

124  
广东工业大学硕士学位论文

(工学硕士)

服务机器人自然语言理解  
与任务规划的研究及应用

李剑平

二〇一三年五月

分类号：

学校代号：11845

UDC：

密级：

学 号：2111004126

# 广东工业大学硕士学位论文

(工学硕士)

## 服务机器人自然语言理解 与任务规划的研究及应用

李剑平

指导教师姓名、职称： 陈玮 教授

学科(专业)或领域名称： 控制科学与工程

学 生 所 属 学 院： 自动化学院

论 文 答 辩 日 期： 2013 年 5 月 27 日

A Dissertation Submitted to Guangdong University of Technology

For the Degree of Master

(Master of Engineering Science)

Study and Design of Natural Language Understanding  
and Mission Planning for Home Service Robot

Candidate: Jianping Li

Supervisor: Prof. Wei Chen

May 2013

School of Automation

Guangdong University of Technology

Guangzhou, Guangdong, P. R. China, 510006

## 摘要

由于人们对于从繁重的简单劳动中解放的需求，服务机器人成为近来研究的热点项目。服务机器人的研究包含了多方面的技术，其中自然语言理解主要负责解决人机交互问题，为人类和机器人的沟通提供便利的手段。而任务规划则有助于提高机器人的运行效率，使得其更快速、更准确地完成人类对其下达的指令。

本文为服务机器人设计了一种自然语言理解算法和一种任务规划算法，其中采用依存语法与配价理论作为自然语言理解算法，改进的进化算法作为任务规划算法。并通过家庭服务机器人仿真比赛平台进行实现，验证算法的有效性；且通过与其他比赛队伍算法效果的对比，验证其优越性。具体内容如下：

首先，本文阐述了自然语言理解和机器人任务规划的一些基本方法，对其发展现状进行了描述，并说明了这两项技术在服务机器人中的意义。之后针对本文采用的算法——依存语法与配价理论，以及进化算法进行深入的解析，找出其特点和优劣，分析其对服务机器人应用环境的适应能力。

其次，将依存语法与配价理论应用于服务机器人的自然语言理解当中。以家庭服务机器人仿真比赛平台的自然语言理解要求为例，分析其词汇句型特点，总结归纳其词汇常用法，根据依存语法与配价理论的思想建立了配价词汇表，并依靠配价词汇表确定句子的依存结构，实现了祈使句以及陈述句两种类型的自然语言和机器语言之间的转化。

再次，改进了传统的进化算法，使其适用于机器人任务规划问题的解决。本文针对任务规划的特点，建立了新的编码结构，使得染色体上的基因可以表示任务规划中的“事件”，从而通过改变染色体的结构来改变完成任务的方法。同时本文改变了传统进化算法的异体同位交叉和随机变异进化方式，采取了自体异位交叉和受限选择变异来解决任务规划中的“事件”顺序和物品选择问题。并且，本文加入了筛选的概念，可以在评价前预先消除不符合逻辑规则的个体，从而提高了运算效率和结果准确性；同时设计了适应度函数，用于评价个体的适应度，也就是该规划的规划效果优劣程度，从而决定了个体的淘汰。

最后，本文分别对两个算法进行举例说明，并通过一定量的家庭服务机器人仿真比赛题目来验证其有效性，再同其他参赛队伍的比赛结果进行统计对比分析，验证了算法的优越性，并且在2012年的家庭服务机器人仿真比赛中应用了本文中的算

法，证明了其在实际比赛中也有着良好的比赛效果。

**关键词：**服务机器人；自然语言理解；任务规划；依存语法与配价理论；进化算法

## ABSTRACT

Because of the looking forward to liberation from the heavy simple labor, service robots become a recent hot research project. Robotics is a comprehensive discipline, so the service robot also includes a wide range of technical. The natural language understanding is mainly responsible for solving the problem of human-computer interaction. It provides a convenient means for communication between humans and robots. And mission planning helps to improve the operating efficiency of the robot, making it complete instructions faster and more accurately issued by human beings.

By researching and improving dependency grammar and valence theory of the natural language processing method, and evolutionary algorithm of optimization algorithm, this paper develops a natural language understanding algorithms and a mission planning algorithm for service robots.

Firstly, this paper describes some of the basic methods of natural language understanding and robotics mission planning, by discovery its development status, and explaining the significance of these two technologies in service robots. Then, the dependency grammar and valence theory, and evolutionary algorithm are analyzed in detail to identify their advantages and disadvantages, as well as their applicability to the service robot applications environment.

Secondly, the dependency grammar and valence theory is applied to the service robot natural language understanding. Using RoboCup@home simulation as an example, we analyze the vocabulary sentence characteristics, summarized the vocabulary commonly used method, and build the valence glossary based on the idea of dependency grammar and valence theory. Based on the valence glossary to determine the dependency structure of the sentence, the transformation is achievable between natural language and machine language of imperative sentence and declarative sentence.

The third part is about improving the traditional evolutionary algorithm, making it suitable to solve robot mission planning problems. This article builds a new coding structure called step based on the characteristics of mission planning. So the missions can be expressed by gene on the chromosome, thereby the method of the completion of

mission can be changed by changing the structure of the chromosome. At the same time, this article changes the way to take evolutionary way of allogeneic parity crossover and random variation in traditional evolutionary algorithm. The new method uses autologous ectopic crossover and restricted choice variant to solve the problem of mission scheduling and item selection. We also add the concept of filtering to eliminate the individual does not comply with the rules of logic before evaluation, thereby improved the operation efficiency and the accuracy of the results. Besides we design the fitness function for the evaluation of individual fitness—the degree of the planning, which can be used to determine the phase-out of the individual.

Finally, this article demonstrates the computing process of the two algorithms with examples. The effectiveness and the superiority of them are verified by statistical comparative analysis of the results of the competition with the other teams using RoboCup@home simulation as experimental material. And the achievements in the real competition show the practicality of the algorithms.

**Keywords:** Service Robots; Natural Language Understanding; Mission Planning; Dependency Grammar and Valence Theory; Evolutionary Algorithm

# 目 录

摘 要 .....	I
ABSTRACT .....	III
目 录 .....	V
CONTENTS .....	VIII
第一章 绪论 .....	1
1.1 服务机器人发展现状 .....	1
1.2 自然语言理解 .....	1
1.3 机器人规划 .....	3
1.4 家庭服务机器人仿真比赛 .....	4
1.5 本文主要研究内容 .....	5
第二章 基本结构与算法 .....	7
2.1 平台简介与参赛程序结构 .....	7
2.1.1 平台结构 .....	7
2.1.2 参赛程序结构 .....	7
2.1.3 自然语言理解及任务规划在比赛中的作用 .....	8
2.2 依存语法与配价理论 .....	9
2.2.1 理论来源 .....	9
2.2.2 基本理论方法 .....	9
2.3 进化算法 .....	10
2.3.1 进化算法的来源与现状 .....	10
2.3.2 进化算法的基本机理 .....	11
2.3.3 进化算法的一般步骤 .....	12
2.4 本章小结 .....	14
第三章 依存语法与配价理论的应用 .....	15
3.1 算法针对问题的特点 .....	15
3.2 理解对象内容分析 .....	16
3.2.1 词汇列表 .....	16
3.1.3 词汇用法 .....	16



3.2.3 输出格式 .....	17
3.3 依存语法的应用 .....	18
3.3.1 自然语言指令理解流程 .....	18
3.3.2 建立配价词表 .....	19
3.3.3 依存结构 .....	20
3.4 算法实例 .....	21
3.5 本章小结 .....	23
<b>第四章 改进的进化算法 .....</b>	<b>24</b>
4.1 新结构建立的必要性 .....	24
4.2 事件结构与编码 .....	25
4.2.1 事件结构 .....	25
4.2.2 事件结构附属信息 .....	25
4.2.3 编码 .....	26
4.3 生成初始种群 .....	26
4.4 交叉与变异 .....	26
4.4.1 交叉进化 .....	27
4.4.2 变异进化 .....	27
4.5 适应度函数与选择 .....	28
4.5.1 序列的筛选 .....	29
4.5.2 适应度函数 .....	29
4.5.3 种群的选择 .....	30
4.6 终止条件与解码 .....	30
4.7 规划流程图示 .....	31
4.8 规划过程范例 .....	33
4.9 本章小节 .....	38
<b>第五章 综合实验与结论 .....</b>	<b>39</b>
5.1 自然语言理解算法实验 .....	39
5.2 任务规划算法实验 .....	41
5.3 综合实验与结果 .....	42
5.4 本章小结 .....	43

---

---

结论与展望 .....	44
参考文献 .....	45
攻读学位期间发表的论文 .....	48
学位论文独创性声明 .....	49
致谢 .....	50

CONTENTS

ABSTRACT (Chinese) ..... I

ABSTRACT (English)..... III

CONTENTS (Chinese)..... V

CONTENTS (English) ..... VIII

Chapter 1 Introduction .....1

    1.1 Service robot development status .....1

    1.2 Natural language understanding .....1

    1.3 Robot planning .....3

    1.4 RoboCup@home simulation .....4

    1.5 Main research contents.....5

Chapter 2 Basic structures and algorithms .....7

    2.1 Platform introduction and program structure.....7

        2.1.1 Platform structure.....7

        2.1.2 Program structure.....7

        2.1.3 The role of natural language understanding and mission planning in the competition.....8

    2.2 Dependency grammar and valence theory .....9

        2.2.1 Source of the theory .....9

        2.2.2 Basic theories and methods.....9

    2.3 Evolutionary algorithm .....10

        2.3.1 The source and status of evolutionary algorithm.....10

        2.3.2 The basic theory of evolutionary algorithm.....11

        2.3.3 General steps of the evolutionary algorithm.....12

    2.4 Summary of this chapter .....14

Chapter 3 Application of dependency grammar and valence theory .....15

    3.1 Characteristics of the problem .....15

    3.2 Object analysis .....16

        3.2.1 Word list .....16

        3.1.3 Vocabulary usage .....16

3.2.3 Output format.....	17
3.3 Application of dependency grammar .....	18
3.3.1 Natural language understand process.....	18
3.3.2 The establishment of valence vocabulary .....	19
3.3.3 Dependency structure.....	20
3.4 Algorithm instance .....	21
3.5 Summary of this chapter .....	23
<b>Chapter 4 Improved evolutionary algorithm .....</b>	<b>24</b>
4.1 The need for a new structure.....	24
4.2 Step structure and code .....	25
4.2.1 Step structure.....	25
4.2.2 Subsidiary information of the step structure.....	25
4.2.3 Code .....	26
4.3 Generate the initial population.....	26
4.4 Crossover and mutation .....	26
4.4.1 Cross-evolution .....	27
4.4.2 Evolution of variation .....	27
4.5 Fitness function and select.....	28
4.5.1 Screening of the sequence.....	29
4.5.2 Fitness function.....	29
4.5.3 Select of the population .....	30
4.6 Termination condition and decoding.....	30
4.7 Planning flowchart .....	31
4.8 Examples of planning process.....	33
4.9 Summary of this chapter .....	38
<b>Chapter 5 Experimental results .....</b>	<b>39</b>
5.1 Natural language understanding algorithm experiment.....	39
5.2 Mission planning algorithm experiment .....	41
5.3 Comprehensive experimental results .....	42
5.4 Summary of this chapter .....	43

**Conclusions and Prospect.....44**

**References .....45**

**Published Papers during the Master Degree Period.....48**

**Original Announcement.....49**

**Acknowledgements.....50**

## 第一章 绪论

### 1.1 服务机器人发展现状

当今时代，商业化的机器人主要应用于生产制造业，如电子产业、汽车、冶金行业等等。然而，在机器人领域中，一种新的、充满活力、有蓬勃生命力的服务机器人已经出现，正在给人类的生活带来越来越多的便利与惊喜，同时也使人们的生活变得更加舒适和安逸<sup>[1]</sup>。

服务机器人主要是指以半自主或者全自主方式运行的提供和完成服务的机器人，它有益于人类的便利生活和设备的运行与维护，或者协助人类共同完成工作。

目前，服务机器人的研究和开发广受大学、研究所以及企业和商业街的重视，其广大的潜在市场和用户需求不容忽视。服务机器人的出现主要有两个原因：一是随着经济的发展，人力资源即劳动成本越来越高；二是人们希望摆脱令人烦恼枯燥的重复性劳动，比如家务劳动、照顾特殊人群等<sup>[2]</sup>。所以服务机器人就是为了在不消耗大量资源的前提下更彻底地将人类从简单烦躁的劳动中拯救出来而存在的。而目前国外在服务机器人方面，已经开发出一些商业化的产品，如机器人吸尘器、机器人除草机等等，已经取得了一定的效果，但仍有很多问题存在有待解决。

服务机器人的研究是非常综合性的，包含多种学科和多方面的技术。比如机器视觉<sup>[3]</sup>、语音识别<sup>[4]</sup>、自然语言处理、机器人行动路径规划、任务规划等等。其中很多技术都具有很大的研究价值，并且已经吸引了无数的学者在其中进行探索和研究，因而服务机器人是十分具有科研价值的研究方向。

