
Таблица 11

Ы, И, О'	А, А', Я	О, О', Е	Ы, Ы', И, И'
О, О', Е	О, О', Е	О, О', Е	Ы, Ы', И, И'
О, О', Е	О, О', Е	О, О', Е	Ы, Ы', И, И'
Ы, И, О'	У, У', Ю	О, О', Е	Ы, Ы', И, И'
О, О', Е			Ы, Ы', И, И'
Ы, Ы', И, И'	О, О', Е	Ы, Ы', И, И'	Ы, Ы', И, И'
О, О', Е	О, О', Е	О, О', Е	Ы, Ы', И, И'

Записываем отношение P_6 в виде формулы:

$$P_6(z_n, r) = (z_n^{Ы} \vee z_n^{И} \vee z_n^{О'}) (r^1 \vee r^4) \vee (z_n^{О'} \vee z_n^{Е}) (r^2 \vee r^3 \vee r^5 \vee r^7 \vee r^9 \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13}) \vee (z_n^{Ы'} \vee z_n^{И'}) (r^6 \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}) \vee (z_n^{А} \vee z_n^{А'}) r^8 \vee (z_n^{У} \vee z_n^{У'} \vee z_n^{Ю}) r^{10}.$$

Левая часть окончания, z_n



Тип контекста, r

Левая часть окончания, z_n



Тип контекста, r

Рис. 6

Отношение P_7 , связывающее номер влияния контекста r с правой частью окончания z_n , представлено в табл. 12.

Таблица 12

Й	Я	Е	Е
			Х
			М
Й	Ю	Е	Е
ГО			Х
М	Й	М	МИ
М	Ю	М	Х

Записываем отношение P_7 в виде формулы:

$$P_7(z_n, r) = z_n^{Й} (r^1 \vee r^4 \vee r^9 \vee r^{11}) \vee z_n^{ГО} (r^2 \vee r^5) \vee z_n^{МУ} r^3 \vee z_n^{М} (r^6 \vee r^7 \vee r^{16}) \vee z_n^{Я} r^8.$$



Рис. 7

Ниже приводятся формулы для отношений P_8 и P_9 , связывающих окончание z с его левой $z_{\text{Л}}$ и правой $z_{\text{П}}$ частями:

$$P_8(z_{\text{Л}}, z) = z_{\text{Л}}^{\text{А}} z^{\text{АЯ}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{А'}} z^{\text{А'Я}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{Я}} z^{\text{ЯЯ}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{У}} z^{\text{УЮ}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{У'}} z^{\text{У'Ю}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{Ю}} z^{\text{ЮЮ}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{О}} (z^{\text{ОЕ}} \vee z^{\text{ОЙ}} \vee z^{\text{ОМ}} \vee z^{\text{ОГО}} \vee z^{\text{ОМУ}} \vee z^{\text{ОЮ}}) \vee z_{\text{Л}}^{\text{О'}} (z^{\text{О'Е}} \vee z^{\text{О'Й}} \vee z^{\text{О'М}} \vee z^{\text{О'ГО}} \vee z^{\text{О'МУ}} \vee z^{\text{О'Ю}}) \vee z_{\text{Л}}^{\text{Е}} (z^{\text{ЕЕ}} \vee z^{\text{ЕЙ}} \vee z^{\text{ЕМ}} \vee z^{\text{ЕГО}} \vee z^{\text{ЕМУ}} \vee z^{\text{ЕЮ}}) \vee z_{\text{Л}}^{\text{Ы}} (z^{\text{ЫЙ}} \vee z^{\text{ЫМ}} \vee z^{\text{ЫЕ}} \vee z^{\text{ЫХ}} \vee z^{\text{ЫМИ}}) \vee z_{\text{Л}}^{\text{Ы'}} (z^{\text{Ы'М}} \vee z^{\text{Ы'Е}} \vee z^{\text{Ы'Х}} \vee z^{\text{Ы'МИ}}) \vee z_{\text{Л}}^{\text{И}} (z^{\text{ИЙ}} \vee z^{\text{ИМ}} \vee z^{\text{ИЕ}} \vee z^{\text{ИХ}} \vee z^{\text{ИМИ}}) \vee z_{\text{Л}}^{\text{И'}} (z^{\text{И'М}} \vee z^{\text{И'Е}} \vee z^{\text{И'Х}} \vee z^{\text{И'МИ}}).$$

