

53. Sleeman D., Brown J.S. Intelligent Tutoring Systems // Sleeman D., Brown J.S. (Eds.) Intelligent tutoring systems. — London: Academic Press, 1982. — P. 1-12.
54. Sleeman D.I., Smith M J. Modelling students' problem solving // Artificial Intelligence. — 1981. — V. 16. — P. 171-188.
55. Soloway E., Rubin E., Woolf B., Bonar J., Johnson W. MENO-II: an AI-based programming tutor // Journal of Computer-Based Instruction. — 1983. — V. 10. N 1-2. — P. 20-34.
56. Tang H., Barden R., Clifton C. A new learning environment based on hypertext and ITS technology // Proceedings of the International Conference on Advanced Research on Computers in Education. — Tokyo, 1990. — P. 39-47.
57. Vassileva J. A classification and synthesis of student modeling techniques in intelligent computer-assisted instruction // Computer-Aided Learning. Lecture Notes in Computer Science, 438. — Berlin: Springer-Verlag. — 1990. — P. 202-213.
58. Wenger E. Artificial intelligence and tutoring systems. Computational approaches to the communication of knowledge. — Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers. — 1987. — 486 p.
59. Wescourt K.T., Beard M., Gould L. Knowledge-based adaptive curriculum sequencing for CAI: application for network representation // Proceedings of the 1977 Annual ACM Conference. — Seattle, 1977. — P. 234-240.
60. White B.Y., Frederiksen J.R. Causal model progressions as a foundation for intelligent learning environments // Artificial Intelligence. — 1990. — V. 42. — N 1. — P. 99-157.
61. Woolf B., McDonald D.D. Building a computer tutor: design issues // Computer. — 1984. — V. 17. — N 9. — P. 61-73.
62. Zyryanov M.I. Adaptive local maps in hypermedia components of Intelligent Learning Environment // Proceedings of the East-West International Conference on Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality MHVR'94. — Moscow: ICSTI. — 1994. — P. 213-216.

## Интеллектуальный алгоритм выбора маршрута в перспективной системе управления воздушным движением

В.В. Величенко, А.М. Валуев, Ю.Г. Зуйков

Рассматривается задача составления расписания движения самолетов по свободным, т.е. не привязанным к определенным воздушным коридорам, маршрутам. Задача редуцируется к последовательности задач планирования свободной бесконфликтной траектории для стартующего воздушного судна (ВС) при условии, что траектории находящихся в полете ВС не изменяются; под бесконфликтной траекторией понимается траектория, обходящая зоны безопасности вокруг летящих ВС и иные запрещенные области (опасные метеоявления, горные массивы, полигоны, крупные города и т.п.). На основе установленной общей формы оптимальной бесконфликтной траектории осуществлен вариант метода ветвей и границ, включающий элементы логики диспетчера при построении дерева выбора. Приводятся примеры, подтверждающие его вычислительную эффективность.

Описываются функции интеллектуальной программной среды, в которую погружена задача выбора маршрута: ведение оперативной информационной базы, определение условий задачи, визуализация процесса выбора маршрута и полученного решения. Формулируются предложения по ее дальнейшему развитию. Предлагается концепция разделения функций между человеком и автоматическими интеллектуальными системами в будущей системе управления воздушным движением.

В работе изложены основные принципы, лежащие в основе первой версии технической интеллектуальной системы, предназначенной для управления воздушным движением (УВД) в режиме свободных, т.е. формируемых непосредственно перед полетом расписаний. Термин "техническая интеллектуальная система" (в терминологии работы [1]) означает, что задача решается теоретическими и вычислительными средствами, без традиционной опоры исключительно на человеческий интеллект и опыт, однако, разумнее, с использованием элементов понимания задачи специалистами УВД.

В настоящее время диспетчер УВД выполняет, посредством радиосвязи с бортами, главным образом контрольные и информационные функции, а непосредственное управление самолетом возложено на экипаж [2]. Такая организация работы диспетчера отвечает сложившейся организации воздушного движения, в которой для самолетов проложены фиксированные воздушные коридоры, своеобразные воздушные рельсы, по которым они

должны двигаться в точном соответствии с заранее составленными постоянными расписаниями. Работа диспетчера в этих условиях сильно заформализована, и даже выражения, в которых ведется общение с экипажем, регламентированы официальной "Фразеологией радиообмена". По сути дела, воздействие диспетчера на полет ограничено конечным набором команд, относящихся к текущему моменту времени.

В возникшей сегодня в связи с перегруженностью воздушного пространства новой задаче составления расписаний по свободным маршрутам основным является вопрос, какими средствами ее решать. Использовать ли традиционные методы диспетчерского управления или применить новые подходы, основанные на технологиях искусственного интеллекта? Ответ на этот вопрос нельзя дать априорно, не имея опыта работы с такими системами. Цель настоящей статьи — предложить методы решения и проанализировать проблему с точки зрения Технического искусственного интеллекта.

### 1. Задача составления расписаний движения самолетов по свободным маршрутам

Привязка маршрутов самолетов к фиксированным коридорам, соединяющим аэропорты, делает сегодняшнюю задачу составления плана полета (решаемую совместно экипажем и диспетчером аэропорта) одномерной, в некотором смысле подобной задаче составления графика движения по железной дороге. Задача же выбора траектории полета по свободным маршрутам, рассматриваемая в настоящей работе, до настоящего времени в практике гражданской авиации не встречавшаяся, является пространственной.

Решение такой задачи в случае, когда планируемый к полету самолет не встречает на своем пути препятствий, является, очевидно, отрезком ортодромии, т.е. кратчайшей кривой, соединяющей аэропорты отправления и назначения (с естественными участками набора высоты в начале и снижения в конце движения). Но именно этот идеальный вариант не может быть использован в качестве расчетного в связи с той перегруженностью воздушного пространства, которая и является причиной введения новой системы УВД. Значит, основным расчетным вариантом является случай, когда самолет в течение полета должен обойти как заранее известные, так и появляющиеся в течение полета препятствия (например, грозовой фронт или пересекающую курс группу самолетов). Сегодняшние действия диспетчера УВД при решении такого рода задач сводятся, в основном, к тому, что если участок проектируемой траектории в какой-то момент времени входит в запрещенную область, то его следует заменить другим, обходящим эту область по кратчайшему маршруту. Но безнадежно поручать эту задачу для оперативного расчета диспетчерам или штурманам в случае 1 или более препятствий, встречающихся последовательно вдоль маршрута или, тем более, одновременно.

В настоящей работе составление расписаний поручено математическим алгоритмам, которым безразлично число и последовательность обрабатываемых объектов задачи (разумеется, при достаточной мощности используемой вычислительной техники); при этом, впрочем, обязательными являются заботы об экономности вычислений и о конструировании дружественного интерфейса математического алгоритма с человеком-пользователем. Поэтому в качестве основного расчетного метода нами выбран метод ветвей и границ, который, являясь в своей основе методом редукции перебора, наиболее близким человеческой логике, осуществлен в работе с использованием представления решения и специфических оценок, основанных на понимании содержательной стороны задачи. В случае немногих стационарных препятствий для движения воздушного судна (ВС), надо думать, человеческое решение задачи могло бы быть осуществлено приблизительно по схеме предлагаемого метода.