### 1.2 自然语言理解

自然语言理解 (NLU, Natural Language Understanding)研究如何能让计算机理解并且生成人们日常所使用的语言<sup>[5]</sup>。即让计算机懂得人类自然语言的含义，并对人使用自然语言给计算机提出的问题或指令，用自然语言进行回答，或者执行相应的动作。其目的就是建立一种人与计算机之间便利而友好的交流方式，使计算机能够进行便利的信息传递与认知活动<sup>[6]</sup>。自然语言理解系统可以用作专家系统、搜索引擎、机械操作、办公自动化、机器人等的自然语言人机接口，有着广泛的应用范围

和较大的实用价值。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，这种模型能赋予计算机类似人类的理解、分析并回答自然语言提问的能力。

关于自然语言理解的研究最早可以追溯到 20 世纪 50 年代初期<sup>[7]</sup>。由于当时通用计算机的出现，于是人们开始考虑用计算机把一种语言翻译成另外一种语言是否实际可行。因此在早起的自然语言理解研究领域，机器翻译一直是其研究的重点<sup>[8]</sup>。进入 20 世纪 70 年代后，自然语言的研究进入快速发展阶段，涌现了众多以句法、语义分析为基础的自然语言理解技术，其分析更加复杂多变的语法语句的能力比早起的自然语言理解有着显著的提高<sup>[8]</sup>。进入 80 年代，在人们对于过去的工作反思之后，有限状态模型和经验主义的研究方法开始复苏<sup>[9]</sup>。90 年代以后，随着计算机的速度和存储量大幅增加，自然语言处理的物质基础大幅改善，语音和语言处理的商品化开发成为可能；同时，网络技术的发展和 1994 年 Internet 商业化使得基于自然语言的信息检索和信息抽取的需求变得更加突出<sup>[10]</sup>，自然语言处理的应用面不再局限于机器翻译、语音控制等早期研究领域了。近些年来，基于语料库的自然语言理解方法开始崛起，这些方法主要包括统计的方法、基于实例的方法等。通过对词法、句法、语义、篇章等多层次的加工，从未经处理的语料中获取各种语言知识，然后利用知识对语言进行分析理解<sup>[11]</sup>。而当今，人们逐渐认识到，仅用基于规则的方法或仅用基于统计的方法都是无法成功进行自然语言处理的，传统的语言分析方法和语料库方法的结合是语言处理发展的趋势，并正在逐步走向成熟<sup>[7]</sup>。

国内的自然语言理解研究以汉语作为研究对象，包括汉语的书面信息或者口语信息等等。由于汉语和英语、法语等屈折语不同<sup>[12]</sup>，属于意合语类别，因而很多国外拉丁语系国家的自然语言理解理论和成果并不能直接套用在汉语上，这就使得国内自然语言理解的研究之路更为艰辛，需要国内的学者更多的努力。

而我国的有关科研单位和学者们一直致力于自然语言理解的研究<sup>[7]</sup>，很多科研机构 and 高校都有自然语言理解的研究项目。这些项目的目标都是解决汉语自然语言理解的问题，建立汉语自然语言理解体系，开发智能型的汉语分析系统。

经过数十年的不懈努力，国内的汉语自然语言处理研究水平有了相当大的进步，并取得了丰硕的成果：

(1)机器翻译：早期以冯志伟教授为代表的计算语言学学者们在机器翻译方面做了大量的理论研究和实践<sup>[7]</sup>，作为国内自然语言理解研究的先驱者，为之后国内计

计算机语言学的学者们做出了很大的贡献，提供了宝贵的经验和知识财富<sup>[13]</sup>。

(2)语料库研究：在中文语料库研究方面，清华大学的黄昌宁教授所领导的计算语言学实验室为之做出了大量工作。他领导的研究小组在国际计算语言学学会年会等权威会议和期刊上发表了大量优秀的文章，在汉语自动分词、知识库的建立、自动生成句法规则等方面的研究做出了重大贡献<sup>[14]</sup>。

(3)受限汉语：北京信息工程学院的周锡令教授领导的受限汉语理解的研究，为自然语言科研成果能够更快的实用化提出了新的思路方法。他们认为由于计算机本身发展状况的限制，短期内想要让计算机真正像人类一样理解自然语言是十分困难的，因此不但要继续以传统方法研究自然语言理解，同时也应该研究受限汉语的自然语言理解，更加便于自然语言理解的研究成果得到实际应用<sup>[15]</sup>。

(4)知网：是由董振东先生提出的一种汉语知识表示方法。知网把知识看做一个系统，其由很多概念构成，概念与概念之间的关系以及概念的属性与属性之间的关系就交织构成了一个网。而表达这个世界的方式就是确定这些概念和概念之间的关系，自然语言就是表达这个世界的一种方式<sup>[16]</sup>。

(5)概念层次网络(HNC)：是由中科院声学所黄曾阳先生提出的一种自然语言理解理论框架。引导计算机模拟人类大脑对语言的感知模式理解自然语言，在语义层面上构建概念层次网络，提出了一种描述语句深层语义结构的简明语句分类序列和表示式，并建立了可由计算机接受和操作的公式和分析模式，使计算机具有理解自然语言的智能。这一理论的提出为语义处理开辟了一条新路<sup>[17]</sup>。

### 1.3 机器人规划

所谓机器人规划，是指机器人根据自身的“任务”，规划出完成任务的步骤的过程<sup>[30]</sup>。其规划主要非为三个层次：任务规划，动作规划，轨迹（路径）规划。其中任务规划是通过自动规划机器人完成任务的顺序及任务间穿插方式等，更加合理地调配机器人去完成各个任务，同时提高效率<sup>[18]</sup>。动作规划是指自动规划决策机器人采取的动作，包括动作的选择、动作的顺序等，可以使机器人顺利、高效、优质地完成任务<sup>[19]</sup>。轨迹（路径）规划是指规划机器人部件运动的细节动作，指导机器人如何具体地行动，采取较为快捷合理的路径完成动作<sup>[20]</sup>。其中轨迹（路径）规划现阶段得到了较多的关注，有大量的关于这种机器人规划的研究成果。

而本文中的规划算法针对的是机器人任务规划，主要研究宏观的任务层面的机



机器人规划，探索提高机器人完成任务效率的方法。

当今机器人任务规划的主要方法有蚁群算法<sup>[21]</sup>、正交遗传算法<sup>[22]</sup>、ASP 回答集编程<sup>[23]</sup>等，各算法各有优劣。而本文则基于进化算法并对其加以改进来对机器人的任务进行规划。

#### 1.4 家庭服务机器人仿真比赛

家庭服务机器人仿真比赛立足于服务机器人的高层功能的探索，目前主要包括人机对话、自动规划和推理等。为此，比赛将服务机器人抽象为 3D 仿真机器人，并以仿真室内环境为测试环境，将人机对话抽象为自然语言或者命令语言表达的任务描述（包括补充信息和约束条件等），将机器人感知数据抽象为文件格式的场景描述<sup>[23]</sup>。任务描述分别用自然语言和命令语言表达，从而构成本赛事的两个不同的比赛项目——自然语言交互项目和指令交互项目<sup>[24]</sup>。

家庭服务机器人仿真比赛中的 3D 仿真机器人有一组固定的原子行动，包括移动、抓取、放下等，基本动作的形式不改变。仿真比赛采用的仿真机器人如图 1-1 所示，机器人有两个轮子，用于移动改变机器人的位置；手臂上有一个手爪，可以抓取物体，但一次只能抓取一个物体；还有一个盘子，用于盛放物体，但上面只能放一个物体；其体现了机器人基本的移动、抓取和放下能力。而比赛就是基于这些机器人的基本功能，测试机器人在人机交互、自动规划等方面的能力。

家庭服务机器人仿真比赛要求参赛程序对比赛平台提供的每一个问题，根据其场景描述和任务描述，在规定时间内自动生成完成该任务的原子行动序列（移动、抓取等行动的序列），比赛平台将根据这些行动序列的性能给参赛程序打分，并根据一个阶段中所有问题的总分决定参赛程序在该阶段的排名。

根据家庭服务机器人仿真比赛宗旨，其比赛的目的是：为智能机器人的人机交互、自动规划推理等高层功能的研究与开发提供一个便利的平台，方便开发者对算法的测试以及相互之间的比较与学习，从而推动智能机器人，尤其是服务机器人的研究与发展。此外，比赛平台还可作为实体服务机器人系统高层功能的测试工具。实体服务机器人研究者可以利用这里提供的比赛平台，对自己设计、开发的实体机器人的高层功能(人机对话、任务规划和推理等) 进行系统的、大规模的测试，以便更有效地发现问题、解决问题，提高系统性能<sup>[25]</sup>。

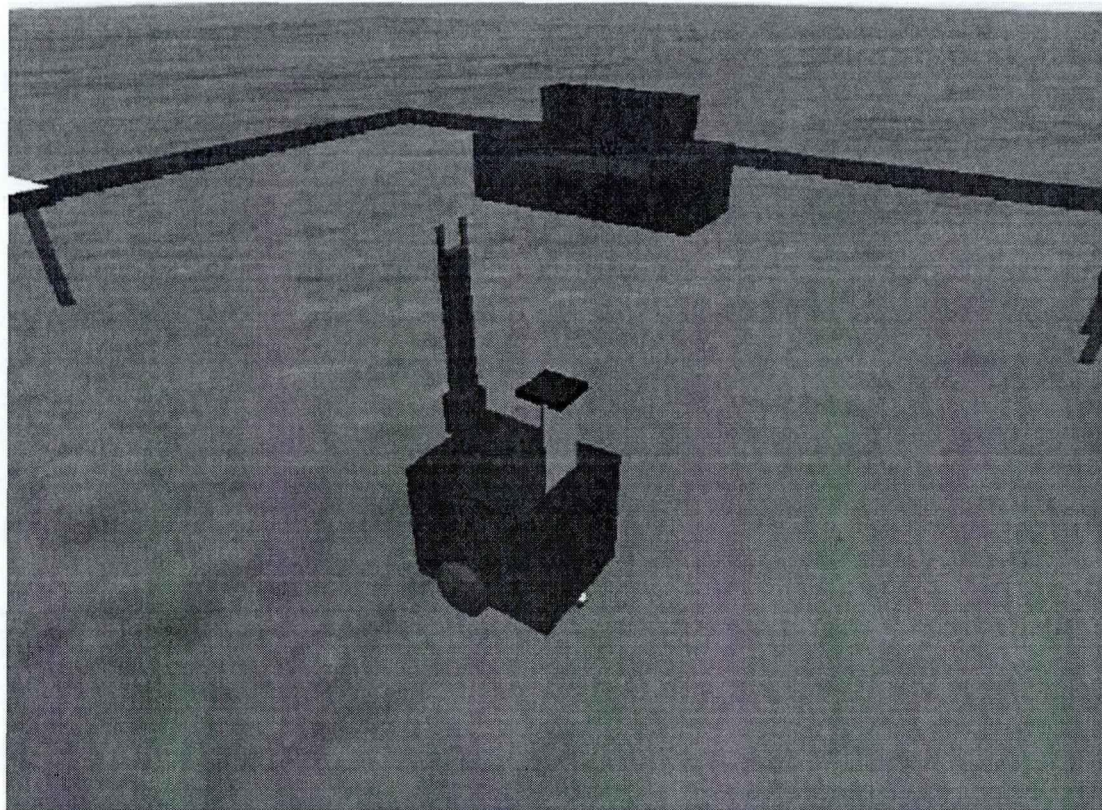


图 1-1 家庭服务机器人仿真比赛机器人模型

Fig.1.1 Robot model for RoboCup@home simulation

## 1.5 本文主要研究内容

本文主要研究自然语言理解和机器人任务规划的理论方法，以及对现有的方法进行改进，并在家庭服务机器人仿真比赛中进行应用，全文共分为 5 章，具体内容如下：

第 1 章为绪论，主要介绍课题的背景和研究意义，阐述本文的主要研究内容，分析主要研究重点及其发展现状。

第 2 章介绍家庭服务机器人仿真比赛平台和 GDUT\_TiJi 队参赛程序的基本结构，并阐释本文涉及的相关算法的基本方法与内容。

第 3 章介绍本文对自然语言理解方法依存语法与配价理论的改进，建立配价词表，设计配价方式，并对理解过程进行了详细解释。

第 4 章主要阐述了本文对进化算法在编码结构以及进化方式等方面的创新与改进，使得其适合解决排序、选择等问题，符合家庭服务机器人任务规划的特点，并举例说明整个规划过程。

第 5 章将本文中自然语言理解及机器人任务规划算法分别应用于家庭服务机器人仿真比赛之中，检测其实际效果，之后将两算法共同应用于平台上，对其组合效果进行分析研究。

## 第二章 基本结构与算法

### 2.1 平台简介与参赛程序结构

家庭服务机器人仿真比赛平台是在 Linux 下的比赛官方使用的仿真平台，能够为参赛仿真机器人提供比赛题目，并对参赛者的任务完成优劣程度进行评价，是一个规则严谨公平的比赛平台。

