

分类号：_____

密级：_____

U D C : _____

编号：_____

工学硕士学位论文

移动机器人基于自然语言的 人机交互技术研究

硕士研究生：赵宇婧

指导教师：朱齐丹 教授

学科、专业：控制科学与工程

论文主审人：陆 军 教授

哈尔滨工程大学

2017 年 3 月

分类号：_____

密级：_____

U D C : _____

编号：_____

工学硕士学位论文

移动机器人基于自然语言的人机交互技术研究

硕 士 研 究 生：赵宇婧

指 导 教 师：朱齐丹 教授

学 位 级 别：工学硕士

工 程 领 域：控制科学与工程

所 在 单 位：自动化学院

论文提交日期：2017 年 1 月 5 日

论文答辩日期：2017 年 3 月 5 日

学位授予单位：哈尔滨工程大学

Classified Index:

U.D.C:

A Dissertation for the Professional Degree of M. Eng

Research on Human-Computer Interaction
Technology Based on Natural Language of Mobile
Robot

Candidate:	Zhao Yujing
Supervisor:	Prof. Zhu Qidan
Academic Degree Applied for:	Master of Engineering
Engineering Field:	Control Science and Engineering
Date of Submission:	Jan.5, 2017
Date of Oral Examination:	Mar.5, 2017
University:	Harbin Engineering University

哈尔滨工程大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：本论文的所有工作，是在导师的指导下，由作者本人独立完成的。有关观点、方法、数据和文献的引用已在文中指出，并与参考文献相对应。除文中已注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经公开发表的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者(签字):

日期: 年 月 日

哈尔滨工程大学

学位论文授权使用声明

本人完全了解学校保护知识产权的有关规定，即研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权属于哈尔滨工程大学。哈尔滨工程大学有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件。本人允许哈尔滨工程大学将论文的部分或全部内容编入有关数据库进行检索，可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文，可以公布论文的全部内容。同时本人保证毕业后结合学位论文研究课题再撰写的论文一律注明作者第一署名为哈尔滨工程大学。涉密学位论文待解密后适用本声明。

本论文(☐在授予学位后即可 ☐在授予学位 12 个月后 ☐解密后)由哈尔滨工程大学送交有关部门进行保存、汇编等。

作者(签字):

导师(签字):

日期: 年 月 日

年 月 日

摘 要

伴随科技的迅猛发展，机器人技术已成为国际热门研究领域，特别是与人类生活联系最紧密的服务机器人技术在国内外都是一个炙手可热的话题。现代化的生活中，人类越来越依赖于机器的精准化智能化，为了满足机器服务于人类的需求，人机交互技术应运而生。对于人机交互技术而言，最自然方便的交互接口莫过于人类的语言，基于自然语言的人机交互方式使得人与机器人之间信息交流的方式更加友好、自然。现在的机器人智能仍然存在一些局限性，在识别陌生环境中目标上不如人类来的轻松，所以通过自然语言交互将人类的经验与机器人的智能结合在一起，可以使得机器人任务完成得更好。本文在实验室履带式移动机器人的平台上，针对性地开发了基于自然语言的人机交互界面，提出了词干库与自主智能行为相结合的方式，应用于移动机器人的路径寻优中，使用自然语言完成机器人自主行为序列的解析及路径规划仿真实验。

首先，设计了人-机交互系统的整体框架。将人-机交互系统划分为了反应层、慎思层、人-机交互层三层结构，明确了每一层的系统结构及工作流程，将人-机交互框架与自然语言接口结合起来。设计了远程监控界面，完成在远程网络连接范围内监控界面的全景图像的传输。

然后，研究了自然语言交互技术。基于机器人的自主行为建立了专用的词干知识库，设计了词干库中所涵盖的属性字段。研究了汉语自动分词算法，选用了正向最大匹配算法，结合词干知识库对自然语言进行分词预处理。针对不同自主行为模块设计了逻辑推理规则，使得自然语言经过处理后能够自动输出自主行为序列，完成自然语言解析的任务。

其次，设计了自然语言语义地图。介绍了移动机器人在路径规划中所涉及到的环境地图种类，结合词干知识库设计了专门针对自然语言交互方式的语义栅格地图，将地图上的障碍物目标位置标记在词干知识库中，定义自然语言属性。研究了移动机器人的常用路径规划技术，结合设计的基于词干库的语义地图，选用基于栅格图的遗传算法作为路径规划算法。

最后，完成实验与分析。结合前几章的基础理论研究内容，完成自然语言语义解析实验，即在交互界面中直接将自然语言转换成机器人自主行为指令序列的实验。完成自然语言路径规划仿真实验和运动控制实验，即在人机交互界面中发出自然语言指令，经解析后直接达到机器人路径规划和机器人运动的目的。

关键词：自然语言；人机交互；词干知识库；自主行为；路径规划

ABSTRACT

With the rapid development of science and technology, Robotics has become an international hot research field. Especially, the service robot technology which is closely linked to human life is a hot topic. In modern life, more and more human beings rely on the precision of the machine intelligent, in order to meet the needs of human services machinery, human-computer interaction technology came into being. The most natural and convenient interface is the human language, the human-computer interaction based on natural language makes the information exchange between human and robot more friendly and natural. Now there are still some limitations in robot intelligence, it is more difficult for robot in the recognition of unfamiliar environment, so combining the human experience with the robot intelligence together using natural language, can make the task completed better. The paper systematically develops the human-computer interaction interface based on the natural language on the basis of the crawler-type mobile robot in the laboratory, putting forward a way that combine the stem library with autonomous behavior , combining the mobile robot path planning technology , using the natural language to complete the robot autonomous behavior sequence analysis and path planning simulation experiments.

Firstly, the whole frame of human-computer interaction system is designed. The human - computer interaction system is divided into three layers: the reaction layer, the deliberation layer and the human - machine interaction layer. The system structure and workflow of each layer are clarified, and the human - computer interaction framework is coupled with the natural language interface. The remote monitoring interface is designed as the human-computer interaction interface to complete the transmission of the panoramic image of the monitoring interface in the range of the remote network connection.

Then, the study of natural language interaction technology is finished. Based on the autonomous behaviors involved in robots, a special knowledge base of word stem is established, and the attribute fields which should be covered in the stem library are designed. In this paper, the automatic Chinese word segmentation algorithm is studied, and the forward maximum matching algorithm is used to combine word segmentation knowledge with natural language. The logical reasoning rules are designed for different autonomous behavioral modules, so that the natural language can be processed to output the autonomous behavior sequence automatically and complete the task of natural language analysis.

Secondly, a natural language semantic map is designed. This paper introduces the types

of environment map that mobile robot involved in path planning, and designs a semantic grid map for natural language interaction based on knowledge base of stemming. Mark the obstacle target location on the map in the stem knowledge base, Defining natural language properties. The path planning method of mobile robot is studied, and the grid map-based genetic algorithm is adopted as the path planning method.

At last, the experiment and analysis are finished. Combining the basic theoretical research in the previous chapters, the experiment of natural language semantic analysis is completed, that is, the experiment of converting natural language into the instruction sequence of robot autonomous behavior directly in interactive interface. Natural language path planning simulation experiments and motion control experiments are carried out, that is, natural language instructions are issued in the man-machine interface, and the robot path planning and robot movement are achieved directly after the analysis.

Key words: natural language; human-computer interaction; Stem-word knowledge base; autonomous behavior; path planning

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 课题的应用背景	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 人机交互国内外研究现状	2
1.2.2 自然语言理解技术研究现状	5
1.2.3 自然语言理解技术在移动机器人领域的应用	7
1.3 本论文的主要研究工作	8
第 2 章 基于自然语言的人机交互框架设计	11
2.1 人机交互框架设计	11
2.1.1 人机协同系统	11
2.1.2 基于自然语言的人机交互系统设计	12
2.2 人机交互系统远程监控系统设计	15
2.2.1 网络通信	15
2.2.2 图像传输	18
2.3 本章小结	19
第 3 章 自然语言交互技术研究	21
3.1 自然语言词干知识库	21
3.1.1 基于自主行为的词干库	21
3.1.2 词干库模型	22
3.2 自然语言解析	24
3.2.1 自然语言分词算法	24
3.2.2 逻辑推理知识	27
3.2.3 基于词干库的自主学习方法	30
3.3 本章小结	31
第 4 章 自然语言语义地图	33
4.1 环境地图概况	33
4.1.1 环境地图种类	33
4.1.2 基于词干库的语义地图	35
4.2 路径规划技术	36
4.2.1 路径规划概述	36
4.2.2 传统路径规划方法	37

4.2.3	智能路径规划方法	39
4.3	遗传算法	40
4.3.1	遗传算法概述	40
4.3.2	基于遗传算法的路径规划	42
4.4	本章小结	46
第 5 章	实验研究与分析	48
5.1	履带式移动机器人实验平台	48
5.1.1	移动机器人整体结构	48
5.1.2	全景视觉系统	50
5.2	语义解析实验	50
5.2.1	单个自主行为的语义解析实验	51
5.3.2	两个自主行为组合的自然语言解析实验	55
5.3.3	三个自主行为组合的自然语言解析实验	57
5.3.4	带有目标属性词干的自然语言解析实验	58
5.3.5	带有目标关系词干的自然语言解析实验	59
5.3	移动机器人自主行为实验	59
5.3.1	运动控制实验	59
5.3.2	运动规划实验	61
5.4	本章小结	62
结 论		65
参考文献		67
攻读硕士学位期间发表的论文和取得的科研成果		71
致 谢		72

第 1 章 绪论

1.1 课题的应用背景

伴随着科技发展，国际上对于机器人的研究投入越来越多。在近期的国际会议和科技热点搜索中，都能轻易地发现移动服务机器人的踪影。服务机器人是一种典型的移动机器人，是多个高科技学科的综合体现，服务机器人集环境感知、行为控制和执行等功能于一体，是科技发展中的热门领域。随着现在世界科技高速发展，服务机器人这个高端的技术领域已经有了越来越多的研究成果，而且从服务机器人的应用前景来看，对其技术的开发与完善具有非常长远的价值。但是对于机器人来说，如果有一些任务环境是陌生的，那么对于目标的定位就会特别的复杂，然而人类的经验却能在陌生的环境中快速寻找到目标。这就是因为机器人往往都是定量精确地分析目标任务，而人类却是凭借自身经验完成任务，设想如果我们能够把人类的自身优势和机器人的智能水平融合起来的话，不仅可以轻易地完成许多复杂的任务，而且能大幅度提高任务的效率与质量，这对于服务机器人的发展和应用都是极其乐观的，这就需要人机交互^[1-3]。

人与机器人的信息传递越来越偏向于机器人适应人的需求，所以人类的自然语言作为人类的一种便利的信息传递方式用于人机交互是最理想的形式^[4]。人机交互只要解决了自然语言理解问题，许多问题便迎刃而解，这种交互方式为人类和机器人的沟通提供便利的手段。虽然现阶段的服务移动机器人能够完成很多工作，但是还是有很多环节和功能不太完善，比如在陌生环境中任务目标的寻找就需要机器人做很多工作，但是结果一般都不太理想，这在于机器人的智能水平有限，它不能很好地辨别在不同环境中有些微差别的任务目标，但是这种情况对于人类来说却是很简单的，如果机器人的智能和人类的经验能够结合在一起，事情往往就能事半功倍了，也会省去很多无用功。可是机器人和人类沟通模式天差地别，机器编程语言一般都是冗长而复杂的，人类的自然语言也不能被机器人很好地理解，那么任务的下达和执行无疑是一个大大的难题。如果能够解决机器人和人类语言的沟通问题，那么一切问题就能简单化了。

人类自然语言和机器人之间的交流需要一个友好的人机接口界面来实现，这个人机接口针对特定的自然语言指令能够将其分解成对应的机器指令，在特定环境中能够帮助机器人更好地完成任务，并且能够提高工作效率，提高任务完成质量^[5]。自然语言理解技术运用在服务移动机器人上具有非常深远的意义，建立一种人与机器人系统之间便利而友好的交流方式，使机器人能够准确获得指令和进行任务处理。从计算机科学以及人工智能的观点看，自然语言理解的任务即是建立一种计算机模型，这种模型能赋予机器人系统类似人类的理解、分析并回答自然语言提问的能力。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 人机交互国内外研究现状

作为人与机器信息交换的人机交互技术在计算机用户的界面设计中占据相当重要的位置，其从古至今已经研究过批处理界面、命令行界面、图形界面的相关领域，现在，各国都很注重这类技术的开发，投入了大量精力进行技术提升。从人机交互技术的发展历史来看，人机交互已经逐渐从人适应机器转变为机器适应人的方向发展，这也是更加智能化的人机交互方式在现如今社会兴起的标志^[6]。从多年来对人机交互的研究来看，人机交互的方式有针对图像用户界面最常规的方式，如键盘输入、鼠标、手写、语音、触摸屏、数字化仪输入、扫描输入等，也有现如今的数据手套技术、机器人视觉技术等，这些技术从大方向来看主要是涵盖了手势交互、视觉交互、语音交互等领域，现如今人机交互手段的丰富多样使得人机交互技术已经向着人机协同深入方向发展^[7]。目前人机交互技术逐步发展成熟，在各个领域都占有一席之地，无论是在虚拟现实系统中还是人机工程学中，人机交互技术都是价值斐然，以至于其被美国称为具有突出重要性的关键技术。

1. 人机交互的典型种类

(1) 基于手势的人机交互

在人与人的日常交流中时常会辅以手势，用手势来传达一些信息或表达某种特定的意图往往能达到很好的效果，在一些特殊情况下，某些特殊人群如聋哑人士或者执行任务的军人常常用手势代替语言进行信息传达，早期的科技能力限制了手势作为人机交互手段被人们忽略了很长时间，现在在信息化时代，计算机数据处理能力与日俱增，手势作为一种广泛的交互手段在国内外被各研究机构加以研究，这标志着手势在人机交互中的作用正得到越来越多的关注。

在国内外的研究中，对于手势人机交互的研究已经达到了一个相对成熟的现状，先后都有许多科研工作者在手势人机交互领域做出了一系列成就，手势是虚拟现实系统中人与计算机之间最有表达力的一种表达方式。我们在日常生活中自然地使用各种手势来表达自己的意图，手势是人类非语言交流的重要手段之一，它在动作和表达方面的自由比其他任何身体部位都要多。在人机交互、机器视觉、虚拟现实技术、工业控制等方面，对于其应用非常广泛，拥有许多潜在的运用前景，由于建立的手势姿态识别模型的准确度可以直接影响到手势识别的可行性及结果的准确性，所以在国内外的诸多研究成果中可以看到很多对于手势识别模型的研究。手势模型的建立常常采用基于 3D 模型的手势建模和基于表观的手势建模的方式，如图 1.1 所示，主要从手的几何形状和在图像中的突出特征进行分析，可以看到同一个手势可以通过不同模型表示^[8]。

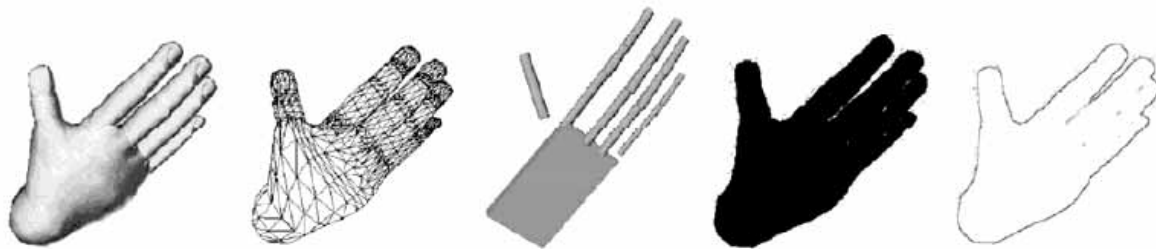


图 1.1 手势模型

在国内外的广大手势识别的研究中，很多前驱针对手势模型的基础研究进行了许多铺垫型的基础研究工作，例如 Moni^[9]等人就认为隐马尔可夫模型在手势姿态输入中可以作为一种姿态和连续的时间序列的转换模型，是一个良好的识别模型。Q. Chen 等人提出一种基于分治策略的手势识别系统^[10]，将手势检测划分成两级：低级手势姿势检测与跟踪、高层手势识别与运动分析，在识别系统中，对手势根据预定义的语法规则进行解析。对于低级手上姿势的检测，它使用一个基于 Haar-like 特性的统计方法；对于高层次的手势检测，采用基于语言的句法方法模式识别技术，这样的手势识别技术充分利用手势的复合性质，获得了良好的识别效果。N. D. Binh and T. Ejima^[11]提出了一种基于模糊神经网络架构的手势识别方法，为手势识别建立了一个四层的模糊神经网络特征识别的模型，这个识别系统为手势识别提供了一个灵活的框架，可以有效地实现在不同情境下的手势识别。Mohidul Alam Laskar^[12]等人认为三维环境下的手势识别正成为一个越来越大的研究领域，所以提出了一种新的方法来检测手势向前和向后运动，这个技术是基于立体视觉来实现的，其中使用了一个差异基因图谱质心运动和改变其强度特性识别的手势条件随机场(CRF)作为分类器。

(2) 基于语音的人机交互

如果说手势识别交互方式是最具有表现力的交互方式，那么最自然方便的交互方式就是自然语言，其中涉及到的关键技术之一则是语音识别技术。语音识别技术的蓬勃发展使得在日常生活中常常能够看到技术发展带来的变化，如智能手机、智能家居等领域，例如 iPhone 手机自带的智能 Siri 系统，导航时可以语音命令的软件，可以语音输入的搜索引擎等。因为自然语言中有很多的不确定性，例如口音或者语言种类等不定因素，所以现在的语音识别技术还有一些局限性，但是从国内外的整体研究情况来看，语音识别技术已经是一个相对成熟的领域。

早在 1992 年，VRCP 系统^[12]就被发明出来用于帮助话务员完成呼叫，系统中运用关键词检测技术查找五个命令词，即 collect, person, third number, operator 和 calling card，实现自然化语音呼叫。1997 年，IBM 公司开发了 ViaVoice^[13]语音识别系统，并于 1998

年升级为 ViaVoice'98^[14]，系统中涵盖了 3 万多个词汇，配备了“纠错机制”，识别率不低于 95%，可以识别出如上海话、四川话等地方方言，被称为是现如今功能完善、强大的汉语语音识别系统。另外，也有语音识别电话如美国 VPTC 公司的 Voice Organizer^[15]和语音记事本如法国的 Parrot^[16]。

在机器人领域，语音识别技术也是被广泛运用在各类机器人中。在国外，2006 年 3 月，一款名为 Emiew 的机器人^[17]问世，如图 1.2 所示，这个移动机器人通过系统中存储的 100 个左右的单词来表达想法以及与人交流。来自日本的 NEC 公司也在这方面贡献了许多研究成果，随后推出了家庭型机器人 PaPeRo 2005^[18]，如图 1.3 所示，此款机器人在嘈杂的环境中也能对人类语音进行提取辨别，并且可以与语言表达能力不足的儿童对话，并且可以识别手写笔记、文字及动画，还能与人进行沟通。



图 1.2 Emiew 机器人



图 1.3 PaPeRo 2005 机器人

在国内，也有相关技术的机器人，如图 1.4 所示，中科院第三代科普娱乐机器人^[19]可以将人类自然语言转换成电脑能够识别的文本，并且根据预制指令进行回答，基于这些功能，它能够和人类进行复杂语言交流，是一款语音机器人。

由于移动机器人分类多种多样，对于服务机器人，那么语音词汇主要偏向于服务型的词汇；如果是导航机器人，则语音词汇偏向于地名及运动行为；如果是问答聊天机器人，语音词汇是偏向于问答机制的。所以由此看来，语音识别准确性高度依赖于机器的内部储存词汇量，所以在国内外语音识别技术在移动机器人领域的应用上来看，要使语音识别技术达到一定的准确性往往需要训练语音识别器和建立语音识别模型，国内外的研究成果中对这一部分的研究也非常的多。

Alexey Karpov^[20]等结合句法和训练文本数据的统计分析，构建了一个基于俄语词汇量的自动语音识别系统。Nothdurft^[21]等人提出一个典型的对话框用户情报系统自适应语言，用户可以依靠口语语言作为他们的主要交互方式，可以通过口语对话系统发出指令指令让机器人接收到任务指令。谢怡宁^[22]等人研究了一种针对于稀疏编码的语音特征提取方法，在梅尔频域对语音加强后提取出语音特征，然后对提取出来的结果进行稀疏

去噪处理来进行特性补偿,使机器人在有语音噪声干扰的情况下通过有效补偿比不低识别精度。Kazuo^[23]等提出了一种使用口头语言命令控制机器人的方法,旨在选定模型运用口头语言命令控制移动机器人在导航任务中的定位。此方法旨在建立出一种基于隐马尔科夫模型的自动语音识别器,整个算法思路在于从语句中提取出敏感词汇,运用基于模糊神经网络的控制器来解析模糊含义的口头命令,在移动机器人实时导航中使用口语命令来进行测试,效果良好。



图 1.4 中科院第三代科普娱乐机器人

综上所述,国内外在人交互技术领域的研究成果斐然,不管是在语音交互还是手势交互方面,都有这一些具有意义的研究成果,不论是人机交互系统模型的更新还是系统理论的优化,这些成果都为人机交互技术更加成熟化、智能化发展奠定了扎实的基础。

1.2.2 自然语言理解技术研究现状

自然语言作为一种理想的人机交互方式,主要研究的是如何使计算机理解人类语言,并且转化成可以机器可以执行的指令。选择自然语言交互可以使得计算机与人之间的信息交流更加方便友好,这种自然语言理解技术在专家系统、机器人、搜索引擎等领域都被作为一种友好的人机接口得到广泛运用^[24]。20 世纪 50 年代初期,当时研究重点放在了机器语言与计算机语言的转换上,所以最早研究的自然语言理解技术其实是机器翻译技术^[25]。20 世纪 70 年代后,在对句法及语义分析的方面有了一些新的进展,将其用于自然语言理解中,使得文字输入的自然语言能够得到很好地解析,在实验中证明改进的解析算法可以更好地完成语义解析的功能。如今运用这些技术已能够在有限词汇、主题、句型的范围内完成语言解析、达到指令转换的目的,并且有些理论技术已付诸实践应用于实际生活中,至此进入高速发展时期^[26]。直到 80 年代后,伴随计算机的存储容量及处理速度的提升,有限状态模型和经验主义的方法研究^[27]的成熟使得语音和语言

