

УДК 007.52

*Ю.И. Кисленко*

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»

## Информационный робот

Представляется работа в области информационных технологий, связанная с особенностями обработки образной (зрительной, тактильной) и символьной информации. Рассматриваются информационные аспекты функционирования отдельных систем с учетом антропоморфного подхода, а также возможные схемы взаимодействия подобных систем, которые замыкаются на общую базу представления знаний. Представлены практические результаты в указанной области информационных технологий.

Интегрирование систем, ориентированных на моделирование сложных интеллектуальных функций, все чаще встречается в современных исследованиях и практических разработках. Пример тому – достижения Института проблем искусственного интеллекта. В научном коллективе, возглавляемом А.И. Шевченко, проводятся исследовательские работы практически по всем направлениям, связанным с моделированием интеллектуальной деятельности человека. На конференции «Интеллект – 2000» этим коллективом был представлен цикл работ, например [1], [2], [3], нацеленный на решение различных многоаспектных задач информационного обеспечения автономного робота.

В статье рассматриваются вопросы обработки и интеграции разноплановой информации, получаемой через зрительный, акустический и тактильный каналы. Особый акцент делается на возможности переработки естественной языковой (ЕЯ) информации, представляемой в форме текста или речи. Антропоморфный подход принимается в качестве продуктивной платформы анализа рассматриваемых вопросов и занимает приоритетный характер.

Термин **«информационный робот»** удачно объединяет в себе указанные проблемы и достаточно адекватно отражает суть направления. Если обычный робот (в традиционном понимании) моделирует возможность активного воздействия человека на окружающую среду (не только моделирует, но и реализует эту возможность), то информационный робот моделирует исключительно лишь информационную составляющую этого процесса – восприятие, обработку и интеграцию разноплановой информации. Естественно, результаты работы информационного робота могут и должны использоваться обычным роботом, однако очень часто этот информационный аспект представляет значительный самостоятельный интерес в области фундаментальных исследований, что позволяет выделить его в качестве отдельного направления робототехники. Важнейшими вопросами здесь являются:

1. Закономерности обработки образной (зрительной, акустической, тактильной) информации человеком.
2. Задачи интеграции символьной и образной информации.
3. Вопросы системной организации естественной языковой информации.

Указанные вопросы решались в различных пространственно-временных рамках, и по каждому из них были получены определенные результаты, подтвержденные рядом публикаций. С учетом перечисленных задач целесообразным представляется дифференциация исследований по отдельным направлениям.

**Информационный аспект** предлагает антропоморфный подход и связан с разработкой обобщенной структуры информационного обеспечения интеллектуальных моделей. Важнейшими составляющими предложенной схемы являются: система обработки образной (зрительной, акустической, тактильной) информации, которая перерабатывается соответствующим анализатором – «образным процессором», и система обработки символьной (естественной языковой) информации с соответствующим «лингвистическим процессором» (ЛП), которые замыкаются на общую базу знаний (БЗ), охватывающую одновременно образный и символьный уровни. Таким образом, в структуру информационного обеспечения были заложены важнейшие принципы обработки информации человеком, как то: интеграция разноплановой информации и взаимодействие I и II сигнальных систем. Указанные принципы формирования обобщенной структуры информационного обеспечения были представлены в работе [1]. Если в области обработки зрительной и акустической информации используются стандартные подходы и известные данные, то в области обработки тактильной информации предложена оригинальная схема формирования и использования **«динамического тактильного образа»**, позволяющая с совершенно иных, нетрадиционных позиций рассматривать вопросы осязания по тактильному каналу. Указанные предложения представлены публикацией [2].

