

ПОНИМАНИЕ РЕЧИ НА БАЗЕ ФРАЗЕОЛОГИИ  
ДИСПЕТЧЕРА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

В.М.Величко, Б.Т.Гальперин, В.П.Чуваков

В в е д е н и е

В статье рассматриваются вопросы использования лингвистической информации в системе речевого взаимодействия диспетчера гражданской авиации с цифровым диспетчерским тренажером. Статья является продолжением цикла работ по этой проблеме [1-4].

Проблемно-ориентированным языком системы понимания речи является язык учебных упражнений диспетчера гражданской авиации при обучении на цифровом диспетчерском тренажере. К этому языку предъявляются весьма жесткие требования по фразеологии, т.е. по лексике, семантике и прагматике, определяемые нормативными документами [5] и конкретной моделируемой воздушной обстановкой.

В качестве распознаваемого материала использовался ограниченный набор слитно произносимых фраз, последовательность которых образует команду. Фразы можно рассматривать как единицы, к которым применимы обычные методы распознавания ограниченных словарей из изолированных слов и словосочетаний. Фразы образуют команду по определенным правилам. Формулировка этих правил, разработка алгоритма их использования, программная реализация

и апробация системы на реальном материале составляли цель данного этапа работы.

Основное внимание было уделено учету информации прагматического уровня при выполнении упражнений на диспетчерском тренажере.

Сложность задачи распознавания ограниченного, заранее заданного, но очень большого по объему словаря фраз предполагает использование максимально допустимого количества ограничений лингвистического характера, не искажающих реальную картину выполнения упражнения на тренажере. Объем словаря фраз, который может возникнуть в принципе, проиллюстрируем на примере информации о высоте. Для всех возможных типов воздушного судна (ВС - их около десятка по 1000 номеров для каждого типа) и возможных эшелонов (33 различных высоты) количество фраз исчисляется сотнями тысяч.

На данном этапе ставилась цель убедиться в реальности выполнения поставленной задачи на материале, выданном квалифицированными экспертами, отражающем при сравнительно небольшом объеме все существенные особенности рассматриваемой задачи, а именно: структуру команд, как базовых единиц упражнения; жесткую связь возможных для произнесения фраз с воздушной обстановкой; отсутствие дублирования однотипной информации в рамках одной команды; привязку информации каждого воздушного судна к его условиям полета и другие. Проработка данных вопросов в предыдущих работах не дает гарантий их решения в условиях конкретных требований учебного процесса. Поэтому демонстрация возможности решения задачи в конкретных ограничениях имеет вполне самостоятельное значение.

## 1. Выбор лингвистических ограничений

На данном этапе выбран вариант произнесения команд по фразам, составляющим эти команды. Каждая фраза произносится слитно, без пауз в процессе произнесения (один из вариантов так называемой квазислитной речи). Фраза от фразы отделяется паузой, достаточной для обработки и выдачи ответа системой (как правило, доли секунды). Команда от команды отделяется пользователем в ответ на запрос системы с терминала путем нажатия соответствующей клавиши терминала для продолжения или прекращения команды. В будущем предполагается разработать более удобное правило окончания команды. В настоящее время степень аппаратной и программной проработки не позволяет однозначно выбрать удобный и надежный признак окончания команды. Объективные критерии, используемые в реальном радиообмене, оказались трудно формализуемыми и могут привести к ошибкам.

Исходной информацией является общепринятое деление фразеологии радиообмена по зонам диспетчерских пунктов: зона районного центра - позывной "Ленинград - контроль", зона подхода - позывной "Ленинград - подход", зона круга - позывной "Ленинград - круг" и зона посадки - позывной - "Ленинград - посадка".

Каждая из зон характеризуется определенным объемом информации со своими специфическими диапазонами. На данном этапе работы они заданы экспертным путем и приняты для реализации в соответствии с целями этапа.