При наличии подвижных препятствий человек не в состоянии решать задачу прокладки траектории без представления геометрии развивающихся событий. Учитывая это обстоятельство, построенная вычислительная система, обрабатывающая задачи средствами четырехмерной геометрии пространства события-время, снабжена средствами визуализации трехмерного пространства событий на двумерном экране компьютера, что существенно помогает пользователю представить себе наглядно как процедуру решения, так и характер получаемых решений.

При наличии подвижных препятствий человек не в состоянии решать задачу прокладки траектории без представления геометрии развивающихся событий. Учитывая это обстоятельство, построенная вычислительная система, обрабатывающая задачи средствами четырехмерной геометрии пространства события-время, снабжена средствами визуализации трехмерного пространства событий на двумерном экране компьютера, что существенно помогает пользователю представить себе наглядно как процедуру решения, так и характер получаемых решений.

### 2. Задача планирования свободной траектории для одного ВС

Реальная задача динамического, в идеале — в текущем реальном времени, составления расписаний движения самолетов по свободным маршрутам в конкретном воздушном регионе (над территорией воздушного района, страны, либо участка международного воздушного сообщения) должна была бы решаться одновременно для всех находящихся в воздухе и стартующих с земли в расчетном интервале времени ВС. Однако, очевидно, нецелесообразно было бы вмешиваться с земли в движение уже начавшихся полетов, даже если бы такие изменения в уже начавшихся траекториях и приводили к выигрышу общего критерия оптимальности всего процесса движения в целом. Помимо этого, такая глобальная задача оказывается чрезмерно громоздкой для оперативного решения. Поэтому здесь принята схема расчета траекторий, при которой каждая вновь стартующая траектория должна быть вписана в уже рассчитанный к этому моменту старта и не подлежащий изменению поток траекторий. В такой постановке исходная глобальная задача для совокупности ВС декомпозируется на последовательность задач для отдельных ВС, для которых все самолеты-предшественники представляют теперь собой уже конкретные динамические препятствия с заданным движением.

Существует широкий класс возникающих на практике задач. Здесь мы акцентируем внимание не на различных математических постановках, а на тех возможностях, которые может дать математическое решение задачи, на взаимодействии этого решения с человеческой деятельностью, на помощи, которую можно ожидать от системы в практике, т.е., в конечном итоге, на

интеллектуальности конструируемой технической системы. С этой целью рассмотрим здесь только одну конкретную постановку, иллюстрирующую используемый математический подход.

Задача определения оптимального по критериям собственника ВС и бесконфликтного маршрута для одного рейса в конкретной воздушной обстановке решается при заданных начальной и конечной точках маршрутов и заданном моменте старта. В задаче определяется четырехмерная пространственно-временная траектория (далее называемая просто траекторией) самолета, минуя заранее известные (в общем случае — подвижные) запрещенные для полетов области. Совокупность решений таких частных задач (при условии достаточного информационного обеспечения, осуществляемого через зональные центры УВД) должна решать исходную общую задачу обеспечения безопасных и бесконфликтных полетов вне зон аэропортов.

Препятствиями (запрещенными областями) являются: крупные города, районы аэропортов (имеется в виду область нижнего воздушного пространства), горные массивы, воздушное пространство над полигонами и сопредельными государствами, опасные метеоявления, а также зоны безопасности вокруг летящих поблизости ВС, определяемые нормами эшелонирования. Область, которую занимает препятствие в момент времени  $t$ , представляем в виде трехмерной призмы (в локальной декартовой системе координат).

Траектория состоит из трех участков, на первом из которых высота монотонно возрастает (набор высоты), на втором постоянна, на третьем — монотонно убывает. Высота горизонтального участка может принимать одно из фиксированных набор значений (т.н. эшелонов полета). Кинематика полета в принятой модели планирования и управления определяется следующими соотношениями. Во-первых, на каждом из участков, на которые далее разбивается траектория, мы считаем полет установившимся, пренебрегая переходными участками. Во-вторых, мы считаем, что полет в каждом интервале движения производится в наиболее экономичном режиме [3] для текущих значений массы и высоты ВС и температуры атмосферы.

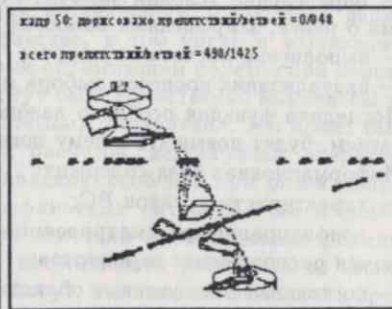
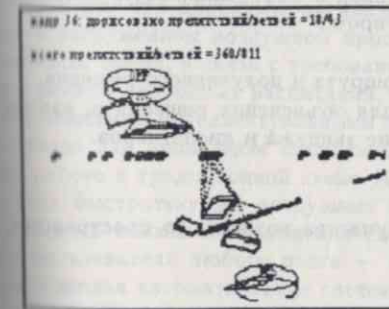
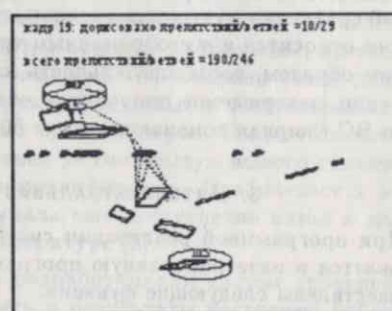
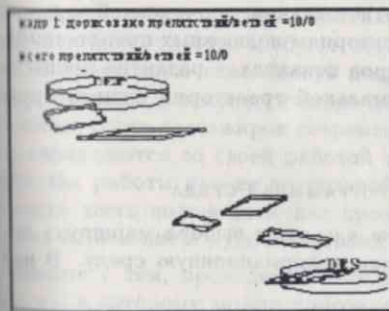
Рассматриваемая задача выбора траектории может быть решена предлагаемым методом и для любых других заранее заданных номинальных режимов с заданной зависимостью скорости, угла наклона траектории и километровой расхода топлива от параметров текущего положения ВС.

Предлагаемый подход допускает выбор траектории по различным критериям оптимальности. В качестве примера принимаем, что целью планирования является минимизация взвешенной суммы расхода топлива и времени полета; начальное время и масса считаются заданными. В этом случае при отсутствии препятствий горизонтальная проекция маршрута представляла бы собою участок ортодромии. При наличии запрещенных зон (за исключением некоторой редкой ситуации сближения с другим ВС, имеющей большую скорость) оптимальный маршрут состоит из участков ортодромии, начинающихся и заканчивающихся в точках, лежащих на вертикальных ребрах призм — запрещенных областей.

Таким образом, оптимальная траектория имеет дискретно-непрерывное представление: это четырехмерная кривая, изломы (угловые точки) которой имеют целочисленные параметры (номер препятствия, номер ребра) и вещественные (время, высота). Совокупность указанных параметров является входной информацией для метода ветвей и границ, который определяет искомое решение (с гарантией оптимальности на уровне необходимых условий в рамках принятого локального выбора обхода текущего препятствия).

Сходная задача с другим вариантом метода ветвей и границ рассмотрена в работе [4]. Принятая там схема прокладки траекторий по сетке с фиксированной стороной в 9 миль требует гораздо большего объема вычислений.