Данная работа посвящена тщательному исследованию информационных аспектов тактильного анализатора стопы человека. Показано, что в соответствии с определяющим законом формирования биологических структур, когда **«функция определяет структуру»**, анализатор стопы удивительным образом приспособлен для решения основной задачи – обеспечения информационной поддержки процесса ходьбы, в частности основных составляющих шага – толчковой и постановочной стадий. Было показано, что структура анализатора (согласно современным воззрениям физиологов) вполне способна обеспечить на каждом шаге снятие информации как относительно будущего положения проекции центра масс человека (толчковая стадия), так и относительно реализации постановочной стадии. Эта информация формируется сенсором и снимается анализатором с динамического тактильного образа стопы.

Анализ информационных процессов ходьбы позволил синтезировать структуру системы управления шагающих механизмов весьма своеобразной архитектуры. Это две идентичные системы с перекрестными связями, взаимодействующие таким образом, что информация, снимаемая с одного сенсора и обрабатываемая соответствующим анализатором на толковой стадии, поступает на исполнительные устройства другой системы, которые формируют постановочную стадию.

Реализация указанных принципов позволяет сформировать обратную связь по тактильному каналу для шагающих механизмов, что позволяет значительно расширить область применения шагающих роботов и перейти от идеальных условий работы на подготовленной горизонтальной площадке к реальным условиям работы на произвольной поверхности.

**Интеграционный аспект** связан с вопросами актуализации принципа интеграции разноплановой информации в рамках отдельной задачи и системы. Если в общей схеме информационного обеспечения лишь декларировалась известная и притягательная концепция учета разноплановой информации при формировании и принятии решений, то в данном случае была развита и проверена плодотворная идея Ю.Д. Апресяна относительно использования **«изобразительных средств семантики»**. Для узкой предметной области пространственных отношений была реализована **база знаний**, где каждому термину (на языковом уровне) сопоставлялся его **«смысл» – графический образ**. Последнее означает, что смысл отдельного слова наилучшим образом может быть представлен через его «образ», а не через слово, как это было до сих пор.

Ядром системы является база знаний, сформированная в соответствии с общими принципами информационного обеспечения интеллектуальных моделей. Реализована БЗ одновременно на двух уровнях – образном и символическом, связанных процедурами соответствия, и включает в себя три класса единиц: объекты, отношения и состояния.

**Класс объектов** представлен совокупностью произвольных плоских фигур, которые могут свободно размещаться на указанной сцене.

**Класс отношений** определяется пространственными отношениями (П-отношениями) бытовой лексики и включает две группы единиц, отображающих отношения типа **«направление»** и **«расстояние»**. Специфика графической интерпретации П-отношений в том, что они инвариантны как к размерам сцены, так и к положению робота или объекта на заданной сцене. Взаимодействие отдельных П-отношений определяется принятой системой отсчета координат, которая может быть как абсолютной или относительной, так и комбинированной (тип системы отсчета определяется входной информацией).

**Класс состояний** представлен совокупностью единиц, определяющих динамические преобразования на указанной сцене и соответствующих преобразованиям, связанным либо с перемещением робота или объектов на

сцене, либо с прокладкой маршрута робота, либо с перемещением в «лабиринте» и т.п.

Представленная база знаний обрамляется системами обработки образной и символьной информации. На уровне обработки образной информации реализована распознающая система, моделирующая способность ребенка отслеживать контур изображения. Алгоритм реализован в виде процедуры, формирующей «**пошаговую функцию обхода**» из координат текущего положения робота и направления обхода и содержащую всю информацию относительно угловых и линейных характеристик объекта.

Система обработки символьной информации представляет в зародыше «лингвистический процессор» (ЛП), задача которого, в первую очередь, выявить структурную организацию и иерархию составляющих П-отношений; то есть сфера действия ЛП пока ограничена узкой предметной областью пространственных отношений, для которой по входной информации определяется тип П-отношения, система отсчета и схемы взаимодействия составляющих.

Указанный подход был использован для построения системы обработки естественной языковой информации, функционирующей как в режиме анализа, так и синтеза текстовой информации.