Экспертная информация проанализирована и для каждой зоны разбита на однородные группы, позволяющие исключить в команде повторение информации. Выделены и использованы специальные группы следующих типов. Для зоны районного центра - позывной диспетчерского пункта, информация об удалении, о высоте, о местности, об азимуте, о встречных воздушных судах, о курсе, о передаче управления следующему диспетчерскому пункту. Для зоны

подхода - то же самое плюс информация о контрольном пункте - рубеже. Для зоны круга - то же самое плюс данные об эшелоне перехода, погоде пункта посадки, а также команды разворотов. Для зоны посадки - то же самое (кроме передачи управления) плюс информация об отклонении от глассады по курсу, а также разрешение на посадку.

Для всех зон команды начинаются с позывного воздушного судна, т.е. с пятизначного числа, две первые цифры которого характеризуют тип воздушных судов, а три последние - номер борта воздушного судна. При первом обращении к борту при радиообмене, а также в условиях плохой слышимости используется полный позывной, т.е. пятизначное число, при повторном обращении - последние три цифры (краткий позывной). При первой команде радиообмена в зоне данного диспетчерского пункта за позывным воздушного судна следует позывной диспетчерского пункта, в последующих командах он, как правило, отсутствует.

Программное обеспечение сделано достаточно гибко, и перечисленные группы информации и команд могут быть легко скорректированы при необходимости.

В качестве исходного текста на данном этапе были приняты 85 фраз для четырех диспетчерских пунктов, взятых в основе без изменения из материалов экспертов и дополненных вариантами числовой информации, чтобы обеспечить реальную проверку альтернативного распознавания. Текст "фразаря" приведен дальше.

Распознающий комплекс состоит на сегодняшний день из программ: а) обучения для формирования эталонов диктора, б) формирования таблиц лингвистических ограничений и в) собственно распознавания.

Проверка системы велась на микро-ЭВМ типа "Электроника-60", ДВК-2(М), ДВК-3(М), оснащенных электронным диском емкостью 0,5-1 Мбайт.

Программа распознавания при обращении пользователя по его заказу, выдаваемому с терминала, загружает с электронного диска необходимую для работы информацию, а именно файл массива с фразовым составом групп, массива следования групп в команде, текста словаря фраз и эталонов фраз данного диктора. Затем программа согласовывает с пользователем параметры настройки на голос диктора и приступает к распознаванию заданного количества команд с подтверждением повторения цикла распознавания или его завершения.

Программа обучения выделена в отдельный модуль из-за гораздо более высоких требований к объему словаря, чем в ранее описанных разработках. Она позволяет в соответствии с реальными требованиями записывать до 510 эталонов слов или фраз, причем запись ведется на электронный диск и, в принципе, ограничена лишь объемом его памяти. На используемой технике объем "фразаря" при записи может быть увеличен до 1500 фраз без существенных изменений в программе. По запросу пользователя программа вызывает текст "фразаря" и просит произнести в микрофон задаваемые с терминала фразы. При необходимости может быть использован режим с повтором искаженно произнесенных фраз. В эту же программу введен автономный режим векторного квантования (таксономии) для сжатия информации и представления ее в виде последовательностей номеров векторов из кодовой книги вместо числового задания многомерного вектора речевого сигнала [6]. Это позволяет в несколько раз снизить требуемый объем оперативной памяти ЭВМ без ухудшения надежности.