Использованный нами алгоритм для примера расчета с 16 препятствиями, среди которых 4 пересекающих курс ВС, породил дерево выбора с 124 вершинами; его анализ и время выбора оптимального маршрута на IBM PC AT 386 составляет менее 10 сек. Работа алгоритма показана на следующей кинограмме, иллюстрирующей предоставляемую пользователю геометрическую информацию для 1-го, 19-го, 36-го и последнего 50-го шагов работы алгоритма:





Кадр 1 соответствует исходному положению. Видны неподвижные препятствия и один из самолетов-препятствий (у нижнего края рамки). На кадрах 19, 36 и 50 изображены (в виде последовательности промежуточных положений) траектории группы из трех ВС-препятствий, летящих с одинаковыми скоростями на параллельных курсах, и одиночного ВС-препятствия. Также показана часть дерева выбора: изображены участки траекторий сравнения до момента времени, соответствующего очередной вершине (то же относится и к изображенным траекториям подвижных препятствий). Таким образом, последовательность кадров показывает развитие процесса решения, завершаемое получением оптимальной траектории оптимизированного ВС (жирная ломаная на кадре 50).

### 3. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПРОГРАММНАЯ СРЕДА

При программной реализации системы алгоритм выбора маршрута погружается в интегрированную программно-информационную среду. В ней осуществлены следующие функции:

- определение условий задачи, т.е. ввод в информационную базу сведений о рейсе, запрещенных областях и проч.;
- выполнение расчета маршрута;
- визуализация процесса выбора маршрута и полученного решения.

Последняя функция особенно важна для объяснения решения и, как мы полагаем, будет повышать к нему доверие экипажа и диспетчеров.

Информационная база содержит:

- характеристики типов ВС;
- конфигурацию рассматриваемого участка воздушного пространства, включая расположение аэропортов;
- постоянные запрещенные области;
- быстро меняющуюся информацию: метеорологическую обстановку, временные запреты, траектории ВС, для которых уже рассчитаны маршруты, исходные условия для рейса (аэропорты вылета и назначения, тип самолета, масса груза, время вылета и др.).

После того, как будет разработана специальная программа оценки ситуации (требуется ли изменять маршрут), которая будет запускаться после каждого изменения информационной базы, последняя будет выполнять функции базы знаний (БЗ) для задачи выбора маршрута и его возможного изменения до начала полета и в ходе самого полета. Изменение состояния БЗ происходит, например, при получении дополнительной информации (к таковой могут относиться данные о непредвиденном изменении метеорологической обстановки, изменение маршрутов ВС, расхождение с которыми запланировано, получение приоритета в силу обнаружившихся технических неисправностей и др.). В данном случае наиболее существенным отличием использования информации в качестве знаний (а не просто данных) является активность данных: выполнение программ в интеллектуальной системе должно инициироваться текущим состоянием информационной базы [5], а не выбираться пользователем и не быть заранее определенным.

Реализация системы, при которой оценивание ситуации и выбор решения в целом определяется состоянием информационной базы, является весьма актуальной задачей, учитывая требуемую быстроту принятия решения. Это справедливо и для других задач УВД, которые в настоящее время возложены на авиадиспетчеров. Загруженность воздушного пространства и требования безопасности, предъявляемые сегодня к качеству управления движением самолетов, требуют обработки объемов информации, превышающих пропускную способность мозга человека. Превышают также допустимые уровни и психологические нагрузки, связанные с ответственностью за жизнь сотен пассажиров современных суперлайнеров. В итоге диспетчеры справляются со своей работой только за счет вынужденного снижения качества работы при ее предельной интенсификации. Озабоченность возникшим здесь положением дел прозвучала еще десятилетие назад и даже нашла отражение в художественной литературе [6].

Вместе с тем, проводимый сегодня разработчиками систем управления анализ, к которому можно присоединить и результаты настоящей работы, показывает, что проблемы организации интенсивного воздушного движения в загруженном воздушном пространстве, в том числе и возникшие в последнее время, в связи с требованиями оптимизации полетов при переходе к режиму свободных расписаний, могут быть качественно выполнены автоматическими интеллектуальными системами управления. Им может быть поручено как проведение оперативных расчетов, недоступных оператору при работе в традиционной схеме управления, особенно при развязывании острых быстротекущих воздушных конфликтных ситуаций, так и задачи визуального показа и объяснения своих действий и обоснования решений для пользователя любого ранга — от оперативного работника до министра. Сегодня автоматические системы могут, в принципе, выполнить практически любой элемент и блок деятельности авиадиспетчера и диспетчерского пункта, и остается только провести технически чрезвычайно сложную, но вполне выполнимую работу по их реализации в надежной аппаратуре и в последующей интеграции в единую систему УВД.

Человеку же в будущей системе УВД должны быть отведены функции постановки задач для автоматических подсистем УВД, контроль их исполнения, заботы о совершенствовании системы УВД в целом и разумеется, выполнение тех сложных функций управления, которые на текущий момент времени не включены либо по техническим причинам либо по принципиальным соображениям в автоматические блоки УВД. Кроме того, за пользователем такой системы могут быть оставлены сильные для человека функции эксперта, сводящиеся в основном к пополнению базы знаний информацией, которую не удалось еще формализовать, в том числе основанной на индивидуальном опыте и индивидуальных предпочтениях (скажем, при заходе солнца в такой-то местности удобнее подлетать к аэропорту по определенному направлению; или следует учесть, что в некотором районе потоки воздуха неустойчивы и т.д.). Учет такой информации может помочь выработать не только формально эффективное, но и наиболее понятное и приемлемое интуитивно человеком решение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Величенко В.В. Технический интеллект. (В настоящем журнале.)
2. Технологии работы диспетчеров службы движения гражданской авиации. — М.: Воздушный транспорт, 1982. — 284 с.
3. Справочник пилота и штурмана гражданской авиации / Русол В.А., Киселев В.Ф., Крылов Г.О. и др. — М.: Транспорт, 1988. — 319 с.
4. Wilber G.F. Strategic route planning using informed best-first search // Proc. IEEE nat. aerosp. and electron. conf., Dayton, May 23-27, 1988. — V. 3. — New York, 1988. — P. 1137-1144
5. Искусственный интеллект: Справочник. Кн. 2: Модели и методы. — М.: Радио и связь, 1990. — 303 с.
6. Хейли А. Аэропорт: Роман. — М.: 1990. — 457 с.

## О проблемах автоматической обработки текстов на естественных языках

О.С. Кулагина

В данной работе рассматривается аспект меры в лингвистическом знании и его использование в системах автоматической обработки текстов (АОТ) на естественных языках (ЕЯ).

Традиционные лингвистические описания различных ЕЯ имеют качественный характер. Однако в компьютерной, вычислительной лингвистике при решении задач АОТ важно знать и учитывать не только качественные, но и количественные характеристики лингвистических феноменов. В дальнейшем изложении среди систем АОТ нас будут интересовать в основном системы автоматического анализа текстов, причем такие, в которых ставится задача по-возможности полного учета и отображения морфологических, синтаксических и семантических характеристик анализируемого текста. Такого рода постановка задачи возникает, например, естественным образом в системах машинного перевода текстов с одних ЕЯ на другие, поскольку перевод должен и правильно передать смысл входного текста, и иметь синтаксическое подобие, без чего он превращается в переказ. В отличие от перевода, в других классах задач АОТ достаточно анализа, дающего лишь частичное, вырожденное преобразование текста, как, например, поисковый образ в виде списка дескрипторов в системах информационного поиска и т.п. Проблемы частичного анализа, также как и проблемы синтеза текстов здесь затрагиваться не будут, хотя и для них количественный аспект описания ЕЯ имеет существенное значение.