#### 2.1.1 平台结构

比赛平台分为 server 服务器端和 client 客户端两部分。其中 server 服务器端负责向 client 客户端发送场景信息和任务等，并对 client 客户端返回的机器人行动指令序列进行评价；参赛队伍主要负责开发 client 客户端部分，接受 server 服务器发来的场景信息和任务等，理解这些数据，并根据这些信息规划机器人完成所有任务的方式，最终决定机器人的一系列动作，并将动作序列返回给 server 服务器端。其结构图如图 2-1：

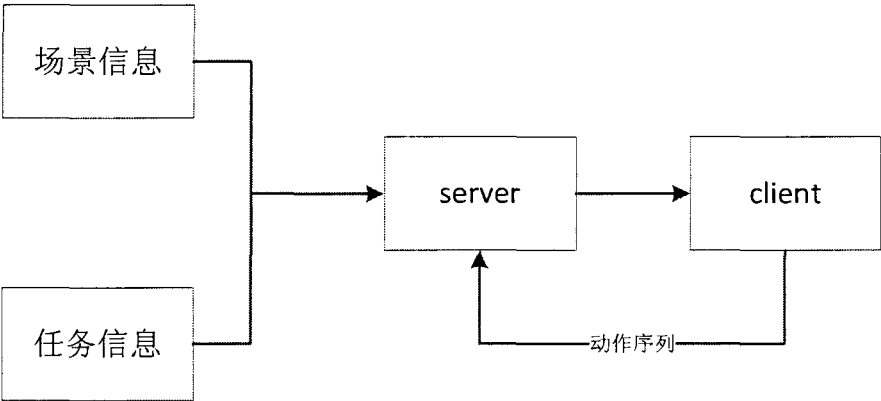


图 2-1 家庭服务机器人仿真比赛平台结构

Fig2.1 Platform structure of RoboCup@home simulation

#### 2.1.2 参赛程序结构

本文所使用的参赛平台为我校 GDUT\_TiJi 队家庭服务机器人仿真比赛参赛程序，该程序由作者参与开发，十分适合比赛以及本文算法的实现与测试。

程序从 server 服务器端接收比赛场景信息以及任务信息等，通过自然语言理解将自然语言任务信息转化为机器语言任务信息，并通过场景任务信息解析将其转化为更便于处理的结构，接着使用任务规划部分对完成任务的方式进行规划，最后输出机器人动作序列返回到 server 服务器端，其结构如图 2-2。

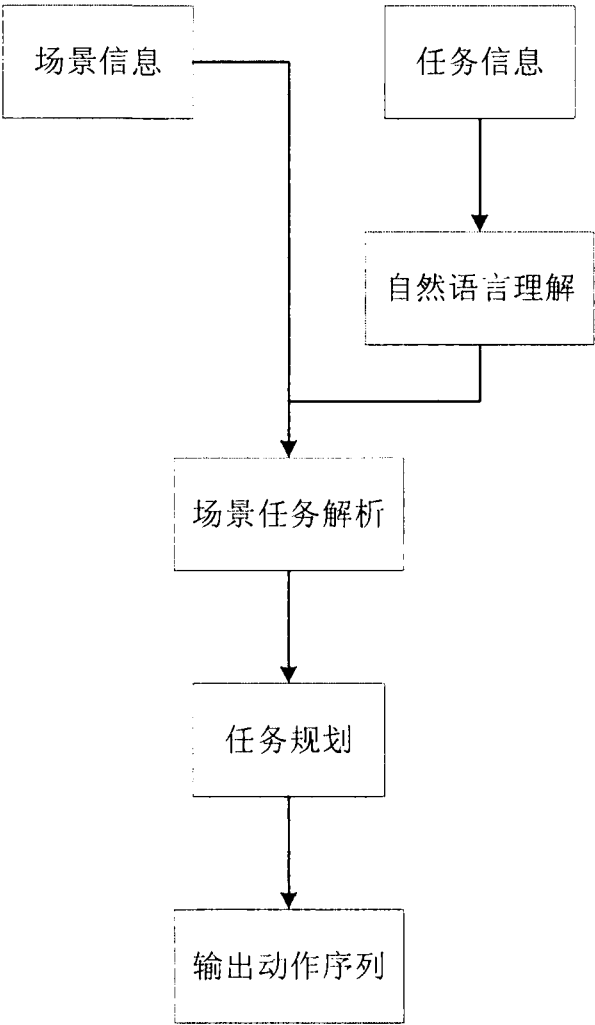


图 2-2 GDUT\_TiJi 队参赛程序结构

Fig.2.2 Program structure of GDUT\_TiJi

### 2.1.3 自然语言理解及任务规划在比赛中的作用

在参赛程序中，自然语言理解是整个计算过程的第一步，起到至关重要的作用。它需要将自然语言表示的任务信息正确地转化为机器语言表示的任务信息，只有以极高的准确率成功地转化信息，后续的一切计算和规划才有价值。若自然语言理解部分出错，有可能导致某项任务失败，甚至整个任务群完成出错，在比赛中造成重大的损失。因而自然语言理解在比赛中是十分重要的部分，要求它的正确率非常之

高。

而任务规划部分可以说是整个参赛程序的核心部分，它决定了程序的规划结构是否能正常完成任务，也决定了最终输出的动作序列是否高效、是否能得到较高的分数。任务规划部分的计算时间占据了参赛程序允许运行时间的绝大部分，通过不断的搜寻，寻找最优解，找到最能节约步骤并顺利完成全部任务的方式。而比赛结果的评价正是根据最终输出动作序列的简练性和任务完成程度来决定的，因而任务规划是整个比赛胜负的关键所在。

## 2.2 依存语法与配价理论

依存语法与配价理论是自然语言理解的一种方法，作者通过了解其特点并通过实验验证了它适用于家庭服务机器人仿真比赛的环境。本节将介绍该方法的基本理论。

### 2.2.1 理论来源

依存语法与配价理论主张自然语言句子中的词汇与词汇之间是相互联系、相互依赖的，而这种依赖性就好像化学中原子和原子之间的联系；带有正电价的原子周围存在电子空位，需要带有负电价的原子周围的多余电子对其进行满足，才能生成稳定的分子<sup>[26]</sup>。

而词汇也具有类似电价的性质，语言中绝大多数词都有一种潜在的与其他词结合的能力，尽管这种能力的大小因词而异，但这种语言单位的组合潜在力是一种普遍存在的现象。词的这种潜在能力在语言运用时被激活，形成与具体语境相关的词间句法关系，即一定的句法结构模式。而配价就是构造一个词表，并将词的这种能力表示出来<sup>[27]</sup>。

### 2.2.2 基本理论方法

依存语法是一种以动词为基础的语法，其以动词为核心，找出其他词和动词间的联系以及其他词和词之间的联系，从而划分句子结构，正确地理解句子。

动词的价指的是动词及受其支配成分之间的抽象关系；句法配价是指动词在其周围开辟一定数量的空位，并要求用必有或可选成分填补的能力<sup>[28]</sup>。而将这种能力



扩展，即每个词都具有类似的能力，同时也具有填补其他词的空位的能力。这样整个句子就被类似的词间关系联系到了一起，而理解句子的关键即使找到这些关系理清句子脉络<sup>[29]</sup>。

要做到理解句子，首先就要建立配价词表，这样才能确定每个词所开辟的空位，以及它本身能够满足其他词何种空位填补需求。词汇表中的项目可以有多种，根据具体需求不懂可有所改变，常用的项目有：词形、词类、句法信息、场景信息、词项意义等。

其次便是从待理解句子中分离出关键词和其他每个词汇，查询配价词表，理清其中的依存关系，从而达到理解句子的目的。

## 2.3 进化算法

进化算法是多年来广受重视并有丰富应用的优化算法，其优化效果良好，有较强的适应性。而本文正是采用进化算法作为服务机器人任务规划的优化算法，本节将介绍进化算法的基本状况及原理。

### 2.3.1 进化算法的来源与现状

生物群体生存过程普遍遵循达尔文物竞天择的生存法则。群体中的个体根据对环境的适应能力而被大自然选择性淘汰。进化过程的结果反映在个体结构上，其染色体包含若干基因，决定了生物的内部结构和外部特性。而生物通过个体间的选择、交叉、变异来适应大自然的环境<sup>[30]</sup>。

这种生物染色体通过数学方式或计算机方式来体现就是一串数字，仍称之为染色体，也叫个体。其适应能力根据一定方法，通过适应函数评价得出一个数字来衡量。染色体的选择和淘汰通过适应度来指导进行；其交叉和变异则体现在染色体中的数字的交换和改变<sup>[31]</sup>。

20 世纪 60 年代以来，模仿生物进化过程建立功能强大的算法，进而将其应用于复杂的优化问题，越来越成为一个研究热点。进化计算（evolutionary computation）正是在这一背景下孕育而生的。进化计算包括遗传算法（genetic algorithm），进化策略（evolution strategy），进化编程（evolutionary programming），遗传编程（genetic programming）等<sup>[32]</sup>。

国内外许多大学和科研机构的研究人员正在努力从事这方面的研究，而对进化

算法的改进也层出不穷，如混合混沌进化算法<sup>[33]</sup>、动态位置可变进化算法<sup>[34]</sup>、多智能体进化算法<sup>[35]</sup>等。

2.3.2 进化算法的基本机理

1.编码与解码

优化问题是多种多样十分丰富的，但可以将其转化为简单的位串形式来表示。这种将问题结构转化为位串形式的过程叫做编码；与此相反，将位串形式编码转换回原本的问题表达形式的过程，就叫做解码<sup>[36]</sup>。

二进制编码是一种常用的编码方式。比如需要优化某一个参数值，便将其转化为二进制，之后再进行进化操作；又或者需要优化一组灯具的照明效果，即可将每个灯具的开关状况用二进制表示，从而进行进化计算等等。

2.适应度函数

为了表示染色体即个体的适应能力，即其优化程度的高低，引入了对优化问题中每一个个体都能进行度量的函数，叫做适应度函数。通过适应度函数来决定个体的优劣程度，从而体现了大自然中优胜劣汰的规则。

以求函数最大值问题为例：将个体参数代入，作为适应度函数的原函数，所求出的适应度函数值越大说明个体的适应能力越强，为优化度高的个体，反之则为优化度低的个体。

3.交叉与变异

交叉操作一般发生在两个个体之间，为了模拟自然界的基因交换方式，在此体现为两个个体之间部分编码的交换。如下图有两个个体，它们的编码分别如图所示，交叉操作即是随机的让两个个体的某些对应位互换，从而产生全新的个体，丰富种群的数量<sup>[37]</sup>，如图 2-3 所示。

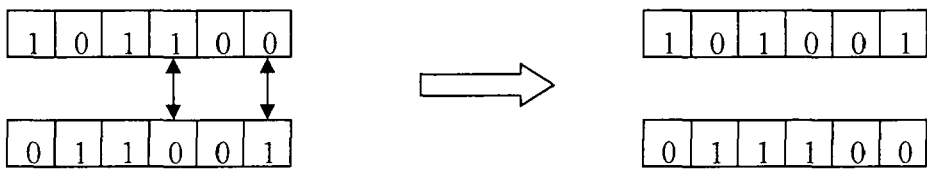


图 2-3 交叉操作

Fig.2.3 Cross



变异操作发生在某个个体内部，模拟了自然界的基因变异状况，表现为某个个体的某位或某些位编码数值上的随机改变。如下图中的个体，其编码中的若干位发生了变异，即产生了全新的个体<sup>[38]</sup>，如图 2-4 所示。

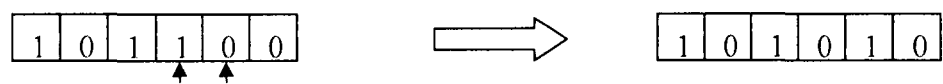


图 2-4 变异操作

Fig.2.4 Variation

4.选择

为了体现自然进化法则中的优胜劣汰，进化算法中还引入了选择操作。其根据适应度函数计算出的每个个体的适应度，评价整个种群中的个体，从而选出其中相对优秀的一定数数量的个体加以保留，并淘汰其中适应度低的个体，避免进入下一步操作。

2.3.3 进化算法的一般步骤

进化算法类似于自然进化，通过作用于个体上的基因寻找较好的个体来求解问题。算法本身并不需要对问题本身有所了解，它所需要的仅是基于适应度来评价每个个体，以使优秀的个体拥有更多的繁殖机会。算法通过随机产生若干个所求解问题的编码，即初始种群，通过适应度函数对其进行评价，选择适应度高的若干个体保留，淘汰适应度低的个体，并对保留的个体群进行进化操作，从而形成新的种群。不停地重复该过程，就构成了进化算法的一般步骤<sup>[39]</sup>，流程图如图 2-5。

