

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23120101152957

UDC_____

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

基于计算动词理论的无人机路径规划

Path Planning for UAVs Based on Computational Verb
Theory

蔡阿恋

指导教师姓名: 杨涛教授

专业名称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2013 年 月

论文答辩时间: 2013 年 月

学位授予日期: 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

计算动词理论作为一门新兴的学科，已有十六年的发展历史。在这期间，计算动词以其强大的理论适用性渗透到自动控制、信号处理、经济学等领域并发挥了其解决复杂工程及社会问题的能力。

关联规则挖掘是数据挖掘的应用之一，本文的第一部分将计算动词理论中的动词相似度应用于关联规则挖掘的数据预处理中，使我们能够更好地研究事务动态发展趋势之间的关联。本文的第二部分构建基于障碍物规避的无人机路径规划系统，该系统由障碍物识别、障碍物规避、路径选取、路径平滑四个模块组成。利用基于计算动词规则库的障碍物规避方案得到最大规避角，并以精确解决方案为参照，和模糊规则库解决方案进行比较，结果显示计算动词理论解决复杂问题的优势。

本文的创新点如下：

1. 将计算动词相似度运用到关联规则挖掘中。规则挖掘的算法很多，研究对象一般是静态的、独立的事务信息，我们在关联规则挖掘中引入计算动词理论，为研究事务的动态变化趋势之间的关联提供了新的途径；
2. 引入面对面障碍物碰撞规避物理模型，将计算动词规则库和模糊规则库运用于障碍物规避模型中，比较精确解决方案、模糊解决方案和计算动词解决方案的仿真结果，结果显示计算动词解决方案和模糊方案相比，可以更好地接近精确解决方案；
3. 提出无人机在飞行速率不变情况下的路径平滑算法，并和 B 样条平滑结果进行比较，结果表明，虽然 B 样条平滑后的曲线相对较短，但曲线的曲率半径较大，无人机无法达到；本文给出的路径平滑算法的曲率半径更便于设置，不存在曲率半径无法达到的问题，同时执行速度更快；
4. 提出基于全局的路径规划和基于局部的路径规划，结合三种障碍物规避方法进行仿真，结合统计分析方法，分别定量计算相对于精确解决方案，模糊解决方案和计算动词解决方案的误差的均值和方差，仿真实验的结果表明计算动词规则库解决方案优于模糊规则库解决方案。

关键词：计算动词理论；关联规则；路径规划

Abstract

Since its invention, computational verb theory has been developed for some 16 years. During this period, with its strong theoretical applicability, the computational verb theory penetrates into the fields of automatic control, signal processing, economics and so on and shows the ability of solving complex engineering and social problems.

Association rules mining is one way to do data mining. In the first part of this thesis, computational verb similarity is applied to the data preprocessing for association rule mining, such that the relationship between the association rules of dynamic development trends between transactions can be studied in a novel point of view. In the second part of this thesis, the UAV path planning system based on obstacle avoidance has been studied. The system consists of four modules, which are the obstacle recognition, obstacle avoidance, path selection, and path smoothing. By using the obstacle avoiding algorithm based on computational verb rule set, we can calculate the avoiding angle. We then take the exact solution as a reference, compare the fuzzy solution with the computational verb solution, and the results show the advantage of computational verb theory to solve complex problems.

In this thesis, the innovations are as follows:

1. The computational verb theory is applied to association rule mining. There are many association rule mining algorithms, of which the objects are usually static and separated transaction information. The introduction of computational verb similarities to association rule mining provides a new way for studying the association between the changing trends of transactions;
2. The face-to-face obstacle collision avoidance physical model is presented by applying the computational verb rule set and the fuzzy rule set to obstacle avoidance model. The simulating results of accurate solution, fuzzy solution and computational verb solution are compared. The results show that the computational verb solution is a better approach to provide accurate solution than the fuzzy method;

3. Propose the path smoothing model for the unmanned aerial vehicles in the case that the velocity is constant, and compare with smoothing result by using B-spline fitting. The simulation results show that the B-spline smoothing method provides relatively shorter path and yet, the radius of curvature of the smooth path curve is too bigger to be implemented by the unmanned aerial vehicles. The radius of curvature of our path smooth model is easier to set up, so there is no radius of curvature that can not be achieved, and it performs faster as well;
4. Propose global and local path planning, combine them with three obstacle avoidance methods. By performing quantitative calculation combined with statistical analysis, we find the mean and variance of the errors for fuzzy and computational verb solutions with respect to the exact solution. The simulation results show that the computational verb solution is better than the fuzzy rule solution.