Машинные системы АОТ, имеющие целью невырожденные преобразования текстов, часто называемые лингвистическими процессорами (ЛП), моделируют в определенном ограниченном смысле человеческое владение ЕЯ. Для человека владение ЕЯ включает возможность понимания и создания текстов на этом языке. Анализ текста системой (переход от текста к его внутреннему представлению) подобен пониманию, а синтез (переход от внутреннего представления к тексту) — изложению мысли. Говоря о понимании, мы совершенно не имеем в виду воспроизведение каких бы то ни было механизмов мышления, а только сходство результатов функционирования.

Трудность построения эффективных ЛП определяется самой природой ЕЯ, характерной для них сложностью, многоуровневостью, неоднороднос-

тью, нечеткостью, недетерминированностью переходов. Сложность ЕЯ проявляется в наличии очень большого числа элементов, разнообразии их свойств и отношений, способности образовывать различные сочетания с новыми свойствами и со сложными иерархическими соотношениями. Неоднородность проявляется, например, в том, что при любых классификациях элементов ЕЯ наблюдается очень большой разброс по величине классов. В качестве простого примера приведем склонение русских существительных. Если в качестве класса взять существительные, имеющие один и тот же набор окончаний в 12-местной парадигме, то среди таких классов окажутся как такие, которые содержат несколько тысяч слов, так и классы, состоящие из одного слова. Очень сильно различаются также частоты употребления различных элементов ЕЯ в текстах. Нечеткостью характеризуются границы различных множеств: и области значений слов и словосочетаний, и области синтаксической правильности выражений на ЕЯ и др. Недетерминированность переходов, например, от смысла к тексту и от текста к смыслу, проявляется как на уровне отдельных слов (омонимия, синонимия), так и, в еще большей степени, на уровне предложений и текстов.

Перечисленные свойства ЕЯ обеспечивают широту их возможностей, гибкость, но делают чрезвычайно трудной задачу автоматизации работы с текстами.

ЛП естественно базируются на тех описаниях ЕЯ, которые существуют в виде словарей и грамматик. С самого начала работ по автоматизации обработки текстов было видно, что грамматики, написанные в свое время для человека, неудовлетворительны для создания ЛП. При этом на первых порах казалось, что их основной недостаток состоит в недостаточной формализации, в апелляции к пониманию при формулировке правил. Со временем выяснилось, что созданию эффективных ЛП мешает сугубо естественный характер описания ЕЯ, традиционный для лингвистики, в то время как знание человека о ЕЯ включает и аспект, который естественно назвать аспектом меры, или количественным. Качественный аспект знаний ЕЯ обеспечивает возможность получить в той или иной ситуации некоторый набор альтернатив, тогда как аспект, названный количественным, обеспечивает упорядочение этих альтернатив по определенным предпочтениям. Иными словами, носитель языка знает не только, как можно понять или выразить нечто на этом языке, но также и то, какое из этих пониманий или выражений является наиболее естественным, регулярным, наилучшим.

Как было сказано выше, в данном изложении мы будем в основном ориентироваться на ЛП, анализирующие текст. В настоящее время существует большое число ЛП-анализаторов, реализующих морфологический и синтаксический анализ для разных языков и обеспечивающих достаточно полный охват соответствующих ЕЯ. В отличие от них, семантический анализ ЛП обычно делается с ориентацией на определенную ограниченную предметную область.

При описании синтаксиса ЕЯ в целях АОТ и неоднородность, и недетерминированность проявляются в еще большей степени. Неоднородность

проявляется, например, в разбросе по величине классов слов с одинаковыми валентностями на наличие определенных подчиненных или определенных управляющих.

Большой разброс можно наблюдать и с точки зрения частоты употребления тех или иных синтаксических конструкций, где под синтаксической конструкцией понимается сочетание представителей определенных синтаксических классов, связанных определенными синтаксическими отношениями. Здесь, обычно, имеет место следующая ситуация. ЕЯ предоставляет некоторый набор альтернатив, который перечисляется в обычной, т.е. созданной для человека, а не для машины, грамматике. Все перечисленные возможности являются допустимыми, правильными, но с точки зрения естественности, регулярности, они неравноправны. Носитель языка обладает определенным знанием о предпочтительности одних перед другими, но это знание в обычных грамматиках не отражается.

В качестве известного примера можно привести способ выражения подлежащего в русском языке. В грамматиках можно прочесть, что подлежащее выражается именем (существительным, местоимением и т.п.) в именительном падеже, глаголом в неопределенной форме или целым простым предложением. Носителю языка очевидно преобладание первого способа, но это знание приобретено им не из грамматических руководств.

Другой пример касается свободы порядка слов в русском языке. Предположим, что требуется проанализировать следующее входное предложение: "Возрастание S вызвало увеличение Q". Формально оно может быть проанализировано двумя способами: оба существительных ("возрастание" и "увеличение") могут быть как подлежащим, так и дополнением при глаголе "вызвало", поскольку русский язык допускает постпозицию подлежащего. Так, например, если бы анализируемое предложение звучало "Прирост S вызвало увеличение Q" слово "увеличение" определялось бы как подлежащее однозначно благодаря согласованию с глаголом по роду. Однако для возможных анализа первого предложения неравноправны, несмотря на формальную правильность обоих. Тот, при котором существительное, предшествующее глаголу, т.е. слово "возрастание" будет признано подлежащим, а "увеличение" — дополнением является более естественным. Подчеркнем, что выбор между альтернативными анализами делается именно в терминах предпочтения, а не деления на правильно/неправильно, т.е. не на качественном уровне.

Еще один пример выбора по предпочтению относится к выявлению наиболее предпочтительного из набора возможных управляющих для некоторого слова при установлении синтаксических отношений между словами. При построении синтаксической структуры анализируемого предложения в виде дерева зависимостей ставится задача установить между словами анализируемого предложения синтаксические отношения, или, в иных терминах, синтаксические связи, которые являются бинарными и несимметричными: из двух слов, связанными некоторым отношением одно является главным, а другое — подчиненным, или управляемым. Возможно-

сти слова вступать в синтаксические отношения с другими словами определяются его валентностями, которые также являются направленными: одни определяют способность слова выступать в качестве подчиненного, другие — в качестве управляющего. Последние образуют так называемую модель управления, которая характеризуется числом мест, способами заполнения этих мест, степенью необходимости их заполнения, сочетаемостью различных способов заполнения и другими сведениями. Пусть, например, анализируется словосочетание: "Такое решение Иванова". Тут естественно считать, что слово "Иванова" заполняет место субъекта в слове "решение". Однако, если данное словосочетание продолжено: "Такое решение Иванова устраивает", то в этом случае мы подчиним слова "Иванова" глаголу "устраивает", а соответствующая валентность слова "решение" останется незаполненной. Здесь опять нельзя сделать выбор на уровне деления на правильно/неправильно, а приходится из двух альтернатив выбирать ту, которая предпочтительнее. Иными словами, мы отдаем предпочтение тому из двух возможных управляющих, валентность которого сильнее, т.е. тому, которое предъявляет более сильное требование на заполнение соответствующего места.