处理的成为时代主流。90年代开始带来了信息化的大潮流，也因此带动了自然语言的信息检索和抽取技术^[28]的发展，近些年来，自然语言理解技术大多使用统计方法，特别是针对语句中词法、句法、语义、篇章等进行分析。现如今，自然语言理解已经将单一的传统语言分析和语料库方法融合起来，并且正在一步步地发展^[29]。

众所周知，最适合人类的交互方式莫过于自然语言，人类语言传达的方式最常见的就是口语形式，语言转化成文字就是自然语言文本，文本是语音识别的后一步，文本是一种非结构化的数据形式，根据地域不同自然语言文本不同，所以在国内外的研究中，自然语言文本都是有针对性的，对于英语类的语法来说，比汉语语法更简单，并且两种语言的文本处理方法不同，所以国外对于自然语言文本处理的方法并不适用于汉语自然语言文本处理，需要针对具体情况进行具体分析。国内的自然语言理解技术研究的是汉语的内在规则联系，包括汉语文本及语音等，由于汉语与外语系^[30]的表达方式完全不同，所以国外现有的关于自然语言理解的理论成果只适用于外语系，如果照搬用于汉语理解中，势必达不到好的结果，所以需要国内的学者更多的努力来建立一个新的体系。

现如今，出于对自然语言理解技术的重视，我国设立了很多的研究机构对其进行专项研究，这些研究主要针对汉语的构造特殊性，建立汉语专有的自然语言理解框架，致力于完善有效的汉语解析系统。总结现在国内对自然语言处理技术的研究情况，大致发展方向分为机器翻译、语料库研究、受限汉语、知网、概念层次网络这几个方面。

在最早期的机器翻译领域，主要以早期冯志伟教授为代表，他们做出的研究成果为后续的研究提供了理论基础^[31]。清华大学的黄昌宁教授带领的研究团队对汉语自动分词、知识库的建立、自动生成句法规则进行了细致的研究工作，并且在在这方面提出了多种可行的理论方法，为自然语言理解技术做出了突出贡献^[32]。周锡令教授领导团队对传统意义上的自然语言理解方法进行了梳理，并且发现受限汉语的相关理论可以在其上得到很好地运用，所以创造性地将两者结合在一起，在实际应用中得到更好地效果，这种方式为受限汉语的进一步发展起到铺垫作用^[33]。比较著名的知网理论来自于董振东^[34]先生的研究，这种理论使用比喻的方式，即概念内部的关联以及属性内部的联系比喻为交织的网络，所以自然语言解析与表达的本质就是解析各概念内部所存在的某种关系。来自中科院研究所的黄曾阳教授在分析语言解析处理的框架性理论时，首次指出可以将概念层次网络的方法应用于自然语言解析中，他表明用计算机可以构建出一个概念层次网络来模拟人类大脑对语言的感知模型，构建计算机的分析模式来对语句进行深层语义结构的分析与表达^[35]。

综上所述，国内针对于汉语语法句法的研究虽然处于一个研究初期，由于汉语与外语系的表达结构的不同，因此不能直接借鉴许多先进的国外技术，需要根据汉语语法特殊的情况进行专项研究，但是近年来对于此领域的研究成果也是令人欣喜的，为以后

建立更加完善的汉语自然语言理解体系打下了坚实基础。

1.2.3 自然语言理解技术在移动机器人领域的应用

在移动机器人领域中，运用自然语言作为人机交互的接口，主要是想要实现对自然语言进行分析理解再转化成机器人可以执行的指令。在国内外的众多研究中，将自然语言理解技术运用在机器人中并不是一个全新的领域，这里有很多前人们的研究成果。

在国内，聂仙丽等提出设计了一种自然语言行为控制器^[36]，控制器以基本运动单元为基础，使用模糊神经网络对机器人的基本运动进行学习训练，通过对机器人涉及到的行为动作进行语言描述，通过操作者语言控制对其进行动作控制器训练获取经验达到学习的目的，此控制方法最终在一个轮式移动机器人系统上进行了语言训练实验。后续在此基础上，教师通过用语言指令来指导机器人对各种任务进行学习，将简单的运动控制单元扩展到实际任务规划中，并且完成任务动作与自然语言的转换，将转换模式转换成程序流存储在系统内部，在实验中用语言给机器人进行导航任务的指令，以此证实此转换学习方法的准确性及可行性^[37]。

王文^[38]等人在研究中设计出了一种最大熵分类算法，收集机器人涉及到的任务语料用于对自然语言进行解析，可以将服务机器人在任务中涉及到的语言表达自动转换成机器能够直接执行的指令。对机器人在任务中涉及到的基础语句进行收集整理，并对其中关键语料提取进行分类标注，根据标注特性将其与控制指令相结合，想要将语言解析变成语料的分类，将语料库中文文本进行处理后建立最大熵分类器，并且使用语料库作为样本训练这个分类器以提升识别的准确性。

李新德^[39]等人在研究移动机器人在室内导航时所遇到的一些问题，提出可以将自然语言中的句法关系提取标注用于导航规划。路标的提取在机器人导航中占据重要位置，所以在进行自然语言提取的时候对路标要做一些处理，即路标间的方位及距离关系需要在导航意向图中充分表示出来，在导航规划时可以根据图中关系辨别路标关键点，并且将路径分为若干部分，计算每一段特征点的匹配值实现机器人定位，根据机器人在地图中的定位坐标直接预测其下一段的前进方位，实验证实了该方法的有效性。

高胜男^[40]等人在研究中将中文指令与行为动作指令相结合，提炼指令中的关键信息与句法关系结合在一起，利用概率模型分析句子中的重点信息，通过模块分解的规则运用一种服务任务分解模板，机器人依据规则能够将中文服务指令直接转化为动作指令序列。

在国外，Jianwei Zhang^[41]等提出一个空间语言来描述路径给移动机器人进行导航任务，这个空间的指令语言提供一个直观的界面，实现计算机语言普通的用户可以很容易地和自然地描述移动机器人导航任务在任何室内环境。Pulasinghe. K.^[42]等提出了一种

控制机器使用口头语言命令的方法，系统地提出了使用口头语言命令来解决上述两个问题。本系统的自动语音识别器采用隐马尔科夫模型(HMM)来建立，关键词定位系统捕捉机敏感词汇从正在运行的话语和基于模糊神经网络(FNN)的控制器与模糊含义代表单词口语命令，最后系统实验测试通过使用口语的命令来实现移动机器人的室内定位导航。另外，Yuan^[43]等为任务环境建立了栅格地图，使用自然语言对机器人路径关键点进行重点提取，在改进的隐马尔科夫算法的支持下在实验中取得了有良好的效果。

Pulasinghe^[44]等人对自然语言中存在的模糊表达进行了分类研究，采用模糊神经网络建立分类器对模糊语义进行定义，实验中可以通过语言控制方式完成对运动路径的预测。Matuszek 等^[45]对英文语句进行分析，选用了合适的分析模型对任务中自然语言指令进行句法分析然后映射到机器人能够读懂的控制语句，机器人根据接收到的命令完成任务指令。康奈尔大学开发了一款针对一些室内典型任务的学习型机器人，就做 Dave 机器人^[46]。这款机器人可以在多次对自然语言指令进行适应之后，根据经验对当前环境进行识别并且完成指定的任务。

综上所述，前人的这些卓越研究成果证实自然语言可以作为机器人与人类交互的友好接口，并且在未来的移动机器人领域，自然语言接口依然是一个最理想的友好交互接口，值得深入研究，并且将造福社会。

1.3 本论文的主要研究工作

本文主要研究了移动机器人基于自然语言的人机交互技术的方法。具体章节安排如下：

第一章 绪论 介绍本课题的研究背景及应用意义，阐述人机交互技术在国内外的应用情况和典型方法，以及自然语言理解技术的研究现状和在移动机器人领域的应用现状，介绍本文的主要研究内容。

第二章 人机交互系统框架设计 将人机交互系统分为三层结构：反应层、慎思层、人-机交互层。介绍每个层需要完成的工作，以及着重设计人机交互层的结构，明确在人机交互系统中基本词干库、推理知识库和行为知识库与自主行为匹配、优化产生行为序列的关系，并通过自主学习和人工方式丰富基本词干库、推理知识库和行为知识库。实现在人机交互系统中通过对词干库的丰富，优化完善推理知识库、行为知识库、目标知识库及具有语言属性的环境地图使机器人对自主行为进行学习。

第三章 自然语言交互技术研究 首先将机器人的目标操作、运动规划、运动控制等三类自主行为划分为基础行为模块，建立基础自然语言词干库，定义词干库中各参数语言性质。介绍自然语言分词算法，选用正向最大匹配算法进行语义分词。设计与词干库相关的逻辑规则，对分词结果进行逻辑运算，产生自主行为序列，通过此基础词干库的

丰富达到自主行为学习目的。

第四章 自然语言语义地图设计 介绍机器人路径规划地图的种类，选取栅格地图作为语义地图。介绍路径规划算法的基本种类及方法，将语义地图和词干库中目标词干在栅格地图中联系起来，使词干目标可以在栅格地图中定义对应的坐标位置，使得能在地图中找到有语言属性的目标词干，便于给自然语言在地图中设定具体含义。

第五章 实验研究与分析 设计了三个实验：语义解析实验、路径规划实验、自主行为学习实验。主要设计在多种情况下，相同语义的不同描述方式语言指令在此系统中的解析情况。在自然语言交互系统下解析出自主行为指令完成运动规划仿真及运动控制实验。

第2章 基于自然语言的人机交互框架设计

针对实验室双目全景履带式移动机器人建立了基于自然语言的人机交互整体框架，本章主要包括人机协同系统及人机交互系统远程监控系统设计，将人的经验和机器智能相结合，达到人机智能相耦合的目的，使移动机器人完成任务的效率及质量提高。

2.1 人机交互框架设计

2.1.1 人机协同系统

近年来在机器人智能方面国内外都有大量的研究成果，但是单纯地注重机器人智能的发展有着许多的局限性，远远不能满足人们对于机器人任务完成的需求。机器人的智能行为是集环境、感知、规划、控制于一体的整合，有很多部分单纯依靠机器人的智能完成效果不佳，并且处理过程太过于繁复，机器人本身的智能很难达到能够应付各种突发状况的水平，人机协同在许多复杂多变的陌生环境中，能够很好地解决这一点，可以帮助机器人解决一些机器人智能上面的难点，提升机器人任务完成效率。可见人-机结合是社会服务机器人的主流发展方向，这种模式的人-机智能化除了要专注于提升机器人自身的智能化程度以外，还应该考虑将人的经验加入到人-机交互中来：

$$HI + AI + CT \rightarrow I^2$$

其中，HI(Human Intelligence)表示人的智能，AI(Artificial Intelligence)表示人工智能，CT(Computing Techniques)表示计算技术， I^2 (Integrated Intelligence)表示综合智能^[47]。

移动机器人中的服务机器人为普通人使用，不像工业机器人是由受过训练的专业人员操作，为此，人-机器人协同（HRI: Human-Robot Interaction）的研究应运而生，有必要在智能机器人自主决策能力的基础上，通过远程现实（Remote Reality）手段辅以人的远程支持，形成人-机器人协同智能系统，将人的经验与智慧和机器的智能充分结合，提高智能机器人在复杂环境下完成复杂任务的能力。

本文针对实验室双目全景履带式移动机器人展开研究，智能机器人通过双目全景视觉系统实现环境感知与目标识别，以此为基础，实现自主决策与运动控制，同时通过数据与图像无线通讯，将环境图像信息与运动信息传输至远程监控系统，实现远程现实。另一方面，操作者通过自然语言形式发出服务指令，并通过远程现实监测智能机器人的环境感知、目标识别和自主决策行为与能力，当以上行为出现困难时，通过操作者的观察与分析，运用辅助环境感知或辅助决策指令的方式，及时向机器人提供必要的辅助信息，实现人-机协同感知与决策。如图 2.1 所示，为此机器人设计一个人机协同系统框架，针对此框架开展研究。

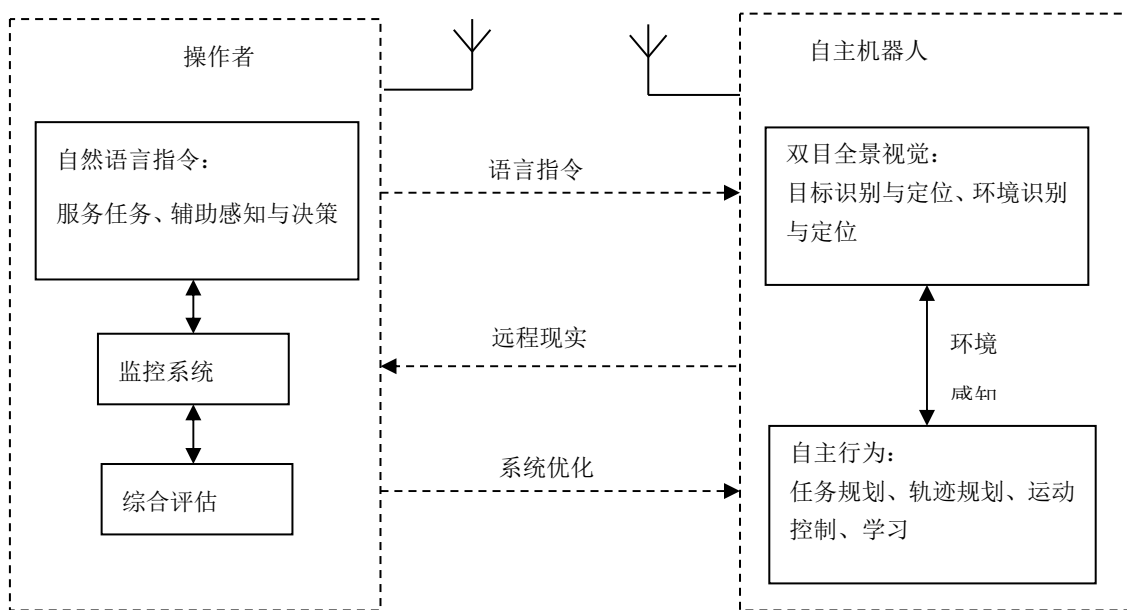


图 2.1 人机协同系统框架

人机协同主要是操作者和自主机器人的信息交流过程，本文使用自然语言作为交互接口，在操作者层面设计监控系统对机器人端进行远程监控，将机器人双目全景画面映射到监控界面中，操作者对机器人所处环境和状态进行判断，并用自然语言指令对机器人自主行为进行同步协助，完成除了机器人自主智能范畴外的一些动作，提升机器人任务完成准确度，在一定意义上，人机协同系统的任务完成准确度和有效性都能得到大大提升。

2.1.2 基于自然语言的人机交互系统设计

针对全景双目视觉的移动机器人，其基于自然语言的人机交互系统设计是一个全局性的框架规划，此人机交互系统是基于自然语言接口的，其系统结构如图 2.2 所示。

根据移动机器人涉及到的自主行为种类将机器人的智能行为划分为反应层、慎思层、人-机交互层三个层次。反应层设计为包容式智能机器人结构，实现实时避碰运动控制，慎思层完成非实时的环境感知、目标识别、运动规划等高级自主行为，并通过人-机自然语言交互具有自学习能力，人-机交互层实现机器人对操作者自然语言指令的理解和机器人自主行为的分解和学习，是实现人-机交互的核心基础。

1. 反应层

反应层是机器人运动的基础，是机器人底层运动控制的核心，反应层采用包容结构，动力学层面完成各种行为动作的控制，包括机器人移动、轨迹跟踪、避碰、机械臂运动控制、目标抓取等行为。反应层是完成人机交互的基础，只有满足的底层运动控制的要求，才能让机器人完成指令动作。

反应层完成信息传递的流程如图 2.2 所示，依赖于机器人底层硬件的基础上，通过传感器的反馈，完成基本行为动作，如前进、后退、左转、右转、停止等。这是机器人最底层的控制环节，也是一切高层指令的基础，只有保证了基础控制的准确无误才能完成更高级的智能行为，反应层的重要性不容忽视。

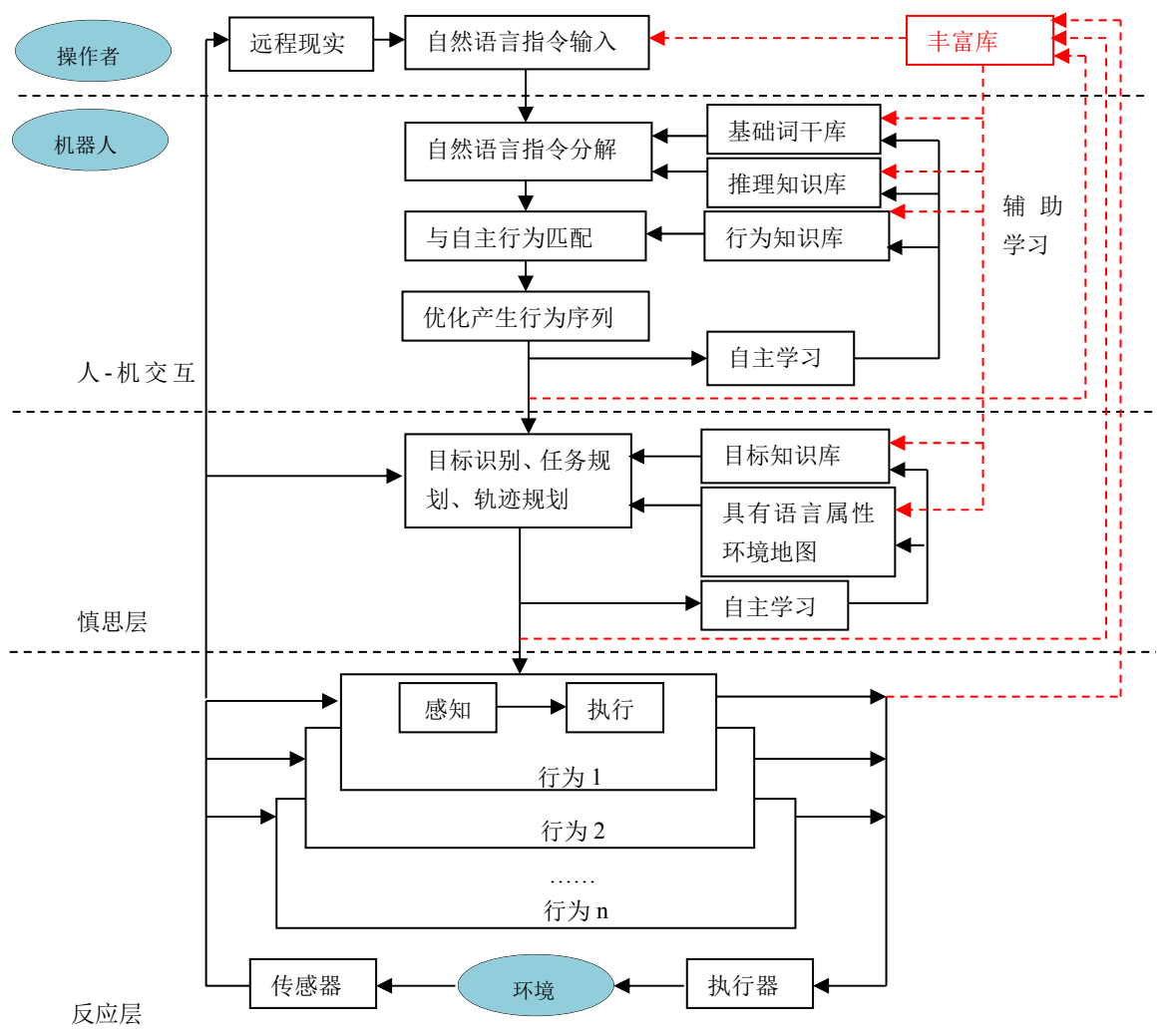


图 2.2 人机交互系统结构

2. 慎思层

慎思层是基于运动学层面，完成自主定位、目标识别、任务规划、轨迹规划等智能行为，并能够通过自主学习和人工方式丰富具有语言属性的目标模型和环境地图。慎思层是在应用层的基础上的机器人智能行为的扩展，一个机器人要达到真正的智能不能仅仅停留在运动控制层面，需要上升到智能行为层面才能完成机器人行为的扩展和深入。因此可以说慎思层是智能行为的层面，在本文的研究中，引入了语义地图和目标词干库来与自然语言接口进行衔接，关于语义地图和目标词干库的定义本文的后续章节会做更

为详细的介绍，在此不再赘述。

图 2.2 中可以看到，慎思层的信息传递流程如下。目标识别、任务规划、轨迹规划等智能行为可以通过反应层的运动控制模块得到一一实现，这是机器人的自主智能行为，操作者通过基于自然语言的交互接口可以对这些智能行为进行人工干预，其中通过具有语言属性的环境地图和目标知识库，对自然语言指令进行机器人层面上的语义解析，并且映射到语义地图中，在语义地图中通过语义解析对应目标知识库中的指定目标，进行智能行为的协助，可以完成语言层面的路径规划调整及目标识别等智能行为。机器人对环境的学习能力体现在，机器人在一次又一次学习训练中接触到越来越多的目标物和环境，在多次实验后能够通过目标知识库中目标种类及特性的丰富，使得机器人能够识别的目标越多，能完成的任务越多，这样一个反馈学习机制使得机器人在智能行为层面能够通过自然语言进行智能行为并逐步丰富行为。

3.人-机交互层

人-机交互层是实现人-机协调的核心，在本文研究中针对自然语言的人机交互接口主要面向的是自然语言指令消息和机器人语言的有效匹配，在人-机交互层完成的主要工作包括基于基本词干库、推理知识库和行为知识库的自然语言指令的分解、与自主行为匹配、优化产生行为序列等，并通过自主学习和人工方式丰富基本词干库、推理知识库和行为知识库。操作者的主要功能是给出自然语言工作指令，通过远程现实手段辅助机器人完成工作指令，并通过优化完善推理知识库、行为知识库、目标知识库及具有语言属性的环境地图达到丰富自主行为的目的，也就是能够通过多次学习训练完成自主学习以适应更多变的环境及任务目标。