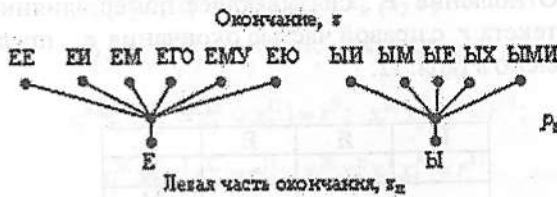


Рис. 8

$$P_9(z_{\text{П}}, z) = z_{\text{П}}^{\text{Я}} (z^{\text{АЯ}} \vee z^{\text{А'Я}} \vee z^{\text{ЯЯ}}) \vee z_{\text{П}}^{\text{Ю}} (z^{\text{УЮ}} \vee z^{\text{У'Ю}} \vee z^{\text{ЮЮ}} \vee z^{\text{ОЮ}} \vee z^{\text{О'Ю}} \vee z^{\text{ЕЮ}}) \vee z_{\text{П}}^{\text{Е}} (z^{\text{ОЕ}} \vee z^{\text{О'Е}} \vee z^{\text{ЕЕ}} \vee z^{\text{ЫЕ}} \vee z^{\text{Ы'Е}} \vee z^{\text{ИЕ}} \vee z^{\text{И'Е}}) \vee z_{\text{П}}^{\text{И}} (z^{\text{ОЙ}} \vee z^{\text{О'Й}} \vee z^{\text{ЕЙ}} \vee z^{\text{ЫИ}} \vee z^{\text{Ы'И}}) \vee z_{\text{П}}^{\text{М}} (z^{\text{ОМ}} \vee z^{\text{О'М}} \vee z^{\text{ЕМ}} \vee z^{\text{ЫМ}} \vee z^{\text{ИМ}} \vee z^{\text{И'М}}) \vee z_{\text{П}}^{\text{ГО}} (z^{\text{ОГО}} \vee z^{\text{О'ГО}} \vee z^{\text{ЕГО}}) \vee z_{\text{П}}^{\text{МУ}} (z^{\text{ОМУ}} \vee z^{\text{О'МУ}} \vee z^{\text{ЕМУ}}) \vee z_{\text{П}}^{\text{Х}} (z^{\text{ЫХ}} \vee z^{\text{Ы'Х}} \vee z^{\text{ИХ}} \vee z^{\text{И'Х}}) \vee z_{\text{П}}^{\text{МИ}} (z^{\text{ЫМИ}} \vee z^{\text{Ы'МИ}} \vee z^{\text{ИМИ}} \vee z^{\text{И'МИ}}).$$

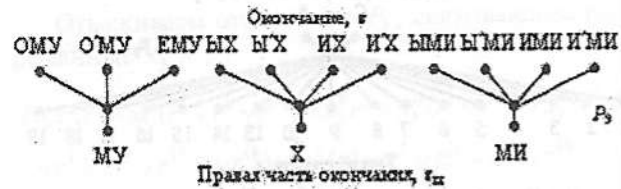
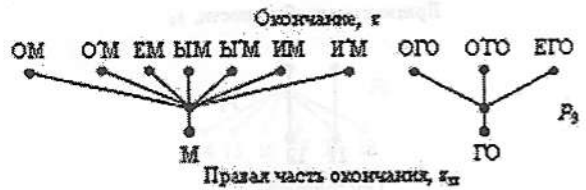
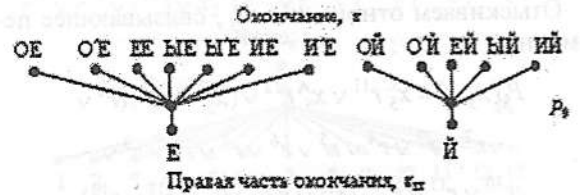


Рис. 9

Осталось развернуть окончание z по буквам. Разворачиваем левую часть окончания в знак ударения и первую букву окончания. Ниже приводится формульное и графовое описание отношений P_{10} и P_{11} , связывающих левую часть окончания $z_{\text{Л}}$ со знаком ударения z_0 и с первой буквой окончания z_1 .

$$P_{10}(z_{\text{Л}}, z_0) = (z_{\text{Л}}^{\text{Ы}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{И}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{О}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{Е}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{А}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{Я}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{У}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{Ю}}) z_0^* \vee (z_{\text{Л}}^{\text{О'}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{Ы'}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{И'}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{А'}} \vee z_{\text{Л}}^{\text{У'}}) z_0^*.$$

Знак * при переменной z_0 означает отсутствие знака ударения над первой буквой окончания.



Рис. 10

$$P_{11}(z_n, z_1) = (z_n^{Ы} \vee z_n^{Ы'}) z_1^{Ы} \vee (z_n^{И} \vee z_n^{И'}) z_1^{И} \vee z_n^{О} z_1^{О} \vee z_n^{Е} z_1^{Е} \vee z_n^{А} z_1^{А} \vee z_n^{Я} z_1^{Я} \vee z_n^{УЮ} z_1^{УЮ} \vee (z_n^{У} \vee z_n^{У'}) z_1^{У} \vee (z_n^{О'} \vee z_n^{О'}) z_1^{О'} \vee z_n^{А'} z_1^{А'} \vee (z_n^{А'} \vee z_n^{А'}) z_1^{А'}$$



Рис. 11

Разворачиваем правую часть окончания во вторую и третью буквы окончания. Ниже приводится формульное и графовое описание отношений $P_{12} \equiv P_{13}$, связывающих правую часть окончания z_n во вторую z_2 и третью z_3 буквы окончания.

$$P_{12}(z_n, z_2) = z_n^{Я} z_2^{Я} \vee z_n^{Ю} z_2^{Ю} \vee z_n^{Е} z_2^{Е} \vee z_n^{И} z_2^{И} \vee z_n^{О} z_2^{О} \vee z_n^{Х} z_2^{Х} \vee (z_n^{М} \vee z_n^{МУ} \vee z_n^{МИ}) z_2^{М}$$



Рис. 12

$$P_{13}(z_n, z_3) = (z_n^{Я} \vee z_n^{Ю} \vee z_n^{Е} \vee z_n^{И} \vee z_n^{Х} \vee z_n^{М}) z_3^{Я} \vee z_n^{О} z_3^{О} \vee z_n^{МИ} z_3^{И} \vee z_n^{МУ} z_3^{У}$$

Знак * при переменной z_3 означает отсутствие третьей буквы в окончании.