Подавляющее число ЛП, осуществляющих синтаксический анализ предложений, базируется в той или иной форме на идее синтаксической правильности. Такой подход вполне удовлетворителен для формальных языков, например, в трансляторах для языков программирования. Однако в применении к ЕЯ опора только на деление "правильно/неправильно" приводит к следующим нежелательным последствиям. Если в грамматику ЛП включаются "на равных правах" все допустимые альтернативы, то растет число получаемых этим ЛП вариантов анализа для одного предложения, и, особенно, возрастают переборы на промежуточных стадиях работы. Если же некоторые альтернативы, допустимые в языке, но редкие, исключаются из грамматики ЛП, то он лишается возможности анализировать те входные предложения, в которых они употреблены. В силу сказанного выше представляется естественным искать выход на пути дифференцированного подхода к разным альтернативным возможностям, при котором учитывалась бы степень допустимости, степень естественности того или иного выбора в тем самым, более адекватным образом учитывалась бы природа ЕЯ.

Такой подход использован в системе анализа русских текстов (система АРТ), разрабатываемой в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН и описанной в работах [1-4]. Система АРТ приводит морфологический и синтаксический анализ входных предложений, причем рассчитана на предложения из области так называемой деловой прозы, т.е. на тексты того типа, каким пишутся научно-технические статьи.

Начальные, т.е. досинтаксические, этапы обработки предложения входят по обычной для ЛП схеме. Обращение к словарю системы позволяет снабдить каждую входную словоформу наборами признаков (по числу, падежам, именам), на которых базируется вся остальная обработка. Морфологический анализ выдает для каждой входной словоформы все возможные морфоло-

гические представления. Например, для словоформы "стекло" будет получено, что либо это существительное в именительном падеже или винительном падеже единственного числа, либо форма среднего рода единственного числа прошедшего времени от глагола "стекать", причем, как сказано выше, словарь системы снабдит каждый из вариантов соответствующими синтаксическими признаками (синтаксический и семантический классы, подклассы, валентности и др.). С помощью словаря оборотов в предложении выявляются обороты: словосочетания, выступающие в синтаксическом анализе как единое целое, например, сложные предлоги и союзы, вводные, идиоматические обороты и т.п. Приводится также некоторое предварительное снятие омонимии для тех случаев, когда это легко сделать по линейному контексту. Например, если словоформе "стекло" непосредственно предшествует неомонимичный предлог, омоним, у которого синтаксический класс "глагола", можно отбросить.

Метод синтаксического анализа, использованный в системе АРТ, является обобщением фильтрового подхода, причем обобщением в первую очередь за счет последовательного учета предпочтений, о которых говорилось выше. Целью синтаксического анализа (САН) в системе АРТ является построение синтаксического представления входного предложения в виде двух структур: дерева зависимостей и дерева фрагментов. Дерево зависимостей представляет собой ориентированное корневое дерево в смысле теории графов, в котором узлами являются текстовые единицы (ТЕ) входного предложения, а дугами, или ветвями, — синтаксические связи (ССв) между ТЕ, характеризующиеся определенными типами. ТЕ — это отдельные словоформы, знаки препинания, а также обороты, о которых сказано выше. ССв, устанавливаемые в системе АРТ, правильнее назвать не синтаксическими, а семантико-синтаксическими, поскольку их деление на типы более тонкое, чем чисто синтаксическое (различается несколько сот типов ССв). В дереве фрагментов узлами являются более сложные единицы: подшпечки входного предложения, являющиеся простыми предложениями, причастными и деепричастными оборотами и др. Между ними также устанавливаются связи определенных типов.

При этом в отличие от ЛП, использующих чисто фильтровый подход, в системе АРТ ставится задача нахождения не просто какого-то одного такого представления и не всех возможных правильных синтаксических представлений указанного вида (которых для некоторых предложений бывает несколько сот и даже тысяч), а одного представления, в некотором смысле наилучшего.

Аппаратом учета предпочтений является система оценок, которыми характеризуются как валентности слов, так и гипотетические ССв, возникающие в процессе анализа.

Синтаксический анализ в системе АРТ происходит по следующей схеме. Начальная стадия построения дерева зависимостей — это построение исходного набора гипотетических ССв между ТЕ анализируемого предложения. По способу их построения ССв распадаются на три класса. Одни из

них строятся в соответствии с моделями управления, упомянутыми выше, т.е. на основе того, какие валентности на наличие определенных подчиненных имеются у ТЕ с моделями управления. Эти гипотетические ССв получают при этом некоторые исходные оценки, учитывающие, в первую очередь, степень необходимости заполнения того или иного места в модели управления. Другие связи строятся по таблице синтагм, в которой учтены валентности слов на наличие у них определенных управляющих. Эти ССв получают предварительные оценки, учитывающие, в первую очередь, степень близости ТЕ в предложении. Например, для прилагательного будут построены определительные ССв со всеми теми существительными, с которыми у него есть согласование, причем оценка будет тем больше, чем ближе определение и определяемое. Наконец, связи третьего вида устанавливаются для сложных или кратных союзов. В результате начальной стадии САН получается некоторый исходный, вообще говоря, избыточный, набор гипотетических ССв, снабженных исходными оценками.

Наиболее существенная стадия САН — это выбор из исходного набора того поднабора, который даст искомое дерево зависимостей. Если на подготовительной стадии учитывались свойства связываемых ТЕ и, иногда, линейный контекст, то на этой основной стадии учитывается структурный контекст, сочетаемость, совместимость ССв. Этот учет выражается в пересчете оценок, при котором оценки могут как увеличиваться, так и уменьшаться. Уменьшение оценки некоторой гипотезы до нуля означает ее отбрасывание. Пересчет оценок учитывает количество претендентов на ту или иную роль, их расположение, в том числе проективность, сочетаемость различных подчиненных при общем управляющем и т.п. Например, если имеется только один претендент на заполнение некоторого места в модели управления какой-то ТЕ, причем места с высоким требованием на заполнение, то соответствующая ССв получает значительное повышение оценки. Поскольку ставится цель построить связное дерево, для каждого узла (т.е. каждой ТЕ) должна присутствовать входящая в него ССв. Предположим, что в исходном наборе появляется ТЕ, для которой имеется только один претендент на роль управляющего, т.е. для узла имеется только одна входящая в него ССв (ССв считаются направленными от управляющей ТЕ к подчиненной, а такая ССв, которая является единственной, входящей в соответствующий узел, называется уникальной). Ясно, что уникальные ССв должны войти в окончательное дерево зависимостей, поэтому оценки тех ССв, которые несовместимы или плохо совместимы с уникальными соответственно понижаются. Уникальными ССв могут быть не только в исходном наборе, но стать таковыми при отбрасывании каких-то гипотез.

Пересчет оценок может сопровождаться и снятием омонимии. Например, если ССв уникальна для омонимичного узла, можно отбросить все его омонимы, кроме того, который участвует в уникальной ССв.

В результате пересчета оценок получается некоторый, обычно сокращенный по сравнению с исходным, набор ССв с новыми оценками. Можно

сказать, что исходные оценки ССв отражают априорные закономерности ЕЯ, а оценки, получившиеся в результате пересчета, отражают конкретную ситуацию, имеющую место в анализируемом предложении.