图 2.2 中，人-机交互层主要的工作流程一目了然。操作者通过监控界面进行远程监控现场环境，当机器人遇到无法辨别的目标、难以通过自主智能完后的任务或者进入机器人任务死区时，操作者可以通过远程现实观测到，然后通过自然语言的形式对机器人现在所处情况进行帮助。在整个流程中最关键的部分在于自然语言指令解析的过程，自然语言指令通过词干知识库及推理逻辑的匹配分解，可以与机器人自主行为相匹配，输出自主行为序列，并且可以通过丰富词干知识库和行为知识库，深入优化推理逻辑算法达到自主学习的目的，达到丰富自主行为，使得任务多样化的目的。多次学习后能够积累学习效果，使机器人能够识别越来越多的目标特征，自主行为多样化，适应复杂多变的任务环境。

综上所述，在本文的研究中提出的基于自然语言的人机交互系统框架是以自然语言解析模式和人-机交互能力学习方法为基础，由人机交互层、慎思层、反应层三个层次组成的具有创新性和可行性的人-机交互系统体系结构，这种体系结构是充分考虑了自然语言接口的特殊性及自然语言解析中机器人自主行为的局限性而设计的，针对人机交

互过程中自然语言的表达多样性，仅仅针对移动机器人可以接触到的自主行为专门为机器人设计自主行为词干知识库，并且配合逻辑知识进行自主行为匹配，从根本上解决了词库过于大而导致的解析效率低的问题，这种新颖的人-机交互系统体系结构贯穿了本文的始末，是完成本文研究的骨架支柱。

2.2 人机交互系统远程监控系统设计

2.2.1 网络通信

本文的研究环境是基于远程现实的基础上完成的，需要建立一个远程监控系统以保证操作者能通过监控系统实时观测到机器人所处环境及状态，给其提供帮助。建立安全稳定的远程网络连接是远程监控平台好用的关键，关于网络通信，方法有很多，下面是关于计算机网络通信技术相关知识简介。

1. TCP 协议与 UDP 协议

TCP 协议作为一种网络协议，需要完成 3 次对话后才能对方建立连接关系，之后才能进行数据信息的接收发送。UDP 是与 TCP 不同的协议，因为它不需要对话，不需要连接，就可以将数据立刻发送出去。

TCP 协议与 UDP 协议比较：对于 TCP 协议来说，需要监听，而对于基于 UDP 的网络应用程序来说，却不需要建立网络连接，可以直接进行数据的发送和接收。即 TCP 需要面向连接、数据确认和重传机制以建立网络连接，而建立网络连接的过程往往非常耗时从而十分影响工作效率，大大降低传输的实时性。但是因为其传输品质、准确性高，可以进行无差错、无丢失、无重复和无混乱的发送数据，因此得到对传输品质要求较高而效率要求又不是很高的程序的广泛使用；而对于 UDP 协议来说，该方式特点是在通信前无需建立网络连接，是在无监控模式下进行的，即不需要进行三次握手协议，也不用数据确认和重传机制，因此实时性和效率较高，但是也因为数据包以独立包的形式发送，传输协议简单，所以会出现丢失或重复的现象，准确性和传输品质不是很高，因此在对传输速度要求高而准确性要求不是很高的程序中得到广泛使用。

2.Windows Sockets

Windows Sockets 是 Microsoft Windows 的网络程序设计接口，中文名为“套接字”，是一种从 Berkeley Sockets 扩展而来的以动态链接库的形式提供给我们使用的应用程序访问通信协议操作系统。Windows sockets（套接字）的类型可分为：

(1)流式套接字：一种提供面向连接的可以进行可靠地无差错、无重复、无覆盖的发送和接受数据的传输服务，该程序在发送和接受数据时是基于 TCP 协议按照顺序进行发送、接收和传输，因此可以成功避免出现发送错误或混乱。

(2)数据报式套接字：基于 UDP 协议实现，其实现过程十分较为简单，无需进行多

次握手，所以运行速度快、效率高，从而成为没有要求数据准确传输时的最佳选择协议。

面向 TCP 的 socket 编程：总体流程如图 2.3 所示，其中客户端需要 4 个步骤：

- (1) 创建套接字（socket）。
- (2) 向服务器发出连接请求(connect)。
- (3) 和服务器端进行通信（send/recv）。
- (4) 关闭套接字。

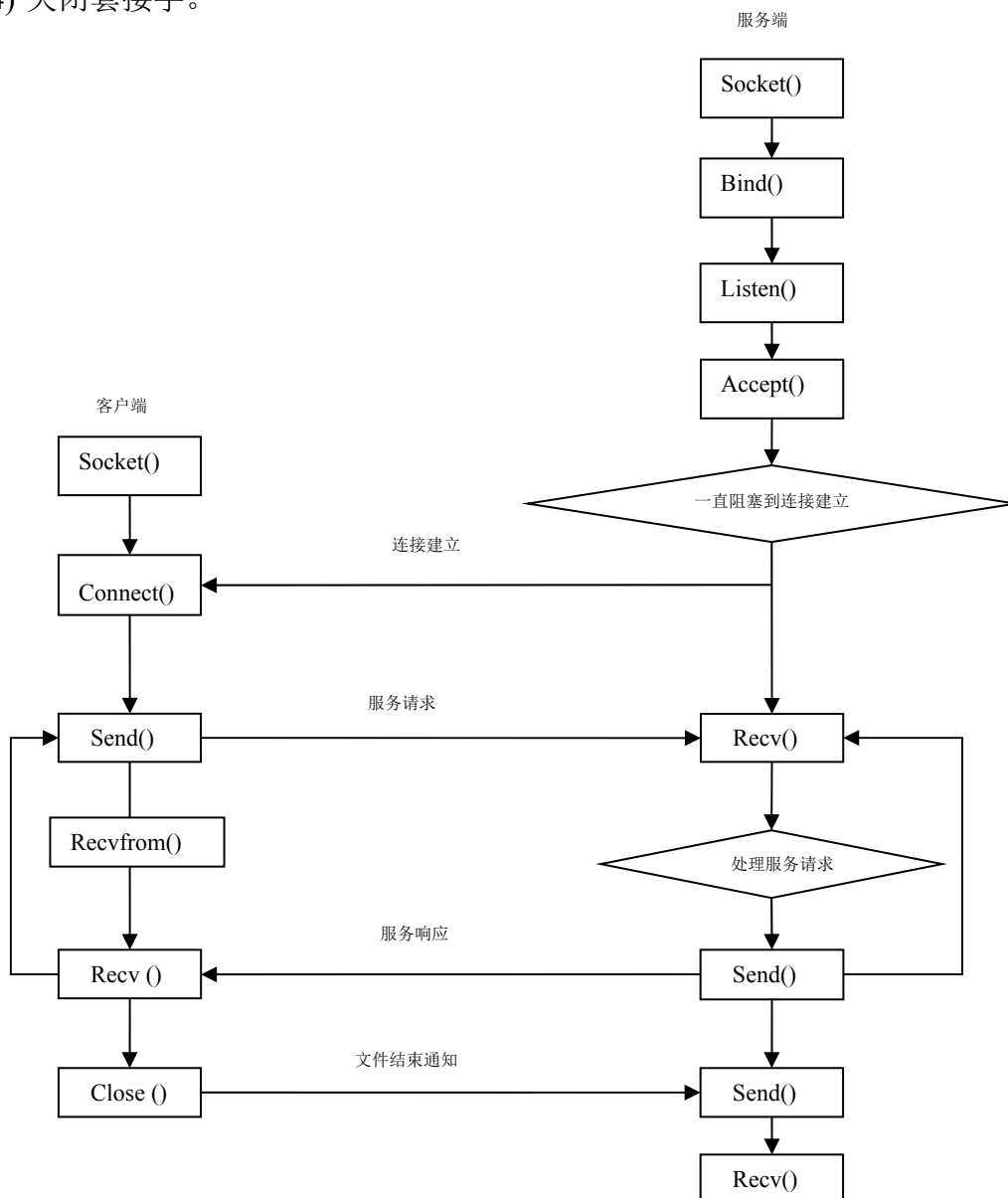


图 2.3 面向 TCP 的 socket 编程流程

服务器端的连接过程如下：

创建套接字(socket)。

- (1) 将套接字绑定到一个本地地址和端口上(bind)。

- (2) 将套接字设为监听模式，准备接收客户端请求(listen)。
- (3) 等待客户请求到来，当请求到来后，接受连接请求，返回一个新的对应于此连接的套接字(accept)。
- (4) 用返回的套接字和客户端进行通信(send/recv)。
- (5) 返回，等待另一个客户请求。
- (6) 关闭套接字。

面向 UDP 的 socket 编程：总体流程图如图 2.4 所示，其中客户端的连接如下：

- (1) 创建套接字(socket)。
- (2) 向服务器发送数据(sendto)。
- (3) 关闭套接字。

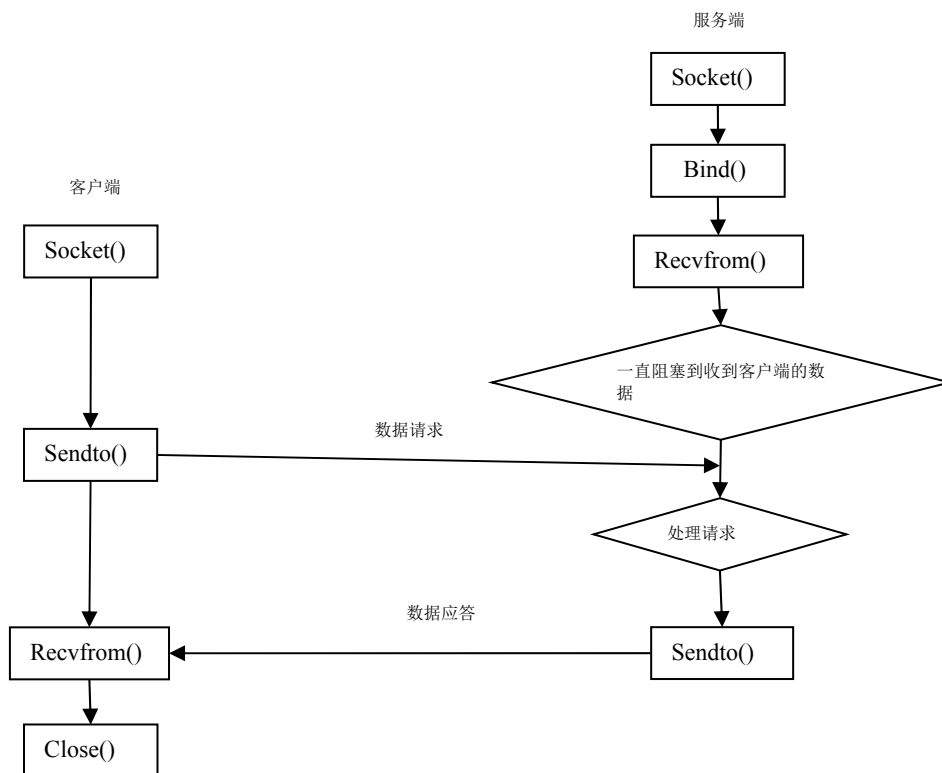


图 2.4 面向 UDP 的 socket 编程流程

服务器端的连接过程如下：

- (1) 创建套接字 (socket)。
- (2) 将套接字绑定在一个本地地址和端口上 (bind)。
- (3) 等待接收数据 (recvfrom)。
- (4) 关闭套接字。

3.Windows 远程桌面连接

Windows 系统中自带了一个种叫做远程桌面的功能,当 A 计算机开启了远程桌面连接后,设置了一个连接账号,我们可以在网络范围内通过计算机 B 对其进行连接操控 A,相当于还是在 A 上完成调试程序等功能。利用这一强大功能,人们可以在网络范围内安全有效地操控所连接的另一端,此功能方便快捷,并且它作为计算机系统中内嵌的功能使得其具有比其他操控器更灵活稳定的特点。

在本文的研究中直接使用了 Windows 远程桌面,在无线局域网中实现了操作监控端和机器人内嵌计算机的远程连接,只要是在此局域网的范围内,操作者都可以通过操作端的 PC 机直接控制机器人内部的计算机,达到远程控制的目的,且此方法安全有效并且方便快捷。

2.2.2 图像传输

本文中使用的移动机器人带有双目全景视觉,全景视觉是智能机器人实现环境感知和远程现实的重要保证,全景视觉系统由双目全景摄像头、图像采集卡、计算机等组成,通过图像采集卡和计算机将不同位置 and 方向的图像传输到计算机,便于实现单点成像,全景视觉系统可以实现 360°、垂直大于 180°的



图 2.5 全景视觉系统

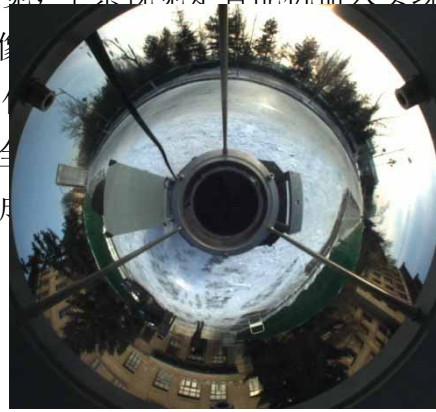


图 2.6 全景视觉图像

捕获视频图像的方法包括使用图像采集卡、VFW 和调用 OpenCV 等,本文采集图像使用 Open CV 中的 HighGUI 模块来实现,即利用 OpenCV 库中的有效处理函数配合定时器的调节,调用 cvCreateCameraCapure()函数,从摄像头直接捕捉监控现场的全景图像,采用多线程达到实时发送到网络进行传输。传输图像呈 360°圆形视角,可以对成像进行处理,转换成展开图便于观测。并且在观测图像中,移动机器人的左右方向与现实方向相反,在设计人机交互接口时进行自动转换。操作者通过观测实时接收到的从双目全景摄像头传输来的全景视觉图像,根据图像中机器人的环境情况对机器人状态进行

判断，提供协助。

2.3 本章小结

本章设计了人-机交互系统的结构框架，有创造性地把人-机交互系统分为了人-机交互层、慎思层、反应层三层结构，并且结合基于自然语言的人机交互方式进行了每个层次实现流程的剖析。其次，针对人-机交互系统远程监控系统的实现介绍了远程网络连接的方式，并且对人机界面上全景图像的传输方法进行了研究。本章为之后的研究工作的开展做了全局性的框架设定并为人-机交互实验的顺利进行奠定了基础。

第3章 自然语言交互技术研究

基于自然语言的人机交互方式需要完成对自然语言的解析，翻译成机器人能够理解的机器语言指令，并且有秩序地执行自主行为动作。非结构化的文本自然语言的解析需要文本处理后才能进行结构化程序设计，所以运用基于自主行为的词干库对自然语言文本处理，提取关键信息在推理逻辑的基础下转换成机器人自主行为指令序列。

3.1 自然语言词干知识库

3.1.1 基于自主行为的词干库

实验室现有的移动机器人的自主行为主要涉及到的主要行为是目标操作行为、运动规划行为、运动控制行为。其中每个自主行为对应的自然语言表达方式不同，机器人要从自然文本中识别出不同的自主行为作出不同的反应，需要先帮机器人区分不同自主行为。在本文中为了处理自然语言文本，需要建立一个针对机器人自主行为的词干知识库，为后续文本处理分词、提取、匹配奠定基础。

对机器人涉及到的自主行为进行分类，首先将机器人的目标操作、运动规划、运动控制等三类自主行为划分为基础行为模块，建立基础行为库，并为每个基础行为模块定义自然语言，同时基础行为都是有目标的，如抓取的目标、到达的地点、运动的方向和距离等，为基础行为目标定义自然语言属性，将上述定义的自然语言分类建立基础词干库，基础词干库会随着机器人自主行为能力的进步而丰富，图 3.1 是基础词干库模型。

每一类自主行为都是由两部分组成的，这个在后续自主行为逻辑判断的时候显得尤其重要，这关乎于机器人是否能正确识别出应该进行何种自主行为动作。例如，运动控制类的自主行为主要词干是运动控制词干和运动控制目标词干；目标操作类行为的主要词干是目标操作类词干和操作目标词干；运动规划类行为的主要词干是运动规划类词干和运动规划目标词干；其次使用目标属性词干、目标关系词干、辅助环境感知词干等作为词干修饰成分对目标特征或者方位关系进行进一步定义。基础行为库中的自主行为都是机器人能够接触到的一些常用自主行为，在三种典型自主行为的基础上可以通过目标属性词干、目标关系词干、辅助环境感知词干等扩展自主行为的广度，可以通过这些词干达到帮助机器人认识环境、增加目标特征、快速定位目标的目的，达到人机交互中人的智能对机器人智能的帮助作用，这些词干间的联系单单通过文本表面是很难界定的，所以认为定义了每个词干的属性，属性由数字表示，计算词干间的联系通过逻辑推理规则及算数方法来界定，这样就把非结构化的文本联系转换成了可以计算的结构化的数字逻辑联系，这对于自主行为分类及顺序输出极为重要。

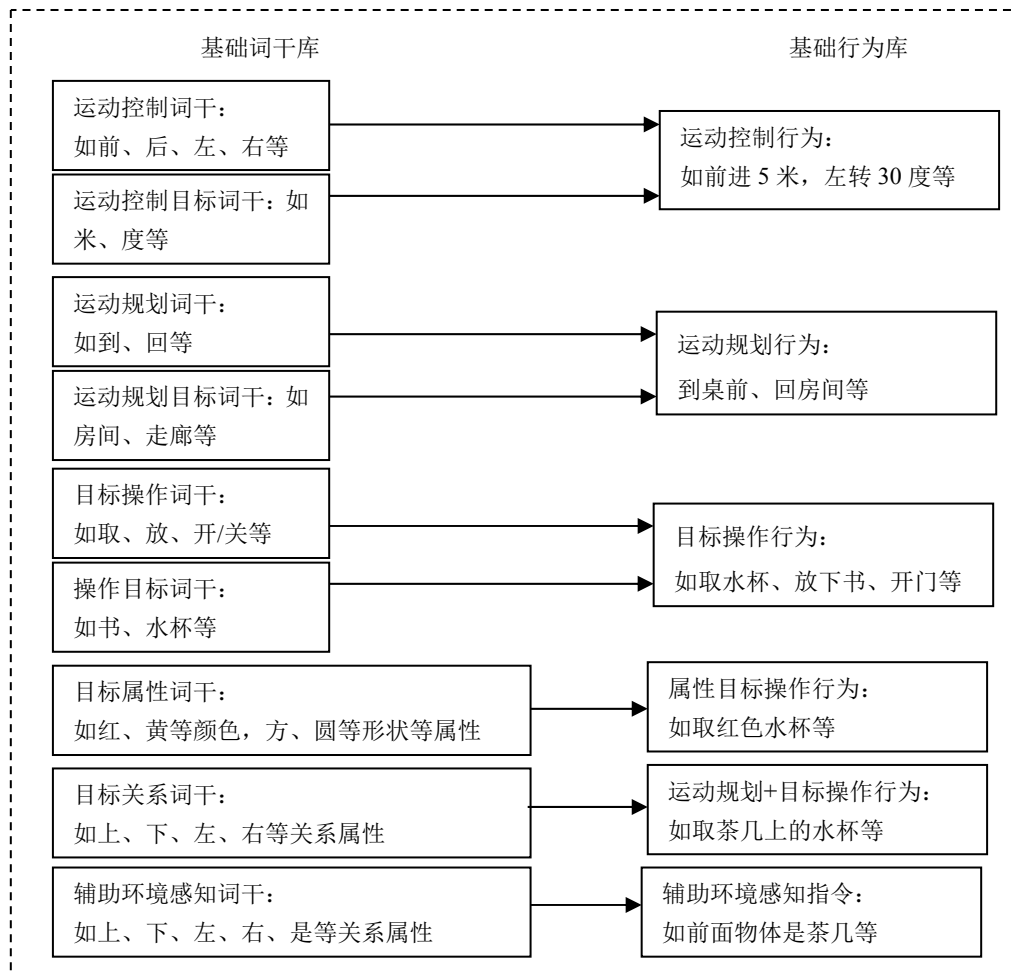


图 3.1 基于自主行为分解的词干知识库模型

3.1.2 词干库模型

建立词干库其实就是为机器人理解自然语言建立一个数据词库，现如今数据库软件多种多样，Access、SQL Sever、MySQL、Orac1 都是比较常用的数据库软件，在本文中选用了 Access 数据库作为词干知识库载体，作为小型数据库，它易用、直观，功能强大，适合小型的词干库。

一个数据库中最主要的部分就是数据表的设计，按照预计存储的信息设计不同的字段属性，通过这些字段属性，表与表之间，数据与数据之间可以建立起某些联系，在本文所需的词干库中，首先明确需要建立词干 ID、词干名、词干属性、行为动作、栅格地图序号等基本字段信息。表 3.1 例出的是词干知识库中部分词干信息。

其中词干 ID 是用来记录数据表中词干个数的，词干名是记录词干名称的，词干属性是为词干人为定义数据属性以便后续建立逻辑规则，行为动作是针对词干构成的自主

行为进行直观动作表达的，栅格地图序号是针对地图中目标位置进行定义的，-1 代表无意义，这也是栅格地图语义化的一个接口，在后续的地图设计中有重要作用。

表 3.1 词干库（部分）

ID	词干	属性	动作	序号
1	去	1	goto	-1
2	来	1	goto	-1
3	到	1	goto	-1
4	回	1	goto	-1
5	球	-2	ball	-1
6	房间	-1	room	77
7	走廊	-1	lobby	94
8	桌子	-1	desk	46
9	柜子	-1	cupboard	56
10	沙发	-1	sofa	67
11	取	2	get	-1
12	拿	2	put	-1
13	放	2	get	-1
14	开	2	open	-1
15	关	2	close	-1
16	书	-2	book	-1
17	水杯	-2	water cup	-1
18	杯子	-2	cup	-1
19	花	-2	flower	-1
20	吉他盒子	-1	guitar box	-1
21	我	-1	me	-1
22	椅子	-1	chair	79
23	电视	-1	TV	58
24	前	3	go forward	-1
25	后	3	go backward	-1
26	左	3	turn left	-1
27	右	3	turn right	-1
28	度	-3	---	-1

29	米	-3	---	-1
30	给	2	give	-1
31	°	-3	---	-1
32	m	-3	---	-1
33	停	0	stop	-1
34	黄	4	yellow	-1
35	圆	4	round	-1
36	红	4	red	-1
37	盒子	-2	box	-1
38	门口	-1	door	99
39	茶几	-1	table	88
40	上	5	up	-1
41	下	5	down	-1
42	里	5	inside	-1