Рис. 13

Тип склонения s связан с левой частью окончания z_n отношением P_{14} , представленным табл. 13:

Таблица 13

s	1	2	3	4	5	6	7
z_n	А, У, О, Ы	А, У, О, И	А, У, Е, Ы	А, У, Е, И	Я, Ю, Е, И	'А, 'У, 'О, 'Ы	'А, 'У, 'О, 'И

Это же отношение, выраженное формулой алгебры предикатов, имеет вид:

$$P_{14}(s, z_n) = s^1 (z_n^А \vee z_n^У \vee z_n^О \vee z_n^Ы) \vee s^2 (z_n^А \vee z_n^У \vee z_n^О \vee z_n^И) \vee s^3 (z_n^А \vee z_n^У \vee z_n^Е \vee z_n^Ы) \vee s^4 (z_n^А \vee z_n^У \vee z_n^Е \vee z_n^И) \vee s^5 (z_n^Я \vee z_n^Ю \vee z_n^Е \vee z_n^И) \vee s^6 (z_n^А' \vee z_n^У' \vee z_n^О' \vee z_n^Ы') \vee s^7 (z_n^А' \vee z_n^У' \vee z_n^О' \vee z_n^И')$$



Рис. 14

Тип склонения s однозначно определяется последней буквой основы слова y_1 , признаком ударности слова y_2 и признаком смягчения слова y_3 . Зависимость $g(y_1, y_2, y_3) = s$ выражена табл. 14.

Таблица 14

y_1	$y_2 = \text{У}$		Б	
	$y_3 = \text{Т}$	М	Т	М
Б, В, Д, З, Л, М, П, Т	1	—	6	—
Е	—	5	—	—
Н, Р, С	1	5	6	—
Ж, Ч, Ш, Щ	—	4	7	—
Ц	3	—	—	—
Г, К, Х	—	2	7	—

Зависимость g представляет собой частичную функцию, о чем свидетельствуют прочерки в таблице. В тех ячейках таблицы, где указаны прочерки, значение функции g не существует. Ниже функция $g(y_1, y_2, y_3) = s$ выражена на языке алгебры предикатов:

$$(y_1^Б \vee y_1^В \vee y_1^Д \vee y_1^З \vee y_1^Л \vee y_1^М \vee y_1^П \vee y_1^Т \vee y_1^Н \vee y_1^Е \vee y_1^Ж \vee y_1^Ч \vee y_1^Ш \vee y_1^Щ) y_2^У y_3^Т = s^1; (y_1^Г \vee y_1^К \vee y_1^Х) y_2^У y_3^М = s^2; y_1^У y_2^У y_3^Т = s^3; (y_1^Ж \vee y_1^Ч \vee y_1^Ш \vee y_1^Щ) y_2^У y_3^М = s^4; (y_1^Е \vee y_1^Н \vee y_1^П \vee y_1^С) y_2^У y_3^М = s^5; (y_1^Б \vee y_1^В \vee y_1^Д \vee y_1^З \vee y_1^Л \vee y_1^М \vee y_1^П \vee y_1^Т \vee y_1^Н \vee y_1^Е \vee y_1^Ж \vee y_1^Ч \vee y_1^Ш \vee y_1^Щ) y_2^Б y_3^Т = s^6; (y_1^Ж \vee y_1^Ч \vee y_1^Ш \vee y_1^Щ \vee y_1^Г \vee y_1^К \vee y_1^Х) y_2^Б y_3^Т = s^7.$$

Производим бинаризацию функции $g(y_1, y_2, y_3) = s$. Записываем отношение P_{15} , связывающее предметные переменные y_1 и s :

$$P_{15}(y_1, s) = (y_1^B \vee y_1^D \vee y_1^E \vee y_1^L \vee y_1^M \vee y_1^P \vee y_1^T) \wedge (s^1 \vee s^6) \vee (y_1^H \vee y_1^P \vee y_1^C) (s^1 \vee s^5 \vee s^6) \vee (y_1^J \vee y_1^I \vee y_1^{III} \vee y_1^{III}) (s^4 \vee s^7) \vee y_1^H s^3 \vee (y_1^G \vee y_1^K \vee y_1^X) (s^2 \vee s^7).$$



Рис. 15

Записываем отношение P_{16} , связывающее предметные переменные y_2 и s :

$$P_{16}(y_2, s) = y_2^Y (s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5) \vee y_2^B (s^6 \vee s^7).$$

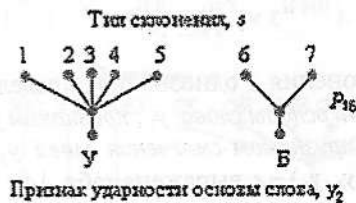


Рис. 16

Записываем отношение P_{17} , связывающее предметные переменные y_3 и s :

$$P_{17}(y_3, s) = y_3^T (s^1 \vee s^3 \vee s^6 \vee s^7) \vee y_3^M (s^2 \vee s^4 \vee s^5).$$

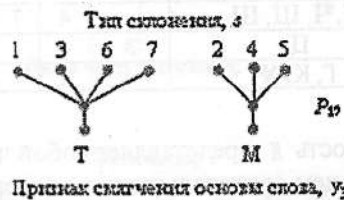


Рис. 17

Полноценная бинаризация функции g получилась даже без привлечения перенумерации ячеек табл. 14.