Следующий шаг состоит в выборе для каждого узла тех ССв, которые получили максимальные оценки, и формирования из них согласованного (с точки зрения участия в ССв омонимов и совместимости ССв) набора, образующего дерево. Эксперименты, проведенные на многочисленных предложениях, показали, что обычно для большинства ТЕ устанавливается одна ССв с максимальной оценкой и только для нескольких ТЕ (трех-четырёх при предложениях длиной около 20 слов) остается несколько ССв с максимальной оценкой. Для таких ТЕ окончательный выбор делается из соображений "естественности", т.е. учета типов ССв, расположения альтернативных управляющих относительно данной ТЕ, а также их удаленности от нее.

Построение дерева фрагментов также происходит в несколько этапов. На начальном этапе устанавливаются границы фрагментов, в качестве которых выступают союзы и знаки препинания. Эти границы, являющиеся границами первого уровня, характеризуются типами и получают оценки. Например, очевидно, что неомонимичный подчинительный союз, подчеркнутый знаком препинания, это более сильная граница, чем запятая. Подчеркнутые ТЕ, оказавшиеся между соседними границами первого уровня, являются фрагментами первого уровня. Фрагменты также характеризуются определенными типами, в зависимости от того, какая ТЕ является во фрагменте наиболее "весомой". Такая ТЕ называется главой фрагмента. Так, наибольший вес имеет личный глагол, несколько меньший — предикативное наречие или краткое прилагательное и т.д. Фрагмент, в котором нет ТЕ более весомой, чем деепричастие, это деепричастный оборот и т.п. Фрагменты первого уровня по определенным правилам объединяются во фрагменты второго уровня. Те, в свою очередь, могут объединяться во фрагменты третьего уровня. Правила объединения фрагментов сформулированы в терминах типов фрагментов и границ.

При пересчете оценок ССв учитывается деление на фрагменты. ССв, связывающие две ТЕ, находящиеся в одном фрагменте, получают подкрепление. С другой стороны, оценки ССв, входящих, например, во фрагмент, содержащий личный глагол, от ТЕ других фрагментов, понижаются, причем величина понижения зависит от того, какую границу переходит данная ССв.

Связи между фрагментами частично индуцируются связями между ТЕ, собранными после пересчета оценок, когда имеются две ТЕ разных фрагментов, связанные ССв. В других случаях связи между фрагментами устанавливаются по определенным правилам, которые учитывают типы фрагментов и их границ, расположение фрагментов. Учитывается также заполненность мест предикатов и, если некоторое место не заполнено никакой ТЕ, то в качестве подчиненного может быть взят целый фрагмент. Например, в предложениях "Иванов знает биологию" и "Иванов знает, что биология ин-



интересна" одно и то же место предиката "знает" заполнено, в одном случае одной ТЕ ("биология"), а в другом — целым фрагментом ("что биология интересна").

При установлении связей между фрагментами проверяется согласованность обеих структур. Недопустимо, чтобы один фрагмент оказался подчинен двум разным. Нормально, чтобы ССв тех ТЕ, которые находятся в одном фрагменте, образовывали поддерево дерева зависимостей и т.п.

Возвращаясь к аспекту меры, о котором шла речь выше, хочется предостеречь от чересчур прямолинейного использования количественных характеристик в задачах АОТ. Например, соблазнительно простым является выбор из альтернативных ССв всегда самой короткой. Однако при таком упрощенном подходе, не учитывающем всей совокупности факторов, трудно ждать удовлетворительного результата. Успеха при построении ЛП можно ожидать только при широком и серьезном учете как качественных, так и количественных характеристик ЕЯ.

Некоторые другие проявления аспекта меры лингвистического знания, например, на уровне семантики, описаны в работе [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулагина О.С. Морфологический анализ русских глаголов / Препринт ИМП им. М.В. Келдыша АН СССР, № 195, М., 1985.
2. Кулагина О.С. Морфологический анализ русских именных словоформ / Препринт ИМП им. М.В. Келдыша АН СССР, № 10, М., 1986.
3. Кулагина О.С. Об автоматическом синтаксическом анализе русских текстов / Препринт ИМП им. М.В. Келдыша АН СССР, № 205, М., 1987.
4. Кулагина О.С. О синтаксическом анализе на основе предпочтений / Препринт ИМП им. М.В. Келдыша АН СССР, № 3, М., 1990.
5. Кулагина О.С. Об аспекте меры в лингвистическом знании // Вопросы языкознания — 1991. — № 1. — С. 48–60.

## Компьютерная информационная система распознавания динамических образов в потоке изображений на основе алгоритмической технологии

Ц.Г. Литовченко

Рассматривается новая информационная технология, позволяющая выделять и распознавать "зашумленные" объекты в их развитии и динамике. Предлагается схема транспьютерного комплекса для реализации соответствующих процедур.

В последовательном потоке изображений (кадров) присутствует/отсутствует объект, характеристики которого изменяются от кадра к кадру на интервале "жизни" объекта. При отображении объекта в плоскость изображений через аппаратуру наблюдения имеют место обычные для подобных отображений искажения, которые вызваны ограниченной разрешающей способностью, неточностью фокусировки, смазами и другими дефектами. Вместе с объектом в изображение (кадр) попадают окружающие предметы (фон), которые его маскируют. Маскирующее действие фона таково, что в отдельно взятом изображении обнаружение и распознавание искомого объекта либо невозможно, либо возможно с ограниченными характеристиками качества распознавания. Это вызвано тем, что интенсивность излучения искомого объекта, регистрируемая аппаратурой наблюдения в области изображений, близка к интенсивности фоновых объектов. К тому же искомые и фоновые объекты близки по форме и потому плохо различимы.

Однако динамические признаки искомого объекта, которые проявляются в закономерностях изменений на интервале его жизни, могут значительно отличаться от аналогичных признаков фоновых объектов, обладающих меньшей изменчивостью и большей статичностью. Эти признаки могут быть выявлены и использованы для распознавания только в потоке изображений, образующих кинофильм. Отсюда следует, что методы и алгоритмы распознавания образов, имеющих исторические закономерности развития их "жизни", должны опираться на информационную технологию, позволяющую средство регистрации и обработки потоков изображений.

Изображение динамического объекта представлено в виде совокупности массивов данных  $X_{i,\tau}(t) = \{A_i, \alpha_i, \beta_i, t\}$ ;  $t = t_0, \dots, t_0 + T$ ;  $i = 1, \dots, I$ , об уровнях яркости излучения  $A_i$ , пеленгах  $\alpha_i, \beta_i$  каждой  $i$ -ой точки изображения объекта на кадре номера  $t$  на интервале "жизни" объекта  $t_0, t_0 + T$ .

Число точек в кадре  $I$ . Фоновые объекты  $\Phi_{t_0, T}$ , маскирующие искомый динамический объект, описываются аналогично. Их наличие приводит к нечеткости оценок распознавания. В качестве меры нечеткости используются поля правдоподобия  $L_1(Y_{t_0, T}/X_{t_0, T}, \Phi_{t_0, T})$  и  $L_2(Y_{t_0, T}/\Phi_{t_0, T})$ , которые представляют распределение вероятностей наблюдаемых кадров  $Y_{t_0, T}$  для двух гипотез наличия искомого объекта и его отсутствия. Соотношение  $L_1/L_2 \geq \text{ПОРОГ}$  определяет результат распознавания, а соответствующие ошибки 1-го и 2-го рода — его качество.