其中类似于去、来、回等类型的词干被定义为运动规划词干，属性为 1；房间、桌子等被定义为运动规划目标词干，属性为-1；拿、取等词干是目标操作词干，属性是 2；水杯、瓶子等是操作目标词干，属性是-2；前、后、左、右等为运动控制词干，属性被定义为 3；度、米等数量单位修饰词被定义为运动控制目标词干，属性为-3；另外，还有一些目标修饰词如黄、圆、方、红等形容词是目标属性词干，属性为 4；上、下等目标方位类型的词干是目标关系词干，属性为 5；停止的属性是 0；这些属性设定是人为定义的，目的是后续为了方便设计合适的逻辑推理知识使得词干间的联系能够以更加结构化的方式呈现，能够通过逻辑推理知识达到区分自主行为的目的。

3.2 自然语言解析

上一节设计的词干库是自然语言解析的基础准备，除此之外，进行自然语言解析还少不了自然语言分词，通过有针对性的词干知识库作为分词词库，运用合适的分词算法对文本自然语言进行分词处理，提取出有用的关键词，并通过逻辑推理知识对各词干词性间关系整合联系，对应机器人各相关自主行为，有顺序地输出自主行为序列，这样就达到了自然语言解析的目的。

3.2.1 自然语言分词算法

针对汉语文本的处理的第一步就是分词处理，汉语和英语不一样，它没有明确的切分标志，每个词语的长短不一，词的表达含义多种多样，并且词语中的词素、词、词组

间无明显的界限，使得汉语在分词处理时并不是一帆风顺。现在国内外主要用的几种分词算法在处理汉语文本分词方面效果不错，准确性高于 90%，其中正向、逆向最大匹配是在中文自动分词处理中使用的最为广泛的算法，其次还有临近匹配算法等处理算法在中文语义处理中可以派上用场，虽然原理不同但是对于特殊构造的汉语起到预处理的作用。

1.正向最大匹配算法

正向最大匹配算法是最早提出的自动分词方法，它的基本原理是：针对输入的待处理的字符串，确定从字符串的首端进行匹配搜索，如果搜索出以首端第一个字符为起点，在字符串中出现的最大长度的词，就在此处将这个词分离出来，并将除了此词的剩下的字符串再进行相同的处理，最终输出分词结果。

图 3.2 中表达的是正向最大匹配算法流程实现，基本过程为：s1 为待切分字符串，最大字长设为 MWL 个字，当 s1 不是空字符串的，从字符串左边截取最大字长，截取出来的是 w1 字符串，将 w1 在词典里进行二分搜索，如果此字符串 w1 是词典里的词，则

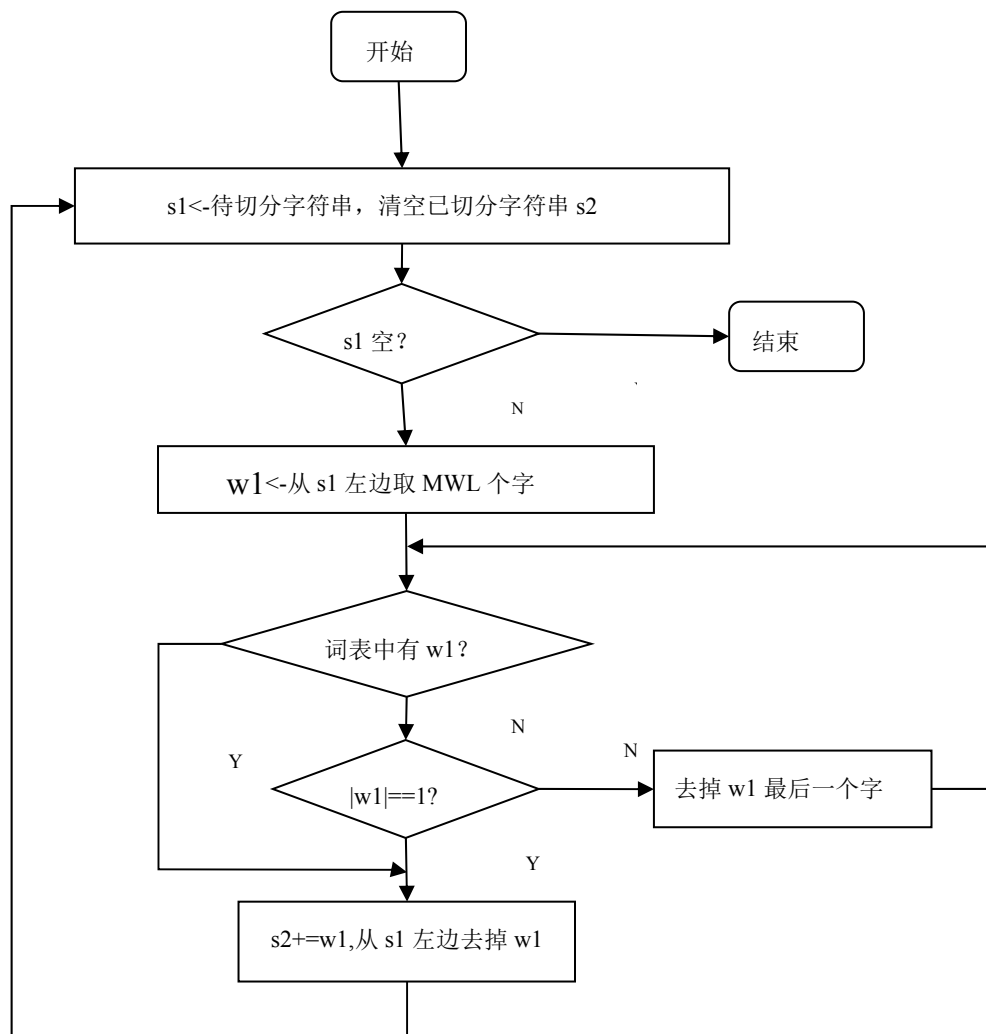


图 3.1 正向最大匹配算法流程

将 w_1 切出，将开始输入的字符串 s_1 左边减去 w_1 ，将截取出的词 w_1 添加到 s_2 中，并对删去了 w_1 的剩余字符串新的 s_1 做相同操作，直到 s_1 为空为止。若 w_1 不是词典中的词，则去掉 s_1 右边一个字，重新进行二分搜索，直到找到匹配此词为止。

例如，句子“去茶几上取水杯”，设定最大字长为 4。

切分过程为：去茶几上→去茶几→去茶→去→茶几上取→茶几上→茶几→上取水杯→上取水→上取→上→取水杯→取水→取→水杯

切分结果为：去/茶几/上/取/水杯

2. 逆向最大匹配算法

逆向和正向最大匹配算法的基础思路及执行流程相差无几，唯一区别在于前者开始搜索的顺序是从字符串的尾部开始进行。如图 3.2 所示为正向最大匹配算法的流程实现。

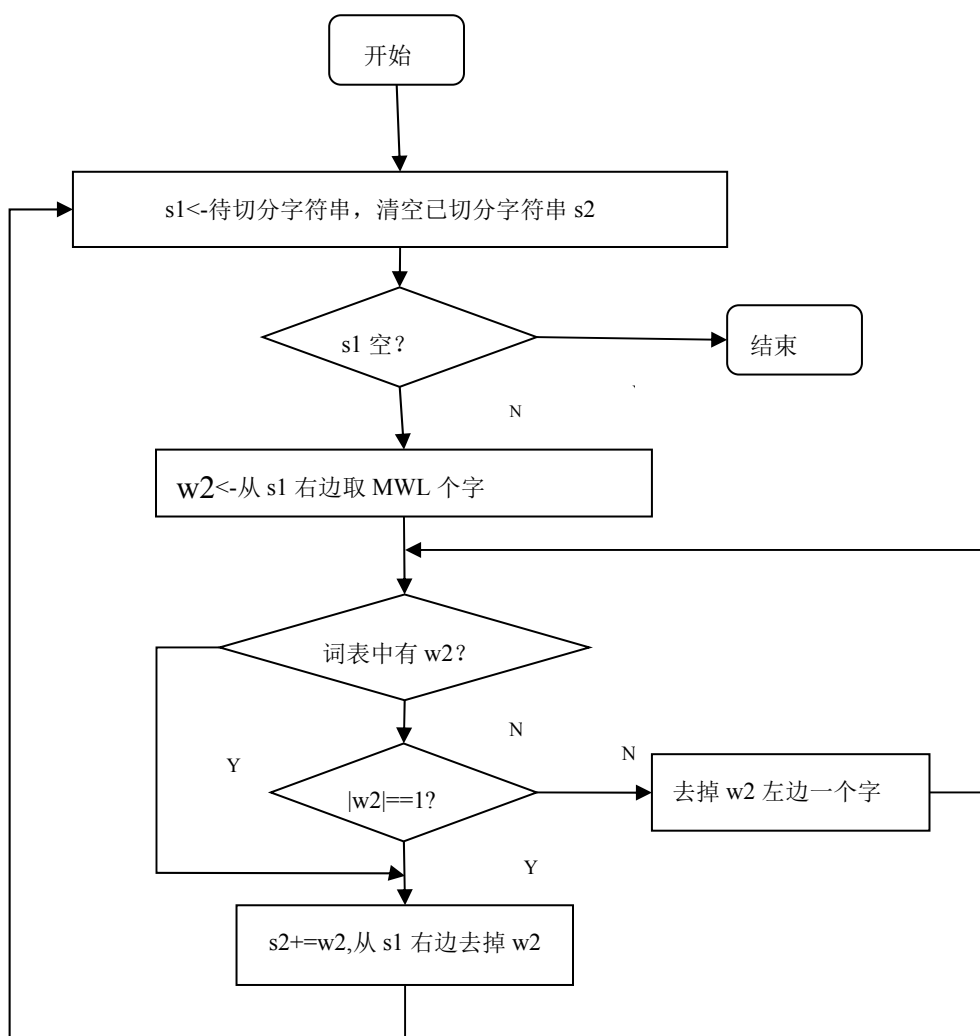


图 3.2 逆向最大匹配算法流程

搜索过程为： s_1 为待切分字符串，最大字长设为 MWL 个字，当 s_1 不是空字符串的，从

字符串右边截取最大字长，设要是截取出来的是 w_2 ，将 w_2 在词典里进行遍历匹配，若证实 w_2 是词库里既定的词汇，则将 w_2 从原来的字符串中分离出来，将原字符串 s_1 右边减去 w_2 ，将截取出的词 w_2 添加到 s_2 中，并对删去了 w_2 的剩余字符串新的 s_1 做相同操作，直到 s_1 为空为止。若 w_2 不是词典中的词，则去掉 s_1 左边一个字，重新进行二分搜索，直到找到匹配此词为止。

同样的句子“去茶几上取水杯”，设定最大字长依然为 4。

切分过程为：上取水杯→取水杯→水杯→茶几上取→几上取→上取→取→去茶几上→茶几上→几上→上→去茶几→茶几→去

切分结果为：去/茶几/上/取/水杯

在本文中选用正向最大匹配算法作为分词方法，使用的词典就是前面提到的专门为机器人自主行为设计的词干知识库，这样分词结果直接输出了与自主行为挂钩的关键词干，摒弃了无关词汇，减少了自然语言解析的难度和复杂度，为后续的工作做了一个基础处理，只要设计合适的逻辑推理知识就可以辨别词汇和自主行为深层的联系，达到自然语言和机器人自主行为有效转换的目的。

3.2.2 逻辑推理知识

文本自然语言是非机构化的信息载体，要使机器人理解文本中的含义，进一步转化成自主行为，必须通过一个合适的渠道将文本信息转换成机器人能够懂的语言，上面一节对自然语言进行了分词预处理，下一步就是将分词结果进行结构化转换，使得其能够与机器人自主行为的关系明朗化。这里提出一种逻辑推理知识将机器人的自主行为和词干知识库的内在关系联系起来，为后续自然语言解析奠定基础。

此逻辑推理知识是专门针对机器人自主行为而设计的，根据行为类别，可以将其分为三类：行为类推理逻辑、辅助环境感知类推理逻辑、扩展语言类推理逻辑，其中对行为类的推理逻辑进行研究是本文的重点，后两种会在后续的研究中更深入研究。如表 3.2 所示，列出了每一类逻辑推理知识可能对应的情况。

1. 行为类推理知识

(1) 直接行为推理知识

直接行为推理知识指的是直接由动作类词干和目标类词干组合的自主行为，是最简单的推理情况，不存在干扰词干，根据逻辑规则直接可以推理出自主行为。

直接行为推理知识从机器人涉及的三种自主行为中获取灵感，即将运动规划行为、目标操作行为和运动控制行为作为主要推理结果。若自然语言字符串经分词处理之后提取出的分词结果分出来的词数为 i ，在这种直接行为推理情况下 i 是 2，设为 A 和 B。如表 3.2 所示，词干属性定义如下，根据此表，可以定义逻辑推理规则分别为：

运动规划类判断规则：

If $A \in \Phi 1, B \in \Phi 2, \lambda a + \lambda b = 0$, And $|\lambda a - \lambda b| = 2$, Then from current path planning and go to position B。

目标操作类判断规则：

If $A \in \Phi 3, B \in \Phi 4, \lambda a + \lambda b = 0$, And $|\lambda a - \lambda b| = 4$, Then it is a target operation behavior, the operational objective is B。

运动控制类判断规则：

If $A \in \Phi 5, B \in \Phi 6, \lambda a + \lambda b = 0$, And $|\lambda a - \lambda b| = 6$, Then it is a motion control behavior。

表 3.2 词干属性表

词干	类别	属性 λ
运动规划词干	$\Phi 1$	1
运动规划目标词干	$\Phi 2$	-1
目标操作词干	$\Phi 3$	2
操作目标词干	$\Phi 4$	-2
运动控制词干	$\Phi 5$	3
运动控制目标词干	$\Phi 6$	-3
目标属性词干	$\Phi 7$	4
目标关系词干	$\Phi 8$	5

如“去到桌子处”经过自动分词结果为“去*桌子”，通过逻辑规则，直接可以将此句话理解为成运动规划行为，指令解析为：goto(桌子的目标位置)；“拿水杯”被识别为目标操作行为，指令解析为：get(水杯的目标序号)；“前进 5 米”分词后是“前*米”，匹配为运动控制行为，通过进一步程序处理，运动控制动作被理解为：go forward(5)，最后这句话直接转换成自主行为执行。

(1)具有目标约束的行为推理知识

具有目标约束的行为推理知识不是单纯的动作词干与目标词干的组合，在自然语言分词结果中带有某些对目标的描述性的词汇，在推理逻辑中，需要考虑此类词干造成的影响，为了消除此类词干对解析结果的影响，设计了针对具有目标约束的行为推理知识。

对于一般的此类自然语言而言，自动分词后词干组成为 $A+B+C$ 形式，其中目标操作类自主行为，词干及顺序链表为“目标操作词干”+“目标属性词干”+“操作目标词干”结构；运动规划行为，词干及顺序链表为“运动规划词干”+“目标属性词干”+“运动规划目标词干”结构；如果目标词干的前一词干属于目标属性词干则将二词干定义成新的词干。然后再利用直接行为推理知识实现语言指令与机器人自主行为之间的匹配，机器人在慎思层的目标知识库中增加新的目标知识，实现目标识别。通过这有代表性的

词干结构可建立推理规则：

If $A \in \Phi 1$, And $\Sigma \lambda i=3$, Then from current path planning and go to position B+C;

If $A \in \Phi 3$, And $\Sigma \lambda i=3$, Then it is a target operation behavior, the operational objective is B+C;

(2)具有目标关系的推理知识

在有些自然语句中，不止是单一的自主行为，有可能涉及到自主行为的组合及先后顺序，也有对目标方位关系的描述，针对此类具有目标关系的推理知识，推理逻辑显得比较复杂，有时得考虑多种情况的融合，单纯的数字关系也会产生歧义，为了更加准确地解析自然语言中自主行为的信息，为具有目标关系的自然语言设计了如下推理知识。

针对两种自主行为的组合有多种表达形式，有一些不同表达的自然语言，最后的解析结果要求是一样的自主行为顺序，这就需要设计多种逻辑推理规则确保解析结果在不同语言表达下的正确性。

目标操作词干+运动规划目标词干+目标关系词干+操作目标词干：模型为 A+B+C+D;

If $A \in \Phi 3$, $B \in \Phi 2$, $C \in \Phi 8$, $D \in \Phi 4$, then first go to position B, location C, then operate D.

运动规划词干+运动规划目标词干+目标关系词干+目标操作词干+操作目标词干：模型为 A+B+C+D+E;

If $A \in \Phi 1$, $B \in \Phi 2$, $C \in \Phi 8$, $D \in \Phi 3$, $E \in \Phi 4$, then first go to position B, location C, then operate E.

这两种表达形式不同，但是解析出来的自主行为顺序相同，如“取茶几上的水杯”和“到茶几上取水杯”语言指令，“茶几”和“水杯”都是目标类词干，但“茶几”是运动规划目标词干，“水杯”是操作目标词干，可以将该语言指令理解为“到茶几，取水杯”，即由运动规划行为和目标操作行为组合而成，形成机器人自主行为序列。

2.辅助环境感知类推理知识

此类推理逻辑知识是为了辅助机器人认识环境及目标特征而设定的，和目标库相对应，涉及到目标识别图像处理的相关知识，需要将自然语言词干属性与抽象化的图像特征对应，能够通过语言帮助机器人将目标库中没有的目标特征添加入库，在下次进行目标识别时能够识别出来，这种学习方式是后续研究需要完成的重点。

通过辅助环境感知词干推理实现，如辅助感知指令“茶几在门左侧3米处”，机器人通过感知词干“在”的检索及相关推理可在环境地图中找到茶几并标示语言属性“茶几”。又如辅助感知指令“圆形的目标是水杯”，机器人通过感知词干“是”的检索及相关推理将水杯的圆形属性丰富到目标知识库。

3.扩展语言类推理知识

自然语言的表达有多种多样，在口语中，有一些相同含义但是对于机器人来说不容易理解的情况，就算在人的理解看来也是要通过经验丰富了才能理解的一些语言，这就需要专门建立等价推理逻辑知识来通过经验扩展逻辑推理规则来适应操作者的语言。

如运动控制词干“前”与“前进”、向前“”、“往前”等自然语言等价，目标操作词干“开门”与“来人了”、“有人敲门”等自然语言等价。使用扩展类推理知识可以使语言解析系统适应不同操作者的不同自然语言表达习惯。

3.2.3 基于词干库的自主学习方法

自然语言指令解析流程如图 4 所示，首先通过自然语言指令字符串与词干知识库的匹配搜索提炼出所有词干，并赋予词干属性和顺序，完成自然语言指令的词干分解，然后通过推理知识库实现词干与机器人基础行为的合理匹配。所以在整个自然语言解析的流程中，一直都有词干库的概念贯穿始终，并且是自然语言解析依靠的重要部分。

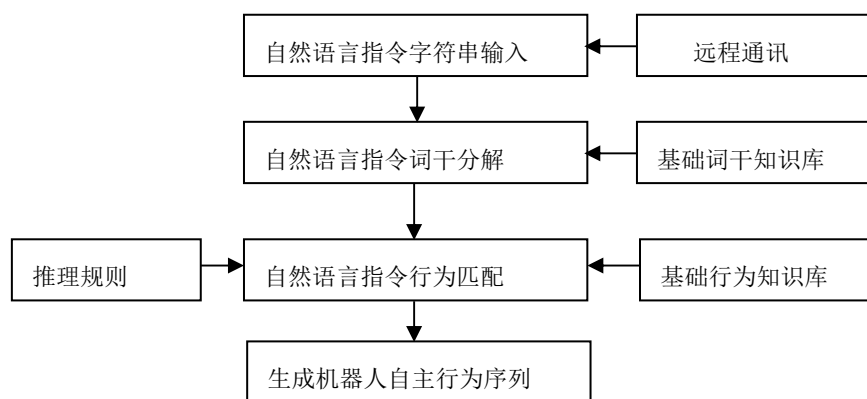


图 3.3 自然语言指令解析流程

图 4 中可知，自然语言解析时刻依靠基础词干知识库、基础行为知识库及逻辑推理规则来保证解析过程顺利进行，所以为了提升机器人对各种自然语言解析的能力，可以通过丰富基础词干库、基础行为库、推理知识库、具有语言属性的目标知识库和环境地图来实现。

前面设计的基本词干库中基本字段有词干 ID、词干名、词干属性、行为动作、栅格地图序号，在人机交互界面上设计各字段与词干库的接口，可以在一次次实验中丰富经验，自主行为的不断丰富意味着可以通过增加字段来丰富词干库来表现，这样也达到扩大丰富词干库的目的。如基础行为能力的增强可以通过丰富各字段的种类可以达到丰富自主行为的目的。扩展语言类推理知识可以通过不断练习丰富等价推理逻辑知识，加强机器人对自然语言习惯的适应能力。基础行为能力学习可通过丰富具有语言属性的目标知识库和环境地图实现。另外推理逻辑规则的丰富和深入也能够使得可以解析的自主行为更加多种多样并且准确性提升。

此外，在后续的研究中预计可以建立组合行为库和组合词干库，能够简化操作者的自然语言指令形式，如让机器人接一杯水，人-机合作初期，需要详细的指令，“取桌子上的红色水杯”、“到门左侧 3 米处”、“净水器出水口识别与定位”、“将杯子放在出水口下方”、“按出水键”、“将水杯放回桌子上”等一系列指令，详细程度取决于先验知识，经过反复训练和学习后，目标是只需“倒杯水”指令即可，即通过学习，由基础行为建立组合行为，丰富行为知识库和词干知识库。

3.3 本章小结

本章主要针对自然语言交互技术明确了自然语言解析流程，针对自然语言解析所需首先，设计了词干知识库及其相关自然语言属性，并选用了合适的分词算法对自然语言进行预处理；其次，设计了用于不同表达情况下自然语言解析的逻辑推理规则；最后，基于自然语言解析流程与词干知识库的密切联系设计了机器人自主学习的方法。本章完成的工作是本文研究中比较重要的一部分，就此部分为人机交互自然语言接口设计了一个顺畅的转换模型，为后续部分的研究打好了基础。