Keywords: Computational Verb Theory; Association Rule; Path Planning

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	研究背景	1
1.1.1	计算动词理论的诞生及发展现状	1
1.1.2	四旋翼无人飞行器的发展及研究现状	3
1.2	论文中的关键技术	4
1.2.1	关联规则挖掘	4
1.2.2	SIFT特征	5
1.2.3	无人机路径规划	6
1.3	论文的主要内容和结构	7
第 2 章	计算动词理论简介	9
2.1	计算动词	9
2.1.1	计算动词定义	9
2.1.2	Become 标准形	10
2.1.3	标准计算动词	11
2.2	计算动词距离和相似度	12
2.2.1	基于饱和函数的计算动词距离和相似度	12
2.2.2	最简计算动词相似度	12
2.2.3	基于趋势的计算动词距离和相似度	14
2.3	计算动词规则	16
2.4	基于计算动词规则的推理	16
2.5	本章小结	18
第 3 章	计算动词理论在关联规则挖掘中的应用	19
3.1	数据预处理	19
3.2	关联规则挖掘算法	19
3.3	基于计算动词相似度的关联规则挖掘及其应用	20
3.3.1	基于[38]的关联规则挖掘	21
3.3.2	基于计算动词相似度的关联规则挖掘	25

3.4	本章小结	29
第 4 章	计算动词理论在无人机路径规划中的应用	30
4.1	软件介绍	31
4.2	基于 SIFT 特征的障碍物识别	31
4.2.1	SIFT特征提取	31
4.2.2	SIFT特征匹配	31
4.2.3	SIFT特征误匹配消除	32
4.2.4	SIFT特征匹配结果及分析	33
4.3	模糊控制器	35
4.3.1	模糊控制简介.....	35
4.3.2	模糊化.....	36
4.3.3	模糊规则设计.....	37
4.3.4	模糊推理机.....	37
4.3.5	去模糊化.....	38
4.4	基于障碍物规避的路径规划	38
4.4.1	结合Voronoi图和Dijkstra算法的路径规划.....	38
4.4.1.1	Voronoi 图.....	38
4.4.1.2	Dijkstra 算法.....	39
4.4.1.3	基于 Voronoi 图的最短路径规划.....	40
4.4.2	面对面障碍物规避 [□]	41
4.4.2.1	精确解决方案.....	42
4.4.2.2	模糊规则库解决方案 [□]	43
4.4.2.3	计算动词规则库解决方案.....	43
4.4.2.4	仿真结果及分析.....	44
4.4.3	基于障碍物规避的路径规划.....	45
4.4.3.1	基于全局的路径规划.....	46
4.4.3.2	基于局部的路径规划.....	50
4.4.4	路径平滑.....	52
4.4.4.1	基于 B 样条曲线的路径平滑算法.....	52

4.4.4.2	自定义路径平滑算法.....	53
4.4.4.3	仿真结果及分析.....	56
4.4.5	基于三种障碍物规避方案的路径规划.....	57
4.5	无人机路径规划仿真系统	58
4.5.1	用户界面及系统功能.....	59
4.5.2	仿真结果及分析.....	61
4.6	本章小结	63
第 5 章	总结与展望	65
5.1	论文完成的工作总结	65
5.2	后期工作展望	66
参考文献	68
攻读硕士学位期间发表的论文	72
致 谢	73