Существенной особенностью комплекса программ является возможность задания лингвистических (лексических, семантических и прагматических, т.е. контекстных) ограничений на распознаваемые фразы и команды. Приняты следующие конкретные ограничения. На каждом этапе распознавания обрабатывается заданное пользователем с терминала по запросу программы количество команд. Ко-

манда состоит из не ограничиваемого в явном виде количества фраз, произносимых слитно с интервалом между фразами. Каждая команда начинается с позывного воздушного судна в полном или кратком произнесении (число позывных в реализованном примере - 3 пары). В первой команде цикла обращения к программе за позывным воздушного судна всегда следует один из четырех позывных диспетчерского пункта, который после распознавания фиксируется. В зависимости от зоны после позывного диспетчерского пункта могут следовать в произвольном порядке фразы, отражающие информацию по данной зоне. В рамках одной команды не разрешается повторение однотипной информации, т.е. программа не воспринимает дважды в одной команде информацию о дальности, высоте и т.д. Этим достигается сокращение перебора возможных фраз на каждом последующем шаге распознавания с соответствующим повышением надежности и быстрейшего действия.

Не реализованным пока резервом дальнейшего ограничения перебора служит невозможность повторения части одинаковой информации в разных командах в меняющихся условиях полета (например, дальность в нормальных условиях может только уменьшаться).

При передаче управления от зоны к зоне фиксированно меняется позывной диспетчерского пункта по команде типа "Работайте с кругом 120,1". В настоящей реализации для удобства проверки по приведенной фразе не происходит выхода из команды, хотя это можно легко выполнить. Выход из команды и переход к следующей происходит по сигналу пользователя с терминала, кроме выхода по команде "Полоса перед Вами", по которой упражнение заканчивается.

Характеристики лингвистических ограничений следующие. Общее количество групп - 37. Во всех зонах группа позывных воздушных судов состоит из 6 фраз. Кроме того, зона районного центра содержит 9 групп, 26 фраз, зона подхода - 8 групп, 12

фраз, зона круга - 13 групп, 22 фразы, зона посадки - 5 групп, 12 фраз. Фразы составлены из словаря, содержащего 114 слов. Фразовый состав каждой группы задается пользователем при подготовке упражнения и может меняться достаточно гибко. Выделенными группами являются группы позывных воздушных судов и диспетчерских пунктов.

Укажем тип информации и фразовый состав команд каждой зоны.

Позывные воздушных судов (1-я группа):

- восемьдесят пять триста двадцать один;
- семьдесят шесть ноль одиннадцать;
- двенадцать двести семнадцать;
- триста двадцать один;
- ноль одиннадцать;
- двести семнадцать.

Позывные диспетчерского пункта:

- Ленинград контроль (2-я группа);
- Ленинград подход (35-я группа);
- Ленинград круг (36-я группа);
- Ленинград посадка (37-я группа).

Информация о команде в зоне районного центра:

- удаление триста пятьдесят;
- удаление двести тридцать;
- удаление сто девяносто;
- удаление сто семь.

Команды по высоте (4-я группа):

- следуйте на девять тысяч шестьсот;
- следуйте шесть тысяч триста;
- снижайтесь пять тысяч четыреста;
- занять шесть тысяч;
- набирайте семь тысяч пятьсот;
- снижение по расчету;
- снижение по команде до шесть девятьсот.

Информация о местности (5-я группа):

- Бор подтверждаю;
- на Коркино;
- Зорино подтверждаю;
- до Зорино пять;
- Коркино подтверждаю.

Информация об азимуте (6-я группа):

- азимут девяносто пять;
- азимут восемнадцать градусов;
- азимут двести тридцать один градус.

Информация о других воздушных судах (7-я группа):

- встречный набирает шесть триста;
- встречный ТУ сто тридцать четыре на шесть триста.

Информация о курсе (8-я группа):

- правее десять;
- правее пятнадцать;
- левее тридцать.

Информация передачи управления следующему диспетчерскому пункту (9-я группа):

- работайте с подходом сто двадцать девять запятая восемь.

Информация и команды в зоне подхода.

Информация об удалении (10-я группа):

- удаление сто пять;
- удаление сорок.

Команды по высоте (11-я группа):

- снижайтесь тысяча пятьсот на рубеж сорок;
- снижайтесь три тысячи.

Информация о контрольном пункте (12-я группа):

- рубеж подтверждаю.