第 4 章 自然语言语义地图

移动机器人在对自身位置进行了确切定位之后才能进行自动导航行为,在此基础上对周边环境状态进行探索完成任务。也就是说机器人必须知道自身位姿才能做出正确的导航规划行为,然而定位与环境地图密切相关。在本文中针对自然语言的人机交互方式,需要的环境地图应当是带有自然语言属性的,即语义地图,这种语义地图能够由自然语言描述并且机器人能够通过解析语义定位目标位置,在选用合适的路径规划技术下,能够通过自然语言完成机器人导航规划行为。

4.1 环境地图概况

4.1.1 环境地图种类

环境地图作为移动机器人所处环境中外界物品的状态表达媒介,机器人对所处环境进行判断做出行为决策必须依赖于环境地图的可知性,环境地图建立的合适与否是移动机器人定位准确性及其他智能规划行为的基础,影响着其他研究工作的进行。目前环境状态都用图的形式进行表达,环境地图有多种表达方式,在低维度空间中比较典型的有栅格地图、几何特征地图、拓扑地图^[48],每一种地图都有不同的特征,用于机器人导航有不同的优点。

1. 栅格地图

栅格地图^[49]是指将环境大小比例化分割为若干个均匀大小方形格组成的地图。对于二维的栅格地图,环境地图被均匀划分为单元栅格,每个栅格通过赋予 0 值或 1 值来表示此处的状态,如图 4.1 即给有障碍物占据的格子赋值为 1,反之赋值为 0。通过这种表示方法可以根据图中明暗方格的占据位置来推算出障碍物的分布概率,从而明确周边环境的大致分布状况,在下一步处理运算时能够派上用场,该方法可以在有精确距离信息的情况下进一步扩展为实时最大似然估计法以及其他离线方法。针对障碍物分布情况的划分精度不同分为两种情况,其中确切分解是将环境空间分割成若干个不重叠的小版块,每个版块与原来空间保持相同的精确度不变。栅格地图是在原环境空间大小规模的映射下建立的拟原空间外形大小的图形表达,所以这样的创建方式在较为容易,更改更为便利,在现在的研究工作中一直都是比较受欢迎的地图建立方法。该方法的缺点在于随着栅格数目的增加、环境的规模及划分加细致时会导致地图所占内存增大,最终使得计算机处理地图信息的难度攀升。

2. 几何特征地图

几何特征地图对四周环境状态进行观察根据四周环境物的几何特性对环境进行描

述，以此建立这样的一张地图^[50]。所以几何特征地图是立足于用环境几何特征的基础形状来表示的。几何特征地图一般对如线段、角点、目标边缘等可以描绘及参数化的对象进行建模，这些表达形式由于其特征的明显性易于被观测，在定位及识别中能够起到很好地作用，所以被存储在地图中用于估计环境特征。在建立这种估算模型时，都采用相对观测取得特征估计值的形式来确定机器人在环境中的位置，由于估计值的相对准确性，与地图信息相对应提取出的观测信息也是相对准确的。如果当前环境具有强结构化特性，往往对此特性进行几何描述用相似的形状来表达现在的环境空间。一般机器人在室内环境中都能够接触到大量有结构化特性的物品，易于建立这样的几何地图，可以通过存储的大量特征数据对路标点进行参数化描述，在机器人导航和轨迹规划中这样的数据性信息能够起到很好地作用，能够方便有效地对现在所处位置进行估算，并且对目标进行识别。

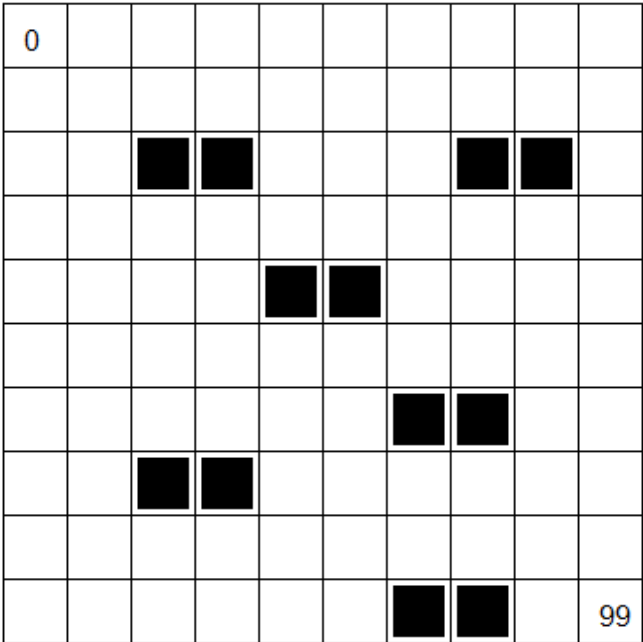


图 4.1 栅格地图

3. 拓扑地图

拓扑地图需要分析环境中的一些突出点对环境中进行结构描述来表达当前环境的连通性^[51]。在环境中提取的突出点包括如拐角、门、电梯等，还需要一些边如过道、走廊来表达点之间的关系，并且可以将这些点用连接线连接成一种拓扑结构。拓扑地图不止可以有效地运用于路径规划，而且在结构化的室内环境下非常适用于对环境的表示，然而如果是在非结构化的室内环境下，由于地点识别存在极大的复杂性使得定位信息不准确，所以不适用于定位。这种地图表达方式既有缺陷也有优势。其中缺陷在于如何对拓扑中节点进行定义在环境相似或者复杂的情况下容易造成歧义，难以建立地图模型。

定义拓扑节点分为人为预定节点标志、特定位置法、传感器测量值相似的区域三种方式。

上述三种地图都是常见的环境地图模型，其中在表达复杂环境时，栅格地图与几何特征地图不能够描述出环境的特征，只适用于描述低维度的简单环境。拓扑地图可用于描述复杂环境特征，可以表现出环境的连通特性及其他特征，但是由于拓扑地图的分辨率影响了环境特征的复杂性，节点的离散使得无法识别出局部环境特征，在机器人路径规划及导航中，易产生不能识别出局部环境的后果。所以使用哪种地图需要取决于当时的环境情况及需要完成的任务，使用合适的地图对机器人导航与路径规划而言能起到事半功倍的作用。

4.1.2 基于词干库的语义地图

环境地图是描述环境关系的载体，所以环境地图中的环境空间关系需要通过参照物进行描述，环境地图在机器人路径规划及导航中起到重要的作用。语义地图是用于人机交互的地图模型，在国内外的相关研究中，将语义地图模型与语言学、语法、语义等生涩的理论研究结合起来，常常着重于词法意义的理论，从定义上讲，语义地图就是将语言中阐释词法语义的模型与地图信息交融合一。

将自然语言作为人机信息交互的接口需要完成两种不同表达形式信息润滑转换的模型建立，对于移动机器人的行为控制来说，导航定位及路径规划是其完成各种自主智能行为的基础，而环境地图是机器人导航定位行为及路径预测必须依靠的基准。所以考虑设计带有自然语言属性的语义地图来实现基于自然语言的人机交互技要求，这就需要分析地图中环境信息与自然语言间的内在联系，使用合适的地图是完成机器人任务的关键。

由于本文的研究重点在于使得操作者能够使用自然语言帮助机器人完成自主行为，那么必须让机器人能够理解由自然语言描述的地图信息。所以将需要的语义地图设定为是针对机器人自主行为的，摒弃复杂生涩的语义词素，要求有目标性地完成将自然语言描述的目标，即参照物标示在地图上，使其具有自然语言属性。当操作者通过自然语言进行发号施令时，移动机器人能够在语义地图中迅速定位到相应的目标，完成路径规划等工作，这就需要自然语言与地图信息的有机融合，需要找到一个合适的接口方式将语言属性纳入环境地图的描述中来。

考虑到拓扑地图实现的复杂性及几何特征地图的约束性，选用栅格地图作为本文研究中使用的环境地图，栅格地图中每个栅格中心对应的坐标为 (x,y) ，在算法计算中为了计算方便对坐标进行直角转换后的序号为 N ，将栅格图设为 10×10 的规模，坐标可做如下变换：

$$N = x + 10y \quad (4-1)$$

栅格序号到栅格坐标的直角反变换如下：

$$x = N \% 10 \quad (4-2)$$

$$y = \text{int}(N / 10) \quad (4-3)$$

变换后的栅格图序号用 1,2,...,99 来表示，在上一章设计的词干知识库中有一个字段是专门为路径规划准备的，就是栅格图序号，简称为序号。环境信息以栅格图的形式表现，目标物体在环境中的坐标位置转换成序号存储在词干知识库中，当自然语言解析时，输出对应的自主行为序列的同时，将路径规划的目标映射到环境地图上，在栅格地图上能够完成路径规划，自动将栅格地图中各节点序号相连的结果就是最优路径。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

图 4.2 栅格序号

为了增强机器人对环境目标位置变化的适应度，栅格序号存储在词干知识库中，当环境中目标位置发生改变时，可以实时更新词干知识库中目标的位置使得机器人再次进行导航定位及路径规划时能够迅速适应已经变化的环境。在现实环境的实现上来说，需要进一步开发目标识别的智能能力，当目标识别的智能完善的基础上，将目标识别的图像特征与词干库目标的语言属性联系起来，以保证在现实环境中进行路径规划实验时，可以实时更新目标特征，使目标知识库与词干知识库联系起来，当目标特征改变时依然可以识别出目标的属性，增强机器人的自主学习性后依然可以完成定位行为。

4.2 路径规划技术

4.2.1 路径规划概述

路径规划技术在移动机器人所涉及到的所有相关技术占有一个比较重要的地位，是机器人自主行为中一个研究成果颇为丰富的分支。在工作空间中，机器人依照某种准则，通过可行算法规划出一条最优或者次优无碰撞路径。如图 4.3 所示，路径规划的定义表

示可以从图中得知。在移动机器人的智能化自主行为中，导航、定位、路径规划是其自主行为的重点工作，为其他行为起到打基础的工作，定位技术的好坏影响了导航及路径规划的成功与否，机器人只要在能明确知道自身坐标的情况下才能进行各种导航行为，路径规划才有明确的坐标点。与此同时，在预测的路径的指导下，机器人才有前进的路线及目标，才可以完成避障条件下的自主导航。

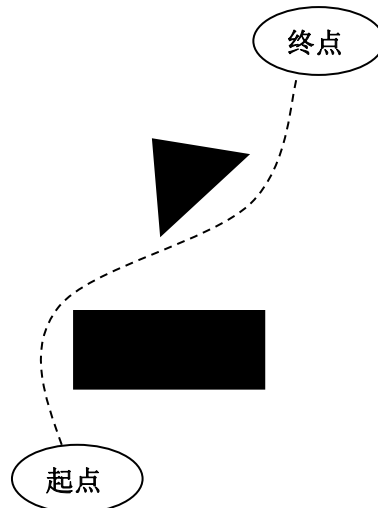


图 4.3 路径规划定义图

目前，路径规划的方法能够通过许多方面来分类。按环境被得知的多少进行划分，包括环境完全已知、部分已知、完全未知的路径规划；按层次关系划分，有全局路径规划及局部路径规划；通过离线及在线区分，能够被区分成离线和在线路径规划；按照路径规划的智能化程度，也可以被分为智能路径规划和传统路径规划；根据对四周情况掌握程度还可以区别为基于环境先验信息的全局路径规划、基于传感器的环境未知信息的局部路径规划及基于行为的路径规划。

其中，全局路径规划属于静态规划，是在获知四周环境状态的情况下，利用这些信息勾画出大致地图，可以生成一些节点当成规划中的路径连接点。而局部路径规划是动态规划，则是不需要整体环境信息，只要知道机器人附近障碍物信息情况下就可以做的规划路径。基于行为的路径规划方法借鉴了一种类似进化过程中的原理，移动机器人各部分工作任务进行行分解，作为基本单元拥有各自的感知器、执行器，结合在一起构成统一的机制，彼此协调着配合着工作。在工作时，系统根据要完成的任务的优先顺序来做出相应的反应。这样模式的系统结构得益于各个单元功效简便的优势，各个部分都能够利用单独的传感装置在对获取的数据进行处理中取得较为良好的运行效果，并且在实际工作环境中机器人不同行为对应不同的目标。

4.2.2 传统路径规划方法

在以往的众多文献中可以发现传统路径规划方法的身影，主要包括以下类型：人工

势场法、基于几何特征的路径规划、基于栅格图的路径规划等^[52]。

(1)人工势场法定义

人工势场法是假设机器人在环境中相当于处于一个受力场中既会受到目标物对其产生的引力，又会受到障碍物对其产生的斥力，两种力在空间中得到一个综合产生一个合力，机器人通过合力的方向及大小来判断前进方向和运行轨迹。在人工势场中为了方便分析合力设计了斥力势函数及引力势函数的概念，统称为势场函数，机器人在势场力的作用下理应向着设置的目标物位置前进。在势场中，机器人的受力分析图如 4.4 所示，目标物在右上角标示为 M，正左方是障碍物 N，障碍物 N 对机器人 R 产生一个斥力，并且满足距离大小与斥力大小成正比的规律，即 R 与 N 距离越小获得的势能反而越大。

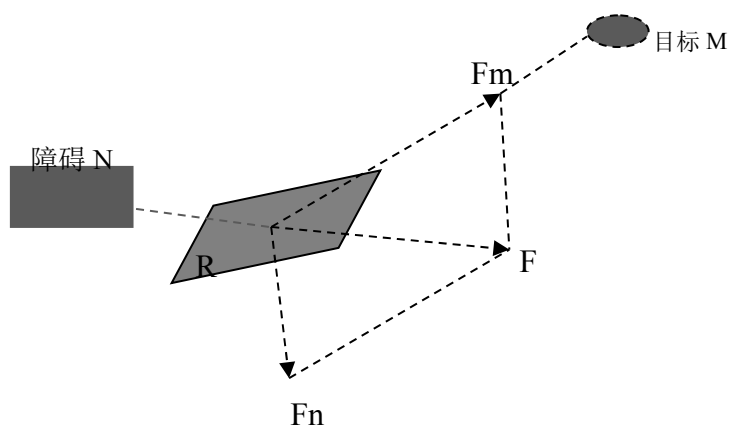


图 4.4 人工势场法受力分析

传统的人工势场法在缺少全局信息的情况下，会出现局部极值使其在达到终点前出现问题导致运行装置直接卡死，这也是这种方法容易出现的致命缺陷，但是可以通过优化算法得到进一步性能改善。

(2)基于几何法的路径规划

在基于几何法的路径规划中往往采用可视图法和环境分割法作为对环境处理的方法。这种方法通过整合四周环境中突出的几何特性并将其空间位姿转移到图中，将空间求解直接变为另一种形式表达的图形搜索求解，这种方法往往可以有效地在多边形障碍物环境中得到良好使用并且能够得出各情况下的最短路线。基本执行过程是，先整合空间中的多边形障碍物，提取它们比较显眼的节点来构造出一个可视图，将起点和目标点也同等视为这样特性的节点，运用合适的路径规划算法能够预测出这样的一条从预定起点到终点的可行路径。基于几何法的路径规划方法运用环境分割方法来实现图搜索完成路径规划，这种图形构造需要在预先定义的形状上构造基本自由空间，并且将这些基本单元构造成基本连通图，最终得到的路径有时会因为障碍物与机器人距离太远而太过于曲折，不易行走。

(3) 基于栅格法的路径规划

基于栅格法的路径规划要求将环境设置为大小均匀的栅格，在栅格图中用黑色实心来表示有障碍物的环境，而白色的栅格代表无障碍的环境，黑色栅格在栅格图中占的位置就是现实环境中障碍物所处的位置。不管用何种方法表示环境信息并且得到较高的求解效率，为了使得环境信息存放方便，需要把环境信息转换成好存储的形式。在栅格图环境中，每一个栅格可以代表一个状态，其中有障碍物的栅格表示成 \blacksquare ，无障碍物的栅格表示成 \square 。按栅格图中的信息来判断移动机器人与障碍物的距离，并且用于路径规划，将栅格图中表明的信息映射到现实环境空间，可以得出环境信息与机器人运动状态的关系，可以规划出在此环境下的可行路径。

4.2.3 智能路径规划方法

除了传统的路径规划在这些年来受到了广泛使用之外，一些智能算法也在逐渐成熟并运用其中。在这些智能方法中被研究的较多的是基于模糊逻辑算法的路径规划、基于神经网络的路径规划和基于遗传算法的路径规划^[52]等。

(1) 模糊逻辑方法

智能方法中使用的模糊逻辑在局部规划中十分常用，可以通过建模实现实时运算。基于模糊规则的路径规划，可以在运动控制中将各物体的运动状态用一种模糊规则来表示，这种模糊逻辑规则在二维空间中表达为隶属度函数。将机器人运动中当前位置状态、速度大小、方向信息及障碍物位置通过模糊规则定义，并且通过模糊逻辑推理更多机器人空间状态，最后通过模糊综合评价对机器人模糊规则控制下的路径规划作出评价。

(2) 基于神经网络的路径规划

这种方法的灵感来自于自然界中生物可以同时处理多方面信息的能力，这种算法采用和生物神经系统相似的处理方式对路径进行推测。生物的神经系统将生物信息分布式存储，使得自身拥有自组织性及层次性，使用大数据同时处理多种信息的方式，增加运行速率及效率。由于神经网络拥有的多层结构，在信息处理中能够大大增强信息运算效率。在首先处理周围环境信息时，将周边障碍直接定义为是矩形通过设定合适的函数来定性其具体的方位及其他信息，然后通过识别地图中的某个点是否是在障碍范围内来确定是否根据障碍物位置来选取不同处理方式，使得路径可以简单快捷的生成为避碰的折线路径。

(3) 基于蚁群算法的路径规划

路径规划中用到的蚁群算法的思路来源于模拟蚂蚁的自然觅食过程，这种算法可以用来寻找环境地图中的优化路径。如图 4.5 所示，举例表达此算法的原理。假定蚂蚁巢穴用字母 A 来表示，其中存在 F 是需要获取的食物，环境中的障碍物是 E 和 C，蚂蚁

需要在避开全部障碍的情况下到达 F，完成觅食。设单位时间内有三十只蚂蚁由 A→B，另外三十只从 F→D。设蚂蚁在走过这些路会产生的信息素是 1，可以保留时限是 1。从初始 T0 时刻开始，由于在 BE，BC，DE，DC 上都没有留下信息素，所以这时候在 B 和 D 位置上的蚂蚁可以以相同概率随机地选择想要前进的路线，可以走线路 BCD 或者 BED 到达目的地，最终在算法指导下得到最短的线路。可以得知，蚂蚁之间进行信息交换的规则拥有强正反馈性，所以算法能使路径规划得到最优解。该算法使得其运算效率大大提升，但是也花费更多的时间在输出路径最优解上。有好处也有坏处，但是这种算法在路径规划中的运用已经是非常广泛的了。

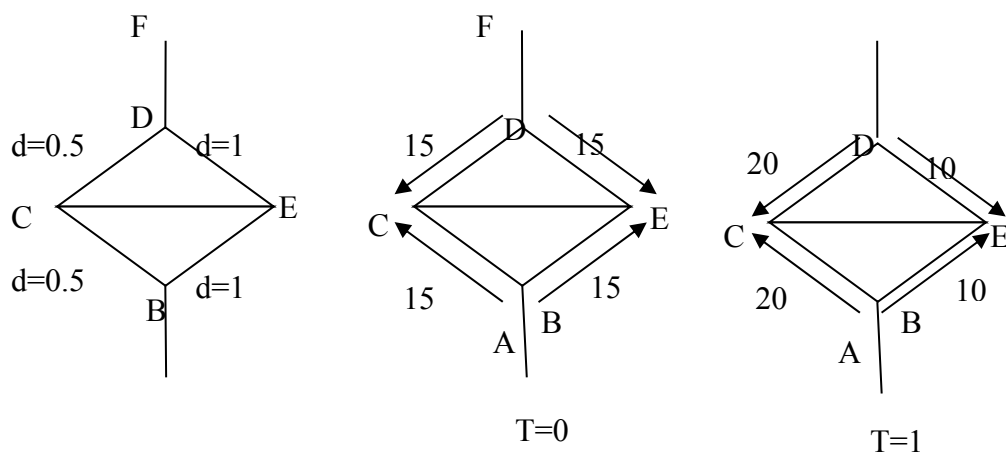


图 4.5 蚁群算法原理图

(4) 基于遗传算法的路径规划

遗传算法模拟生物遗传机制，以生物自然选择进化机制为基础，利用生物化选择、交叉、变异等方式完成遗传算法计算，从运算方式分析可知这种遗传算法受益于物种进化并且从中提取出可以描述的过程用数字逻辑的方法来表现出来。遗传算法要求适应度函数为正，对于可导性和连续性没有特别要求，并且作为并行算法适用于全局搜索。遗传算法近年来应用于移动机器人路径规划的研究中主要运用以下思想，即将机器人的路径规划问题转化成个体路径节点的编码路径连接。在这种方法的运算中，主要在随机产生了一个初始化路径群体后，进行选择、交叉、复制、变异等运算，在多次这样的遗传操作之后能够得到一些有竞争优势的后代，然后转换成一条优化可行路径。

4.3 遗传算法

4.3.1 遗传算法概述

遗传算法(GA)是一种受生物进化启发的学习方法用于优化搜索空间，具备一定的强计算性及鲁棒性。遗传算法遵循的基本原理就是首先以一定概率产生一个初始种群集合，按照一定的如选择、复制、交叉、变异等运算规则，仿照物种在进化时遇到的情况，

产生的新解迭代成最新的后代集合，继续根据后代个体的适应度函数，按照搜索方式向最优解逼近的原理，完成优胜劣汰的生物演化过程，一步步逼近最优解，最终能够得到一个能够称之为最优解或次最优解的结果^[52]。

这种算法借鉴了许多生物学进化遗传的理论，所以遗传算法中也包含许多生物学概念，如染色体、遗传因子、个体、种群、种群大小、适应度、遗传子型、进化、交叉、变异等。其中在生物结构中有承载着代代相传的遗传因子的染色体，遗传因子就是基因，表征个体的特征；个体是染色体上存在遗传特征的物种；种群是拥有某种共同特性的个体的团体；这种个体集合的总数被叫做种群大小；适应度表明的是一个个体对环境的适应程度，当一个物种对环境的适应度较高时比较容易能够生存下来，反之容易灭绝，这就是适应度准则的内容；生物的选择是通过用适应度来判断进化进程，即以一定概率从种群中留下和淘汰个别个体；交叉过程指的是将两个个体的基因通过交换再次合并的过程；变异操作是指遗传因子存在些许概率会出现突变。