Contents

Chapter1	Introduciton	1
1.1	Research Background	1
1.1.1	The Birth and Development of Computational Verb Theory	1
1.1.2	The Development and Research Status of Quadrotor UAVs	3
1.2	Key Technologies	4
1.2.1	The Association Rule Mining	4
1.2.2	SIFT Features	5
1.2.3	Path Planning for UAVs	6
1.3	Work and Organization of Thesis	7
Chapter2	Introduction to Computational Verb Theory	9
2.1	Computational Verb	9
2.1.1	Definition of Computational Verb	9
2.1.2	Canonical Form in Become	9
2.1.3	Standard Computational Verb	11
2.2	Computational Verb Similarities	12
2.2.1	Distances and Similarities of Computational Verb Based on Saturated Functions	12
2.2.2	The Simplest Computational Verb Similarity	12
2.2.3	Distance and Similarity of Computational Verb Based on Trends	14
2.3	Computational Verb Rules	16
2.4	Reasoning Based on Computational Verb Rules	18
2.5	Summary	18
Chapter3	Application of Computational Verb Theory to Association Rule Mining	19
3.1	Data Preprocessing	19
3.2	The Association Rule Mining Algorithms	19

3.3	Applications of Computational Verb Similarity to Association Rule Mining	20
3.3.1	Association Rule Mining Based on [38]	21
3.3.2	Association Rule Mining Based on Computational Verb Similarity	25
3.4	Summary.....	29
Chapter4 Application of Computational Verb Theory to Path Planning for UAVs		30
4.1	Software Introduction.....	31
4.2	Obstacle Recognition Based on SIFT Feature.....	31
4.2.1	SIFT Feature Extraction.....	31
4.2.2	SIFT Feature Matching	31
4.2.3	SIFT Feature Mismatching Elimination	32
4.2.4	The Result for SIFT Feature Matching and the Analysis.....	33
4.3	Fuzzy Controller	35
4.3.1	The Introduction for the Fuzzy Control	35
4.3.2	Fuzzification	36
4.3.3	Fuzzy rules design.....	37
4.3.4	Fuzzy Inference Engine	37
4.3.5	Defuzzification.....	38
4.4	Path Planning Based on Obstacles Avoidance.....	38
4.4.1	Path Planning by combining Voronoi and Dijkstra Algorithms.....	38
4.4.1.1	Voronoi.....	38
4.4.1.2	Dijkstra Algorithm	39
4.4.1.2	The Shortest Path Planning Based on Voronoi.....	40
4.4.2	Face-to-face Obstacles Avoidance	41
4.4.2.1	Accurate Solution.....	42
4.4.2.2	Fuzzy Rule Set Solution.....	43
4.4.2.3	Computational Verb Rule Set Solution	43

4.4.2.4	The Simulation Result and the analysis.....	44
4.4.3	Path Planning Based on Obstacles Avoidance	45
4.4.3.1	Global Path Planning	46
4.4.3.2	Local Path Planning	50
4.4.4	Path Smoothing.....	52
4.4.4.1	Path Smoothing Based on B-spline Curve Algorithm	52
4.4.4.2	Custom Path Smoothing Algorithm.....	53
4.4.4.3	Simulation Results Comparison and Analysis	56
4.4.5	Path Planning Based on Three Obstacle Avoidance Solutions	57
4.5	Simulation System of UAVs Path Planning	58
4.5.1	GUI and the System Function.....	59
4.5.2	Simulation Results and the Analysis.....	61
4.6	Summary.....	63
Chapter5	Conclusions.....	65
5.1	Conclusions.....	65
5.2	Future Work.....	66
References	68
Publication List	72
Acknowledgement	73

第1章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 计算动词理论的诞生及发展现状^[1]

上个世纪，基于测量的工程学获得的全面发展全归功于物理学的飞速发展。正是因为我们可以对物理现象进行越发细致的观察，以新材料为媒介、精细加工为手段的基于测量的产业革命完成了以下重大变革：

