

ратуре с ними связано немало путаницы, да и кроме того, в литературе по искусственному интеллекту термин "фокус" используется еще в одном смысле. Мы рекомендуем интересующемуся читателю обратиться к работам [1-3] по поводу лингвистических понятий и [4-5] - по поводу понятий из области искусственного интеллекта.

Понятие **центра** - это конструктор, связанный с речевым контекстом. Центр может соответствовать подлежащему предложению, но не обязательно будет всегда им являться. Представление предложения с использованием центра можно рассматривать как приписывание некоторого свойства одному выделенному индивиду, хотя само это свойство может включать в себя других индивидов. Например, в некотором контексте John может быть центром предложения

(1) John hit Bill.

Центр обозначается подчеркиванием. Это может помочь читателю представить предложение (1) в необычной форме:

(2) It is John who hit Bill,

где центр выражен гораздо яснее. В другом контексте центром может быть Bill, например:

(3) John hit Bill (it is Bill whom John hit).

Более формально представим выражения (1) и (3) соответственно в виде (4) и (5):

(4) (John x) (hit x Bill) или (jx) (hxb),

(5) (Bill y) (hit John y) или (by) (hju).

Такая централизованная структура (ЦС) предложений естественного языка резко отличается от структуры предложений обычного формального языка, которая выражает отношения между индивидами, не выделяя ни одного из них особо. (Мы используем термин ЦС в очень ограниченном смысле, в точности так, как он определяется в данной работе. Более широкое использование этого термина в контексте представления знаний содержится в работах [6-7].) ЦС позволяет легче разглядеть грубую логическую форму предложения. П-местные предикаты выглядят как одностные благодаря тому, что их структура временно скрыта (см. выше примеры (4) и (5)). Индивид, который не является центром, по-существу, игнорируется. Его можно ввести в рассмотрение, только сделав его центром. ЦС, по-видимому, делает относительно легким получение некоторых выводов и извлечение информации. Например, пусть дано предложение:

(1) It was John who hit Bill, (jx) (hxb).

Тогда легче ответить на вопрос:

(2) Who hit Bill? (Ex?) (hxb),

чем на вопрос:

А.К. Джоши, С.Кун

ЦЕНТРИРОВАННАЯ ЛОГИКА:

РОЛЬ ЦЕНТРИРОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

В ПРОЦЕССАХ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

1. ВВЕДЕНИЕ

Единый механизм, охватывающий все механизмы логического вывода, связанные с решением задач, вообще говоря, может быть адекватным с точки зрения характеристики в каком-то смысле выводов в естественном языке (аналогия: машины Тьюринга характеризуют все вычислимые функции). Однако он не очень проясняет те механизмы, которые свойственны языку и, возможно, существуют эффективности процесса вывода. Занимаясь системой вывода в естественном языке, мы интересуемся не просто тем, какие делаются выводы, но также и тем, как они делаются (с какой легкостью, например). Данная работа мотивирована именно такими соображениями. В частности, мы займемся следующим фактом: базовая структура предложения, рассматриваемого в речевом контексте, как правило, выделяет одного индивида (сущность) - мы назовем его **центром** - среди всех тех, которые являются аргументами главного предиката. Наше понятие центра, грубо говоря, соответствует лингвистическим понятиям фокуса (противопоставляемого пресуппозиции) и комментария (противопоставляемого теме (topic)). Мы умышленно используем новый термин для того, чтобы избежать отождествления нового понятия с этими традиционными и возникающего таким образом непонимания. Эти лингвистические понятия довольно расплывчаты, в лите-

записывается в виде:

($\forall x$) ($\forall y$) ($\exists x$) ($\exists y$) ($\exists x$) ($\exists y$) .

Другие примеры:

Everyone loves someone (in particular)

($\exists y$) ($\forall x$) ($\exists x$) ($\exists y$) ($\exists x$) ($\exists y$)

Someone is loved by everyone

($\exists y$) ($\forall y$) ($\forall x$) ($\exists x$) ($\exists y$) ($\exists x$)

Заметим, что при наиболее естественном прочтении предложения Everyone loves someone "квантор по имени" не требуется помещать внутрь формулы в область действия другого квантора. То же относится и к альтернативному варианту, который естественнее выражается предложением Someone is loved by everyone. Это согласуется с нашим общим представлением о том, что на первом плане выступают имена, которые являются центрами (в отличие от тех, которые ими не являются) .