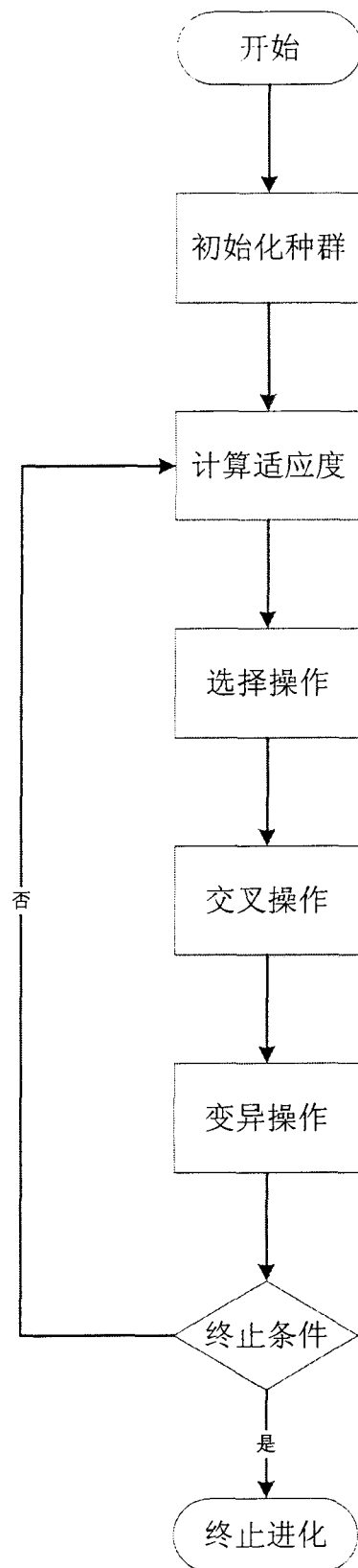


图 2-5 进化算法流程

Fig.2.5 Evolutionary algorithm processes

## 2.4 本章小结

本章阐述了我校 GDUT\_TiJi 队参加家庭服务机器人仿真比赛的参赛程序基本结构，以及自然语言理解和任务规划在其中起到的重要作用。同时介绍了依存语法与配价理论的基本原理，以及进化算法的理论与一般方法。本章的工作是阐释算法的基本理论，以及为实现和验证算法搭建了平台。

## 第三章 依存语法与配价理论的应用

本章主要阐述本算法的所针对的自然语言理解问题的特点，以及其所能满足的性能和要求。对于这一自然语言理解领域，通过汲取依存语法与配价理论的核心思想，提出一种建立配价词表和依存结构分方法。并将其应用于家庭服务机器人仿真比赛之中，针对指令中较多出现的祈使句以及陈述句进行构造，建立了服务机器人自然语言指令理解方案。

### 3.1 算法针对问题的特点

在不同的应用领域，对自然语言理解算法的需求也各不相同。通过对某一独特领域的自然语言理解特点的分析，可以更好的达到该领域所要求的效果，使算法本身的优势得以充分发挥。

本文基于依存语法与配价理论的自然语言理解算法主要针对“在特定情景中词汇受限”的自然语言理解。其受限主要表现在词汇量的有限，自然语言句子中所出现的所有词汇均记录于已知词汇列表之中，对超出列表范围之外的词汇没有理解的要求。

虽然其词汇量有限，但其语法却不受限制，只要符合传统英文语法的词汇用法、句型皆可使用。如祈使句、名词的修饰限定、there be 句式、定语从句等等都囊括在内。因而对这许多种词法、句法的理解和适应能力就成为了本自然语言理解算法的重点和难点。

由于该自然语言理解算法应用对象的场景相对有限、词汇有限，所以该算法能够达到相对较高的理解准确率，可用于应用场景相对固定但要求高正确率的系统之中。

而家庭服务机器人仿真比赛对自然语言指令理解的要求正符合这种特点。其准确率要求极高，因为如果不能正确地理解指令，后期的任务规划则将变得毫无意义。只有在正确理解自然语言指令的前提下，机器人整个完成任务的工作才能够正常进行，才能够正确地完成任务。

### 3.2 理解对象内容分析

由于本自然语言理解算法是应用于特定情景和词汇范围当中的，且不同应用对象对结果输出的要求也不尽相同，因此分析对象的词汇用法和输出要求等就十分必要，是需要最先做好的工作，这也使得检验算法的正确性更加便利。下面就针对家庭服务机器人仿真比赛中的自然语言理解进行分析。

#### 3.2.1 词汇列表

在家庭服务机器人仿真比赛中，主要出现的词汇列表如下表 3-1（2012 年中国服务机器人大赛版本）：

表 3-1 家庭服务机器人仿真比赛词汇列表

Table.3.1 Word list of RoboCup@home simulation

词性	词形
代词	me
冠词	a, an, the
助词	must
动词	do, be, give, put, go, pick, open, close
介词	in, out, on, near, next, to, up, down, from, of, which
形 容 词	white, black, red, green, yellow, blue, big, small
副词	there, not
名词	human, plant, couch, chair, sofa, bed, table, workspace, worktable, teapoy, desk, television, air conditioner, wash machine, closet, cupboard, refrigerator, microwave, book, can, remote control, bottle, cup

其词汇列表为本文及方法测试用列表，方法并不只适用于此列表，通过修改和丰富语料库可适应更多的词汇。并不排除以后的比赛对词汇列表进行适当的增减与改变。

#### 3.2.2 词汇用法

其各词汇只要符合普通的英文文法，使用方法便不加以限制。比如以下用法都

是合法的:

代词: me, 用于指代发出命令者, 即家庭服务机器人仿真比赛中 human 这个角色, 例: Give me a book.

冠词: 用于加于名词之前, 描述个数或语法要求, 例: a cup, the book.

助词: must, 放在动词之前, 表示肯定, 例: There must be a book on the table.

介词: in, on, near 等用于两名词之间, 用于表示两名词所表示物体的位置关系, 例: The can is near the red cup. Which, 作为定语从句的组成部分, 例: The book which is red is on the table.

形容词: 用以修饰限定名词, 例: red book, blue can, yellow cup.

副词: there, 用来组成 there be 句式, 例: There is a cup on the table. not, 用来表示否定, 例: The cup is not on the table. The book must not be on the couch.

名词: 各名词用来表示具体物体。

动词: 动词为祈使句中的最重要组成部分, 表示用户想让机器人做的动作种类。例: Give me a book. Put the red can on the table. Go to the couch. Pick up the remote control. Open the closet. Close the refrigerator.

### 3.2.3 输出格式

家庭服务机器人仿真比赛对自然语言理解部分输出要求为指令语言表达式, 其有固定的描述形式。即自然语言理解部分的工作是将自然语言指令转化为计算机语言指令, 从而使得其他程序能够读取人类的指令。

其部分指令语言表达方式实例如下:

give(human, book).

puton(red remote control, couch).

putin(bottle, refrigerator).

pickup(remote control).

on(red remote control, workspace).

on(black book, human).

near(white bottle, sofa).

not give(human, bottle).

not not near(white bottle, sofa).

not onplate(red bottle).

因此本文的自然语言理解输出也以此为标准，作为是否成功理解自然语言指令的评判标准。

### 3.3 依存语法的应用

结合了家庭服务机器人仿真比赛中自然语言指令的特点，基于依存语法与配价理论的核心方法，本文将构造为适合于家庭服务机器人自然语言指令理解的体系。为其词库中存在的词汇建立了独特的配价词表和配价规则，并以动词为中心构造了依存结构。

#### 3.3.1 自然语言指令理解流程

根据依存语法与配价理论的特点，以及自然语言理解的一般方式，本文采取的自然语言理解流程如下图 3-1：

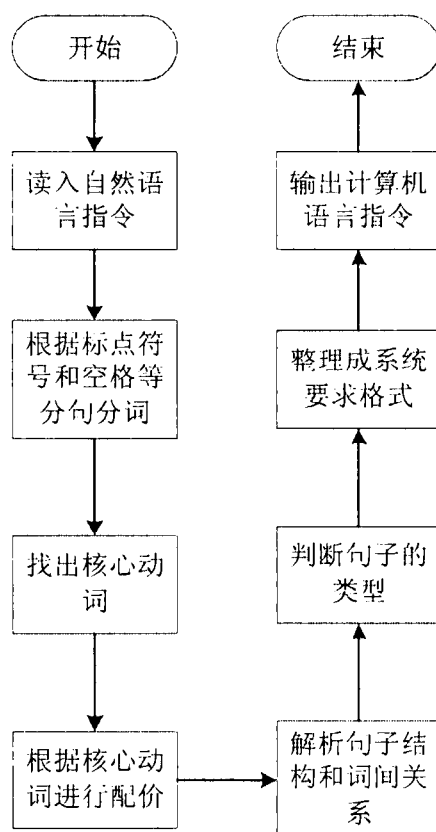


图 3-1 自然语言理解流程

Fig.3.1 Natural language understanding process

3.3.2 建立配价词表

通过分析词库中词汇用法和语法类型，本文为词库中所有词汇根据语法规则编写了其配价规则。使用正价表示该词汇满足其他词汇需求的能力，使用负价表示其被其他词汇满足的需求。而价是有针对性的价，词汇的正价类型由词汇的本身词性决定，只能满足其他词对应的负价；而一个词的负价类型表示它对其他词的词性类型的需求，只有对应词性的词才能满足它的负价的需求，但一个词的负价可由不只一种类型的词来满足。一个词本身都为一个正价，即其能满足某另外一个词的对应词性的负价需求，但其不只可以满足一个词汇的负价，有时可以同时满足多个词汇的负价；而词的负价却数量不定，可以一个词需求一个词，也可以一个词需求两个或以上的词，且几个词的词性可以相同，也可以不同。此外，负价又分为两类，一类是刚性负价，即必须被满足的负价，若无对应词汇满足其负价，则为非法句子；另一类为弹性负价，即可以被满足，也可以不被满足的负价，有无被满足并不影响句子是否合法。

其具体词汇配价表如下表 3-2：

表 3-2 词汇配价表

Table.3.2 Glossary valence

词形	正价	刚性负价	弹性负价
me	n.b	无	无
a, an, the	art	n	无
must, do	aux.v	v	无
be	v	n, n, prep	aux.v, adv
give, put, take	v	n.s, n.b, prep	aux.v, adv
go, open, close	v	n.b	prep, aux.v, adv
pick	v	n.s, prep	aux.v
in, out, on, near, next, to, up, down, from	prep	v	无
which is	ac	n.s, adj	
white, black, red,	adj	n	无



green, yellow, blue			
there. not. do not	adv	v	无
plant, couch, chair, sofa, bed, table, workspace, worktable, teapoy, desk, television, air conditioner, wash machine, closet, cupboard, refrigerator, microwave	n.b	art	adj
book, can, remote control, bottle, cup	n.s	art	adj, ac

3.3.3 依存结构

依存语法与配价理论是以动词为核心的自然语言理解体系，因此本文也采用以动词为根基的方法，先找到句子中的核心动词，根据配价词表，找到句子中其他词汇和动词的关系，以及句子中其他词和词之间的关系，从而确定句子结构，理解句子的含义，将其转化为机器语言的形式。

其分析句子的结构如下图 3-2：

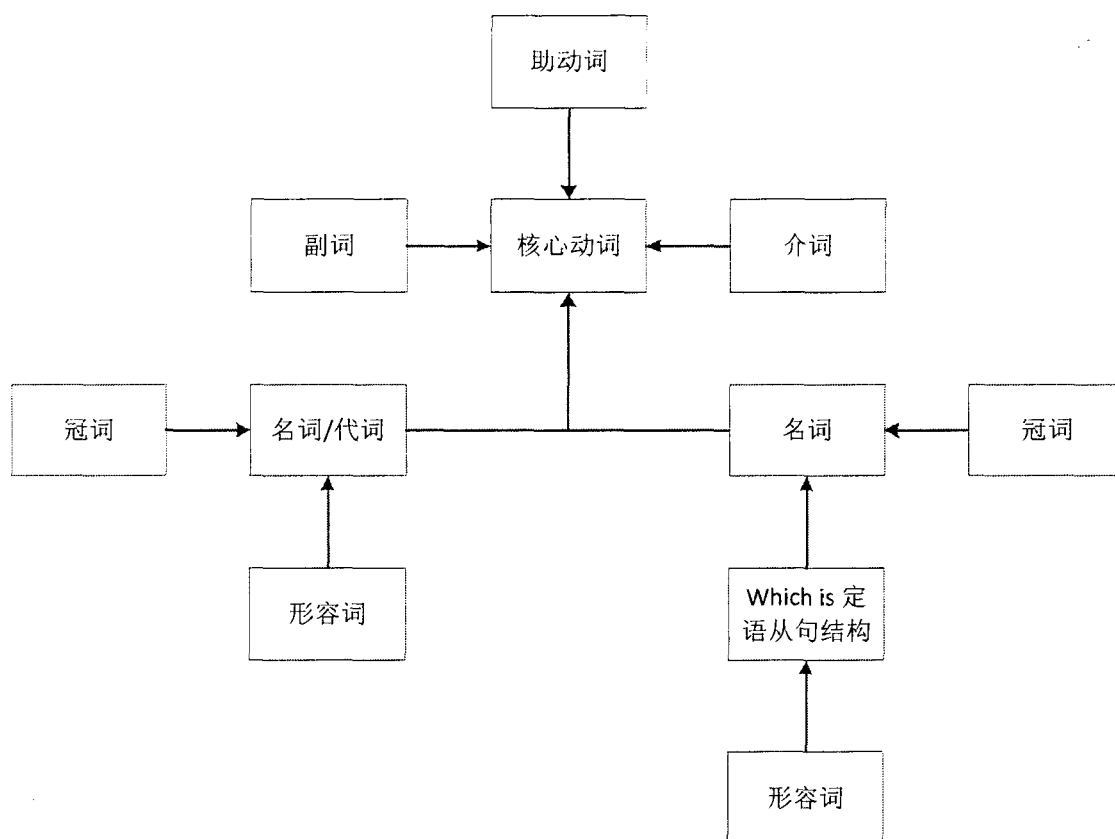


图 3-2 依存语法结构

Fig.3.2 Dependency grammar structure

### 3.4 算法实例

下面举几个例子，使用依存语法与配价理论来分析理解句子：

例 1: Go to the couch.