1. 个人计算机实现了计算能力的个人化；
2. Internet 完成了通讯能力的个人化。

可以预见，在未来的五十年，人类社会将迎来以机器人为载体的服务业的个人化时代。而为迎接这场重大革命的到来，人类必须大力发展基于认知的产业革命，并为其建立牢固的理论基础和提供充分的技术储备。但是，目前的基于测量的科学技术的局限性使其无法独立完成基于认知的产业革命的任务。其局限大体有以下几个方面：

1. 非线性科学的结论表明，如果对细节的观察分析达到一定的程度后，当从细节到整体的方向构建模型会遭遇伴随复杂性而来的挑战。基于测量的科学技术方法的最初思路是通过对复杂现象的不断细分、对简单细节的建模从而实现复杂非线性现象的建模。可是，混沌动力学表明，当组合多个确定的简单细节就有可能产生永久的不可预知的系统行为。这从理论的高度否决了基于测量的科学技术对复杂社会现象的建模能力。
2. 基于测量的科学技术专攻于人的认知中抽象、细节及理性的一面，而对于整体、直观及形象的一面不擅长把握。
3. 自然科学和社会科学割裂局面长期存在且无法打破是由于基于测量的科学技术无法对人的思维进行有效建模，因而无法提供有效的应用于社会科学的建模手段。
4. 随着测量精度的不断提高，我们观察细节所得到的信息量成指数级增长，

从而造成了信息时代的信息爆炸现象。

人类从工业时代迈入信息时代以后，扑面而来的是对人类思维进行建模的挑战。以上种种迹象表明，当前的基于测量的科学技术无法完成人类社会的下一次转型的艰巨任务。可以预见，通过未来五十年新的科学技术对人类社会的影响，人类文明必将达到一个人与机器在思维水平上进行流畅交互的新时代，即认知时代。而进入认知时代的原动力是在未来五十年内萌芽的基于认知的产业革命。

基于认知的产业革命将构建于对人类认知的可计算化的基础之上，而认知的可计算化将始于对自然语言的可测量化，这是由于自然语言是物理世界中最靠近认知的部分。而对自然语言的可测量化是由对自然语言中的名词和动词中心的可测量化来实现的。名词中心及为其服务的形容词和程度副词的可计算化分别由计算机科学、概率论及模糊数学来完成。而对动词中心及为其服务的副词的可计算化是由计算动词学科来完成的。

目前的人工智能和信息科学方法在将以上的自然语言规则转化为计算机擅长处理的测量量的时候显得力不从心，因而无法将这些知识自动地转化为计算机程序。其中的难点是目前的工程技术体系尚无法解决这些规则中的动词的可测量化问题，对人类语言中的动词的“非理性”无从把握。这样一方面影响了解决工程问题的速度，降低了工程经验的利用效率，且增加了开发成本；另一方面，长此以往，不利于人类知识体系中动态经验的积累和再利用。应用计算动词理论可以从根本上解决这些问题。

作为一门新兴的学科，计算动词理论经历了以下几个阶段的发展：

1. 萌芽期：从 1997 年到 2000 年。1997 年杨涛教授运用非线性理论构造了 **understand** 动词的可计算模型，这是计算动词的原型和发端。
2. 幼年期：从 2001 年到 2002 年，认识到语言学中大量的观察结果长期不能自然科学化是由于因缺乏适当的数学工具和测量体系。计算动词理论绝不仅仅是“将动词计算化”这么简单，重点实现对人的认知及意识现象的自然科学化。
3. 综合成长期：从 2003 年到 2004 年，在理论上开始构造物理语言学；设立了“国际计算认知杂志（**International Journal of Computational**

Cognition)”;着手计算动词理论工程化方面的前期研究。

4. 高速成长期：2005 年至今，在理论上使字知理论（The Theory of the Unicogse）得到进一步的发展，并逐步为物理语言学及人类认知的可测量化提供了坚实的理论基础。