При построении описанного алгоритма и его аппаратной и программной реализации необходимо решить ряд проблем:

— проблема высокой размерности данных, описывающих поток изображений  $Y_{t_0, T}$ ;

— проблема описания множества допустимых динамических изменений искомого объектов  $X_{t_0, T}$ ;

— проблема построения полей правдоподобия  $L_1, L_2$ , учитывающих фоновые помехи и аппаратные искажения при формировании изображений, проблема оценивания качества распознавания.

Размерность данных, описывающих поток изображений  $Y_{t_0, T}$ , имеет следующий порядок. Кадр  $1024 \times 1024$  имеет  $I = 10^6$  точек интенсивностью 1–8 байт. Если положить, что время жизни объекта  $T = 10$  кадров, то соответствующий объем данных по порядку величины составляет  $10^{10}$  байт. Этот объем данных должен обрабатываться с приходом каждого кадра, т.е. каждый из них может явиться началом "жизни" обнаруживаемого искомого объекта. Отсюда темп обработки при периоде повторения кадров 1 с составит  $10^{10}$  б/с. Эти цифры показывают, что требования к вычислительному оборудованию по быстродействию и памяти для решения задачи распознавания "в лоб" чрезвычайно велики. Поэтому объем данных потока изображений надо сокращать, но без потери полезных сведений. Объем данных, описывающих собственно искомый объект, составляет в каждом кадре 1%–2%, следовательно имеется потенциальная возможность сокращения объема информации.

Для решения этой задачи используется априорная информация о форме искомого объекта и законах ее изменения в динамике. Она представляет базу знаний (БЗ) об объекте. Для ее компактности используется временная "марковость" объекта  $X_{t_0, T}$ , т.е. состояния на текущем кадре  $X_t$  зависят от состояний на предшествующих кадрах  $X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-k}$ . Экономия достигается за счет того, что на практике  $k \ll T$ . Зависимость текущего состояния от предшествующих состояний может быть либо детерминированной  $X_t = f(X_{t-1}, \dots, X_{t-k})$ , где  $f(\dots)$  — функциональная связь, либо стохастической  $P(X_t/X_{t-1}, \dots, X_{t-k})$ , где  $P$  — вероятность нахождения в состоянии  $X_t$ , если ему предшествовала цепочка состояний  $X_{t-1}, \dots, X_{t-k}$ . Аналогично используется пространственная "марковость" объекта  $X_t$ : значение яркости  $A_i$  в  $i$ -ой точке с координатами  $\alpha_i, \beta_i$  зависит от яркости в окрестности этой точки. Вид зависимости определяется интерполирующей функцией точек окна, адекватной априорной форме искомого объекта. Если форма

является стохастической, то интерполирующая функция принимает вид условного распределения вероятностей. Если число точек окна много больше размерности интерполирующей функции, то пространственное описание искомого объекта может быть в соответствующее число раз сжато.

Высказанные соображения о марковском описании искомого объекта позволяют построить на алгоритмическом языке рекурсивный трехмерный "фильтр", отдаленно похожий на известный фильтр Калмана. Этот фильтр является априорно согласованным с искомым объектом. Размерность пространства состояний этого фильтра на несколько порядков меньше числа кадров потока изображений. Можно показать, что в результате "обработки" входных данных подобным алгоритмическим фильтром достигается не только сокращение объема данных, но и получение достаточных статистик обнаруживаемого динамического образа для последующей работы с ним.

Сжатые данные на выходе упомянутого "фильтра" образуют поток данных, достаточных для формирования признаков, характеризующих искомый динамический объект на фоне альтернативных помеховых объектов. С точки зрения статистической теории решений задача распознавания искомого объекта является задачей проверки сложной гипотезы о его принадлежности некоторому априорно допустимому классу. Для ее решения разрабатывается алгоритмическая процедура построения критической области, которая в пространстве признаков выделяет область принадлежности искомого динамического объекта. Основным этапом этой процедуры является формирование поля правдоподобия  $L(X_{t_0, T}^{сж}/Y_{t_0, T}^{сж})$  сжатого описания искомого динамического объекта. Основным этапом этой процедуры является формирование поля правдоподобия относительно сжатых входных данных потока изображений. Для построения поля правдоподобия проводятся эксперименты по распознаванию с последующей статистической обработкой, образующие этап "обучения". Трудной проблемой является подбор статистических моделей, аппроксимирующих выборки обучения и дающих их наилучшее согласие в статистическом смысле. Трудности усугубляются, если имеются следующие априорные условия для описываемого распознавания:

- искомый динамический образ является "редким", т.е. априорная вероятность его появления в каждом кадре (начало "жизни") очень мала  $\ll 10^{-3}$ ,
- качество обнаружения классификации очень велико. Ошибка ложного принятия гипотезы о наличии образа чрезвычайности мала  $\ll 10^{-8}$ .

Приведенные данные показывают, что построение критической области принятия решения по распознаванию зависит от тех значений полей правдоподобия, которые приходятся на "хвосты" соответствующих функций распределения. Следовательно, и ошибки распознавания 1-го и 2-го ряда зависят от "хвостов" распределений.

Анализ длинных выборок ( $N > 10^{10}$ ) показал, что распределение помех хорошо аппроксимируется нормальной статистикой в диапазоне (1...3)G. Однако значения помех, превышающие 5G не подтверждают нормальности распределений. "Редкие" ложные события появляются значительно чаще, чем предсказываются нормальными распределениями, которые хорошо согласуются с экспериментальными значениями в диапазоне (1...3)G, но пло-

хо при значениях, больших 5G. Хорошее согласование было достигнуто применением статистической модели в виде закона распределения Коши, либо суперпозицией нормальных законов, аппроксимирующих закон Коши. Тот факт, что распределение "хвостов" является "тяжелым", т.е. более вероятным, чем можно было ожидать, является, по нашему мнению, фундаментальным обстоятельством информационной технологии распознавания "редких" образов. Это подтверждает также известный факт математической статистики — закон распределения Коши является самовоспроизводящимся при сложении независимых величин. Знание этого обстоятельства позволяет заранее принять меры, способствующие снижению уровня "хвостов" и, следовательно, повышающих качество распознавания.

Описанная информационная технология была реализована в виде компьютерной системы, состоящей из двух компьютеров с обратной связью, одного со специальной архитектурой, другого с универсальной [1]. Опыт последующей эксплуатации и исследований привел нас к тому, что проблемы распознавания динамических образов в потоке изображений с предельно высокими характеристиками качества распознавания целесообразно решать на вычислительных сетях с гибкой архитектурой. Элементами таких сетей могут быть транспьютеры фирм INMOS и Transtech (серии T414, T800, T9000, A100 и др.) либо транспьютероподобные микропроцессоры iWarp фирмы Intel. Они имеют 4-х портовые каналы I/O, которые позволяют создавать неограниченно наращиваемые вычислительные сети. Ключевым элементом такого подхода является использование естественного распараллеливания процессов обработки в разных узлах. Появляется возможность непосредственно отображать архитектуру алгоритмов обработки информации на архитектуру вычислительной сети. Такой подход к проектированию мы называем алгоритмической технологией. Она состоит из 4-х фаз, структурно представленных на рис. 1.