遗传算法流程图如图 4.5 所示，遗传算法的基本运算步骤如下：

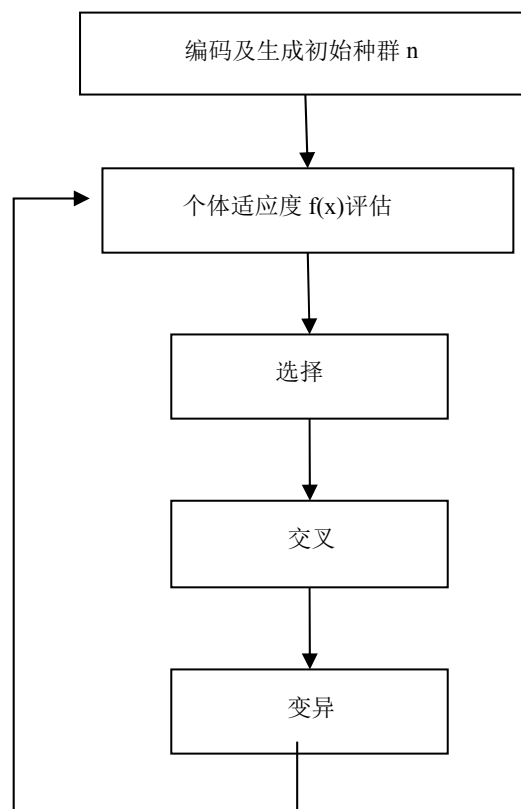


图 4.5 遗传算法基本流程图

1. 首先随机生成一个有 n 个个体的初始种群 P_0 ;
2. 根据设定的合适的适应度函数 $f(x)$ ，分别计算出各个个体的适应度;
3. 判断现在是否满足算法终止条件，若现在满足则转到 8;

- 4.根据适应度函数 $f(x)$ 执行选择操作；
- 5.设定此次操作的遗传交叉频率是 P_c ，对现有种群执行交叉操作；
- 6.设定此次操作的遗传变异频率是 P_m ，对现有种群执行变异操作；
- 7.当进行了遗传操作之后已经得到 n 个个体即可以构成新一代种群，直接转到 2，否则继续 4。
- 8.输出遗传操作结果，终止算法运算。

4.3.2 基于遗传算法的路径规划

本文将遗传算法的原理运用于路径规划中来解决对前进路线进行预测判断，在上一节中提到本文研究中选用的环境地图是栅格语义地图，规定将机器人本体大小忽略直接看做是一个质点，在忽略不计障碍物高度问题的情况下，可以将工作环境直接视为二维平面环境，约定如果两个障碍物间距离小于移动机器人宽度则将其视为一个障碍物来处理^[53]。

基于遗传算法的路径规划方法在使用栅格语义地图的基础上，就是将复杂问题求解过程转变成对环境空间中有效路线的求取，对求得的可行路线使用给每个路径节点进行标记的方法，即采用路径点的栅格图标记法，将可行的栅格序号一一连接起来，并且排除掉与障碍物序号相同的栅格序号和重复标记的栅格序号。如图 4.6 所示，这是一条栅格序号标记的路径，表示形式如 $[0,13,44,56,99]$ ，其中起点序号是 0，终点序号为 99，它对应的染色体也是由这些序号组成的，如图 4.7。

针对遗传算法所需要的特征值，可以分为以下几类，对每一类做以下研究。

1.初始化种群

由遗传算法的基本步骤要求可知，遗传算法运算中首先需要随机产生初始种群，设将环境栅格化之后，栅格总数是 n ，种群中个体总数用 M 表示。设 $X_i, i \in \{1,2,\dots,M\}$ ，用 X_i 表示初始种群中第 i 条染色体。种群中个体中的每一条能够用一个 m 维的行向量来表达的染色体上都有 m 个遗传因子^[53]。设在求取路径时，将求取解的起点在栅格图上用序号标记为 N_0 ，终点为 N_{n-1} 。

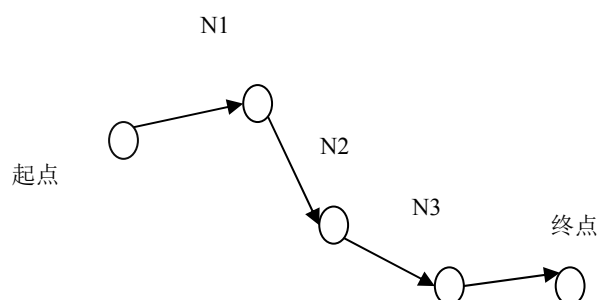


图 4.6 栅格序号表示的路径

随机生成初始种群的操作步骤具体如下：

首先设定所需的初始种群规模为 M ，然后规定此次计算的栅格图起始点序号和终止点序号。在路径规划中的每条路径的连接集合就是整条路径，其中每一条路径就是染色体上的一个个体，所以，将此次计算的起始点序号看为染色体上的首个遗传因子，将规划的终止点目标看做为最终的遗传因子，通过这样的设定方法将搜索空间问题的复杂度降低，经过遗传算法运算之后逼近最优解，得到 M 个从起始位置点 N_0 至终止位置点 N_{n-1} 的一连串连接点。

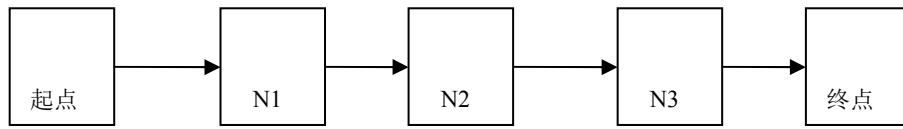


图 4.7 染色体图示

2. 适应度函数

用 $f(x)$ 来表示这种函数定义了候选假设式排序准则，决定个体被下一代个体遗传的概率， $f(x)$ 的表达方式对遗传算法在问题中的计算效率有着影响。在本文中将 $f(x)$ 设定为路线长短值的倒数，所以路线长短值和适应度成反比关系。因此路线长度 d 越小，适应值 $f(x)$ 反而更大的特性使得适应度越大的物种不容易被淘汰。根据以上分析，在研究中选择的适应度函数采用目标函数的倒数，如下式所示：

$$f(x) = 1 / ((1 + 1 / \sqrt{n-1})d) \quad (4-4)$$

其中 n 是该路线中所需要包含的栅格的数量， d 是相邻序号间的距离。由上述公式 (4-4) 可得知， $f(x)$ 与 d 成正比例关系。路径长度 d 是起点序号与目标终点序号间所有中间序号节点连接的路径总和，可以表达为如下式所示：

$$d = \sum_{i=1}^{n-1} d(p_i, p_{i+1}) = \sum_{i=1}^{n-1} \|p_i, p_{i+1}\| \quad (4-5)$$

3. 选择算子

一般在这种遗传操作中按照一定的概率，根据计算现有群体中的各个个体的适应值大小，将比较优秀的基因向下一代进行复制。一般采用轮盘法实现，轮盘法的具体操作步骤如下所示：

- (1) 根据上面设定的适应度函数 $f(x)$ 计算现有群体中每个的适应度大小，设积累值为 q_i ，并且最后一个累计值为 q_n ，累计区间是 $[0, q_n]$ 。
- (2) 在此累计值范围内生成平均自由分散的随机数 Q ；
- (3) 用区间内的 q_i 与数字 Q 的大小对比，出现首个 q_i 大于或等于 Q 的情况出现时，

将其作为需要遗传到下一代的情况；

(4)重复(2)和(3)步骤内容，直到达到所需的个体总数为止。

流程图如下：

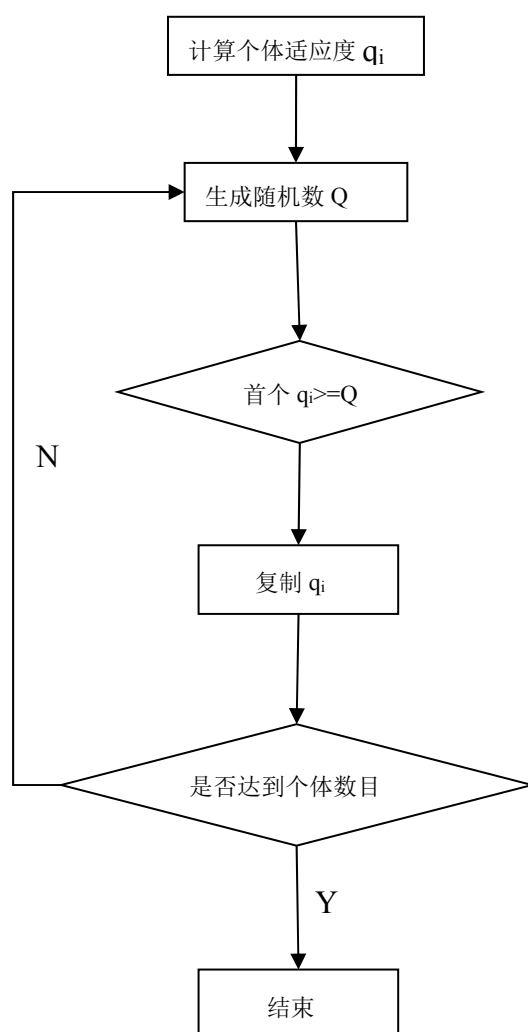


图 4.8 轮盘法流程

上述的轮盘法借鉴了自然界中物竞天择适者生存的生存法规，在自然选择后增加了物种基因多丰富性，更加能够产生在不同自然环境下都能生存的物种，选择运算就是这样的一个原理，将一个群体中经过进化后产生的新的物种中适应度较小的用上一代中适应度大的个体来进行替换，以此可以局部加强个体对环境变化的适应性，求解出的路径解更接近最优解。

4.交叉算子

在这种类型运算中，设定单一交叉点对基因进行操作，即采取随机的方式在现有的基因序列中唯一设定单一点并在这个点处完成交叉操作。设交叉频率是 P_1 ，种群大小是 m ，其中交换的个体数是 P_2 。存在如下关系：

$$P_2 = m \times P_1 \quad (4-6)$$

交叉运算的流程为：在现在存在的种群中执行重合点交叉操作，以一个概率选择一对个体，并且对其中一个相同的栅格图序号的点进行交叉，在交叉操作中应该确保在经过交叉操作产生的子代中应当没有相同的序号。如果有重复的序号，则直接删除个体重合的部分，最后保证交叉操作完成。具体流程如下图所示。

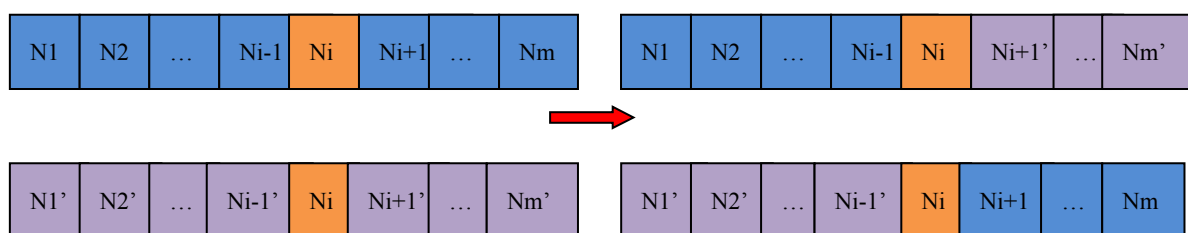


图 4.9 交叉运算

5.变异算子

模拟生物进化中增加种群中物种的多样性引入了变异操作，通过随机改变染色体上的某些基因来引入新个体，操作时选取一个小概率对遗传因子进行随机改变，增加了遗传因子组合种类的多样性，在遗传算法运算后能够更加有可能得出最优解。变异频率 P_3 最小为 0.001，最大为 0.4，选取变异频率时采用随机的方式。具体方法体现在：在变异操作中，使得基因按频率 P_3 从初始种群中选出 $M \times P_3$ 个染色体，并且在每一条染色体中，不按规定地抽取出两个不连续遗传因子，并将染色体上的两个遗传因子作为起始点和终点，并且遵循路径最短原理和路径序号不重复原理的基础上，使得重新形成的个体可以代替种群中适应值最差的 $M \times P_3$ 个个体，达到优化遗传后代的目的，过程如下图 4.10。

- 移动机器人在静态环境中的路径规划基本步骤如下所示，可以由流程图 4.11 表示：
- I. 首先对环境进行建模，划分为由均匀分布的栅格组成的栅格图。
 - II. 将所有栅格的直角坐标系转换成序号标记模式。
 - III. 在栅格图中设定障碍栅格，设定为黑色栅格，栅格值为 1，标记机器人起点和终点栅格序号。
 - IV. 随机产生种群规模为 M 的原始种群。
 - V. 运用遗传算法在栅格图中优化生成搜索路径，得到最优路径。

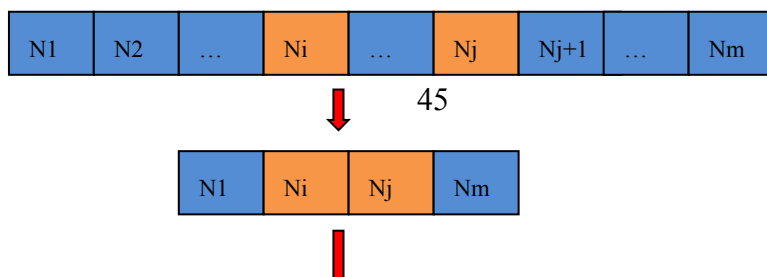


图 4.10 变异运算

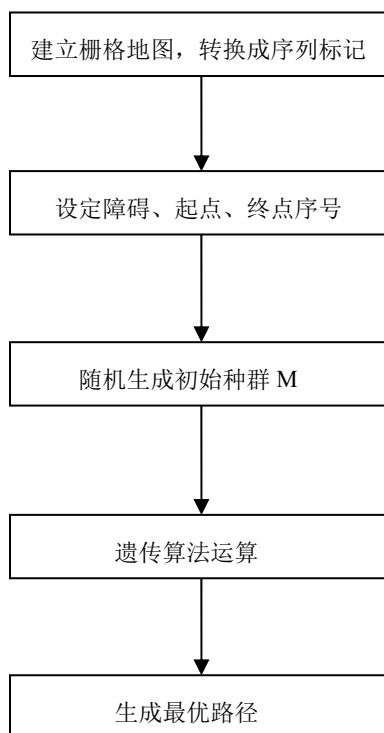


图 4.11 静态环境路径规划流程

4.4 本章小结

本章主要介绍了移动机器人路径规划中环境地图的种类，选用栅格地图结合词干知识库，设计了针对自然语言交互技术的语义地图。然后介绍了现如今典型移动机器人路径规划方法的种类及基本方法，将遗传算法用在本文实验中作为路径规划算法。然后概述了遗传算法的定义及实现的基础流程，设计了基于词干库的遗传算法来用于移动机器人的路径规划，使得用自然语言的人机交互方式能够完成机器人的路径规划，为下章路径规划仿真打好基础。

第 5 章 实验研究与分析

本文中使用的实验平台是在实验室现有的履带式移动机器人基础上搭建的，主要由履带式驱动系统和自主移动机器人机构底座构成。在 VC++6.0 平台上实现移动机器人的语言解析及自主行为序列分解，并且完成路径规划仿真实验。

5.1 履带式移动机器人实验平台

5.1.1 移动机器人整体结构

本实验是在实验室履带式移动机器人基础上完成的人机交互系统的开发，其基本结构是履带传动式的机器人系统，装置底层的履齿由于其特殊结构比较容易在地面上前行，不容易遇到滑齿等现象。实验室机器人是一种履带驱动式的室内智能移动机器人，性能参数如表 5.1，在装置的顶端配合一对双目全景摄像头传输环境景象，使用 CamerLink 采集卡对现场环境的全景图像进行截取并传输到 PC 机上显示出来。

表 5.1 机器人性能表

性能类别	参数类别	技术参数
基本性能	传动方式	履带式
	型号	REVV-B32
	长	0.88m
	宽	0.564m
	高	0.538m
	重量	100kg
	充电方式	铅酸蓄电池
运动性能	速度范围	0.01-0.7m/s
控制系统性能	CPU	主频 2.6GHZ 内存 2G 奔腾系列
软件环境	总线结构	开放式
	硬盘大小	16G
	操作系统	Windows
	开发工具	VC++6.0、OpenCV
图像性能	视频采集卡	CamerLink
	图像分辨率	2048×2048

履带式的传动系统和机器人底座构成了移动机器人的主要结构，整个系统靠直流伺服电机来驱动，配合高性能多轴运动控制器完成机器人运动控制传动。由表中信息表明，移动机器人的基本形状如图 5.1 所示，在机器人顶端安装有双目全景摄像头的移动机器人外形如图 5.2 所示。机器人的长宽高分别是 88 厘米、56.4 厘米、53.8 厘米，重达 100Kg。整体控制系统的主频为 2.6GHz，内存为 2G，装有 16G 的扩展硬盘，总线结构采用开放式的 PC 总线结构，使用的内装操作系统为 windowsXp，配合了一般所需的 USB 接口及外接视频接口，所以在全景图像的传输中可以通过此接口完成视频显示处理，编程实现也更加方便在线调试。机器人的最小速度为 0.01m/s，允许的最大速度 0.7m/s。机器人充一次电可以使用四个小时，靠铅酸蓄电池供电运行。



图 5.1 移动机器人基本形状



图 5.2 有全景镜头的移动机器人

将 CamerLink 采集卡内置在实验平台的控制主板上，利用其来对实验环境情况进行视频采集，最初图像的原始分辨率为 2048×2048。机器人的内部安装了 PC 机，在远程控制端就可以和机器人连接，并且将机器人端的全景图像传输到控制端的目的，并且

程序调试也能够方便地在机器人内部 PC 机上直接调试运行。此人机交互系统的开发中主要开发软件有 VC++6.0、Access 数据库、OpenCV 视觉库软件等。

5.1.2 全景视觉系统

全景视觉系统选用由摄像机、折反射镜、支撑结构及数据采集卡组成，在系统中采用双曲面折反射镜来实现成像，双曲面折反射镜能够将不同位置和方向的入射光聚合到一点，便于实现单点成像，在成像面一次完成水平 360°、垂直大于 180° 的视场范围。摄像机的初始分辨率是 2048×2048，这种较高分辨率的相机的成像清晰度可以人工进行调节。全景视觉系统被安装在移动机器人顶端，单独的全景视觉系统如图 5.3 所示。



图 5.3 全景系统

全景视觉系统中的图像采集卡使用的是由 DALSA 公司生产的 X64-CLiProLite 系列采集卡，全景图像的最高传输速率是 528MB/s。可以其次采用 SoperaLT 在 VC++6.0 平台上结合 OpenCV 视觉开源库进行程序编写，SoperaLT 是一款集图像采集、显示、控制为一体的 C/C++ 软件库。在 VC++6.0 平台上主要完成图像信息的处理，实现全景图像的传输、显示及清晰度调整等，使得全景图像能够及时地传送到远程监控界面中，操作者能够时刻地观察到实验现场的情况。

5.2 语义解析实验

在本文中主要针对机器人的三种自主行为做了语义解析实验，要求人-机交互系统能够将自然语言指令解析成自主行为的序列，明确行为顺序，主要将语义解析实验分为以下几种类型：

1. 单个自主行为的语义解析实验
2. 两个自主行为结合的语义解析实验
3. 三个自主行为结合的语义解析实验

4.带有目标属性词干的语义解析实验

5.带有目标关系词干的语义解析实验

5.2.1 单个自主行为的语义解析实验

移动机器人在实验环境中主要涉及到的自主行为分为目标操作、运动规划、运动控制行为，自然语言解析的结果就是一系列自主行为的组合序列，即将一句话解析成机器人能执行的自主行为序列。如表 5.2 所示，例举出部分指令语言表示格式。

表 5.1 指令语言表达格式

自然语言表达形式	指令表达格式
去(到、回、来)...规划目标	goto(目标位置)
拿(取)...操作目标	get(目标序号)
放...操作目标	put(目标序号)
前进(后退)...米	go forward(backward)(距离)
左转(右转)...度	go left(right)(度数)

其中运动规划行为主要被表达为 goto(目标位置)，运动规划目标是例如桌子、椅子、茶几等，目标位置是运动规划目标在栅格语义地图中的栅格序号。

目标操作行为是针对机器人上的机械臂而言，主要完成的任务就是目标物的抓取，摆放等，指令表达形式为 get(目标序号)，put(目标序号，目标位置)等，其中前者表达的是抓取操作目标的自主行为，后者表达的是放置操作目标的行为，目标序号是目标特征在目标库中的序号。

运动控制行为是移动机器人运动的基础行为，主要分为前、后、左、右等行为，前进后退等相关表达行为被表达为 forward(backward)(距离)，在自然语言解析中主要解析出运动的种类及距离；左转右转等相关表达行为被表达为 left(right)(度数)，在自然语言解析中主要解析出运动的方向及度数，然后转化成机器人运动控制指令完成。

1.运动规划行为的指令表达转换

例：自然语言表达：(1)去桌子处(2)来桌子那儿(3)回桌子处

指令表达：这是一个运动规划行为：goto(46)

设桌子在栅格地图中的序号是 46，则三种自然语言表达形式的指令转换都是这是一个运动规划行为：goto(46)，表明执行运动规划行为，与移动机器人智能行为中的路径规划行为相匹配，规划出从移动机器人现在的位置到桌子处的路径，自主运动到桌子处。实验图示如图 5.5(1)、5.5(2)、5.5(3)所示，同一个运动规划行为的不同自然语言表达方式解析结果表示输出的指令表达式相同。



图 5.5(1) 表达方式(1)的解析结果



图 5.5(2) 表达方式(2)的解析结果



图 5.5(3) 表达方式(3)的解析结果

2. 目标操作行为的指令表达转换

例：自然语言表达：(1)拿水杯(2)去取水杯

指令表达：这是一个目标操作行为：get(17)