3. Логическая сеть

Мы построили математическую модель склонения полных непряжательных имен прилагательных. Она характеризуется системой бинарных отношений P_1-P_{17} , задаваемых двудольными графами и формулами соответствующих предикатов. Образуя конъюнкцию всех этих предикатов, получаем предикат модели:

$$P(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, r, s, y_1, y_2, y_3, z_n, z_n, z, z_0, z_1, z_2, z_3) = P_1(x_1, r) \wedge P_2(x_2, r) \wedge P_3(x_3, r) \wedge P_4(x_4, r) \wedge P_5(x_5, r) \wedge P_6(z_n, r) \wedge P_7(z_n, r) \wedge P_8(z_n, z) \wedge P_9(z_n, z) \wedge P_{10}(z_n, z_0) \wedge P_{11}(z_n, z_1) \wedge P_{12}(z_n, z_2) \wedge P_{13}(z_n, z_3) \wedge P_{14}(s, z_n) \wedge P_{15}(y_1, s) \wedge P_{16}(y_2, s) \wedge P_{17}(y_3, s).$$

Предикату модели соответствует отношение модели P , связывающее между собой предметные переменные $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, r, s, y_1, y_2, y_3, z_n, z_n, z, z_0, z_1, z_2, z_3$. Отношение модели P можно наглядно изобразить в виде сети, называемой логической. Логическую сеть можно построить для любой модели. В нашем конкретном случае получаем логическую сеть склонения полных непряжательных имен прилагательных. Она изображена на рис. 18.

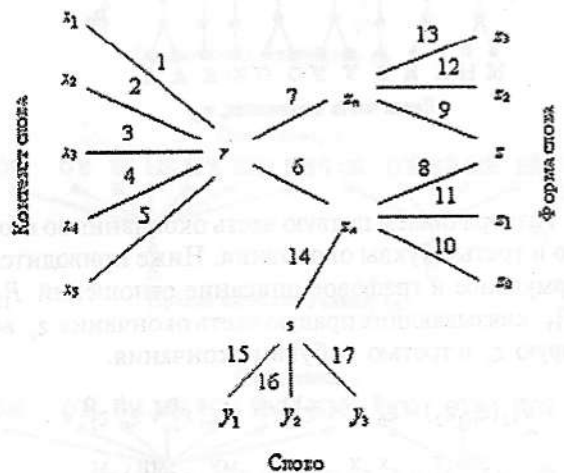


Рис. 18

Рассмотрим общие принципы построения логической сети. Каждой модели соответствует своя логическая сеть. Любая логическая сеть состоит из полюсов и ветвей. Каждому полюсу логической сети ставится в соответствие своя предметная переменная модели, которая называется атрибутом этого полюса. Каждый полюс обозначается своей предметной переменной. С каждым полюсом связываем его домен, то есть область изменения атрибута этого полюса. Любой полюс логической сети в каждый момент времени несет какое-то знание о значении своего атрибута. Это знание называется состоянием полюса. Оно представляет собой одно из подмножеств домена полюса. Указывая состояния всех полюсов сети в данный момент времени, получаем состояние сети в тот же момент времени.

Области изменения всех предметных переменных для сети склонения полных непряжательных имен прилагательных были неявно охарактеризованы ранее во второй теме этого раздела. Теперь мы их все перечислим в явном виде. Область изменения переменной x_1 обозначаем символом A_1 , имеем: $A_1 = \{М, Ж, С\}$; $x_2 - A_2 = \{Е, М\}$; $x_3 -$

$A_3 = \{И, Р, Д, В, Т, П\}$; $x_4 - A_4 = \{Н, О\}$; $x_5 - A_5 = \{С, А\}$; $r - A_6 = \{1, 2, \dots, 19\}$; $s - A_7 = \{1, 2, \dots, 7\}$;
 $y_1 - A_8 = \{Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, К, Л, М, Н, П, Р, С, Т, X, Ц, Ч, Ш, Щ\}$; $y_2 - A_9 = \{Б, У\}$; $y_3 - A_{10} = \{Т, М\}$;
 $z_1 - A_{11} = \{А, А', Я, У, У', Ю, О, О', Е, Ы, Ы', И, И'\}$; $z_2 - A_{12} = \{Я, Ю, Е, Ы, М, ГО, МУ, Х, МИ\}$;
 $z - A_{13} = \{АЯ, А'Я, ЯЯ, УЮ, У'Ю, ЮЮ, ОЕ, О'Е, ЕЕ, ОИ, О'И, ЕИ, ОМ, О'М, ЕМ, ОГО, О'ГО, ЕГО, ОМУ, О'МУ, ЕМУ, ОЮ, О'Ю, ЕЮ, ЫИ, ИИ, ЫМ, Ы'М, ИМ, И'М, ЫЕ, Ы'Е, ИЕ, И'Е, ЫХ, Ы'Х, ИХ, И'Х, ЫМИ, Ы'МИ, ИМИ, И'МИ\}$; $z_0 - A_{14} = \{*, '\}$;
 $z_1 - A_{15} = \{А, Я, У, Ю, О, Е, Ы, И\}$; $z_2 - A_{16} = \{Я, Ю, Е, Ы, М, Г, Х\}$; $z_3 - A_{17} = \{*, О, У, И\}$.