句子中 go 是主要动词 v，也是唯一的动词，go 有一个刚性负价，需要一个 n.b 类词满足；to 是 prep 类词，用于满足了 go 的弹性负价；the 是冠词 art，有名词的刚性负价；couch 为 n.b 类名词，有 art 的刚性负价，因而和 the 互相满足负价，同时 couch 也可以满足 go 的 n.b 类负价。至此整个句子的结构被理清，按照逻辑可输出计算机指令 goto(couch).

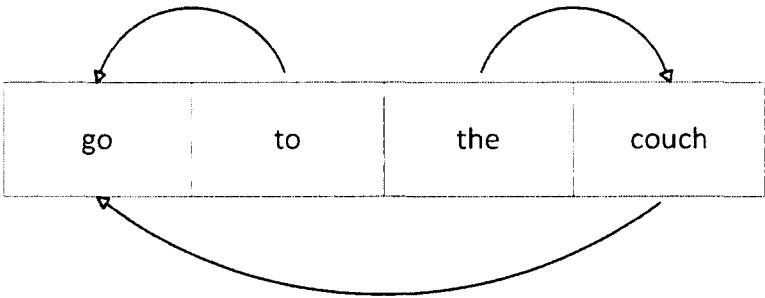


图 3-3 例 1 句子关系图

Fig.3.3 Sentence relations of example 1

例 2: Do not put a cup on the table.

句子中 do not 为固定词组 adv 类型，有一个 v 类型刚性负价；put 为动词 v，有两个 n 类型名词负价需求，一个 prep 类型刚性负价，而动词 put 的 adv 类型弹性负价可被 adv 类型的 do not 所满足；a 和 the 为冠词 art，都有名词的刚性负价；cup 为名词 n.s，table 为名词 n.b，都有 art 型的刚性负价，分别对应 a 和 the 互相满足其负价；on 为介词 prep，可以满足 put 的 prep 类型刚性负价。至此整个句子的结构被理清，按照逻辑可输出计算机指令 not puton(cup, table).

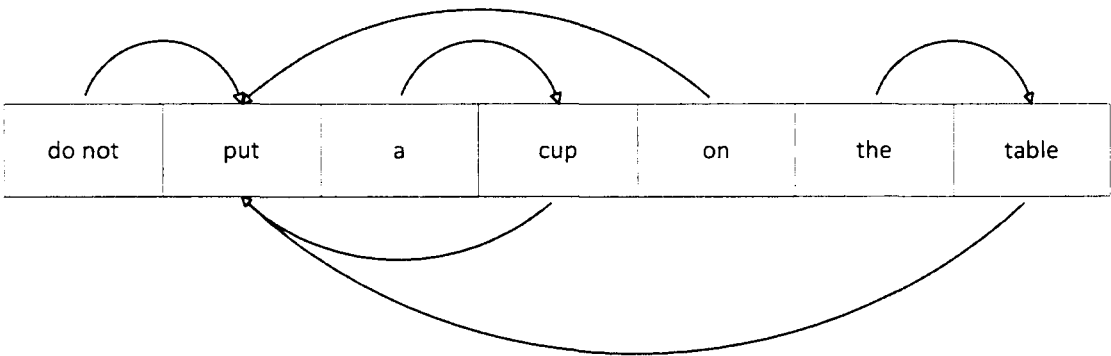


图 3-4 例 2 句子关系图

Fig.3.4 Sentence relations of example 2

例 3: The can which is blue is on the desk.

句子中两个 the 为冠词 art，都有名词的刚性负价；can 为名词 n.s，具有 art 类型刚性负价，被第一个 the 所满足；which is 作为定语从句搭配 ac，有 n 类型的刚性负价，被 n.s 类型的 can 所满足，同时满足了 can 的 ac 类型弹性负价，而 which is

还有一个 adj 类型的刚性负价；blue 为形容词 adj，它满足了 which is 定语从句的 adj 类型的刚性负价；is 为 be 动词 v，是句子的核心动词，有两个名词 n 类型的刚性负价，一个 prep 类型的刚性负价，其第一个 n 类型负价被 can 所满足；on 为介词 prep，满足 is 的 prep 类型刚性负价；desk 为名词 n.b 类型，和 the 相互满足负价，同时满足 is 的第二个 n 类型刚性负价需求。至此整个句子的结构被理清，按照逻辑可输出计算机指令 on(blue can, desk).

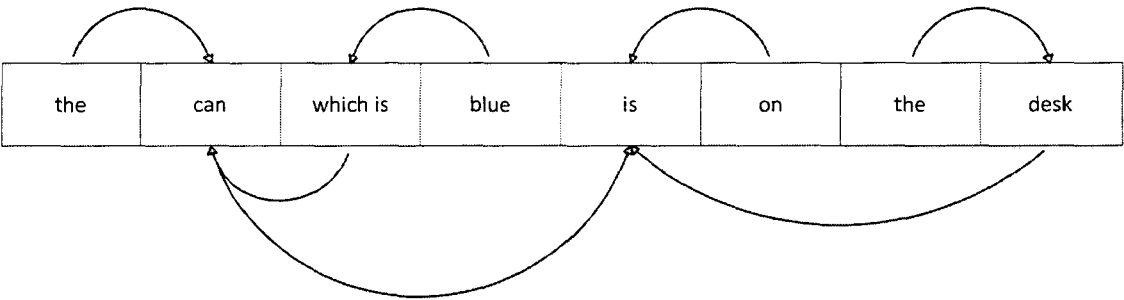


图 3-5 例 3 句子关系图

Fig.3.5 Sentence relations of example 3

其他的词汇和其组成的句型也可以根据类似方法解析，找到词汇之间的关系并最终输出机器语言。

3.5 本章小结

本章主要依据依存语法与配价理论的原理，设计了一种有限词汇配价规则与方法，适用于对准确度需求较高，且词汇范围不十分广泛，但句型语法相对自由的自然语言理解。同时以家庭服务机器人仿真比赛为例，将其应用于比赛的自然语言理解部分当中，建立了配价词表，完成了整个理解过程，成功转化为机器语言。

## 第四章 改进的进化算法

本章将详细介绍本文对任务规划问题特性的理解，并针对这一问题的特性提出了崭新的结构——事件结构，这种结构具有归一化、信息保留完整、便于操作等特点。使用代价计算法作为进化算法的适应度函数，并改进算法的进化方式，采用异位自交叉和限定变异法，从而使进化算法能够用于家庭服务机器人的任务规划之中。

### 4.1 新结构建立的必要性

传统的进化算法并不能直接用来解决任务规划问题，因此需要在规划问题中找到一个合适的结构来描述该问题，从而以之为对象进行进化规划。

以家庭服务机器人仿真比赛的任务系统为例。在比赛中，任务的目标多种多样，为达到目标所需做出的动作也有很大的变化，下面表 4-1 给出某一个任务的例子和可能用来完成任务的一种方法：

表 4-1 机器人规划范例

Table.4.1 Examples of robot planning

指令语言目标描述	动作输出（不唯一）
Putin(red bottle, closet).	move(3), pickup(13), toplate(13),
Puton(green can, teapoy).	move(4), pickup(11), move(5),
Give(human, bottle).	putdown(11),fromplate(13),putdown(13),
Goto(television).	move(9), pickup(17), move(5),
Puton(cup, teapoy).	putdown(17), open(5), pickup(17),
Pickup(remote control).	putin(17, 5), close(5), pickup(15),
	move(1), putdown(15), move(8),
	pickup(12), move(6).

表\*注：结果中数字为大物体或小物体编号，通过场景解析获得，小物体选择不唯一。

例中目标数量为 6，若以目标为规划基础，对其进行排序规划，其情况种类较少，且不能在完成某个目标过程中穿插完成其他目标，因而规划效果不佳。而动作输出的条数和内容都不定，且动作较多，计算复杂度高，也不适合作为规划的基础。

由此可见，基于目标的规划或者基于动作的规划效果和效率不会很高，因此本文将引入一个介于两者之间的新的结构，作为规划的基础。这个结构需要达到归一化的效果，并能完整地表示任务中的信息，且有一定的操作空间，便于对其进行评价，适合以进化算法进行优化，最终还能方便地解析成动作序列。

## 4.2 事件结构与编码

为了满足规划对新结构的需求，本文提出了一种独特的事件结构（step）来表示规划任务，下面本节就详细介绍一下这个结构。

### 4.2.1 事件结构

本文把所有类型的目标都转化为若干个四位结构，称为事件或 step。其结构如下：

`step(getorput, objnum, placenum, inornot)`

其中：`getorput` 表示事件类型是一个拿取或放下小物体、又或与小物体无关的事件；

`objnum` 表示事件中涉及小物体的编号；

`placenum` 表示事件中涉及地点（大物体）的编号；

`inornot` 表示是否存在一些内部包含的状态。

通过这种四位结构，就将各种各样的任务目标转化为一个统一的形式，以之为基础进行规划。它保留了任务目标的基本信息，并在有一定集成化的前提下仍有着很强的可操作性。

### 4.2.2 事件结构附属信息

事件结构本身并不足以保存完成任务所需的全部信息，因而还需要一些附属信息辅助表示任务中的其他额外信息，本方法所需要的事件结构附属信息主要有两种：

1、`robot_state` 用来表示机器人的当前状态；2、`world_state` 用来表示场景中一些特殊物体的状态，如柜门、洗衣机盖等。这些状态可以和事件结构相互影响，从而作用于各个阶段。

### 4.2.3 编码

编码即是把任务目标转化为这种事件结构。

例 1: Pickup(blue cup).其中 blue cup 的编号为 21, 初始位置为 7, 在大物体表面。那么即可将其转化为一条事件结构即  $\text{step0}(\text{getorput} = 1, \text{objnum} = 21, \text{placenum} = 7, \text{inornot} = 0)$ 。

例:2: Puton(green can, teapoy).其中 green can 的编号为 17, 初始位置为 3, 且在大物体内部, teapoy 位置为 7 的话。那么即可将其转化为两条事件结构即  $\text{step0}(\text{getorput} = 1, \text{objnum} = 17, \text{placenum} = 3, \text{inornot} = 1), \text{step1}(\text{getorput} = -1, \text{objnum} = 17, \text{placenum} = 7, \text{inornot} = 0)$ 。

其他目标也可依照类似规则转化为事件结构, 于是规划问题转化为对事件结构的排序问题。而这种把原始的任务目标转化为事件结构的编码方式十分便利, 不需要复杂的计算, 没有耗费太多系统的计算时间, 把更多的时间留给后面的规划计算。

## 4.3 生成初始种群

传统进化算法的初始种群产生方法为随机产生, 但这样并不能保证全面性, 特别是在家庭服务机器人仿真比赛中, 需要规划的参数较多, 不仅是事件结构的顺序, 物品选择方面也需要利用进化算法进行规划, 所以尽量在初始种群保持一定的全面性。

因此, 本文采用了条件随机生成的方式。在每种可能的物品选择情况下, 随机产生若干个初始个体, 个体内的事件结构随机排序, 并经过序列筛选(见 4.5.1)作为进化算法的初始种群  $\mu$ 。

## 4.4 交叉与变异

交叉和变异是进化算法中种群进化的重要方式, 通过交叉、变异计算, 产生新的种群, 从而丰富种群的多样性, 探索更优化的策略。通常进化算法中的交叉操作, 是随机取两个染色体进行单点交叉操作<sup>[40]</sup>, 而变异操作是指对个体编码串随机指定某一位或某几位基因作变异运算<sup>[41]</sup>。

4.4.1 交叉进化

为了解决排序问题，本文把传统的异体同位交叉转化成为自体异位交叉的模式，即在进行交叉进化时，个体中的任意  $m$  个事件对以交叉概率  $p$  进行位置互换，从而产生新的个体。其中交叉事件对个数  $m$  和交叉概率  $p$  与当前个体的适应度有关。即：

$$p = \mu \frac{S}{n}; \tag{4.1}$$

$$m = p \cdot n; \tag{4.2}$$

其中： $p$  为单对事件发生交叉的概率；  
 $\mu$  为交叉率，取值和进化速度及稳定性有关；  
 $S$  为该个体的代价值；  
 $n$  为一个个体中事件的个数。