以上例自然语言输入人机交互界面，输出的指令如图 5.6(1)、5.6(2)所示。



图 5.6(1) 表达方式(1)的解析结果

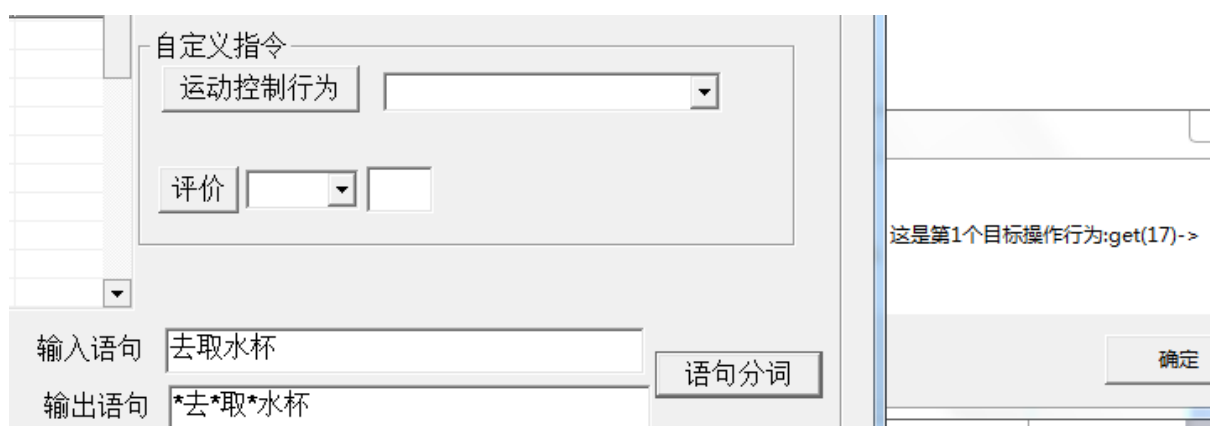


图 5.6(2) 表达方式(2)的解析结果

例子中选取水杯作为操作目标，设水杯在目标库中的编号 ID 是 17，当要抓取水杯时，直接能够在目标库中定位到 17 号水杯的特征，对应环境中水杯的特征进行目标识别抓取。上述两种不同自然语言表达形式解析后的指令表达形式都是：这是一个目标操作行为：get(17)，说明相同含义的不同表达自然语言形式的目标操作行为能够被解析出来。

3. 运动控制行为的指令表达转换

例：自然语言表达：(1)向前走 0.5 米(2)往后退 1 米(3)向左转 35 度(4)朝右转 120 度
指令表达：(1)go forward(0.5) (2)go backward(1) (3)turn left(35) (4)turn right(120)
这些指令语言直接对应机器人的底层基础控制行为，驱动机器人完成相应的控制动作，在人机界面中的解析表达如图 5.7(1)、5.7(2)、5.7(3)、5.7(4)所示。

在图 5.7(1)、5.7(2)、5.7(3)、5.7(4)中分别是对前、后、左、右的运动控制的基本自

然语言表达，实验图中可知，解析出来的指令动作都完全匹配上了移动机器人的底层控制函数，即由自然语言描述的运动控制行为可以直接被人机交互界面解析为机器人能够理解的机器人指令执行。

自定义指令

运动控制行为

评价

输入语句 向前走0.5米

输出语句 *前*米

语句分词

确定

这是第1个定位行为:location((前)方)->这是第2个运动控制行为:go forward(0.5)->

图 5.7(1) 表达方式(1)的解析结果

自定义指令

运动控制行为

评价

输入语句 往后退1米

输出语句 *后*米

语句分词

确定

这是第1个定位行为:location((后)方)->这是第2个运动控制行为:go backward(1)->

图 5.7(2) 表达方式(2)的解析结果

自定义指令

运动控制行为

评价

输入语句 向左转35度

输出语句 *左*度

语句分词

确定

这是第1个定位行为:location((左)方)->这是第2个运动控制行为:turn left(35)->

图 5.7(3) 表达方式(3)的解析结果

自定义指令

运动控制行为

评价

输入语句 朝右转120度

输出语句 *右*度

语句分词

确定

这是第1个定位行为:location((右)方)->这是第2个运动控制行为:turn right(120)->

图 5.7(4) 表达方式(4)的解析结果

5.3.2 两个自主行为组合的自然语言解析实验

上一小节所做的解析实验是针对单个自主行为的自然语言而言，是相对简单的解析实验，这一节只要针对一句话中包含两个自主行为的表达方式，预期结果是能够准确地输出两个自主行为的种类、指令表达式及执行顺序。

移动机器人主要设计的自主行为的两两组合主要有：

- 1.运动规划行为和目标操作行为
- 2.运动规划行为和运动控制行为
- 3.运动控制行为和目标操作行为

每两种自主行为的排列组合形式的顺序可以不同，可以组合出不同的自主行为序列。

例：(1)到茶几上拿一个水杯 (2)取茶几上的水杯 (3)把水杯放到茶几上
(4)前进 2 米到桌子处 (5)走到桌子处再前进 0.5 米 (6)拿水杯向前走 0.3 米
(7)向前走 1 米取一个水杯

其中(1)和(2)是用两种不同自然语言表达方式表达相同的含义，实验中解析出来的指令结果都是：第一个运动规划行为：`goto(88)`->第二个目标操作行为：`get(17)`，说明不同语言顺序描述的同含义的 1 类自主行为组合可以被解析出来，如图 5.8(1)和 5.8(2)所示。

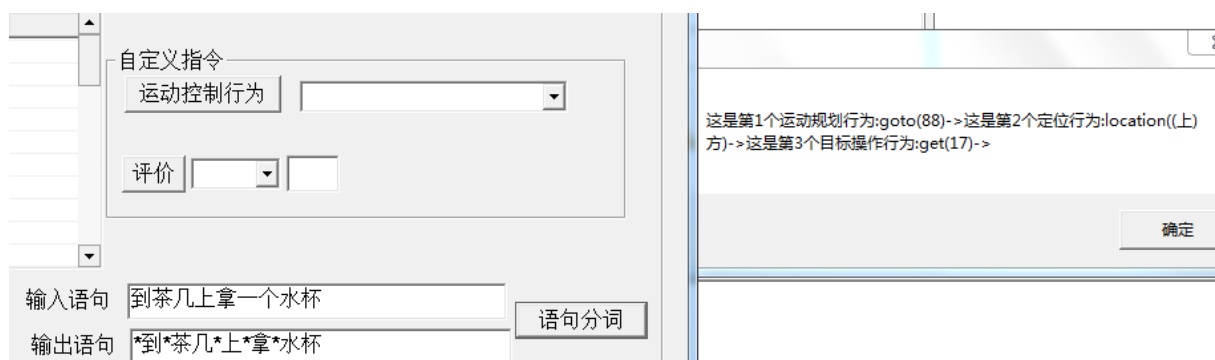


图 5.8(1) 表达方式(1)的解析结果



图 5.8(2) 表达方式(2)的解析结果

(3)的解析结果是：先是运动规划行为，然后执行目标操作行为。输出的自主行为序列是：第一个目标操作行为：`get(17)`->第二个运动规划行为：`goto(88)`->第三个定位：`location(上方)`->第四个目标操作行为：`put(17)`。其中 17 是水杯的目标库序号，88 是茶几在栅格图上的位置，解析结果如图 5.9。

自定义指令

运动控制行为

评价

输入语句 把水杯放到茶几上

输出语句 *水杯*放*到*茶几*上

语句分词

这是第1个目标操作行为: get(17)->这是第2个运动规划行为: goto(88)->这是第3个定位行为: location((上)方)->这是一个目标操作行为: put(17)

确定

图 5.9 表达方式(3)的解析结果

自定义指令

运动控制行为

评价

输入语句 前进2米到桌子处

输出语句 *前*米*到*桌子

语句分词

这是第1个定位行为: location((前)方)->这是第2个运动控制行为: go forward(2)->这是第3个运动规划行为: goto(46)->

确定

图 5.10 表达方式(4)的解析结果

自定义指令

运动控制行为

评价

输入语句 走到桌子处再前进0.5米

输出语句 *到*桌子*前*米

语句分词

这是第1个运动规划行为: goto(46)->这是第2个定位行为: location((前)方)->这是第3个运动控制行为: go forward(0.5)->

确定

图 5.11 表达方式(5)的解析结果

(4)和(5)是 2 类自主行为组合，(4)的解析结果是：第一个运动控制行为：go forward(2)->第二个运动规划行为：goto(46)。其中 46 是桌子在栅格地图上的栅格序号。(5)的解析结果是：第一个运动规划行为：goto(46) ->第二个运动控制行为：go forward(0.5)。如图 5.10、图 5.11。

(6)和(7)是 3 类自主行为组合，(6)的解析结果是：第一个目标操作行为：get(17)->第二个运动控制行为：go forward(0.3)。(7)的解析结果是：第一个运动控制行为行为：go forward(1) ->第二个目标操作：get(17)，如图 5.12、图 5.13。

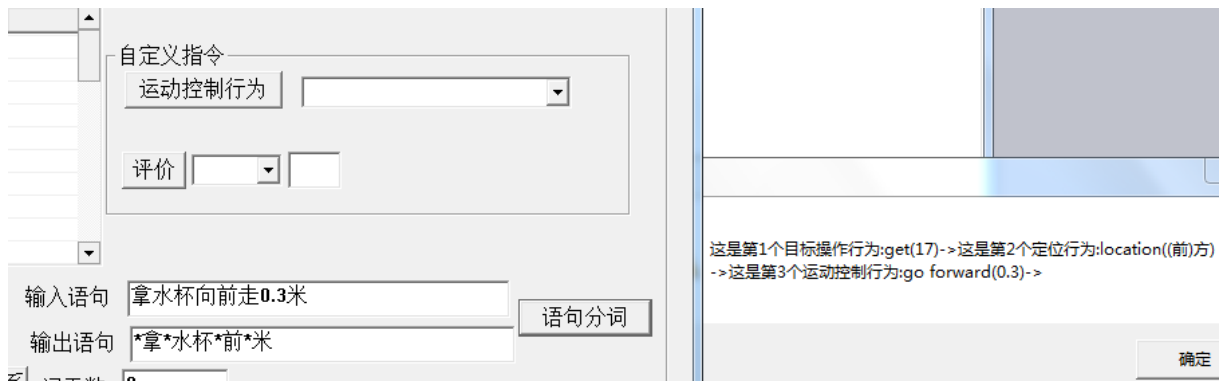


图 5.12 表达方式(6)的解析结果

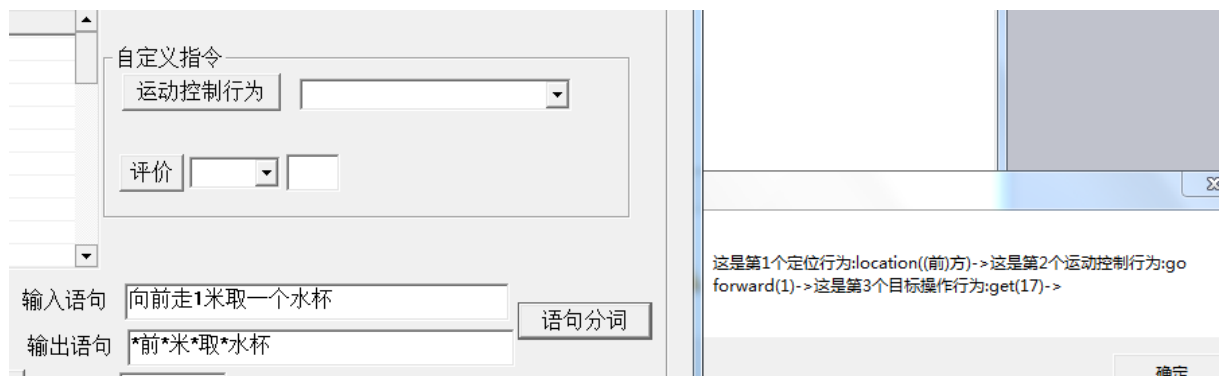


图 5.13 表达方式(7)的解析结果

5.3.3 三个自主行为组合的自然语言解析实验

如果一句话中包含了运动规划行为、运动控制行为和目标操作行为，那么自然语言解析的过程就会更加复杂，在逻辑规则中稍有不妥自理归责都会导致解析失误的发生，所以考虑多种组合情况，设计了逻辑推理规则，在实验中对复杂的自然语言进行了解析，解析结果如图 5.14 所示。

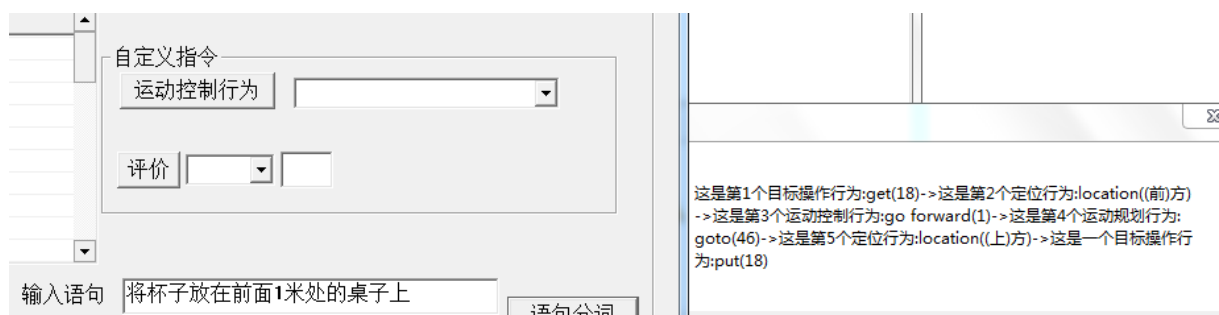


图 5.14 自然语言解析结果

例：自然语言表达：将杯子放在前面 1 米处的桌子上。

指令表达：第一个目标操作行为：get(18)->第二个定位行为：location(前方)->第三个运动控制行为：go forward(1)->第四个运动规划行为：goto(46)->第五个定位行为：location(上方)->第六个目标操作行为：put(18)。

其中 18 是杯子在目标库中的 ID 序号，46 是桌子在栅格图中的位置，这个复杂的语句中包含了三种自主行为，据解析结果如图 5.14 可知，解析效果良好。

5.3.4 带有目标属性词干的自然语言解析实验

目标属性词干是描述目标特征的词干，如描述颜色、形状、大小等词汇。在词干知识库中有表示颜色的如黄色、表示大小的如大的、表示形状的如圆的等词干，在有些自然语言中涉及到了对目标属性进行了描述的情况，这时解析结果应当将目标的特征提取出来增加到目标库中，作为新目标的特征，方便下次目标识别。

例：去前面的圆形茶几上取一个黄色的水杯

解析结果如图 5.15 所示，解析出的自主行为顺序及指令如图中所示，第一个定位行为：location(前方)->第二个运动规划行为：goto(round,88)->第三个行为：location(上方)->第四个目标操作行为：get(yellow,17)。

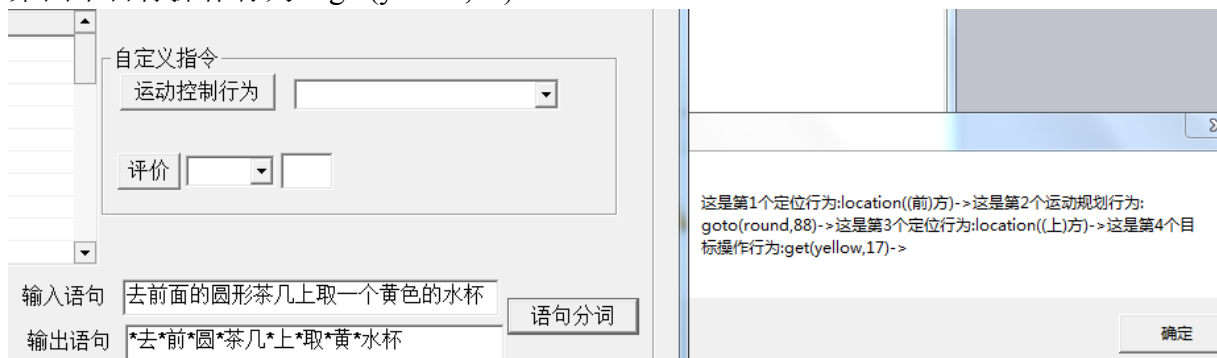


图 5.15 带有目标属性词干的自然语言解析结果

其中 88 是茶几在栅格图中的位置，17 是桌子在目标库中的序号，round 和 yellow 是解析出来的目标的新特征，自动将新特征与目标词干结合在一起作为新的目标。解析

结果表明对自然语言的解析成功。

5.3.5 带有目标关系词干的自然语言解析实验

目标关系词干指的是表明目标方位关系的属性词干，如上、下、左、右等词干都是表明目标关系的，指示机器人定位到目标的上、下、左、右方向，起到辅助的作用，帮助移动机器人更快地找到目标。

例：现在去取茶几上的水杯

指令表达：第一个运动规划行为：`goto(88)`->第二个定位行为：`location(上(方))`->第三个目标操作行为：`get(17)`。

如图 5.16 所示，上述例子的解析结果与指令表达分析结果一致，带有目标关系词干的自然语言能够在推理逻辑规则下解析出正确的指令，并且能够自行解析出自主行为的执行顺序，目标位置关系也能在指令中清晰地表达出来，说明带有目标关系词干的自然语言

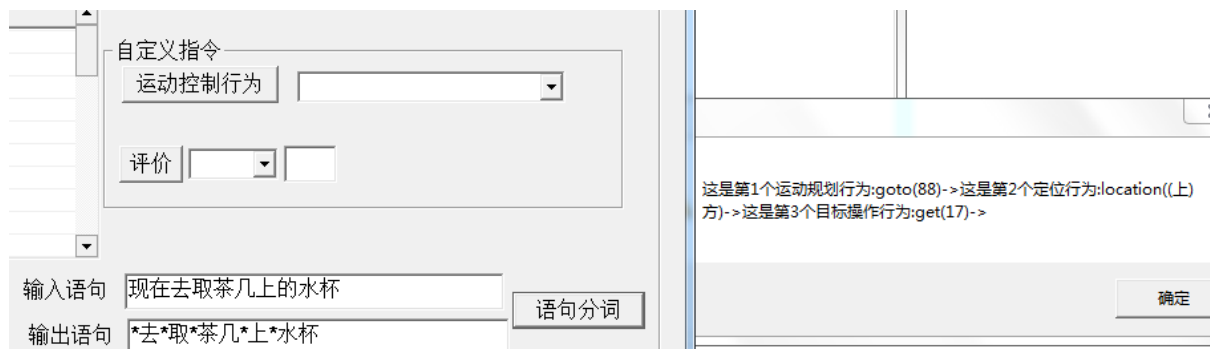


图 5.16 带有目标关系词干的自然语言解析结果

5.3 移动机器人自主行为实验

移动机器人的主要三种自主行为中，运动控制行为是最底层的驱动控制行为，是一切行为的基础。运动规划行为是机器人定位、导航等自主智能行为的基础。而目标操作行为是移动机器人上机械臂需要完成的工作，需要涉及到机械臂的相关知识完成抓取控制，由于机械臂没有安装成功，这里先不做目标操作行为的实验。

5.3.1 运动控制实验

运动控制行为主要是移动机器人一些控制底层非智能行为的集合，如前进、后退、左转、右转、停止等行为，以及这些行为精确到某个程度的表达。这由移动机器人最底层的驱动控制机器人完成这些动作，本文的运动控制实验设计了基于自然语言的运动控制实验，即移动机器人自行解析自然语言的含义，驱动机器人完成指令动作。

运动控制行为的自然语言解析是自然语言解析中比较直接简单的一部分，主要将自然语言中的运动控制行为转换成机器人能够执行的机器指令。在自然语言中有一些模糊表达，如表 5.2 所示，是关于指令解析中的一些关键词干的描述。

表 5.2 词干描述

主干关键词	前	后	左	右
同义表达	向前/前进/前方	向后/后退/往后	左转/向左/左方	右转/向右/右方
枝干模糊词	一点/一点点/一步/一大步	一点/一点点/一步/一大步	一点/一点点	一点/一点点
枝干精确参数	0.1m/0.1 米/1m/1 米	0.1m/0.1 米/1m/1 米	5 度/5°/30 度/30°/180 度/180°	5 度/5°/30 度/30°/180 度/180°

自然语言解析流程如图 5.17 所示，只包含了一种运动控制行为的自然语言语句可以直接解析成移动机器人运动指令执行。

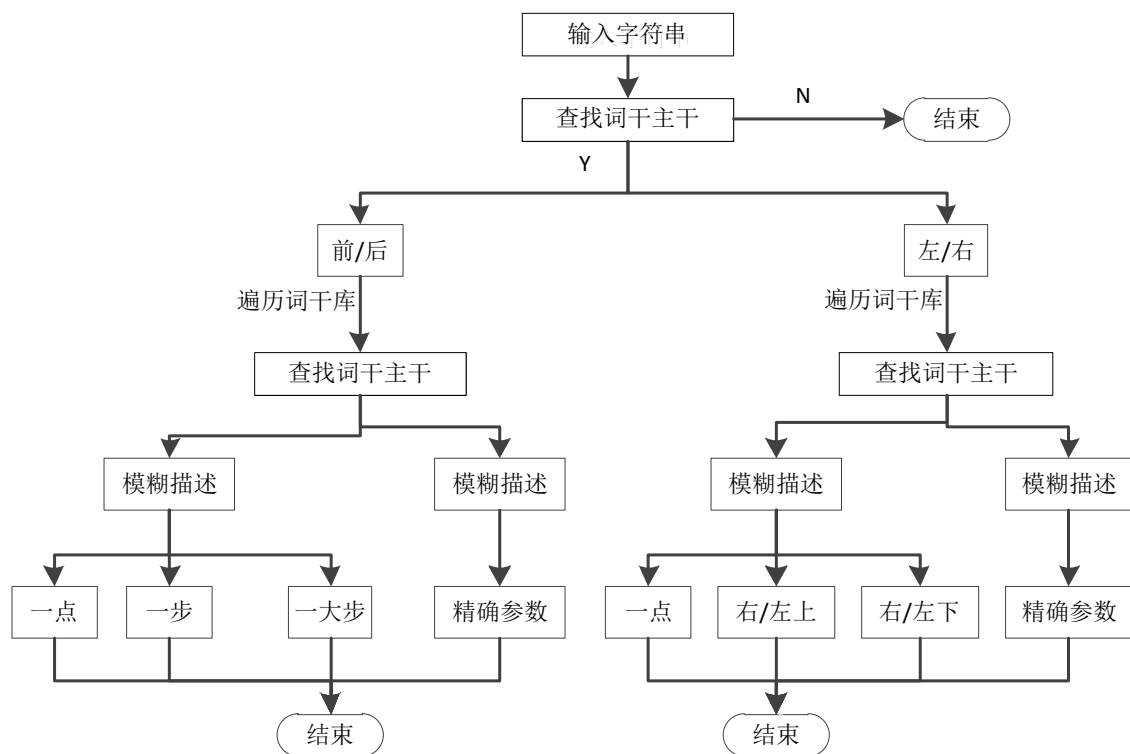


图 5.17 解析流程

例：(1)前进/向前走/往前 1/0.5 米 (2)后退/向后走/往后 1/0.5 米

(3)向左/左转/左方 5/30/120 度 (4) 向右/右转/右方 5/30/120 度

实验中用测量工具验证机器人执行动作的准确度，其中(1)中各表达方法的最后执行效果相同，同理其他三例也是。自然语言解析成运动控制指令实现效果良好且准确。

5.3.2 运动规划实验

运动规划实验在 VC++6.0 平台上完成，主要将自然语言解析成移动机器人指令表达，在栅格图中直接完成路径规划的仿真实验，使用的是基于遗传算法的路径规划方法，结合语义栅格图和人机交互界面，完成语义解析，直接转化为自主行为执行。