Каждой ветви логической сети ставится в соответствие свое бинарное отношение модели, которое называется *отношением* этой ветви. Каждая ветвь обозначается номером своего отношения. Она соединяет два полюса, отвечающие тем предметным переменным, которые связываются отношением, соответствующим данной ветви. Например ветвь 1 соответствует отношению $R_1(x_1, r)$, поэтому она соединяет полюсы x_1 и r . Всего в построенной нами сети имеется 17 полюсов и 17 ветвей. Случайно получилось так, что число полюсов сети совпало с числом ее ветвей, но такое совпадение не обязательно. Полюсы сети делятся на два класса — *внешние и внутренние*. Каждый внешний полюс соединен лишь с одной ветвью, каждый внутренний — более, чем с одной. В построенной нами сети к внешним относятся полюсы, помеченные предметными переменными $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, y_1, y_2, y_3, z_0, z_1, z_2, z_3$, к внутренним — r, s, z_4, z_5, z . Внешние полюсы сети естественно объединить в три группы: 1) x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 ; 2) y_1, y_2, y_3 ; 3) z_0, z_1, z_2, z_3 . В первую группу входят полюсы, помеченные теми предметными переменными, значения которых характеризуют *контекст*, окружающий склоняемое слово. Во вторую группу входят полюсы, характеризующие само склоняемое *слово*. В третью группу входят полюсы, которые характеризуют результат склонения слова, то есть *словоформу*, соответствующую данному контексту и данному слову.

Каждую логическую сеть можно превратить в электронную схему для автоматического решения некоторого класса задач, определяемого той моделью, для которой была построена данная сеть. Ее можно изготовить в виде сверхбыстродействующей карты, осуществляющей параллельную обработку информации. Эта карта устанавливается на материнской плате персонального компьютера. По мере необходимости программа, управляющая работой компьютера, обращается к той или иной карте, которая за доли микросекунды формирует ответ на тот или иной ее запрос. Таким образом, персональный компьютер из машины последовательного действия превращается в машину последовательно-параллельного действия. Параллельно действующая

часть компьютера будет представлена батареей карт, а последовательно действующая его часть — программой, управляющей работой этих карт. При этом достигается значительное повышение производительности компьютера.

Сравнивая действие такого компьютера с работой мозга человека, можно уподобить действие программы, управляющей работой компьютера, работе сознания человека, а действие батареи карт — работе подсознания. Механизм сознания человека представляет собой сравнительно медленно действующую систему обработки информации последовательного действия. Устная и письменная речь, чтение текста, слуховое восприятие речи, сознательные движения человека — всё это последовательные процессы. Механизмы же подсознания осуществляют параллельную обработку информации, именно они выполняют основной объем выполняемой мозгом работы. Можно сказать, что подсознание выполняет роль оркестра, а сознание — роль дирижера.

Электронную схему, соответствующую сети, изображенной на рис. 18, можно использовать для автоматического решения класса задач, относящихся к склонению полных непряжательных имен прилагательных. Такие задачи ежеминутно решают люди в процессе анализа и синтеза сообщений на естественном языке. Примером задачи этого класса может служить *задача синтеза словоформы*. Она заключается в следующем: заданы слово и окружающий его контекст, требуется определить соответствующую им словоформу. Решение этой задачи человеком можно продемонстрировать с помощью упражнения, взятого из школьной грамматики русского языка [6, с. 131]. Задано предложение «Как-то давно, (*тёмный осенний*) вечером, случилось мне плыть по (*угрюмый сибирский*) реке» (Короленко). Требуется согласовать прилагательные, приведенные в скобках, с контекстом. В результате решения этой задачи формируем предложение: «Как-то давно, *тёмным осенним* вечером, случилось мне плыть по *угрюмой сибирской* реке».

Другим примером может служить *задача анализа словоформы*: заданы форма слова и окружающий ее контекст, требуется определить грамматические признаки, соответствующие этой словоформе. Из той же грамматики русского языка берем предложение «Над *альми* цветами *пахучего* шиповника кружились *золотые жуки*» (А. Н. Толстой). Требуется указать род, число и падеж словоформ, выделенных курсивом, то есть определить значения их грамматических признаков x_1, x_2, x_3 . В результате решения этой задачи находим: словоформа *альми* имеет мужской род, множественное число, творительный падеж; словоформа *пахучего* имеет мужской род, единственное число, родительный падеж; словоформа *золотые* имеет мужской род, множественное число, именительный падеж.

Третьим примером может служить *задача нормализации словоформы*: заданы форма слова и окружающий ее контекст, требуется отыскать слово, соответствующее этой словоформе. Берем то же предложение. Требуется указать слова, соответствующие словоформам, выделенным курсивом, то есть отыскать для этих словоформ их словарные формы. В результате решения этой задачи находим: словоформе *алыми* соответствует слово «алый»; словоформе *пахучего* — «пахучий»; словоформе *золотые* — «золотой».