Информация об азимуте (13-я группа):

- азимут сто двенадцать.



Информация о других воздушных судах (14-я группа):

- впереди тридцать попутный АН двадцать четыре на две четыреста.

Информация о посадочном (15-я группа):

- посадочный девяносто девять.

Информация передачи управления следующему диспетчерскому пункту (16-я группа):

- работайте с кругом сто двадцать запятая шесть;
- работайте с кругом сто двадцать восемь запятая четыре;
- работайте с кругом сто десять запятая один;
- с кругом сто двадцать запятая шесть.

Информация и команды в зоне круга.

Информация об удалении (17-я группа):

- удаление тридцать восемь;
- удаление тридцать;
- удаление двадцать два.

Команды по высоте (18-я группа):

- снижайтесь шестьсот ко второму;
- снижайтесь тысяча двести на дальний;
- набирайте тысячу пятьсот.

Информация об азимуте (19-я группа):

- азимут восемьдесят четыре;
- азимут сто девять.

Разрешение на заход (20-я группа):

- заход разрешаю.

Данные об эшелоне перехода:

- эшелон перехода тысяча двести (21-я группа);
- по давлению семьсот миллиметров ртутного столба (22-я группа).

Информация о погоде пункта посадки:

- погода Ленинграда (23-я группа);
- погода Ленинграда десять пятьдесят (23-я группа);

- ветер сто пятьдесят двенадцать порывы пятнадцать (24-я группа);

- видимость восемьсот (25-я группа);
- видимость шестьсот (25-я группа);
- облачность шестьдесят (26-я группа);
- облачность сорок (26-я группа).

Команды разворотов (27-я группа):

- на втором;
- выполняйте второй;
- на третьем;
- третий по команде;
- выполняйте третий.

Расстояние от взлетно-посадочной полосы и радиолокационной станции (28-я группа):

- боковое двенадцать;
- радиальное восемнадцать.

Информация передачи управления следующему диспетчерскому пункту (29-я группа):

- работайте с посадкой сто двадцать восемь запятая ноль.

Информация и команды в зоне посадки.

Информация об удалении (30-я группа):

- удаление девятнадцать;
- удаление шестнадцать;
- удаление тридцать тысяч пятьсот;
- удаление пятьсот.

Информация о курсе (31-я группа):

- правее двести;
- на курсе;
- левее сто;
- справа пятьдесят.

Подход к глиссаде (32-я группа):

- подход к глиссаде.

Информация о посадке (33-я группа):

- посадку разрешаю;
- посадку дополнительно.

Команда на посадку (заключительная фраза упражнения - 34-я группа):

- полоса перед вами.

В режиме формирования лингвистических ограничений для данного "фразаля" приняты следующие значения в информационных массивах: нумерация групп и их состав видны из вышеперечисленных данных. Первая команда упражнения начинается с позывного, затем следует позывной диспетчерского пункта, который фиксируется до выхода из упражнения (т.е набора команд) или до передачи управления следующему диспетчерскому пункту (но уже фиксированному, определяемому фразой-командой передачи управления). После позывного воздушного судна или диспетчерского пункта следует любая фраза, разрешенная после соответствующей группы, но из еще не встречавшейся в команде группы. Разрешенными являются группы двух видов: во-первых, группы данного диспетчерского пункта (для районного центра - 3-9, для подхода - 10-16, для круга - 17-29, для посадки - 30-34), во-вторых, группы, следующие после группы, к которой принадлежит предыдущая фраза команды (после 3-й - 4-9, после 4-й - 3, 5-9, после 23-й - 24-26 и т.д.).