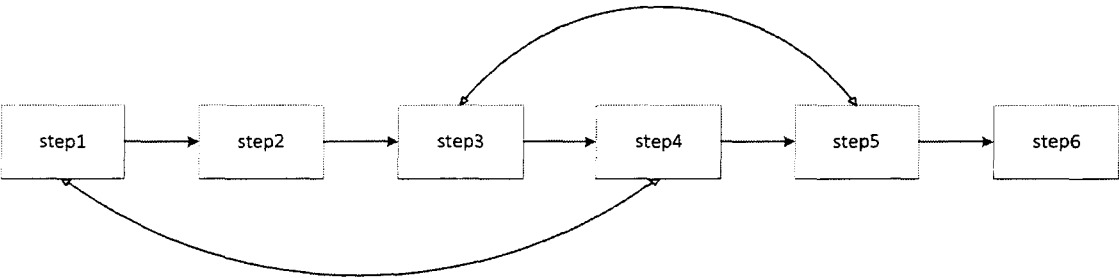


图 4-1 交叉进化图例

Fig.4.1 Cross evolution

发生交叉进化的概率  $p$  与交叉率  $\mu$  和代价值  $S$  正相关，与事件个数  $n$  负相关。由于代价值  $S$  与优化程度负相关，即代价值  $S$  越小则说明该个体的优化程度越高，需要发生交叉的概率则越小，反之亦然。而代价值  $S$  的计算与事件个数  $n$  有关，因而加入  $n$  以消除事件数量对交叉发生概率的影响。交叉率  $\mu$  的值越大则进化速度越快，同时稳定性降低，反之则进化速度降低，但稳定性增强，需根据情况进行选择。

4.4.2 变异进化

物品选择是机器人规划中十分重要的一点，也是家庭服务机器人仿真比赛中必须考虑的部分。利用进化算法的变异进化可以有效地解决物品选择的问题，当然也需要对其进行一定程度的改变。



由于是用于物品选择，所以变异的参数以  $objnum$  为线索，其变异的范围也是限定的，为可以完成目标的同类物品，其发生变异的概率为  $q$ 。当某条事件的  $objnum$  改变时，该事件内的  $placenum$  和  $inornot$  也依照情况根据小物体的状况而变化。且当仍有其他事件涉及同样的小物体时，该事件的小物体也随之而改变，即相当于一种成对变异的效果。

$$q = \theta \cdot \sqrt{k[t]} \cdot \frac{S}{n} ; \quad (4.3)$$

其中： $q$  为单个事件发生变异的概率；

$\theta$  为变异率，取值和进化速度及稳定性有关；

$k[t]$  为目标小物体的可选择个数；

$S$  为该个体的代价值；

$n$  为一个个体中事件的个数。

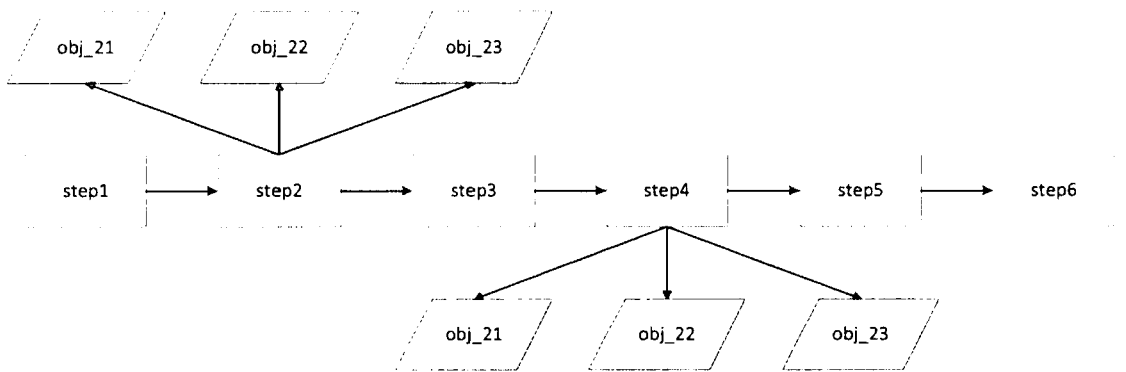


图 4-2 变异进化图例

Fig.4.2 Variation evolution

在公式中， $\theta$ 、 $S$ 、 $n$  的意义和选择与交叉进化时相似，而  $k[t]$  则表示了该事件所用来完成的目标涉及的小物体的可选择数量。当可选择数量越多时，即  $k[t]$  越大时，需对变异进化进行促进，因而  $q$  越大，反之亦然。

由于交叉进化有可能会产生不能正确完成任务的事件序列，这部分序列会在序列的筛选中被删除，因而要产生较多的下一代种群以备选择，需要进行两次独立的进化产生  $2\mu$  个子代种群，则整体种群数量变为  $3\mu$ 。

## 4.5 适应度函数与选择

适应度函数是进化算法非常重要的组成部分，整个进化算法就是在适应度函数的引导下进行的，适应度函数对个体的评价直接影响了选择，从而决定了整个群体

的进化方向。

#### 4.5.1 序列的筛选

由于机器人的能力限制，以及一些动作之间固有的逻辑关系，通过随机生成或经过进化的事件序列并不都是合法的，其中很大一部分会与规则或逻辑冲突。这部分序列是不能正确地完成任务的，对其进行适应度评价也毫无意义，因而要在评价前将其从种群中移除。

如：规则规定机器人同时只能携带两个或两个以下的小物体，因而违反此规定的事件序列视为违规，应予以删除；当事件序列中涉及对同一物体的拿取事件和放下事件时，逻辑上拿取事件必须出现在放下事件之前，否则视为不合逻辑，应予以删除。以及诸如此类其他违反规则或逻辑的事件序列都删除处理，并且每次进化一代之后都进行一次序列的筛选。

#### 4.5.2 适应度函数

本方法适应度函数采取代价累加的方式计算，根据事件结构的内容、机器人的状态、场景状态、需要维持的约束等等，结合类似罚函数的方法，计算出完成任务所需付出的代价（ $S$ ）<sup>[42]</sup>。计算得出的代价值越高，则说明适应度越低，相反代价值越低，说明适应度越高。代价值计算具体公式如下：

$$S = \sum_{i=1}^n m \alpha_i + \sum_{i=1}^n a \beta_i + \sum_{i=1}^n c \gamma_i + x; \quad (4.4)$$

其中： $S$  为该序列的代价值；

$n$  为该序列包含的事件个数；

$\alpha_i = f(\text{location}[i], \text{step.placenum})$ ；

$\beta_i = f(\text{step}[i], \text{robot\_state}, \text{world\_state})$ ；

$\gamma_i = f(\text{step}[i], \text{not\_pickup}, \text{not\_goto}, \text{not\_open}, \text{not\_toplate}, \text{not\_fromplate}, \text{not\_on}, \text{not\_in}, \text{not\_near}, \text{notnot\_near})$ ；

$m$ 、 $a$ 、 $c$  为移动、动作、约束的代价权值；

$x$  为特殊情况代价变化。

公式中的  $m$ 、 $a$ 、 $c$  权值是根据比赛规则对移动、动作、约束的评分系统而设定

的，分别设为 3、1、5。 $\alpha_i$  表示该事件是否有进行移动的需求，其为 0 或 1 二值，与机器人的当前位置和事件发生地点有关； $\beta_i$  表示为完成该事件所需做出动作的复杂度，与事件的内容、机器人的状态、环境状态有关，是强非线性的映射关系； $\gamma_i$  表示本次事件违反约束的量，需要根据事件本身的内容和约束列表得出。变量  $x$  为某些特殊情况对整体代价值的影响，例如事件结束时机器人状态刚好位于 goto 任务目标地点等等。

由此方法计算出的代价值与适应度成负相关，相关使用和操作也与适应度相反。

4.5.3 种群的选择

进化规划的选择采用  $k$  随机型的竞争选择法。在这种选择方法中，为了确定某个体  $j$  的优劣程度，可以从新、旧群体的个体中随机选择  $k$  个个体组成测试群体。然后将个体  $j$  的适应度与测试群体中的每个个体的适应度进行比较，记录个体  $j$  优于或等于测试群体内各个体的个数，得到个体  $j$  的得分  $w_j$ ，即：

$$w_j = \sum_{i=1}^k \begin{cases} 1, & \text{if } S_j \leq S_i \\ 0, & \text{else} \end{cases} \tag{4.5}$$

依照此规则对种群中每个个体进行计算以测试新种群，选择其中  $w$  值最高的  $\mu$  个个体作为下一代的初始种群。

4.6 终止条件与解码

本算法利用代价计算函数作为终止条件，当连续三代种群最低代价相同时，即视为达到相对最优解，随即终止进化，当前种群中的最佳个体作为规划结果。

当进化过程结束，选出了相对最优解之后，即进入解码过程。将排好序的事件结构结合机器人状态、场景状态等，转化成机器人最终执行的动作序列。例如：

表 4-2 解码范例

Table.4.2 Example of decoding

事件结构	动作输出
getorput:1,    objnum:27,    placenum:3	move(103), open(3), takeout(27,3),
inornot: 1;	move(101), putdown(27), move(112),
getorput:-1,    objnum:27,    placenum:1	pickup(20), move(111), toplate(20),

inornot: 0;	pickup(28), move(104), putdown(28),
getorput:1, objnum:20, placenum:12	putdown(28), open(4), fromplate(20),
inornot: 0;	putin(20,4), close(4), move(110),
getorput:1, objnum:28, placenum:11	pickup(22).
inornot: 0;	
getorput:-1, objnum:28, placenum:4	
inornot: 0;	
getorput:-1, objnum:20, placenum:4	
inornot: 1;	
getorput:1, objnum:22, placenum:10	
inornot: 0;	