3. ВЫВОД В ЦЛ

Мы часто говорим о "логической форме" предложения так, как будто она определяется однозначно. Но всем известно, что задачу проверки правильности аргументации в английском языке можно значительно упростить, если выбрать "правильное" предложение. Трюк состоит в том, чтобы выявить только ту часть структуры, которая необходима для обнаружения правильности аргументации: чем она меньше, тем легче вывод. Предикаты, конечно, имеют структуру, но вначале она может быть скрыта, а раскрыта лишь позднее, когда в этом появится необходимость. Не все в предикате распутывается одинаково трудно. Главная особенность ЦЛ состоит в том, что игнорируются индивиды (сущности) , не являющиеся центрами .

Выводы в ЦЛ - это деревья, в которых каждый узел следует из одного или более узлов-предшественников по одному из правил. Наиболее важная особенность состоит в том, что ограничиваются средства введения предложений с новыми центрами. Центры исходных посылок можно рассматривать как начальное множество центров (МЦ) . Новый индивид можно включить в МЦ, сделав его центром некоторого предложения, и это можно сделать только двумя способами. Один из них состоит в использовании правил изменения центра, которое позволяет преобразовать одно предложение в другое, "говорящее о том же", но выделяющее в качестве центра другой индивид. Второй способ - это введение в предметное поле того предложения с индивидом-центром, которого раньше не было в МЦ. Число применений правила изменения

127

(3) Whom did John hit? , (Эу?) (Нју)

(См. также примеры (1) и (2) раздела 5) .

Хорошо известно, что в логике одноместных предикатов (ЛОП) выводы делать легче, чем в полной логике предикатов, и что она разрешима (см., например, [8]) . Очевидно также, что ЛОП неадекватна, если рассматривать все выводы в естественном языке. Тем не менее значительная часть выводов в естественном языке протекает, по-видимому, так, как будто мы имеем дело с одноместными предикатами. Интересно посмотреть, какие механизмы мы можно добавить к ЛОП, чтобы усилить это исчисление, сохраняя, однако, его существенные преимущества. Мы исследовали несколько систем такого рода с точки зрения их способности улавливать определенные ключевые свойства механизмов вывода, работающих в естественном языке, и с точки зрения их формальных свойств - в той мере, в какой эти формальные результаты дают некоторое понимание структуры и функции конструкций, связанных с общим контекстом речи. В разделах 2-4 мы дадим предварительную формулировку централизованной логики (ЦЛ), в разделе 5 приведем несколько примеров выводов, а затем обсудим силу ЦЛ и некоторые открытые вопросы.

2. ЯЗЫК ЦЕНТРИРОВАННОЙ ЛОГИКИ

Формальный язык централизованной логики отличается от языка логики предикатов тем, что индивидные константы служат для связывания переменных в "базовых предложениях", т.е. мы пишем (jx) (Hxm) вместо It was John who hit Mary и (mx) (Hjx) вместо It was Mary whom John hit. Для настоящей статьи было бы достаточно более просто символизировать. Этот мы выбрали потому, что имеем в виду рассмотреть в будущем интенсивные предикаты. Мы хотим иметь возможность различать такие, например, предложения, как:

(ax) (Bxad) (Anastasia is such that she believes Anastasia is Grand Duchess of Russia)

(ax) (Bxxd) (Anastasia is such that she believes she is Grand Duchess of Russia)

Кроме того, мы позволяем строить сложные предложения с помощью логических связок и кванторов. Предложение с "квантификацией по имени" получается заменой всех входящих некоторого имени (индивидной константы) новой переменной \forall и приписыванием спереди $\forall \forall$ или $\exists \exists$. Например, предложение:

Everyone loves someone (or other)

126

шим образом. Предикат в ЦЛ - это формула в ИПП, содержащая не более одной свободной переменной. Атомное предложение в ЦЛ - это формула (ax) (P), где P - предикат, не содержащий свободных переменных, отличных от x, и a - индивидуальная константа. Предложение в ЦЛ - это элемент наименьшего множества X, содержащего атомные предложения и замкнутого относительно следующих операций:

- (1) Если A и B содержатся в X, то там содержится (A ∨ B), (A ∧ B) и (A → B).
- (2) Если A содержится в X, и A^a - результат подстановки x вместо всех вхождений a в A, то $\bigcup_x A$, $\bigcap_x A$, $\exists x A$ и $\forall x A$ содержится в X.