Из набора групп данного диспетчерского пункта произнесения (и распознавания) каждой фразы исключается ее группа, в начале следующей команды этот полный набор групп данного диспетчерского пункта восстанавливается. Пересечение двух указанных видов групп составляет круг фраз - претендентов на распознавание. Это составляет лингвистическую часть ограничений. Затем работают ограничения по длительности фразы - акустического сигнала, а затем выступает в действие собственно алгоритм распознавания, основанный на методе динамического программирования с адаптивным

коридором внутри фиксированного коридора около диагонали матрицы расстояний между сегментами контрольной (подлежащей распознаванию) реализации и таксономии эталонной фразы [7].

В работающем варианте формирование эталонов производится путем однократного произнесения и последующего запоминания в памяти ЭВМ каждой фразы. В будущем предполагается реализовать обучение без подготовки к каждому упражнению, а именно: после обучения диктора на словарь слов (а не фраз) с учетом коартикуляции в слитном произнесении этих слов эталоны фраз [6] компилируются из отдельных слов по тексту "фразаря" в зависимости от текста упражнения без повторного привлечения диктора. Кроме эргономических выгод (разовая процедура обучения фактически на все упражнения), этот метод повысит надежность распознавания за счет устранения вариативности произнесения от эталона к эталону на разных реализациях одинаковых слов.

С целью последующей реализации этого алгоритма в модуль лингвистических ограничений введен режим автоматического определения словарного состава фраз упражнения с формированием и записью на электронный диск текста слов в тех словоформах, которые встречаются в тексте упражнения.

Состав программного обеспечения разработанного варианта работает в следующих режимах.

Модуль лингвистических ограничений: режимы словарного состава фраз, групп, коррекции информации, следования групп друг за другом. Во всех режимах предусмотрен текущий контроль правильности заносимой информации с подтверждением от пользователя и визуализацией текстовой информации. Примеры формирования ограничений приведены выше.

Модуль обучения: режимы обучения и таксономии. В режиме обучения предусмотрена возможность использования переспроса (подтверждения) по желанию пользователя. Это существенно, так

как процесс обучения на 500 слов длится около 20-25 мин. и довольно утомителен. В режиме таксономии предусмотрены автоматический выбор порогов для таксономии интегральных характеристик слов и ручное задание порогов для таксономии акустических признаков. Программа таксономии работает 10-20 мин в зависимости от объема акустического материала и требует памяти около 100-150 килобайт для 500 слов.

Программа распознавания работает в режиме распознавания или перезапуска с возможностью изменения числа распознаваемых команд в одном цикле, изменения акустических параметров программы, файлов эталонов и ограничений и порогов отсеков.

Все программы (кроме подпрограммы обмена акустическим сигналом) написаны на ФОРТРАНе. Язык программирования весьма существен только для модуля распознавания, так как он влияет на память и быстродействие. Но на данном этапе, ввиду постоянных изменений в алгоритмах и даже методах распознавания, нецелесообразно тратить добавочные усилия для оптимизации чисто вычислительных затрат.

## 2. Экспериментальная проверка комплекса

Ограниченная проверка модуля распознавания в процессе разработки показала весьма высокую надежность, обусловленную, главным образом, наличием мощного, хотя еще и неопределенного, аппарата лингвистических ограничений. В ходе экспериментов ошибки распознавания практически не встречаются. Время распознавания реальное. Подготовка текстов ведется с помощью обычного экранного редактора. Лингвистическая информация заносится в файлы с визуальным контролем по тексту и возможностью коррекции, что повышает удобство пользования системой.

### З а к л ю ч е н и е

Использование фразеологии для введения лингвистических ограничений сокращает перебор возможных фраз-pretендентов при распознавании согласно следующим приблизительным оценкам. Выделение группы позывных в начале команды ограничивает перебор максимум 32 фразами - по числу максимально возможного количества бортов одновременно. Разбиение на зоны диспетчерских пунктов сокращает объем распознаваемого "фразаря" в 4 раза. Исключение групп "фразаря", встретившихся ранее в команде, последовательно сокращает объем на состав соответствующей группы. Иерархичность подачи части информации (например, о погоде) исключает из рассмотрения значительную часть "фразаря" как при входе в иерархическую структуру, так и при выходе из нее. В приведенном конкретном варианте при общем количестве фраз 85 число фраз-pretендентов лежит в диапазоне от 1 до 25 и после 2-й или 3-й фразы в команде при естественном порядке фраз не превышает 10.