在工程应用上，一大批基于计算动词的视频产品如视频条码阅读器、视频读卡机、视频桩考自动化系统、视频火焰检测器、色情图像及录像检测 PornSeer SDK、智能视频安防系统及周界防护系统等被成功开发出来并应用于实际工程之中，基于认知的证券交易系统也已投入实际运营。计算动词理论动态看待问题的独特的视角，吸引越来越多国内外高校和科研单位的学者投入到计算动词理论及其应用的研究中，并取得了大量振奋人心的成果。从公开发表的文献来看，计算动词理论有如下应用：陈芳楠在其硕士学位论文中将计算动词理论用于电力营销中的用电量预测^[2]；南非的 Marius Smith 在其硕士学位论文中构建一个通用的计算动词模型，为基于自然语言的交互式叙事提供新思路^[3]；纪志良构建了一个计算动词数字预失真模型，用于补偿功率放大器的输入输出信号之间的失真^[4]；李静在其硕士学位论文中在直线电机控制中引入计算动词 PID 控制^[5]；郑繁繁将计算动词规则应用到变步长自适应滤波器的设计中^[6]等。

1.1.2 四旋翼无人飞行器的发展及研究现状

由于无人机在民用及军事等领域的广泛应用，已越来越被人们重视。其中具有机动性强、所占空间小等特点的中小型无人机，有明显的优势。例如，在军事上可以进行监视、侦查及小范围内的攻击等；在民用上，可用于遥感、测绘、高压输电线路的巡线及地震抢险等。

近几十年来，由于航空电子以及微机电系统技术的高速发展，无人机的发展进入鼎盛时期。以美国为首的西方国家，掌握着先进的无人机技术。在科索沃战争、阿富汗战争、伊拉克战争中，美军的无人机在战场上表现出色，不论是装备有“地狱火”地对空导弹的“捕食者”，还是侦察功能强大的“全球鹰”，高精度的机载传感器系统，是其实现各自功能的重要保障。

固定翼无人机的升力来自机翼相对于大气运动产生的压力差，而旋翼无人机

的升力通过旋翼的旋转产生,这也使得旋翼无人机可以实现空中悬停、垂直起降、倒飞等固定翼无人机无法实现的功能。四旋翼无人机作为小型无人机的代表,以其机动性强、结构设计简单及安全性较高等特点,吸引了越来越多国内外研究机构的关注。

四旋翼无人机的发展史已有八十多年,但一直没有受到足够的关注是由于其有效载荷较小,续航时间较短等不足。近年来,各项关键性技术都取得了突破性的进展,比如微处理器技术的进步、新型材料的应用、传感器工艺的提高、电池续航能力的提升等,这些都为四旋翼无人机的发展提供了必要的条件。四旋翼无人机在民用和军事方面的日益广泛的应用,进一步为其发展提供了强大的动力。以上这些条件都促使四旋翼无人机逐渐成为无人机研究领域中的一个热点^[7]。

越来越多的国外高校关注四旋翼无人机的控制问题,其中包括美国斯坦福大学(Stanford University),日本千叶大学(CHIBA University),宾夕法尼亚州立大学(The Pennsylvania State University)等。国外的一些公司相继开发出了四旋翼无人机的商业产品,如Draganfly公司生产的Draganflier系列遥控模型,德国Microdrones公司生产的MD系列等。

国内一些高校也开展了对四旋翼无人机的研究。国防科技大学的研究人员设计并制作了四旋翼无人机机身和机载控制系统,构建了四旋翼无人机动力学模型,并采用反步法设计了控制器和自抗扰控制器,基于模糊滑模控制设计了姿态控制器,并通过仿真验证了控制器的效果。哈尔滨工业大学的研究人员设计了鲁棒控制器,并搭建了半实物仿真平台验证了控制效果。南京航空航天大学的研究人员采用动态逆和变结构的方法设计四旋翼无人机的控制器,并通过仿真验证了控制效果。南京理工大学、吉林大学等也对四旋翼无人机的飞行控制进行了研究,取得一定的成果^[8]。

1.2 论文中的关键技术

1.2.1 关联规则挖掘^[9]

数据挖掘从上世纪90年代以来蓬勃发展,除了被用来发现数据之间的潜在

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库