**В режиме анализа** по входному сообщению (части отдельного сообщения, представляющего П-отношение) формируется его графический эквивалент (образное представление) на указанной сцене. При этом выделяются такие процедуры, как: определение структуры сообщения, вычленение отдельных составляющих, определение системы отсчета пространственных отношений относительно робота, обращение к графическому «смыслу» отдельного понятия и, наконец, окончательное формирование отношения, представленного входным текстом.

**В режиме синтеза** процедура реализуется в противоположном направлении: для указанной сцены, где расположены множество объектов и, собственно, робот. Формируется описание в текстовом виде. Только в отличие от сложившегося подхода здесь к решению задачи подключается и система обработки образной информации – в частности, распознающая система. Анализатор «осматривает» сцену, выделяет отдельные объекты с учетом их информативных признаков, определяет взаимное положение объектов и робота, и лишь после этого полученная информация переводится на языковой уровень.

Таким образом, для информационного робота реализована возможность выполнять преобразование входной информации либо в направлении «**Действительность – Смысл – Текст**», либо в противоположном направлении «**Текст – Смысл – Действительность**». Следует еще раз подчеркнуть, что содержательная сторона (смысл) в этом случае определяется не через слово (как обычно принято), а через его графический образ. Можно констатировать, что для узкой предметной области пространственных

отношений, где удобно смысл представить графическими средствами, реализована достаточно эффективная система, моделирующая речевое поведение как в режиме «понимания» (анализа), так и «порождения» (синтеза) текста. В обобщенном виде здесь моделируются отдельные стороны речевой деятельности человека. Достаточно полное описание системы анализа представлено в учебном пособии [3]. Здесь же были впервые очерчены контуры системного подхода к структурной организации естественного языка.

**Интеллектуальный аспект.** Еще со времен Р. Декарта владение языком считалось исключительно прерогативой интеллектуальной деятельности человека. Естественно, к разряду интеллектуальных относятся и многие другие задачи, решаемые человеком, однако речевая деятельность концентрирует в себе наиболее сложные вопросы **представления и использования знаний** на различных уровнях.

Прогресс в области информационных ЕЯ-технологий существенным образом определяется уровнем формализации и систематизации наших знаний относительно внутренней организации языка. Отсутствие достаточно адекватных моделей формирования и функционирования речевой деятельности не позволяет эффективно использовать современные компьютерные технологии в области обработки ЕЯ-информации. И проблемы здесь, главным образом, сводятся к неоднозначности определения исходной структурной единицы представления языковой информации – предложения; на данный момент существует около нескольких сотен подобных определений, что говорит не в пользу их адекватности.

Практические результаты многих представительных коллективов лингвистов, десятилетиями работавших в области ЕЯ-технологий (например, в области автоматического перевода), оказались неадекватными затраченным усилиям. Например, Апресян Ю.Д., участвовавший в подобных разработках, констатирует, что в настоящее время нет качественного перевода и основная проблема – в отсутствии (невозможности выполнения) однозначного синтаксического анализа входного сообщения. Мельников Г.П. также авторитетно заявляет, что проблема не может быть удовлетворительно разрешена без моделирования интерпретирующей функции человеческой деятельности, которая может быть реализована лишь с привлечением достаточно мощной базы знаний.

Автору удалось построить непротиворечивую систему структурной организации естественного языка, основывающуюся на понятии базовой структурной единицы – **атомарного предложения**. Дано формальное определение этой языковой единицы как максимально полной схемы отображения произвольной ситуации внешнего мира: **базовая структура – это двусоставная монопредикатная схема отображения произвольной ситуации внешнего мира, все составляющие которой реализованы исключительно на атрибутивном уровне их описания**. Формальное определение базовой структуры может быть представлено следующим образом:

$SBO = SUBJ - Ro - MOV - (Ri * OBJ_i, i = 1, n; Rj * OBJ_j, j = 1, m)$ , где

$OBJ = OBJ / (ATTR_i (OBJ), i = 1, k) * OBJ / OBJ * (ATTR_i (OBJ), i = 1, k)$ ,

$MOV = MOV / (ATTR_j (MOV), j=1, l) * MOV / MOV * (ATTR_j (MOV), j =1, l)$ ,

$ATTR(OBJ) = Attr(Obj) / Attr(Attr) * Attr (Obj) / Attr(Obj) * Attr(Attr)$ ,

$ATTR(MOV) = Attr(Mov) / Attr(Attr) * Attr (Mov) / Attr(Mov) * Attr(Attr)$ , где

$1 \leq n \leq 6, 1 \leq m \leq 4, a m + n \leq 7; 1 \leq k \leq 6, 1 \leq l \leq 3$ ,

$Ro$  – отношение «быть субъектом»,  $Ri$  – предикативные отношения ,

$Rj$  – ситуационные отношения.

Обозначения здесь следующие:  $SBO$  – базовая семантико-синтаксическая структура описания отдельной ситуации,  $OBJ$  и  $MOV$  – языковые средства отображения категорий объектов и действия,  $ATTR(OBJ)$ ,  $ATTR(MOV)$ ,  $ATTR(ATTR)$  – языковые средства описания атрибутов объектов, атрибутов действий, атрибутов атрибутов. Ограничение составляющих сообщения собственно атрибутивным уровнем является достаточно сильным требованием, опирающимся на **принцип целостности отображения** как отдельных категорий внешнего мира, так и целых ситуаций и позволяющим однозначно идентифицировать указанную структуру на фоне бесконечного структурного многообразия представления языкового материала.

Это определение оказалось весьма продуктивной основой формирования системного подхода при рассмотрении вопросов структурной организации ЕЯ-информации (языкового материала). Строго определив исходную базовую структуру, произвольное сообщение можем уже рассматривать либо как разновидность стандартной структуры, либо как совокупность подобных структур. Указанный подход детально изложен в монографии [4]; несколько шире, с учетом возможных приложений, формальный подход к ЕЯ-технологиям представлен работой [5].

При этом язык из нечетко описанной схемы представления «мысли» превращается в четко организованную систему формирования и представления знаний.

Признание базовой семантико-синтаксической структуры в качестве основной схемы организации и представления языкового материала ведет к далеко идущим выводам и заключениям. Анализ языкового материала позволяет заключить, что произвольное сообщение формируется на основании базовой структуры, с учетом закономерностей создания монопредикатного или полипредикатного уровней (под предикатом здесь понимается  $n$ -актантная структура с ядром-предикатом).

**Монопредикатный уровень** представлен либо собственно базовой синтаксической структурой, либо схемами ее трансформирования (в работе перечислены возможные схемы трансформирования базовой семантико-синтаксической структуры и даны конкретные признаки каждой такой трансформации).

**Полипредикатный уровень** покрывает все сообщения, выходящие за рамки одного предиката. Это, по существу, все схемы соединения монопредикатных формирований в рамках отдельного сообщения. Полипредикатную интерпретацию получают такие грамматические явления, как однородные члены, модальное расширение глагола, а также известные категории субстантивации, адъективации, адвербиализации и сочинения или подчинения.

Монопредикатный и полипредикатный уровни полностью исчерпывают возможное структурное разнообразие произвольного сообщения. Это позволяет представить структурную организацию языкового материала в виде строго очерченной иерархической системы, базирующейся лишь на едином структурном образовании – базовой семантико-синтаксической структуре и системе правил как трансформирования этой структуры, так и их взаимодействия. Иерархия единиц здесь представляется весьма строгой: исходной единицей является слово, слова предикатными рамками собираются в базовую структуру, которая затем на монопредикатном или полипредикатном уровнях формирует уже отдельное сообщение. Места для словосочетания в данной модели нет – любое словосочетание здесь рассматривается как определенная схема трансформирования базовой синтаксической структуры.