Каждый человек, владеющий русским языком, практически мгновенно без напряжения и без каких-либо затруднений решает подобные задачи на уровне подсознания. Чтобы прочесть заданное предложение и вникнуть в его содержание, человеку, владеющему русским языком, требуется не более трех секунд. Это значит, что на анализ и нормализацию каждой из трех словоформ (а выполнение этих операций, очевидно, необходимо для понимания смысла предложения) расходуется не более секунды. Если же учесть, что морфологической обработке подвергаются и другие слова предложения, и, кроме того, мозг выполняет множество других операций над элементами предложения в процессе его анализа, то мы приходим к выводу, что на каждую элементарную операцию по обработке отдельной словоформы расходуется не более 0,1 сек. Тактовая частота, на которой работает мозг, не может превысить 10^3 тактов/сек, значит мозг затрачивает на выполнение каждой элементарной морфологической операции не более $10^3 \times 0,1 = 100$ тактов. Современный же компьютер работает на тактовой частоте порядка 10^9 тактов/сек, это значит, что карта, действующая по принципу работы мозга, будет выполнять элементарную морфологическую операцию не более, чем за десятую долю микросекунды ($100 : 10^9 = 10^{-7}$ сек).

4. Работа логической сети

Сеть предназначена для решения системы уравнений, задаваемых соответствующей моделью. В модели склонения полных непряжательных имен прилагательных содержится 17 уравнений, каждое из которых связывает какие-то две переменные. Аналитически (то есть оперируя с формулами) можно решить любую систему уравнений алгебры предикатов, характеризующую данную модель. При этом можно задавать любое знание о значениях любых предметных переменных и получать знания о значениях любых других предметных переменных. Аналитический метод работает безотказно. Главная наша задача заключается в том, чтобы разработать такие методы построения логических сетей, чтобы эти сети автоматически решали любые системы уравнений алгебры предикатов так же безотказно, как это может делать человек, оперируя формулами алгебры предикатов.

Решая задачу, логическая сеть копирует действия человека, но с той лишь разницей, что человек при этом действует последовательно, а сеть — параллельно. Сеть работает по тактам. Каждый такт делится на два полутака — первый и второй. В первом полутакте i -го такта сеть для каждого из своих уравнений вида $K(x, y) = 1$ (K — это отношение, заданное таким уравнением) отыскивает: 1) по известному знанию $P_i(x)$ о значении переменной x в начале i -го такта знание $Q_i'(y)$ о значении переменной y в конце i -го такта; 2) по известному знанию $Q_i(y)$ о значении переменной y в начале i -го такта знание $P_i'(x)$ о значении переменной x в конце i -го такта. Математически эти две операции выражаются формулами:

$$\exists x \in A (K(x, y)P_i(x)) = Q_i'(y);$$

$$\exists x \in B (K(x, y)Q_i(y)) = P_i'(x).$$

Здесь A и B — области изменения переменных x и y . Как видим, каждая ветвь сети — это дорога с двусторонним движением.

Во втором полутакте каждого такта сеть отыскивает общую часть $P_{i+1}(x)$ всех знаний $P_{i1}'(x), P_{i2}'(x), \dots, P_{in}'(x)$ о значении каждой из своих предметных переменных x , поступающих по ветвям сети со всех сторон к полюсу x . Выражается эта операция следующим образом:

$$P_{i1}'(x) \wedge P_{i2}'(x) \wedge \dots \wedge P_{in}'(x) = P_{i+1}(x).$$

Полученное знание $P_{i+1}(x)$ затем используется в роли состояния полюса x в начальный момент $i+1$ -го такта. Символ i обозначает число ветвей, подходящих к полюсу x . К началу $i+1$ -го такта в каждом полюсе формируется знание-множество $P_{i+1}(x)$, которое всегда оказывается включенным в знание-множество $P_i(x)$, которое содержалось в том же полюсе в начале i -го такта. Так что единственным результатом работы логической сети является уточнение знаний, содержащихся во всех ее полюсах в соответствии с исходными данными.

Рассматриваем работу построенной нами конкретной логической сети по тактам.

Начальное состояние сети: $x_1 \in \{M, Ж, C\}$; $x_2 \in \{E, M\}$; $x_3 \in \{И, P, Д, В, Т, П\}$; $x_4 \in \{H, O\}$; $x_5 \in \{C, A\}$; $r \in \{1, 2, \dots, 19\}$; $s \in \{1, 2, \dots, 7\}$; $y_1 \in \{B, В, Г, Д, Е, Ж, З, К, Л, М, Н, П, Р, С, Т, Х, Ц, Ч, Ш, Щ\}$; $y_2 \in \{B, Y\}$; $y_3 \in \{T, M\}$; $z_n \in \{A, A', Я, У, У', Ю, О, О', Е, Ы, Ы', И, И'\}$; $z_n \in \{Я, Ю, Е, Й, М, ГО, МУ, Х, МИ\}$; $z \in \{АЯ, А'Я, ЯЯ, УЮ, У'Ю, ЮЮ, ОЕ, О'Е, ЕЕ, ОЙ, О'Й, ЕЙ, ОМ, О'М, ЕМ, ОГО, О'ГО, ЕГО, ОМУ, О'МУ, ЕМУ, ОЮ, О'Ю, ЕЮ, ЫЙ, ИЙ, ЫМ, Ы'М, ИМ, И'М, ЫЕ, Ы'Е, ИЕ, И'Е, ЫХ, Ы'Х, ИХ, И'Х, ЫМИ, Ы'МИ, ИМИ, И'МИ\}$; $z_0 \in \{*, '\}$; $z_1 \in \{A, Я, У, Ю, О, Е, Ы, И\}$; $z_2 \in \{Я, Ю, Е, Й, М, Г, X\}$; $z_3 \in \{*, О, У, И\}$.