Предложение в ЦЛ - это либо предложение ЦЛ, либо результат подстановки индивидуальной переменной вместо индивидуальной константы в какое-нибудь предложение из ЦЛ. Мы используем следующие метAPERЕМЕННЫЕ: A, B, C, D, ... - для псевдопредложений ЦЛ; P, Q, R, ... - для предикатов ЦЛ; a, b, c, ... - для индивидуальных констант ИПП; u, v, w, x, y, z, ... - для переменных ИПП. Переводы из ЦЛ в ИПП и обратно очевидны. (Замечание: ЦЛ можно сформулировать в виде λ-исчисления некоторого рода, в котором λ-оператор используется для образования предикатов из формул, подчиненных двум ограничениям: (1) образуемые предикаты - одноместные, у нас нет предикатов вида $\lambda x_1 x_2 \dots x_n A$.

(2) λ-операторы не могут быть вложены друг в друга.)
 1. Правила вывода. Мы используем обозначения из "Системы естественного вывода" Prawitz (Prawitz). Двойное подчеркивание означает, что правило применяется в обоих направлениях.

- 1.1. $\frac{A \quad B}{A \wedge B} \quad \frac{A \wedge B}{A} \quad \frac{A \wedge B}{B}$
- 1.2. $\frac{A \quad B}{A \vee B} \quad \frac{A \vee B}{A} \quad \frac{A \vee B}{B}$
- 1.3. $\frac{A}{A \rightarrow B} \quad \frac{A \quad A \rightarrow B}{B}$
- 1.4. $\frac{A}{\neg A} \quad \frac{\neg A}{A} \quad \frac{A \quad \neg A}{\text{ax}} \quad \frac{\neg(A)}{A}$
- 1.5. $\frac{A \quad (ax) (P)}{(\forall x) (A)}$ $\frac{A \quad (ax) (P)}{A}$ $\frac{(\exists x) (A) \quad (ax) (P)}{A}$

центра и число индивидов, включаемых в МЦ, являются мерами трудности вывода.

Правила вывода делятся на четыре группы.
 1. Правила, позволяющие делать выводы обычного типа, например: получить A ∨ B из посылок A и B. В большинстве правил этой группы не требуется использовать структуру предикатов. Ограничения на квантификацию следующие:

(а) Конкретизация универсальных предложений допускается только для имен, которые являются центрами из МЦ, т.е. можно вывести (mx) (Ljx) из (∀y) (mx) (Lyx) и дополнительной посылки вида (jy) (P...y...).

(б) Навешивание кванторов существования допускается только для имен, которые являются центрами из МЦ, т.е. можно, например, вывести (∃y) (Ljx) из (mx) (Ljx), если $j \in \text{МЦ}$. Конечно, всегда можно вывести (∃x) (Ljx) из (mx) (Ljx), так как индивид (сущность) с именем m является центром.

2. Правила этой группы касаются выводов, которые зависят от структуры предиката, но не требуют узнавания встречающихся в нем имен, - например, можно вывести (jx) (Px) ∧ (jx) (Qx) из (jx) (Px ∧ Qx). С помощью этих правил можно выводить структуру предиката для того, чтобы применить правила логики пред-
 ложений.

3. Эта группа состоит только из одного правила изменения центра. Оно позволяет, например, вывести из предложения (jx) (Gxmf) предложение (fx) (Gjmx). Первое предложение пишется, скажем, Джону свойство, что он дал Мэри (книгу) "Фауст" (John gave Mary "Faust"), а второе - приписывает книге "Фауст" свойство, что Джон дал ее Мэри (John gave Mary "Faust").

4. Наконец, у нас есть правила переименования связанных переменных и "конкретизации" центров. В обычной формальной системе переименование связанных переменных требует конкретизации, а потом квантификации. В нашей системе соответствующие правила ограничены так, что может потребоваться дополнительное изменение центров. Так как выбор связанной переменной несущественен для представления предложения, то нам кажется, что должны быть правила, позволяющие прямо менять связанные переменные. Конкретизация центров нужна, например, чтобы получить эквивалентность предложений (ax) (Bxxd) и (ax) (Bxad).

4. ФОРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА (ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ВЕРСИЯ)

Пусть задан формализм исчисления предикатов первого порядка (ИПП). Язык централизованной логики определяется следую-

5. ПРИМЕРЫ ВЫВОДОВ

(1а) Из предложений Everyone at the reception was thanked (T) by John (j). Mary (M) was at the reception (R) следует предложение Mary was thanked by John.

$$\frac{\frac{(\forall u) (ux) (Rx \rightarrow Tjx) \quad (mx) (Rx)}{(mx) (Rx) \rightarrow (mx) (Rx \rightarrow Tjx)} \quad (mx) (Rx)}{(mx) (Rx) \rightarrow (mx) (Tjx) \quad (mx) (Rx)} \quad (mx) (Rx)$$

(1б) Из предложений John thanked everyone at the reception. Mary was at the reception следует предложение John thanked Mary.

$$\frac{\frac{(\exists y) (\forall x) (Ry \rightarrow Txy)}{(\exists y) (jx) (Ry \rightarrow Txy)} \quad (mx) (Rx)}{(\exists y) (jx) (Ry \rightarrow Txy)} \quad (mx) (Rx)$$

$$\frac{(\exists y) (Ry \rightarrow Txy)}{(\exists y) (Ry \rightarrow Txy)} \quad (mx) (Rx)$$

$$\frac{(\exists y) (Ry \rightarrow Txy)}{(\exists y) (Ry \rightarrow Txy)} \quad (mx) (Rx)$$

$$\frac{(\exists y) (Ry \rightarrow Txy)}{(\exists y) (Ry \rightarrow Txy)} \quad (mx) (Rx)$$

Вывод (1б) труднее вывода (1а), так как он требует дважды применять правило изменения центра (это отмечено двойными линиями).

Выводы (1а) и (1б) не требуют включения в множество центров МЦ нового индивида, который не был бы центром какой-нибудь посылки. Это отличает их от последующего вывода (2), который требует, чтобы в МЦ было включено два новых индивида (сущности). Своей трудностью вывод (2) обязан именно этому обстоятельству, по крайней мере, по отношению к ЦЛ.

(2) Из предложения There is a house in which everyone lives (L) следует предложение Everyone lives in house

$$\frac{\frac{(\exists x) (Ax) \quad (ay) (P)}{(\exists x) (Ax)} \quad (\exists x) (Ax) \quad (ay) (P)}{(\exists x) (Ax) \quad (ay) (P)} \quad (ay) (P)$$

ОГРАНИЧЕНИЯ. В первом правиле из (1.5) а должно входить в каждое предположение, от которого зависит А. Во втором правиле из (1.6) а не должно входить в (Эх) (А), В или какое-нибудь предположение, от которого зависит верхнее входящее В, за исключением Ах.

2. Декомпозиция предиката:

$$\frac{(\exists x) (P \wedge Q)}{(\exists x) (P) \wedge (\exists x) (Q)} \quad (ax) (P \vee Q)$$

$$\frac{(\exists x) (P) \wedge (\exists x) (Q)}{(\exists x) (P) \wedge (\exists x) (Q)} \quad (ax) (P \vee Q)$$

$$\frac{(\exists x) (P) \rightarrow Q}{(\exists x) (P) \rightarrow Q} \quad (ax) (\neg P)$$

$$\frac{(\exists x) (P) \rightarrow Q}{(\exists x) (P) \rightarrow Q} \quad (ax) (\neg P)$$

$$\frac{(\exists x) (P) \rightarrow Q}{(\exists x) (P) \rightarrow Q} \quad (ax) (\neg P)$$

$$\frac{(\exists x) (P) \rightarrow Q}{(\exists x) (P) \rightarrow Q} \quad (ax) (\neg P)$$

при условии $x \neq y$.

3. Изменение центра:

$$\frac{(ax) (P)}{(bx) (P^x_b)} \quad (ax) (P)$$

4. Связанные переменные:

$$\frac{(\forall x) (Ax)}{(\forall y) (A^x_y)} \quad (\exists x) (A)$$

$$\frac{(\exists x) (A)}{(\exists y) (A^x_y)} \quad (\exists y) (A')$$

$$\frac{(\exists x) (A)}{(\exists y) (A^x_y)} \quad (\exists x) (A)$$

$$\frac{(\exists x) (A)}{(\exists y) (A^x_y)} \quad (\exists x) (A')$$

где А' - результат подстановки а вместо одного, или более свободных входящих х в А.