例：(1)出发去沙发处 (2)直接去门口

指令表达：(1)这是一个运动规划行为：goto(67) (2)这是一个运动规划行为：goto(99)

在例(1)中沙发在词干库中存储的栅格序号是 67，在语义地图中第 67 号栅格就是摆放的沙发占据的最小栅格序号，自然语言指令解析结果如图 5.18(1)是：goto(67)。但沙发栅格是一个障碍物栅格，当目标栅格是障碍栅格，则视目标栅格周边障碍物情况而定终点，一般终点序号是障碍目标序号周边最近的无障碍序号，一般选择障碍栅格邻近的无障碍栅格，如 66。路径规划轨迹如图 5.19(1)所示。

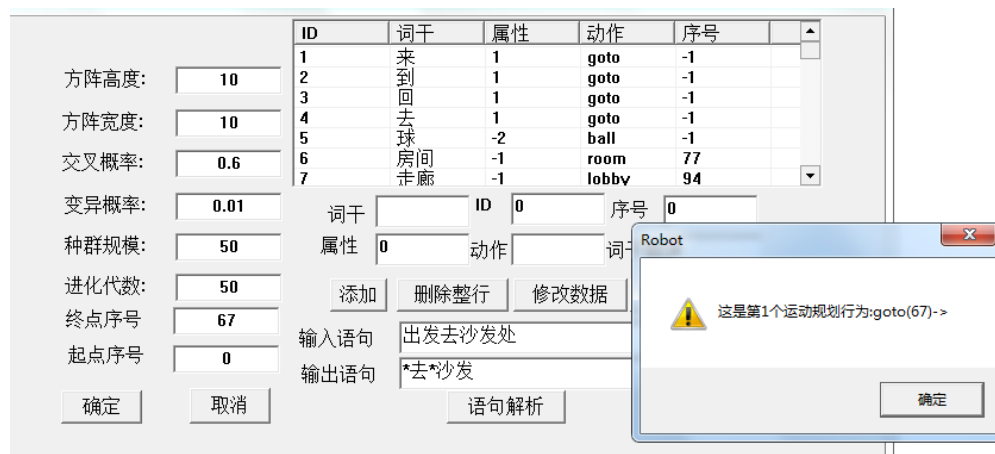


图 5.18 自然语言解析图(1)

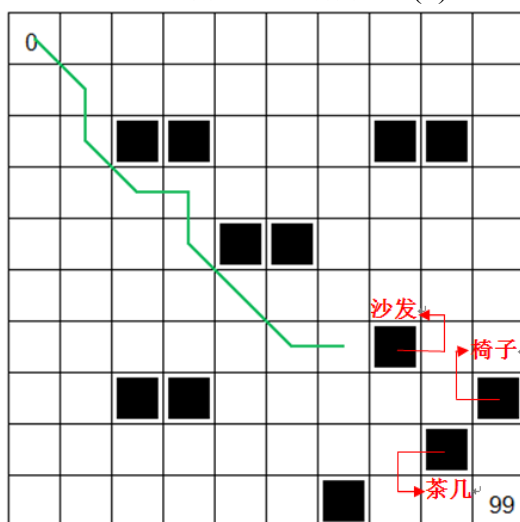


图 5.19 路径规划图(2)

当目标栅格是非障碍栅格时，路径规划结果是直接将目标栅格作为终点。例 2 中，

自然语言解析结果如图 5.20(1)表明，这是一个运动规划行为：**goto(99)**。且目标栅格门口是一个无障碍栅格，即直接将 99 作为终点序号进行路径规划，规划结果如图 5.21(2)。

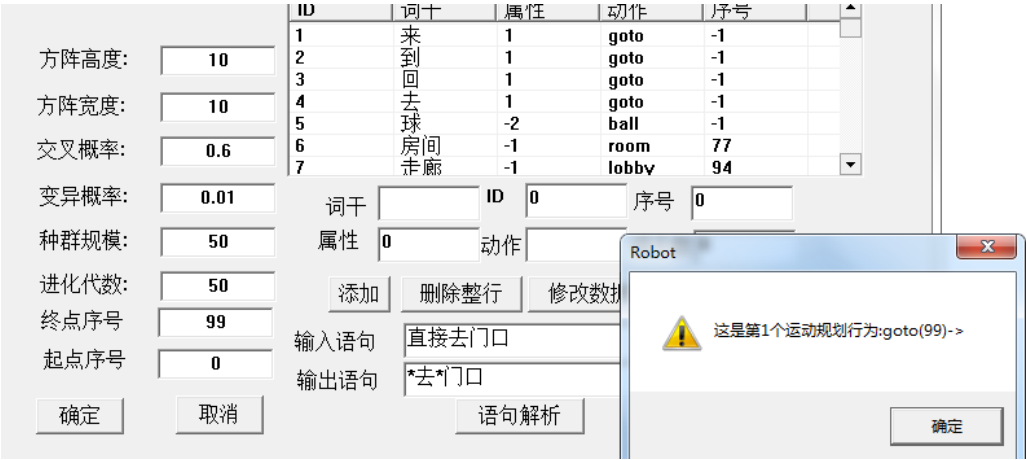


图 5.20 自然语言解析图(2)

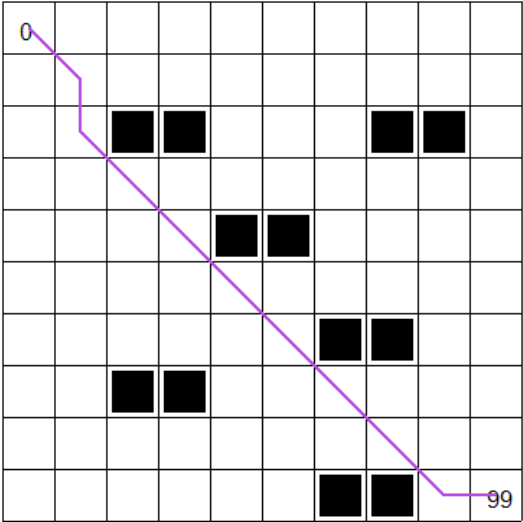


图 5.21 路径规划图(2)

实验结果表明，用自然语言交互的形式使用本文设计人机交互方法，在人机交互界面中能够正确地解析出运动规划行为，结合词干库自动匹配栅格图中的目标，并且根据不同目标的状态和环境，能够直接给出正确的路径规划结果，实验成功。

5.4 本章小结

本章在前几章设计的自然语言解析方法及语义栅格地图的基础上，设计了人机交互平台上移动机器人对自然语言的理解及指令转换的实验，实验中在人机交互界面上完成了对自然语言语句的解析，转换成了机器人能够理解的指令格式，并且自行排列了自主行为的执行顺序，实验证明了前几章设计的自然语言解析方法及逻辑推理规则的有效性。并且做了基于语义栅格地图的路径规划仿真实验及运动控制实验，实验表明了机器

人在人机交互平台上能够有效地将自然语言解析为执行指令，并且执行效果良好。

结 论

本文研究了基于自然语言的人机交互方法，对人机交互整体框架进行了设计，分析了自然语言交互技术中需要解决的问题，并根据汉语自然语言的特殊性设计了基于移动机器人自主行为的词干知识库，运用了正向最大匹配算法进行自动分词预处理，设计了针对自主行为的逻辑推理规则，完成了自然语言文本转换成自主行为序列的工作；研究了移动机器人环境地图的种类，针对自然语言交互方式选择了基于词干库的栅格语义地图，介绍了路径规划方法的种类，选用了基于遗传算法的路径规划方法。设计了自然语言解析实验，将多种表达方式的自然语言解析成自主行为序列。设计了移动机器人自主行为实验，用自然语言交互的方式直接驱动移动机器人完成运动控制任务，并且能够自行解析自然语言完成路径规划的仿真实验。本文的主要成果有：

1. 设计了由人机交互层、反应层、慎思层组成的三层结构的基于自然语言的人机交互框架，明确了每一层需要完成的工作。设计了远程监控界面，将全景图像实时地传送到监控界面，便于实时观测机器人环境及状态。

2. 针对移动机器人自主行为模块建立词干知识库，选用正向最大匹配算法进行自动分词提取基于自主行为的词干，提出基础词干库与逻辑推理规则相结合的自然语言产生自主行为序列的策略。

3. 设计了基于词干库的栅格语义地图，以自然语言的交互方式完成指令转换，自动完成移动机器人路径规划仿真实验及运动控制实验。

本文的创新点主要有：

- 1.对于自然语言分词，摒弃了传统大容量词库，本文根据移动机器人的自主行为设计了相应的词干库，缩小了词干库的规模，设计只与自主行为相关的词干库，采用正向最大匹配算法进行自然语言文本分词，提取出自主行为词干，设计结构化逻辑规则，将自主行为分成不同行为模块，根据不同模块的逻辑规则，输出自主行为序列。

- 2.采用栅格地图为机器人实验设计语义地图，地图上的路标和词干库中的目标词干一一对应，对自然语言指令进行解析时调用词干库中目标词干的坐标位置，直接映射到地图上的目标，在栅格地图上仿真规划出一条路径，实现自然语义的解析。

移动机器人领域极其复杂且分支众多，研究方向十分广泛。本文的研究只是针对移动机器人自然语言交互技术的研究，完成的工作有限，取得了一定成果，但由于时间有限，仍有很多问题需要解决，下面是对本课题后续工作的展望：

- 1.本文设计的自然语言解析方法中用到的词干知识库还是初步的一个模型，内容及规模都比较小，适用范围有限，涉及到的自主行为比较少，今后的研究中要逐步完善这个问题。

2.本文设计的逻辑推理规则也是比较有限，如果涉及到更为复杂的解析需要加强推理规则的适应性，下一步需要优化逻辑推理规则。

3.本文中的目标库应在自主识别能力达到一定水平情况下完善，针对目标操作行为的实验需要在机械臂安装完成及自主识别完成以后进一步完成。

参考文献

- [1] 谢炯坤. 面向人机互动的自然语言理解的研究[D].中国科学技术大学,2015,1-87
- [2] Alonso-Martín, F.; Castro-González, A.; Luengo, F.J.F.G.; Salichs, M.Á. Augmented Robotics Dialog System for Enhancing Human–Robot Interaction. *Sensors* 2015, 15, 15799-15829.
- [3] Chen X,Xie J, Ji J, et al. 2012. Toward Open Knowledge Enabling for Human-Robot Interaction[J]. *Journal of Human-Robot Interaction (JHRI)*, 1(2):100-117. 10,11.
- [4] A. A. Abdelhamid, W. H. Abdulla, and B. A. MacDonald, Roboasr: a dynamic speech recognition system for service robots, in *Social Robotics*. Springer, 2012, pp. 485–495.
- [5] D. Perzanowski, A. C. Schultz, W. Adams, E. Marsh, and M. Bugajska, Building a multimodal human-robot interface, *Intelligent Systems, IEEE*, vol. 16, no. 1, pp. 16–21, 2001.
- [6] 董士海. 人机交互的进展及面临的挑战[J] *计算机辅助设计与图形学学报*, 2004, 16(1): 1 — 13.
- [7] Rekimoto, J. SmartSkin, An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces. In *Proceedings of ACM CHI Conference*. pp. 113-120, 2002.
- [8] 顾立忠. 基于表观的手势识别及人机交互研究[D].上海交通大学, 2008.
- [9] Moni, M.A.; Ali, A.B.M.S., HMM based hand gesture recognition: A review on techniques and approaches, *Computer Science and Information Technology*, 2009. ICCSIT 2009. 2nd IEEE International Conference on , vol., no., pp.433-437, 8-11 Aug. 2009.
- [10] Q. Chen, M. D. Cordea, E. M. Petriu, A. R. Várkonyi-Kóczy, and T. E. Whalen, Human-computer interaction for smart environment applications using hand gestures and facial expressions, *Int. J. Adv. Media Commun.* , vol. 3, no. 1/2, pp. 95–109, Jun. 2009.
- [11] N. D. Binh and T. Ejima, Hand gesture recognition using fuzzy neural network, *Proc. ICGST Int. Conf. Graph., Vision Image Process., Cairo, Egypt*, 2005, pp. 1–6.
- [12] Mohidul Alam Laskar, Amlan Jyoti Das, Anjan Kumar Talukdar, Kandarpa Kumar Sarma, Stereo Vision-based Hand Gesture Recognition under 3D Environment, *Procedia Computer Science*, Volume 58, 2015, Pages 194-201.
- [13] F 王茜, 姚娅川. 基于 SPCE061A 单片机的语音识别系统开发. 四川理工学院学

报(自然科学版). 2005,18(1):26~28.

- [14] 谢磊.连续语音识别中声学模型的建立, 天津大学硕士论文, 2002:34~39.
- [15] Kechu Yi, Jun Cheng. A Vocoder Based on Speech Recognition and Synthesis, In:Globcom'95 ,Sigarpore, 1995:1605~1609.
- [16] C.PChen, J.Bilmes and K.Kirchhoff. Low-resource Noise-robust Feature Postprocessing on Auroa. ICSLP. 2002:17~20.
- [17] 王同刚. 基于 S3C44B0X 的服务机器人嵌入式控制系统的研制.哈尔滨工业大学硕士论文. 2006: 1~9.
- [18] 顾义坤. 基于 GSM GPRS 网络的家用机器人远程监控系统的研究.哈尔滨工业大学工学硕士论文. 2006.6:1~9.
- [19] 李麟. 家用机器人语音识别及人机交互系统的研究[D].哈尔滨工业大学, 2007.
- [20] Alexey Karpov, Konstantin Markov, Irina Kipyatkova, Daria Vazhenina, Andrey Ronzhin, Large vocabulary Russian speech recognition using syntactico-statistical language modeling, Speech Communication, Volume56, January2014, Pages213-228.
- [21] Nothdurft, F.; Honold, F.; Zablotskaya, K.; Diab, A.; Minker, W., Application of Verbal Intelligence in Dialog Systems for Multimodal Interaction, in Intelligent Environments (IE), 2014 International Conference on , vol., no., pp.361-364, June 30 2014-July 4 2014.
- [22] 谢怡宁,黄金杰,何勇军. 噪声环境下智能机器人语音控制特征提取方法[J]. 北京邮电大学学报,2013,03:83-87.
- [23] Pulasinghe, K.; Watanabe, K.; Izumi, K.; Kiguchi, Kazuo, Modular fuzzy-neuro controller driven by spoken language commands, in Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on , vol.34, no.1, pp.293-302, Feb. 2004.
- [24] 李剑平. 服务机器人自然语言理解与任务规划的研究及应用[D].广东工业大学,2013.
- [25] 冯志伟.计算机语言学基础[M]:商务印书馆,2008:280.
- [26] 姚天顺.自然语言理解[M]:清华大学出版社,1995.
- [27] 许威.自然语言理解的语义分析在产品设计中的应用[D].西安电子科技大学, 2003.
- [28] 李保利,陈玉忠,俞士汶.信息抽取研究综述[J].计算机工程与应用,2003,39 (10) : 1-5,66.
- [29] Botao Wang, Min Yang, Yunxia Song. A Study on a Computer-Based Corpus Approach to College English Writing, 2010.

- [30] 蔡金亨.英语过渡语中的动词屈折变化--对情状态优先假设的检验[J].外语教学与研究,2002,34 (2) : 107-115.
- [31] 冯志伟.自然语言处理的形式模型[M]:中国科学技术大学出版社,2010:638.
- [32] 黄昌宁,赵海.中文分词十年回顾[J].中文信息学报,2007,21 (3) : 8-19.
- [33] 胡景凡,周锡令.受限汉语与汉英机器翻译系统[J].计算机工程与应用,2000,36 (11) : 81-83,116.
- [34] 董振东,董强,郝长伶.知网的理论发现[J].中文信息学报,2007, 21 (4):3-9.
- [35] 李剑平. 服务机器人自然语言理解与任务规划的研究及应用[D].广东工业大学,2013.
- [36] 聂仙丽,蒋平,陈辉堂. 自然语言训练的机器人基本行为控制器[J]. 机器人,2002,03:201-208.
- [37] 聂仙丽,蒋平,陈辉堂. 采用自然语言的移动机器人任务编程[J]. 机器人,2003,04:308-312+317.
- [38] 王文,赵群飞,朱特浩. 人-服务机器人交互中自然语言理解研究[J]. 微型电脑应用,2015,03:45-49.
- [39] 李新德,张秀龙,戴先中. 一种基于受限自然语言处理的移动机器人视觉导航方法[J]. 机器人,2011,06:742-749+757.
- [40] 高胜男,孔令富,吴培良. 面向室内智能机器人的中文服务指令自主处理方法[J]. 机器人,2015,04:424-434.
- [41] Elmogy.M.; Habel.C.; Jianwei Zhang, Cognitive instruction interface for mobile robot navigation, in Computer Engineering & Systems, 2009. ICCES 2009. International Conference on , vol., no., pp.115-120, 14-16 Dec. 2009.
- [42] Pulasinghe.K.; Watanabe.K.; Izumi. K.; Kiguchi, Kazuo, Modular fuzzy-neuro controller driven by spoken language commands,in Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on , vol.34, no.1, pp.293-302, Feb. 200.
- [43] Yuan W, Brunskill E, Kollar T, et al. Where to go: Interpreting natural directions using global inference[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2009: 3761-3767.
- [44] Pulasinghe.K, Watanabe.K, Izumi.K, Kiguchi.K. Modular fuzzy-neuro controller driven by spoken language commands[J]. IEEE Transactions on Systems, Man,and Cybernetics, Part B: Cybernetics,2004, 34(1):293-302.
- [45] Matuszek.C, Herbst.E, Zettlemoyer.L, et al. Learning to parse natural language commands to a robot control system[C]//Experimental Robotics.Springer

International Publishing, 2013: 403-415.

- [46] Misra.D.K, Sung.J, Lee.K, et al. Tell me dave: Context-sensitive grounding of natural language to mobile manipulation instructions[C]//Robotics: Science and Systems, RSS. 2014.
- [47] 史美萍. 基于人机协同的月球车路径规划技术研究[D].国防科学技术大学,2006
- [48] 蔡自兴,肖正,于金霞. 动态环境中移动机器人地图构建的研究进展[J].控制工程,2007,03:231-235+269.
- [49] 魏宁,刘一松. 基于栅格模型的移动机器人全局路径规划研究[J]. 微计算机信息,2008,24(4-2).
- [50] 时丕芳,赵永瑞. 移动机器人行走路径环境建模方法综述与解析[J]. 现代制造技术与装备,2010,01:1-2+6.
- [51] 王娜. 移动机器人拓扑地图创建研究[D].山东大学,2009.
- [52] 崔建军. 基于遗传算法的移动机器人路径规划研究[D].西安科技大学,2010.
- [53] 孙树栋,曲彦宾. 遗传算法在机器人路径规划中的应用研究[J]. 西北工业大学学报,1998,01:85-89.

攻读硕士学位期间发表的论文和取得的科研成果

- [1] 赵宇婧,许鑫泽,朱齐丹,张智.一种基于自然语言关键词的人机交互方法[C].应用科技.2016.06 期已发表

致 谢

在本论文即将完成之际，心里面有许多感触，这篇论文充斥着我整个研究生阶段，犹记得第一次定题时，导师告诉我这是一个实验室从来没有做的课题，新的连一点参考的资料都没有，所有的一切都是从零开始。开始我感到压力重重，尽管看了很多文献却迟迟找不到合适的切口，曾经有一段时间陷入死结，以为自己完不成这个课题。还好，我坚持了下来，感谢在我迷茫不知道怎么开展研究时，导师朱齐丹教授一遍又一遍为我梳理要点，帮我找到课题的切入点，一次又一次给了我继续研究下去的勇气，也帮助我学会了如何开展新课题，如何设计整体框架，如何一步步完成课题研究。朱老师渊博的学术知识及幽默风趣的谈话风格让我在轻松愉快的氛围中学习到了许多学术知识，也让我学会了在课题遇到难点时不放弃，学术研究不能急，一步步地扎实完成研究总会有拨云见日的一天。

感谢实验室的同学们给予我的帮助，特别是封大伟同学总是不厌其烦地为我解答编程上的细枝末节的问题，让我在学习编程遇到困难的时候总是能够很快得到解答，直接为课题的最后完成做出了贡献，在这里要特别感谢这位乐于助人的编程达人。另外感谢实验室所有的老师及同学共同维护的教研室，实验室完善的实验器材、浓厚的学术氛围及融洽的人际关系为我完成毕设论文立下汗马功劳。

另外，感谢我的父母及家人，在我生活中遇到困难时给予帮助，情感上遇到困惑给予劝导，让其学会自己面对人生中的众多选择，并且学会承担责任，不给我施加压力，相信我的能力，并且以我为豪，让我在 20 多年的人生中享受到了尊重、自由和爱，只希望我快乐健康地生活。感谢父母这么多年来对我的经济支持，让我在学习中专注学业不用担心经济重担，最深的爱和敬意献给父母，以后的我会更加努力，即使离开学校，也会努力在工作实现自己的价值，快乐地生活工作！

感谢我的母校哈尔滨工程大学，在这里的六年，已经让我离不来母校的一切，学校的食堂、洗浴、公寓都为我提供了良好的环境，学校开展的丰富的业余活动充满了我六年的记忆，在这里我享受到了快乐的学习滋味，体味到了生活不知愁的感觉。

需要感谢的人很多，再次道一声感谢，一切尽在不言中！