Первый такт.

Первый полутакт. Сужение множеств. Ввод в сеть исходных данных: $x_3 \in \{B\}$, $y_1 \in \{Ж\}$, $y_2 \in \{B\}$, $z_2 \in \{Й\}$.

Второй полутакт. Пересечение множеств.

В результате получаем состояние сети к началу второго такта: $x_1 \in \{M, Ж, C\}$; $x_2 \in \{E, M\}$; $x_3 \in \{B\}$; $x_4 \in \{H, O\}$; $x_5 \in \{C, A\}$; $r \in \{1, 2, \dots, 19\}$; $s \in \{1, 2, \dots, 7\}$; $y_1 \in \{Ж\}$; $y_2 \in \{B\}$; $y_3 \in \{T, M\}$; $z_n \in \{A, A', Я, У, У', Ю, О, О', Е, Ы, Ы', И, И'\}$; $z_n \in \{Я, Ю, Е, Ы, М, ГО, МУ, Х, МИ\}$; $z \in \{АЯ, А'Я, ЯЯ, УЮ, У'Ю, ЮЮ, ОЕ, О'Е, ЕЕ, ОЙ, О'Й, ЕЙ, ОМ, О'М, ЕМ, ОГО, О'ГО, ЕГО, ОМУ, О'МУ, ЕМУ, ОЮ, О'Ю, ЕЮ, ЫЙ, ИЙ, ЫМ, Ы'М, ИМ, И'М, ЫЕ, Ы'Е, ИЕ, И'Е, ЫХ, Ы'Х, ИХ, И'Х, ЫМИ, Ы'МИ, ИМИ, И'МИ\}$; $z_0 \in \{*, '\}$; $z_1 \in \{A, Я, У, Ю, О, Е, Ы, И\}$; $z_2 \in \{И\}$; $z_3 \in \{*, O, У, И\}$.

Второй такт.

Первый полутакт. Сужение множеств. 1) Движемся от полюса x_3 к полюсу r ($x_3 \rightarrow r$). Из отношения P_3 получаем: (P_3): $r \in \{4, 5, 10, 13, 17, 18\}$. 2) $y_1 \rightarrow s$, P_{15} : $s \in \{4, 7\}$. 3) $y_2 \rightarrow s$, P_{16} : $s \in \{6, 7\}$. 4) $y_3 \rightarrow s$, P_{17} : $s \in \{1, 3, 6, 7\}$. 5) $z \rightarrow z_n$, P_{12} : $z_n \in \{И\}$.

Второй полутакт. Пересечение множеств.

Состояние сети к началу третьего такта: $x_1 \in \{M, Ж, C\}$; $x_2 \in \{E, M\}$; $x_3 \in \{B\}$; $x_4 \in \{H, O\}$; $x_5 \in \{C, A\}$; $r \in \{4, 5, 10, 13, 17, 18\}$; $s \in \{7\}$; $y_1 \in \{Ж\}$; $y_2 \in \{B\}$; $y_3 \in \{T, M\}$; $z_n \in \{A, A', Я, У, У', Ю, О, О', Е, Ы, Ы', И, И'\}$; $z_n \in \{И\}$; $z \in \{АЯ, А'Я, ЯЯ, УЮ, У'Ю, ЮЮ, ОЕ, О'Е, ЕЕ, ОЙ, О'Й, ЕЙ, ОМ, О'М, ЕМ, ОГО, О'ГО, ЕГО, ОМУ, О'МУ, ЕМУ, ОЮ, О'Ю, ЕЮ, ЫЙ, ИЙ, ЫМ, Ы'М, ИМ, И'М, ЫЕ, Ы'Е, ИЕ, И'Е, ЫХ, Ы'Х, ИХ, И'Х, ЫМИ, Ы'МИ, ИМИ, И'МИ\}$; $z_0 \in \{*, '\}$; $z_1 \in \{A, Я, У, Ю, О, Е, Ы, И\}$; $z_2 \in \{И\}$; $z_3 \in \{*, O, У, И\}$.

Третий такт.

Первый полутакт. Сужение множеств. 1) $z_n \rightarrow r$, P_7 : $r \in \{1, 4, 9, 11\}$. 2) $s \rightarrow z_n$, P_{14} : $z_n \in \{A', У', О', И'\}$. 3) $z_n \rightarrow z$, P_{14} : $z \in \{ОЙ, О'Й, ЕЙ, ЫЙ, ИЙ\}$. 4) $z_n \rightarrow z_3$, P_{14} : $z_3 \in \{*\}$. 5) $s \rightarrow y_3$, P_{17} : $y_3 \in \{T\}$.

Второй полутакт. Пересечение множеств.

Состояние сети к началу четвертого такта: $x_1 \in \{M, Ж, C\}$; $x_2 \in \{E, M\}$; $x_3 \in \{B\}$; $x_4 \in \{H, O\}$; $x_5 \in \{C, A\}$; $r \in \{4\}$; $s \in \{7\}$; $y_1 \in \{Ж\}$; $y_2 \in \{B\}$; $y_3 \in \{T\}$; $z_n \in \{A', У', О', И'\}$; $z_n \in \{И\}$; $z \in \{ОЙ, О'Й, ЕЙ, ЫЙ, ИЙ\}$; $z_0 \in \{*, '\}$; $z_1 \in \{A, Я, У, Ю, О, Е, Ы, И\}$; $z_2 \in \{И\}$; $z_3 \in \{*\}$.