$$\frac{(bx) (P) \star}{(bx) (P) \rightarrow (bx) (P)}$$

$$\frac{(ay) (\forall x) (Lxy)}{(ay) (ay) (Lxy)}$$

$$\frac{(bx) (P) \star}{(bx) (P) \rightarrow (bx) (P)}$$

$$\frac{(bx) (Lxa) (ay) (\forall x) (Lxy)}{(\exists y) (bx) (Lxy)}$$

$$\frac{(bx) (P) \rightarrow (bx) (P)}{(bx) (P) \rightarrow P}$$

$$\frac{(ay) (\forall y) (\forall x) (Lxy) (\forall y) (\exists x) (Lxy) (ay) (\forall x) (Lxy)}{(\forall u) (\exists x) (\exists y) (Lxy)}$$

Звездочкой отмечены временные предположения, которые позднее снимаются.

Нетрудно доказать, что приведенные выше правила центрированной логики полны в том смысле, что формула А выводима из Г, если ее ж-перевод А* (из ЦЛ в ИПП) в классическом смысле выводим из перевода Г* . Для того чтобы показать это, заметим следующее:

- (1) все о-переводы (из ИПП в ЦЛ) правил классической логики естественного вывода выводимы из наших правил;
 - (2) можно доказать, что А* эквивалентно А .
- Однако, чтобы получить этот результат, нам нужны как правило изменения центра, так и введение временных предположений с новыми центрами. (Первое требуется для установления эквивалентности А и А* , а второе - чтобы показать, что выводимы переводы классических правил квантификации.) Если посылки и заключения имеют один и тот же центр, то правило изменения центра не требуется. Ибо если а - центр посылки и заключения, взяв (ax)φ в качестве перевода обычной формулы φ и используя правила декомпозиции предиката, можно классическую де-ривацию ж-перевода аргумента преобразовать в центрированную без измененный центра. Следовательно, число отличает от не превзойдет числа посылок, центры которых отличаются от центров соответствующих заключений. (Роль правды для понимания центра становится более интересной и более трудной для понимания, когда запрещается квантификация в предикате. Как уже упоминалось, имеются некоторые основания считать это ограничение оправданным.)

Хотя можно наложить какое-то ограничение на число измененных центров, установить аналогичную границу для числа новых индивидов, которые должны включаться в МЦ, нельзя. В примере (2) посылка вообще не содержит индивидных констант. Из вида правил ясно, что из одних таких формул можно вывести только эквивалентные формулы и тавтологические следствия. Значит, введение новых центров в примере (2) было неизбежным.

Таким образом, логика с ограничением на число центров слабее логики без ограничения. В частности, логика без центров слабее логики с одним центром. Общие вопросы о числе новых центров, необходимых для вывода, и о разрешимости класса выводов с малым числом центров остаются открытыми.

* * *

Настоящая работа частично финансировалась субсидией Национального научного фонда Grant MCS 78-19466 и субсидией Sloan Foundation, представленной университету в Пенсильвании. Мы обязаны ценными замечаниями рецензентам - анонимным и Мартину Кэю: они существенно помогли нам в исправлении как стила, так и содержания данной статьи. Мы также хотим поблагодарить Эллен Принс и Бонни Вебер за весьма полезные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chafe W.L. Givenness, Contrastiveness, Definiteness, Subjects, Topics, and Points of views.- In: Subject and Topic (ed. C.N. Li), Academic Press, New York, 1976.
2. Sgall P., Hajicova E., Benecova E. Topic, Focus and Generative Semantics.- Scriptor Verlag GmbH, Kronberg Taunus, 1973.
3. Prince E. On the Given/New Distinction.- Proc. Chicago Linguistics Society, 1979.
4. Grosz B. The Representation and Use of Focus in Dialogue Understanding.- Stanford Research Institute, Technical Report 151, Menlo Park, California, 1977.
5. Seidner C. The Use of Focus as a Tool for Disambiguation of Definite Noun Phrases. - TINLAP 2, Urbana-Champaign, Illinois, 1978.

6. Bobrow D.G., Winograd T. An Overview of KRL, a Knowledge Representation Language. - Cognitive Science, Jan. 1977, vol.1, No.1.
7. Brachman R.J. A Structural Paradigm for Representing Knowledge. - Bolt, Beranek and Newman, Inc., May 1978, Report No. 3605.
8. Boolos G.S., Jeffery R. Computability and Logic. - Cambridge University Press, Cambridge, 1974.