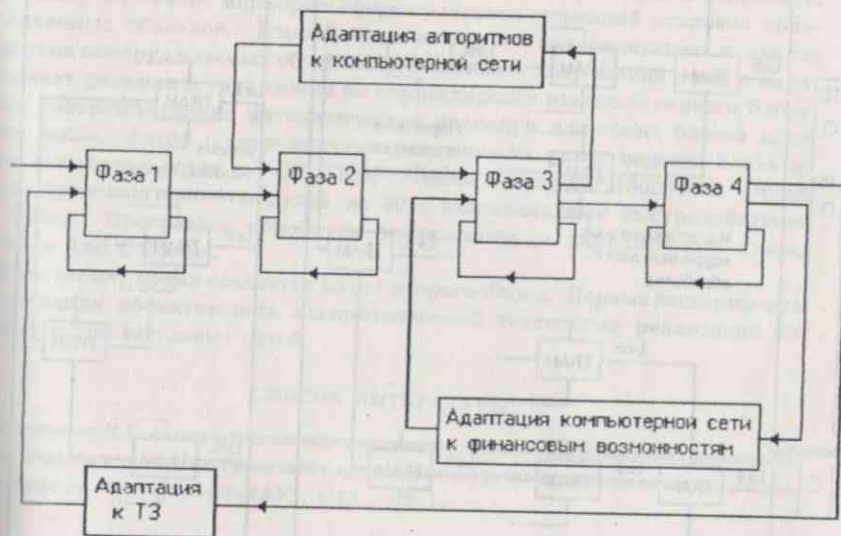
1-ая фаза. Проектирование функциональной схемы, которая представляет граф, вершинами которого являются вырабатываемые функции, а дугами — отношения зависимости.

2-ая фаза. Проектирование архитектуры алгоритма. Результат представляет двухдольный граф, вершины которого — процессы (1-я доля) и массивы данных (2-я доля) для этих процессов, а дуги — каналы связи процессов и массивов. Каждый элемент описан на алгоритмическом языке.

3-я фаза. Проектирование архитектуры компьютерной сети, отображающей архитектуру алгоритма. Результат представляет двухдольный граф, вершинами которого являются процессоры транспьютеров (1-ая доля) и блоки DRAM (памяти — 2-ая доля), а дугами — Link'i транспьютеров.

4-ая фаза. Проектирование компоновочной схемы ТрансКРОУ. Результатом является конструкторская документация.

Поддержание этих фаз в динамике адаптации задач обработки к множеству ансамблей выходных данных позволяет поддерживать аппаратную среду



- Фаза 1 — проектирование функциональной схемы
- Фаза 2 — проектирование архитектуры алгоритма
- Фаза 3 — проектирование архитектуры компьютерной сети
- Фаза 4 — проектирование компоновочной схемы и финансовых затрат на оборудование

Рис. 1. Этапы алгоритмической технологии

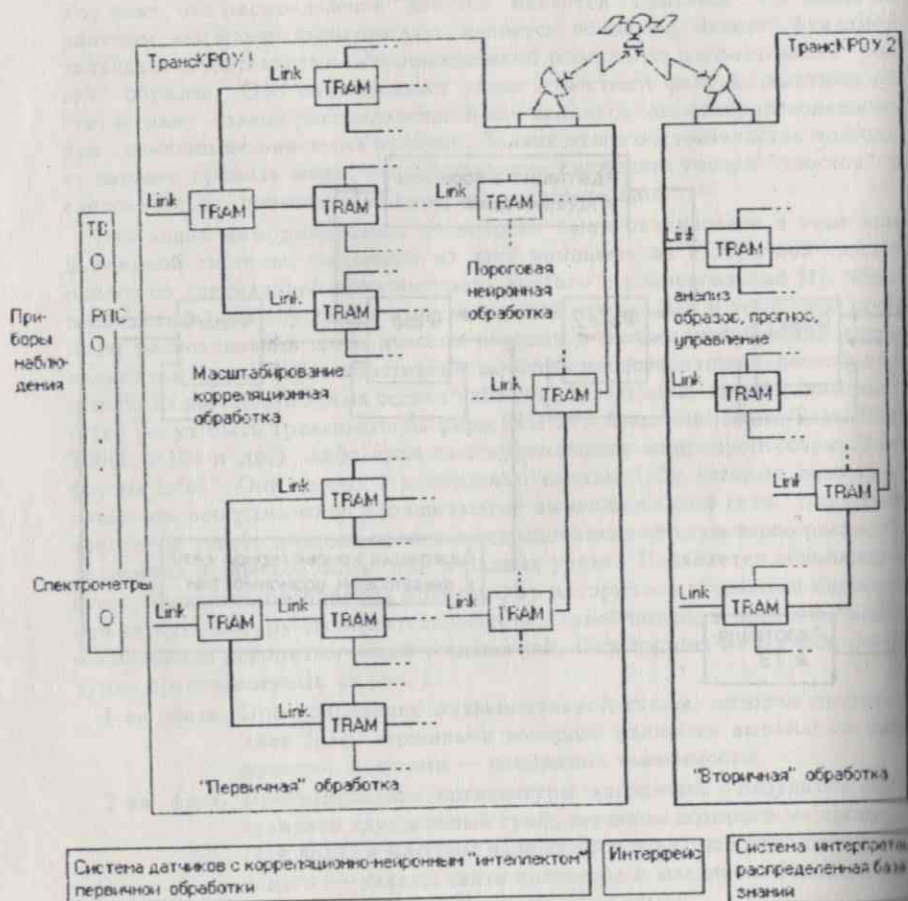


Рис. 2. Блок-схема ТрансКРОУ

в соответствии с требованиями алгоритмов. Это достигается благодаря однородности транспьютерных элементов, их программной совместимости и конструктивной возможности наращивать их сеть разъемными соединениями.

На рис. 2 представлена блок-схема транспьютерного комплекса распределенной обработки и управления ТрансКРОУ, состоящего из транспьютерных элементов TRAM (TRANsputer Module). Комплекс содержит два блока. Первый блок реализует рекурсивный "фильтр" и пороговую и нейронную обработку на основе априорно сформированных описаний эталонов обнаруживаемых объектов. Второй блок реализует интерпретацию и анализ развития обнаруживаемых объектов, накапливает базу знаний о них и вырабатывает решения и управления по корректировке эталонов первого блока. Идеи соответствующих математических процедур для обоих блоков изложены выше. Автор с сотрудниками реализовали макет первого блока на транспьютерных сетях с Т414, Т805, а также с модулем Т800+і860. Общее число транспьютерных модулей до 30 с эквивалентным быстродействием 1Gflops. Программы обработки реализованы на параллельных языках Occam и Ansi C Toolset.

В настоящее время создается макет второго блока. Первые эксперименты подтвердили эффективность алгоритмической технологии реализации подобных вычислительных сетей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Литовченко Ц.Г. Компьютерная информационная система распознавания динамических образов в потоке изображений с предельными требованиями по качеству распознавания // "Вестник НОУ-ХАУ", 1992. — № 1.