Четвертый такт.

Первый полутакт. Сужение множеств. 1) $r \rightarrow x_1$, P_1 : $x_1 \in \{M\}$. 2) $r \rightarrow x_2$, P_2 : $x_2 \in \{B\}$. 3) $r \rightarrow x_4$, P_4 : $x_4 \in \{H\}$. 4) $z_n \rightarrow z$, P_8 : $z \in \{А'Я, У'Ю, О'Е, О'Й, О'М, О'ГО, О'МУ, О'Ю, И'М, И'Е, И'Х, И'МИ\}$. 5) $z \rightarrow z_n$, P_8 : $z_n \in \{O, O', E, Ы, И\}$.

Второй полутакт. Пересечение множеств.

Состояние сети к началу пятого такта: $x_1 \in \{M\}$; $x_2 \in \{B\}$; $x_3 \in \{B\}$; $x_4 \in \{H\}$; $x_5 \in \{C, A\}$; $r \in \{4\}$; $s \in \{7\}$; $y_1 \in \{Ж\}$; $y_2 \in \{B\}$; $y_3 \in \{T\}$; $z_n \in \{O'\}$; $z_n \in \{И\}$; $z \in \{ОЙ\}$; $z_0 \in \{*, '\}$; $z_1 \in \{A, Я, У, Ю, О, Е, Ы, И\}$; $z_2 \in \{И\}$; $z_3 \in \{*\}$.

Пятый такт.

Первый полутакт. Сужение множеств. 1) $z_n \rightarrow z_1$, P_{11} : $z_1 \in \{O\}$. 2) $z_n \rightarrow z_0$, P_{10} : $z_0 \in \{'\}$.
Второй полутакт. Пересечение множеств.

Состояние сети к началу шестого такта: $x_1 \in \{M\}$; $x_2 \in \{B\}$; $x_3 \in \{B\}$; $x_4 \in \{H\}$; $x_5 \in \{C, A\}$; $r \in \{4\}$; $s \in \{7\}$; $y_1 \in \{Ж\}$; $y_2 \in \{B\}$; $y_3 \in \{T\}$; $z_n \in \{O'\}$; $z_n \in \{И\}$; $z \in \{ОЙ\}$; $z_0 \in \{'\}$; $z_1 \in \{O\}$; $z_2 \in \{И\}$; $z_3 \in \{*\}$.

Сеть отыскивала однозначные значения всех предметных переменных, кроме переменной x_5 . В последующих тактах состоянии сети уже не меняется. Именно этот факт служит сигналом к прекращению работы сети. После получения сетью результата можно осуществить съём информации с полюсов сети. Съём информации можно производить не со всех полюсов сети, а только с тех, которые интересуют пользователя.

Сеть выполняет функции своего рода базы данных. В роли атрибутов базы данных в сети выступают предметные переменные, представленные полюсами сети. В роли доменов атрибутов базы данных в сети выступают области изменения предметных переменных сети. В роли таблиц, хранящихся в базе данных выступают бинарные отношения, представленные ветвями сети. В роли исходных данных, поступающих в базу данных, для решаемой задачи, выступают подмножества некоторых из областей изменения предметных переменных сети. В роли запроса в базу данных выступают некоторые из предметных переменных сети. Пользователь может указать любое множество интересующих его предметных переменных. Этим предметным переменным соответствуют те полюсы, с которых производится съём информации, после того, как сеть решила поставленную перед нею задачу. Информация, выдаваемая сетью, имеет вид подмножеств областей изменения предметных переменных, указанных пользователем сети.

Изменения в полюсах распространяются по сети волнами. Они прекращаются после того, как в конце некоторого такта знания во всех полюсах оказываются такими же, как и в его начале. Рано или поздно такой момент с неизбежностью наступает, поскольку в каждом полюсе по прошествии очередного такта конечное множество-знание превращается в его подмножество. Стабилизация знаний в полюсах сети сигнализирует о том, что сеть завершила решение задачи. Теперь остается только произвести считывание полученных знаний с интересующих пользователя полюсов.

Таким образом, реализация данного подхода для различных механизмов естественного языка и их воспроизведение средствами вычислительной техники позволит перейти на новый уровень проектирования искусственного интеллекта.

Список литературы: 1. Шрейдер Ю.А. О понятии «математическая модель языка». М.: Знание, 1971. 63 с. 2. Широков В.А. Феноменология лексикографических систем. К.: Наукова думка, 2004. 327 с. 3. Грамматика русского языка. М.: АН СССР. 1960. Т.1. 719 с.; Т.2. Ч.1, 702 с.; Ч.2, 440 с. 4. Русская грамматика. М.: Наука, 1980, Т.1, 783 с.; Т.2, 709 с. 5. Зализняк А.А. Грамматический словарь русского языка. М.: Русский язык, 1977. 879 с. 6. Бархударов С.Г., Крючков С.Е. Учебник русского языка. М.: Просвещение. 1970. 296 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2004