Формирование концепции системной организации ЕЯ-информации, в основу которой закладывается понятие базовой семантико-синтаксической структуры, открывает новые конструктивные возможности в области дальнейшего развития и совершенствования ЕЯ-технологий. Здесь намечаются новые перспективные направления исследований.

**Во-первых**, наличие строгих формальных ограничений объема базовой структуры позволяет дать приближенные количественные оценки возможных схем актуализации отдельного сообщения, которые варьируются только для одной структуры в пределах от  $40 \cdot 10^3$  до  $40 \cdot 10^9$  вариантов.

**Во-вторых**, признание базовой семантико-синтаксической структуры в виде некоторого стандартного шаблона актуализации произвольного сообщения позволяет по-новому подойти к моделированию процессов порождения сообщения человеком как на монопредикатном, так и на полипредикатном уровнях, в зависимости от вида аргумента порождающих функций.

**В-третьих**, если произвольное сообщение представляется совокупностью однотипных структур, то организационные принципы формирования языкового материала определяются рекурсивными зависимостями, где вакансии базовой семантико-синтаксической структуры заполняются или индивидуальными составляющими (отдельными словами), или целыми структурами, элементы которых, снова же, могут быть или словами, или структурами и т.д.

**В-четвертых**, закономерности формирования монопредикатного уровня и формулы создания сообщения полипредикатного уровня

объединяют, по существу, все закономерности языка структурного плана, которые могут быть представлены в виде языковой компетенции отдельного индивида и составляют «**лингвистический процессор**» (ЛП), представляющий одну из важнейших составляющих для моделирования речевой деятельности человека. Если языковой материал, в общем случае, представляется рекурсивной процедурой формирования сообщения, то и ЛП должен функционировать как рекурсивный вычислитель.

**В-пятых**, вторая составляющая речевой деятельности связана с формированием новой архитектуры **базы знаний** (БЗ), что позволит в дальнейшем моделировать процессы интерпретации ЕЯ-информации, которые до сих пор считались исключительно прерогативой человека. Только информативной единицей представления информации в таких БЗ будет не отдельное слово, а целая базовая структура. Система **ЛП – БЗ** может стать основой моделирования важнейших проявлений речевой деятельности (автоматический поиск, автоматический перевод, понимание текста, накопление знаний и пр.).

Представленный цикл выполненных работ, объединяемых термином «**информационный робот**», формирует ряд конструктивных предложений, касающихся новых направлений в области развития информационных технологий. Весьма продуктивной представляется концепция объединения систем обработки образной и символической информации, заложен фундамент в области развития и создания новых информационных технологий, ориентированных на обработку естественного языка.

## Литература

1. Шевченко А.И. Самообучение робота как свойство искусственного интеллекта // Искусственный интеллект. – 2000. – № 3. – С. 348-352.
2. Романенко Н.И., Кошевцов М.А. Виртуальная модель управления интеллектуальным роботом и ее интерфейс // Искусственный интеллект. – 2000. – № 3. – С. 318-324.
3. Дорохин О.А., Старушенко Д.Г., Федоров Е.Е., Шелепов В.Ю. Сегментация речевого сигнала // Искусственный интеллект. – 2000. № 3 – Донецк – С. 450 –458.
4. Кисленко Ю.И., Костюк В.И. Информационное обеспечение автономного робота // Техническая кибернетика. – 1988. – №2.
5. Кисленко Ю.И. Тактильное осязание шагающего робота // Техническая кибернетика.– 1991. – №8.
6. Кисленко Ю.И., Амплеева Г.А. О моделировании соотношения «действительность – текст» Искусственный интеллект. – 2000. – № 3. – С. 475-487.
7. Кисленко Ю. Системна організація мови. Київ: Український літопис, 1997. – 217 с.
8. Кисленко Ю. Архітектура мови (лінгвістичне забезпечення інтелектуальних інтегрованих систем) – Київ: Віпол, 1998. – 344 с.

*Материал поступил в редакцию 01.11.00.*