至此，整个机器人规划过程结束。

4.7 规划流程图示

根据这种改进的进化算法的规划方式，程序对任务进行规划的基本流程如下图所示：

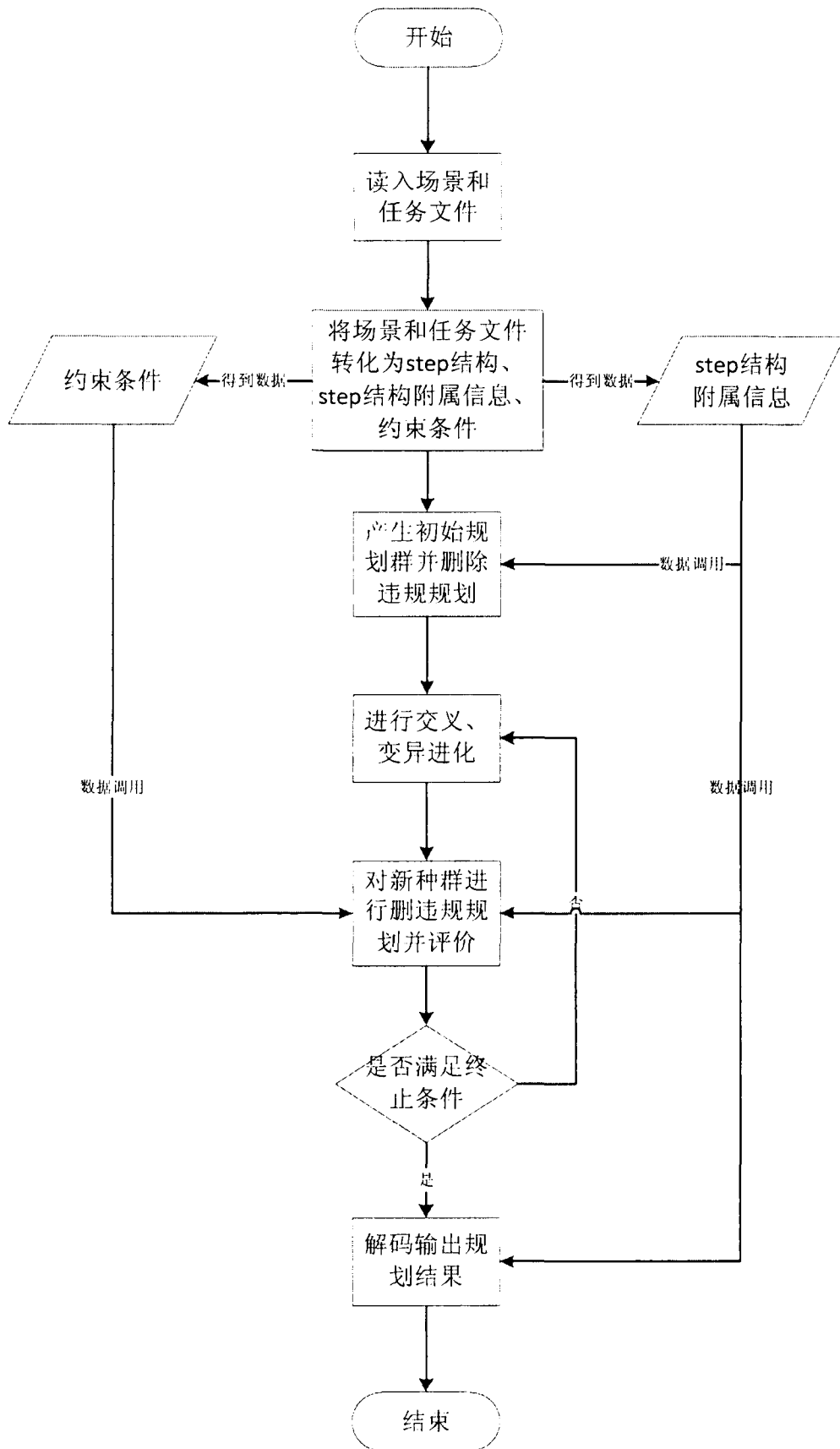


图 4-3 规划流程

Fig.4.3 Planning process

4.8 规划过程范例

下面给出两个具体的家庭服务机器人仿真比赛当中的例子来说明整个规划的过程和效果：

例 1：第一阶段

表 4-3 例 1 题目

Table.4.3 Task of example 1

场景描述	任务描述
human(1). location(1, 101). big(1).	goto(couch).
couch(2). location(2, 102). big(2).	pickup(bottle).
plant(3). location(3, 103). big(3).	pickup(can).
cupboard(4). location(4, 104). big(4).	puton(green cup,
chair(5). location(5, 105). big(5).	table).
sofa(6). location(6, 106). big(6).	puton(cup, human).
bed(7). location(7, 107). big(7).	
table(8). location(8, 108). big(8).	
workspace(9). location(9, 109). big(9).	
worktable(10). location(10, 110). big(10).	
teapoy(11). location(11, 111). big(11).	
desk(12). location(12, 112). big(12).	
television(13). location(13, 113). big(13).	
air conditioner(14). location(14, 114). big(14).	
refrigerator(15). location(15, 115). big(15).	
wash machine(16). location(16, 116). big(16).	
dooropen(16).	
closet(17). location(17, 117). big(17).	
small(18). cup(18). location(18, 115). black(18).	
small(19). cup(19). location(19, 112). red(19).	
small(20). book(20). location(20, 106). white(20).	
small(21). bottle(21). location(21, 112). white(21).	

small(22). cup(22). location(22, 114). green(22). small(23). bottle(23). location(23, 105). green(23). small(24). remote control(24). location(24, 112). small(25). book(25). location(25, 106). small(26). bottle(26). location(26, 105). white(26). small(27). book(27). location(27, 117). small(28). can(28). location(28, 104). yellow(28). small(29). can(29). location(29, 115). black(29). plate(0). hold(0). location(0, 104).	
---	--

首先，找出任务中所出现的小物体可选项，并将其转化为 step 结构，转化结果如下（goto 指令由于其地点不可变且必为最后执行，不进入 step 结构列表）：

```
getorput:1, objnum:21, placenum:112 , inornot: 0;
    可选 objnum:26,对应 placenum:105;
getorput:1, objnum:28, placenum:104 , inornot: 0;
    可选 objnum:29,对应 placenum:115;
getorput:1, objnum:22, placenum:114 , inornot: 0;
getorput:-1, objnum:22, placenum:108 , inornot: 0;
getorput:1, objnum:18, placenum:115 , inornot: 0;
    可选 objnum:19,对应 placenum:112;
getorput:-1, objnum:18, placenum:101 , inornot: 0;
    可选 objnum:19,随上一条改变。
```

并得到 step 附属信息：hold:0, plate:0, location: 104。由于为第一阶段，不含约束条件，所以没有产生约束条件信息。

然后便开始进化算法过程，取初始种群数量为 100，随机产生 100 组排列，且物品选择也随机生成。经过序列的筛选，去掉其中不合法的违规的规划序列，剩余排列 17 组，并对剩余的 17 组排列进行适应度评价。之后以交叉率  $\mu = 0.1$ ，变异率  $\theta = 0.1$ ，进行交叉变异进化运算，与原始种群共同成为新的种群，包含 34 个个体。再一次筛掉不合法的违规序列之后，采用 k 随机型的竞争选择法选出其中较优的个体组成下一代种群，由于未达到终止条件，继续进入下一轮进化。

经过 7 轮的进化后，连续三代最佳个体的适应度相同，终止优化，最终产生 step

结构排列和选择结果如下：

```
getorput:1, objnum:28, placenum:104 , inornot: 0;
getorput:1, objnum:18, placenum:115 , inornot: 0;
getorput:-1, objnum:18, placenum:101 , inornot: 0;
getorput:1, objnum:22, placenum:114 , inornot: 0;
getorput:-1, objnum:22, placenum:108 , inornot: 0;
getorput:1, objnum:21, placenum:112 , inornot: 0。
```

将该 step 结构解码为机器人原子行动输出结果为：pickup(28). move(114).  
toplate(28). pickup(22). move(108). putdown(22). move(115). pickup(18). move(101).  
putdown(18). move(112). pickup(21). move(102).

最后本题目最终得分 25 分，相较不予以规划的分数 23 分多出 2 分。

例 2：第二阶段

表 4-4 例 2 题目

Table.4.4 Task of example 2

场景描述	任务描述
human(1). location(1, 101). big(1).	puton(bottle,
couch(2). location(2, 102). big(2).	worktable).
plant(3). location(3, 103). big(3).	pickup(cup).
cupboard(4). location(4, 104). big(4).	give(human, cup).
chair(5). location(5, 105). big(5).	putin(cup,
sofa(6). location(6, 106). big(6).	refrigerator).
bed(7). location(7, 107). big(7).	on(red cup, chair).
table(8). location(8, 108). big(8).	on(green cup,
workspace(9). location(9, 109). big(9).	teapoy).
worktable(10). location(10, 110). big(10).	on(yellow bottle,
teapoy(11). location(11, 111). big(11).	wash machine).
desk(12). location(12, 112). big(12).	on(yellow cup, plant).
television(13). location(13, 113). big(13).	near(white cup, white
air conditioner(14). location(14, 114). big(14).	book).



refrigerator(15). location(15, 115). big(15). wash machine(16). location(16, 116). big(16). closet(17). location(17, 117). big(17). small(18). cup(18). white(18). small(19). cup(19). location(19, 102). white(19). small(20). cup(20). yellow(20). small(21). book(21). location(21, 117). blue(21). small(22). book(22). location(22, 101).white(22). small(23). bottle(23). yellow(23). small(24). cup(24). green(24). small(25). cup(25). location(25, 111). red(25). small(26). cup(26). red(26). small(27). bottle(27). location(27, 105). green(27). small(28). remote control(28). location(28, 108). black(28). small(29). remote control(29). location(29, 115). red(29). plate(0). hold(0). location(0, 100).	not inside(blue book, wash machine). not onplate(white cup). not pickup(white cup). not onplate(yellow bottle).
---	--

首先，找出任务中所出现的小物体可选项，由于补充信息中 near(white cup, white book). 词条信息说明 white cup 位置为 101，满足 give(human, cup). 任务，因而本任务无需处理，将其余任务转化为 step 结构，转化结果如下：

getorput:1, objnum:23, placenum:116 , inornot: 0;  
    可选 objnum:27,对应 placenum:105;  
getorput:-1, objnum:23, placenum:110 , inornot: 0;  
    可选 objnum:27,随上一条改变;  
getorput:1, objnum:19, placenum:102 , inornot: 0;  
    可选 objnum:20,对应 placenum:103;  
    可选 objnum:24,对应 placenum:111;  
    可选 objnum:25,对应 placenum:111;  
    可选 objnum:26,对应 placenum:105;  
getorput:1, objnum:19, placenum:102 , inornot: 0; 选择不可与上条相同;

可选 objnum:20,对应 placenum:103;

可选 objnum:24,对应 placenum:111;

可选 objnum:25,对应 placenum:111;

可选 objnum:26,对应 placenum:105;

getorput:-1, objnum:19, placenum:115, inornot: 1;

可选 objnum:20,随上一条改变;

可选 objnum:24,随上一条改变;

可选 objnum:25,随上一条改变;

可选 objnum:26,随上一条改变。

并得到 step 附属信息: hold:0, plate:0, location: 100。同时产生约束条件: not inside(blue book, wash machine). not onplate(white cup). not pickup(white cup). not onplate(yellow bottle).作为部分评分依据。

然后便开始进化算法过程,取初始种群数量为 100,随机产生 100 组排列,且物品选择也随机生成。经过序列的筛选,去掉其中不合法的违规的规划序列,剩余排列 15 组,并对剩余的 15 组排列进行适应度评价。之后以交叉率  $\mu = 0.1$ , 变异率  $\theta = 0.1$ , 进行交叉变异进化运算,与原始种群共同成为新的种群,包含 30 个个体。再一次筛掉不合法的违规序列之后,采用 k 随机型的竞争选择法选出其中较优的个体组成下一代种群,由于未达到终止条件,继续进入下一轮进化。

经过 8 轮的进化后,连续三代最佳个体的适应度相同,终止优化,最终产生 step 结构排列和选择结果如下:

getorput:1, objnum:26, placenum:105, inornot: 0;

getorput:1, objnum:27, placenum:105, inornot: 0;

getorput:-1, objnum:27, placenum:110, inornot: 0;

getorput:-1, objnum:26, placenum:115, inornot: 1;

getorput:1, objnum:20, placenum:103, inornot: 0。

将该 step 结构解码为机器人原子行动输出结果为: move(105). pickup(26). toplate(26). pickup(27). move(110). putdown(27). move(115). open(15). fromplate(26). putin(26,15). close(15). move(103). pickup(20).

最后本题目最终得分 49 分, 相较不予以规划的分数 18-33 分多出 16-31 分。

## 4.9 本章小节

本章通过改变了传统进化算法中的编码方式、变异进化、交叉进化等对其进行了改进，设计了一种适用于排序、选择等机器人规划问题的进化算法。同时将其应用于家庭服务机器人仿真比赛之中，针对比赛方式设计了编码结构等，成功进行了服务机器人的任务规划。

## 第五章 综合实验与结论

本章将对本文前面提出的自然语言理解算法和任务规划算法分别进行试验论证，之后再将二者结合起来共同应用在家庭服务机器人仿真比赛之中，以验证、分析其效果。

### 5.1 自然语言理解算法实验

为了验证自然语言理解算法的可行性与有效性，本文采用了 2011 年中国服务机器人大赛自然语言仿真组的比赛真题作为实验对象<sup>[43]</sup>，取其中自然语言指令部分，使用本算法将其批量转换为计算机指令语言。其中包含第一阶段，即单纯祈使句指令 186 条；第二阶段，即包含祈使句及陈述句等混合指令 523 条。

部分转换结果如下表 5-1：

表 5-1 自然语言理解实验部分结果

Table.5.1 Natural language understand experimental results

自然语言指令	计算机语言指令
Give me a can which is blue.	give(human, blue can).
Give me a can.	give(human, can).
Pick up the bottle.	pickup(bottle).
Pick up the can.	pickup(can).
Put a bottle on the closet.	puton(bottle, closet).
Give me a cup which is green.	give(human, green cup).
Give me a can.	give(human, can).
Pick up the book which is black.	pickup(black book).
Put a book which is green on the teapoy.	puton(green book, teapoy).
Go to the cupboard.	goto(cupboard).
Give me a black remote control.	give(human, black remote control).
Put a cup which is black on the cupboard.	puton(black cup, cupboard).
	give(human, can).

Give me a can.	near(white book, black can).
The book which is white is near the can which is black.	on(black can, couch).
There is a can which is black on the couch.	near(cup, air conditioner).
There is a cup near the air conditioner.	near(green remote control, cupboard).
There is a remote control which is green near the cupboard.	on(green cup, table).
There is a green cup on the table.	dooropen(wash machine).
The wash machine is opened.	not onplate(black can).
The can which is black must not be on the plate.	
Put the book in the wash machine.	putin(book, wash machine).
Go to the bed.	goto(bed).
Pick up the remote control.	pickup(remote control).
Give me a cup.	give(human, cup).
The blue book is near the bottle.	near(blue book, bottle).
There is a cup which is red on the table.	on(red cup, table).
There is a book which is red on the air conditioner.	on(red book, air conditioner).
The remote control which is white is on the plate.	onplate(white remote control).
There must be a book which is red near the human.	not not near(red book, human).
There must be a remote control which is white on the plate.	not not onplate(white remote control).
There must not be a book which is blue on the plate.	not onplate(blue book).
Do not give me the can.	not give(human, can).