Работа по улучшению эксплуатационных и эргономических характеристик будет вестись на путях более полного учета реальной воздушной обстановки в конкретных упражнениях при увеличении вариантов диалога, применения некоторых методов повышения надежности с использованием подходов, характерных для распознавания слитной речи, переход к неадаптивному распознаванию с привлечением методов, изложенных в [8].

Предлагается использовать формализацию лингвистических правил с помощью аппарата формальных грамматик.

Более отдаленной перспективой является введение интеллектуальных функций в систему с целью повышения ее эргономичности. Формально неправильные, но встречающиеся в практике выражения желательно идентифицировать и комментировать для диспетчера, как это делает в существующих тренажерах пилот-оператор. Изменение жесткого порядка слов во фразах, не изменяющее смысл, также же-

лательно распознавать без создания сбойной ситуации, чтобы не допускать прерывания работы системы переспросами. Учет вариативности порядка слов во фразах значительно увеличит объем "фразаря" и, вероятно, потребует других подходов к методике распознавания.

В задачу статьи не входило описание системы речевого взаимодействия. В ее разработке принимает участие коллектив исследователей речи НГУ и Института математики СО АН СССР, которому авторы выражают благодарность.

#### Л и т е р а т у р а

1. ВЕЛИЧКО В.М., ГАЛЬПЕРИН Б.Т., ЖИДОВИНОВ А.Ф., ЗАГО - РУЙКО Н.Г., ЛЕБЕДЕВ В.Г., СУЛЕЙМАНОВ Р.Н. Тренажерно-моделирующий комплекс для авиадиспетчеров с распределенной системой речевого взаимодействия //Автоматическое распознавание слуховых образов. Тез. докладов 15-го Всесоюзного семинара (АРСО-15). Таллинн. - 1989. - С.310-311.

2. ГАЛЬПЕРИН Б.Т., ЛЕБЕДЕВ В.Г. Особенности построения средств речевого взаимодействия для полунатурного моделирования процессов речевого управления динамическими системами в реальном времени. Там же. -С. 323-324.

3. ВЕЛИЧКО В.М., ЖИДОВИНОВ А.Ф., ЗАГОРУЙКО Н.Г. и др. Система понимания слитной речи на базе ЕС ЭВМ //Автоматическое распознавание слуховых образов (АРСО-13). Тез. докладов 13-й Всесоюзной школы семинара. Новосибирск. - 1984. -С. 272-273.

4. ВЕЛИЧКО В.М., ЖИДОВИНОВ А.Ф., САЛОМАТИНА Н.В., ЮДИ - НА Л.С. Анализ языка диспетчера тренажера. Там же. -С.30-31.

5. Правила и фразеология радиообмена при выполнении полетов и управлении воздушным движением. -М.: Воздушный транспорт, 1987.

6. ВЕЛИЧКО В.М. Обучение в распознавании слитной речи //Анализ текстов и сигналов. - Новосибирск, 1987. - Вып. 123: Вычислительные системы. -С. 101-110.

7. ВЕЛИЧКО В.М. Минимизация вычислений в распознавании речи //Анализ символьных последовательностей. -Новосибирск, 1985. -Вып. 113: Вычислительные системы. -С. 123-132.

8. МАЗУР В.Н., ГУМЕЦКИЙ Р.Я. Прогноз "сотрудничества" произвольного пользователя с системой распознавания речи //Авто - матическое распознавание слуховых образов. Тез. докладов 15-го Всесоюзного семинара (АРСО-15). Таллинн. - 1989. -С.113-114.

Поступила в ред.-изд.отд.

1 декабря 1989 года