整体转换正确条数：第一阶段 186 条，第二阶段 523 条，即所有指令转换成功，

满足服务机器人对自然语言理解的准确率极高的要求，将依存语法与配价理论成功应用于家庭服务机器人仿真比赛之中，也证明了本算法的有效性。

5.2 任务规划算法实验

为了验证任务规划算法的有效性和优越性，本文采用了 2011 中国服务机器人大赛指令语言仿真组作为测试题目<sup>[43]</sup>，题目中任务描述为计算机指令语言，不包含自然与语言理解部分，可以较好的单独测试规划部分的效果。比赛包含两个阶段（stage），每个阶段 50 个任务，每个任务包含若干个目标和约束等，算法应用于我校 GDUT\_TiJi 队，并取 8 个其他学校参赛队为参照系，各参赛队采用 A\*算法、ASP 回答集编程等完全独立的方法。其中 stage1 只包含目标，而 stage2 包含目标及约束，更为复杂，对规划的要求更高。实验结果包含整组题目的对照情况，以及对具体单个题目比较的统计数据。

表 5-2 中 score 为各队单个阶段得分，higher 为该队单题得分超过我队的题目数，lower 为该队单题得分低于我队的题目数，different 为单个阶段得分差，rank 为该队在比赛中的排名。

表 5-2 任务规划实验结果

Table.5.2 Mission planning experimental results

	stage1				stage2				
name	score	higher	lower	different	score	higher	lower	different	rank
GDUT_TiJi	1184	N/A	N/A	N/A	1812	N/A	N/A	N/A	N/A
AUA@home	1021	0	31	-163	1633	3	25	-179	7
CSU_Yunlu	1019	6	9	-165	1468	6	30	-344	8
DLNU_inspiring	1127	1	22	-57	1754	2	20	-58	2
DreamWing	1034	2	27	-150	1647	6	23	-165	5
HuJiang	1045	1	39	-139	1643	3	34	-169	6
MiraclePlus	1037	0	31	-147	1749	6	11	-63	3
Rola	1198	8	1	+14	1784	9	2	-28	1
TJNU	1054	0	34	-130	1655	0	30	-157	4

从实验结果可以看出，该结构算法在家庭服务机器人仿真比赛中应用良好，得

分高于其他队的题目很多，而得分低于其他队的题目则相对较少，且在状况更复杂的第二阶段能取得更好的成绩，成功达到规划效果。

5.3 综合实验与结果

为了验证自然语言理解算法和任务规划算法，将两个算法共同应用于比赛程序当中。实验素材为 2011 中国服务机器人大赛自然语言仿真组比赛用题<sup>[43]</sup>，比赛包含两个阶段（stage），每个阶段 50 个任务，每个任务包含若干个目标和约束等，算法应用于我校 GDUT\_TiJi 队，并取 8 个其他学校参赛队为参照系，各参赛队采用 A\* 算法、ASP 回答集编程等完全独立的方法。其中 stage1 只包含目标，而 stage2 包含目标及约束，更为复杂，对规划的要求更高。实验结果包含整组题目的对照情况，以及对具体单个题目比较的统计数据。

表 5-3 中 score 为各队单个阶段得分，higher 为该队单题得分超过我队的题目数，lower 为该队单题得分低于我队的题目数，different 为单个阶段得分差，rank 为该队在比赛中的排名。

表 5-3 综合实验结果

Table.5.3 Comprehensive experimental results

NT(自然语言)									
	stage1				stage2				
name	score	higher	lower	different	score	higher	lower	different	rank
GDUT_TiJi	1200	N/A	N/A	N/A	2058	N/A	N/A	N/A	N/A
AUA@home	1029	0	35	-171	1839	2	28	-219	6
CSU_Yunlu	1014	5	26	-186	1683	2	36	-375	7
DLNU_inspiring	1172	1	16	-28	1955	2	23	-103	3
DreamWing	1103	6	19	-97	1976	9	20	-82	2
HuJiang	1131	4	25	-69	1857	2	37	-201	5
MiraclePlus	1218	7	3	18	2035	11	8	-23	1
RainMount	921	6	41	-279	569	0	49	-1489	8
TJNU	1082	0	28	-118	1868	0	36	-190	4

由实验结果可以看出，本文所设计和使用的自然语言理解方法和任务规划方法

都能取得很好的效果，且组合使用情况良好，比单独使用能取得更好的效果。使用这个方法，我校 GDUT\_TiJi 队在 2012 中国服务机器人大赛中取得了指令语言组季军、自然语言组亚军的成绩，证明其在实际比赛中有着良好的比赛效果。

## 5.4 本章小结

本章通过实验分别论证了本文自然语言理解算法和服务机器人任务规划算法的有效性和优越性，之后将二者同时应用于 GDUT\_TiJi 队的参赛程序当中，进行了实验并参加了实际比赛，同样取得了良好的效果，证明了两个算法都很适合于作为服务机器人的应用技术。



## 结论与展望

关于服务机器人的研究工作越来越获得更多的关注，并不断涌现出各种各样的学术与应用成果，是一个充满活力和潜力的课题，同时也是一个具有综合性和实用性的课题。

本文着力于服务机器人的自然语言理解和任务规划两个方面，并依托家庭服务机器人仿真比赛为平台，进行了算法的研究和应用。

通过研究生阶段的学习、探索和研究，取得的成果总结如下：

(1) 通过对依存语法与配价理论的研究与应用，设计了一种服务机器人自然语言理解方法，作为人机交互的便利方式。

(2) 改进了传统的进化算法，使其适用于排序、选择等问题的解决，是一种效果良好的服务机器人任务规划算法。

(3) 主导参与搭建了家庭服务机器人仿真比赛的参赛程序，便于服务机器人相关算法的实验与研究。

本文所做的工作，还有许多地方有待深入研究，如：

(1) 由于自然语言理解的复杂性和随意性，对于一些不在语料库范围内的句式或者人类在语言上的出现失误，本文中的算法难以对其进行适应。

(2) 服务机器人的任务规划正向更为复杂的方向发展，因而进化算法的计算速度受到进一步的挑战，对于大规模的任务规划适应能力也是今后研究的重点之一。

(3) 对于服务机器人的研究本文仍停留在仿真阶段，而从仿真到硬件实现仍需要做大量的工作。

## 参考文献

- [1] 王炎,周大威. 移动式服务机器人的发展现状及我们的研究[J]. 电气传动, 2000, 30(4): 3-7.
- [2] 李开生,张慧慧,费仁元等. 国外服务机器人的发展动态和前景[J]. 制造业自动化, 2000, 22(6): 1.
- [3] 杨戈,刘宏. 视觉跟踪算法综述[J]. 智能系统学报, 2010, 5(2): 95-105.
- [4] 黄子君,张亮. 语音识别技术及应用综述[J]. 江西教育学院学报, 2010, 31(3): 44-46.
- [5] James Allen. Natural Language Understanding: Benjamin-Cummings Publishing Company, 1994.
- [6] 曾玉明. 在特定领域中自然语言理解应用的研发[D]. 上海交通大学, 2003.
- [7] 冯志伟. 计算机语言学基础[M]: 商务印书馆, 2008:280.
- [8] 姚天顺. 自然语言理解[M]: 清华大学出版社, 1995.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Botao Wang, Min Yang, Yunxia Song. A Study on a Computer-Based Corpus Approach to College English Writing, 2010.
- [12] 蔡金亭. 英语过渡语中的动词屈折变化--对情状体优先假设的检验[J]. 外语教学与研究, 2002, 34(2): 107-115.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 司联合. 《概念层次网络理论》(HNC)述评[J]. 语言科学, 2003, 2(4): 101-108.

- [18] 范佳, 钱徽, 朱淼良等. 优化路径分配的多作业机器人任务规划[J]. 计算机工程, 2010, 36 (23) : 142-145.
- [19] 张小川, 李祖枢, 张品红等. 基于行为的足球机器人动作规划[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35 (9) : 1071-1073.
- [20] 席裕庚, 张纯刚. 一类动态不确定环境下机器人的滚动路径规划[J]. 自动化学报, 2002, 28 (2) : 161-175.
- [21] 余伶俐, 蔡自兴, 刘晓莹等. 均分点蚁群算法在群集机器人任务规划中的应用与研究[J]. 高技术通讯, 2009, 19 (10) : 1054-1060.
- [22] 高平安, 蔡自兴, 余伶俐. 多移动机器人负载均衡任务规划算法[J]. 高技术通讯, 2009, 19 (5) : 501-505.
- [23] 吉建民. 提高ASP效率的若干途径及服务机器人上应用[D]. 中国科学技术大学, 2010.
- [24] 家庭服务机器人仿真比赛网站[S].
- [25] 2012家庭服务机器人仿真比赛规则[S].
- [26] Marco Kuhlmann. Dependency Structures and Lexicalized Grammars: Springer, 2010.
- [27] 刘海涛. 依存语法的理论与实践[M]: 科学出版社, 2009.
- [28] G. Helbig, Schenkel. W. Wörterbuch zur Valenz und Distribution deutscher verben. Leipzig: Bibliographisches Institut, 1978.
- [29] Sprachtheorie. Karl Bühler, 1934.
- [30] 蔡自兴. 人工智能及其应用 (第4版) [M]: 清华大学出版社, 2010.
- [31] D. Dasgupta, Z. Michalewicz. Evolutionary Algorithms in Engineering Applications: Springer, 1997.
- [32] George F. Luger. Artificial Intelligence: Structures And Strategies For Complex Problem Solving: 机械工业出版社, 2009.
- [33] Yanguang Cai, Zhang Minjie, Hao Cai. A hybrid chaotic quantum evolutionary algorithm, 2010.
- [34] Y. G. Woldesenbet, G. G. Yen. Dynamic Evolutionary Algorithm With Variable Relocation. Evolutionary Computation. IEEE Transactions on, 2009, 13 (3) : 500-513.

- [35] Yan Yang, Wang Hongfeng, Wang Qinget al. A multi-agent based evolutionary algorithm in non-stationary environments, 2008.
- [36] 王宇平. 进化计算的理论和方法[M]: 科学出版社, 2011.
- [37] 吉根林. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21 (2): 69-73.
- [38] 王凌, 钱斌. 混合差分进化与调度算法[M]: 清华大学出版社, 2012.
- [39] 周辉仁, 唐万生, 王海龙. 基于差分进化算法的多旅行商问题优化[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30 (8): 1471-1476.
- [40] 邓泽喜, 曹敦虔, 刘晓冀等. 一种新的差分进化算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (24): 40-42, 52.
- [41] 王帅强. 基于进化计算的行为模型自动精化和排序学习方法的研究[D]. 山东大学, 2009.
- [42] 刘波, 王凌, 金以慧. 差分进化算法研究进展[J]. 控制与决策, 2007, 22 (7): 721-729.
- [43] 2011中国服务机器人大赛服务机器人仿真比赛题目[S], 2011.

## 攻读学位期间发表的论文

一、在攻读学位期间发表的（含已录用）学术论文情况：

- 1、李剑平，陈玮，陈树斌.改进的进化算法在服务机器人仿真赛中的应用.计算机工程与设计；
- 2、陈玮，曹志广，李剑平.改进的模板匹配方法在车牌识别中的应用.计算机工程与设计；
- 3、陈树斌，陈玮，李剑平.基于文化算法的家庭服务任务规划.计算机工程与应用。

二、与学位论文内容相关的其它成果：

- 1、2012 中国服务机器人大赛 自然语言仿真组 一等奖；
- 2、2012 中国服务机器人大赛 指令语言仿真组 二等奖。

## 学位论文独创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文是我个人在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明，并表示了谢意。本人依法享有和承担由此论文所产生的权利和责任。

论文作者签名：李剑平 日期：2013.6.4

## 学位论文版权使用授权声明

本学位论文作者完全了解学校有关保存、使用学位论文的规定，同意授权广东工业大学保留并向国家有关部门或机构送交该论文的印刷本和电子版本，允许该论文被查阅和借阅。同意授权广东工业大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印、扫描或数字化等其他复制手段保存和汇编本学位论文。保密论文在解密后遵守此规定。

论文作者签名：李剑平 日期：2013.6.4

指导教师签名：王新伟 日期：2013.6.5

## 致谢

本论文得以顺利完成，与我的老师、同学、家人们的付出是分不开的，在此向所有帮助过我的人们表示真挚的感谢。

首先，需要感谢的是我的指导教师陈玮教授，感谢她在我三年的研究生生涯中给予我在学习上和生活中的指导和帮助。陈老师为 425 实验室营造了良好的学习、科研氛围，使得我能在拥有自主、无限空间的学习环境的同时，得到悉心的指导与鼓励。不论是前期对图像识别方向的学习，还是中后期对有关服务机器人自然语言理解算法和任务规划算法的研究，陈老师都在关键问题上为我指明了方向，使我在科研和学习能力上有所提高。同时，陈老师给予了我协助实验室管理的机会，让我在学习之余有机会接触到更多的人和事，锻炼了我的表达能力和工作能力。而在这篇论文的撰写过程中，陈老师从头至尾都对我进行各方面的指导，从章节安排到细节的建议费了不少心思，陈老师严谨治学的态度帮助我顺利完成了这篇论文。

感谢师兄曹志广、郭靖、陆灏明、师姐黄颖、同窗陈树斌、汤培楷、师弟郭逸豪、黄浩晖、麦毅成、余震、张立、师妹王玘、杨宛璐等在学习和生活上给予我的帮助，和我共同愉快地度过研究生学习阶段。

感谢所有帮助过我的老师和同学们。

最后，感谢我的家人在我生活的各个方面给予我的帮助，有了他们的支持，我才得以顺利完成学业。