

学校编码: 10384

分类号 TP391.4 密级 \_\_\_\_\_

学 号: 31520091152842

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于仿脑结构的发展型机器人手眼协调模型方法及实现

**the Approach and Implement of Developmental Robotic Hand-eye Coordination Model based on Brain like Neural Network Structure**

胡 琳

指导教师姓名: 邓 小 铁 教 授

晁 飞 助 理 教 授

专 业 名 称: 计 算 机 应 用 技 术

论文提交日期: 2012 年 月

论文答辩时间: 2012 年 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2012 年 5 月

申请厦门大学硕士学位论文

# 基于仿脑结构的发展型机器人手眼 协调模型的方法及实现



作者：胡琳

指导老师：邓小铁教授

晁飞 助理教授

专业：计算机应用技术

信息科学与技术学院

2012年5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取得的研究成果。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）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 日

# 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论文（包括纸质版和电子版），允许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、缩印或者其他方式合理复制。

本学位论文属于：

( ) 1、经厦门大学保密委审查核定的保密论文，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校保密委审定过的，方可打“√”，未经审批均为公开论文。此声明栏不填写的，默认为公开论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年    月    日

## 摘要

机器人系统将人类从一些繁琐、枯燥的，不适宜人类存在的工作环境的劳动中解放出来，给人类的生活、工作带来了极大的方便。机器人系统的发展在人类未来的生活中，工作中都具有非常重要的意义。由于传统工业机器人需要针对特定任务预先进行编程，适应性不强，随着机器人领域的不断发展，机器人的性能逐渐向智能化的方向发展。其中发展型机器人为了解决了智能机器人研究领域存在的问题——模拟动物运动和人的学习适应能力，逐渐成为目前机器人研究领域的热点之一，具有广阔的应用前景。

本文主要研究工作就是通过了解发展型机器人的研究背景及其广泛的应用前景，并且结合了研究热点机器人手眼协调，建立一个新型的发展模型和自主学习系统。为了建立发展模型，本文回顾了发育的相关知识和人类婴儿抓取动作的发育过程，并在此过程中提取出重要的发育特征，通过模仿这些特征，实现一个机器人学习系统来支持机器人学习抓取能力。同时，将人类发育过程中的重要特征约束引入到本研究来。感觉、行为和感知上的各种限制大大减小了输入信息和可能采取的行为的复杂性。在某项任务中当获得了一个高层次的能力时，一个新层次或者更高层次的任务和难度将随着新限制的出现而暴露出来。因此，婴儿发展模型和发育限制的相关知识要被引入到本文的研究中来。受人类婴儿抓取动作发育过程的启发，本文将提出一个仿脑的神经网络结构，这个神经网络的设计能够反映了婴儿抓取过程的发育特征。最后本文设计了详细的实验步骤实现了在三维环境下机器人对目标物体的抓取，并对实验结果进行了分析。本文的研究工作也为发展型机器人手眼协调的研究领域提供了一些参考方向，并为建立了更加有自主能力的机器人探索了一条解决途径。

**关键词：**发展型机器人；机器人手眼协调；发育限制；仿脑神经网络结构

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## **Abstract**

Robots have liberated human from trivial, boring and complicated work and provided great conveniences, which are significant to the future life and work to human. Owing to having to set preprogramme on given tasks, traditional robot has the weakness of adaptability and flexibility. The research interest of robot is gradually changing to intelligentize the robotic performance. In order to find out solutions to imitating animal movements or the learning and adapting abilities of human, the developmental robotics is becoming one of the hotspots in intelligent robotic field, providing with broad applied prospects.

The main work of this project is to build a developmental model and an auto-learning system by combining the both developmental robot and robotics hand-eye coordination. In order to build this development-driven approach, it is necessary to understand human infant development procedure, and to abstract the significant developmental features from the procedure. By simulating those features, a computational learning system is created to support our robot to develop reaching ability. In addition, the important feature during development process which is developmental constrain is introduced into this project. Constraints on sensing, action or cognition effectively reduces the complexity of the inputs and/or possible action. When a high level of competence at some task has been reached then a new level of task or difficulty may be exposed by the lifting of a constraint. Therefore, this paper introduces the infant development model and developmental constraint respectively. Inspired by the reaching syntax of human infant, this project proposes a neural-network-architecture biologically inspired by infant brain structure, reflecting the developmental feature of human infant reaching to a great extent. At last, this project designs experimental steps to achieve robotic reaching in details and analyze the experimental results. The work of this project emphasizes several advantages compared with past work and brings forth new ideas to this field. It offers a guide line

in developmental robotic hand-eye coordination, also explore a solution route to build more autonomous robotic systems.

**Keyword:** developmental robotics; robotic hand-eye coordination; developmental constrains; brain like neural network architecture

厦门大学博硕士学位论文摘要库



目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
目 录.....	V
Contents .....	VII
<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 课题研究背景 .....	1
1.1.1 智能机器人的研究进展 .....	1
1.1.2 发展型机器人的研究进展与趋势 .....	2
1.2 手眼协调的研究背景与意义 .....	4
1.3 课题准备工作 .....	6
1.4 文章结构 .....	6
<b>第二章 发展机器人的发展模型及发育的相关知识.....</b>	<b>9</b>
2.1 发展型机器人基本发展模型分析 .....	9
2.2 发育在认知过程中的作用 .....	11
2.2.1 仿生智能系统 .....	11
2.2.2 人类认知过程的发育 .....	13
2.3 人类婴儿手眼协调的发育 .....	14
2.3.1 婴儿抓取的行为特征 .....	15
2.3.2 控制手眼协调所需的脑神经系统的发育 .....	15
2.4 发育约束的重要性 .....	16
2.5 发展型机器人手眼协调的研究现状 .....	18
2.6 发育过程在手眼协调中的体现 .....	20
2.7 本章小结 .....	20

<b>第三章 具有仿脑结构的机器人学习模型 .....</b>	<b>23</b>
3.1 学习系统的设计 .....	23
3.2 实验设置 .....	23
3.3 基于双神经网络的发展型机器人手眼协调 .....	23
3.3.1 仿脑的神经网络控制结构 .....	24
3.4 发展过程中的体现 .....	35
3.4.1 图像预处理及模糊化 .....	36
3.4.2 阈值设定 .....	38
3.5 本章小结 .....	39
<b>第四章 实验步骤与结果分析 .....</b>	<b>41</b>
4.1 硬件环境 .....	41
4.1.1 工作区安装配置 .....	41
4.1.2 学习系统的视觉系统 .....	42
4.1.3 控制系统设计及实现 .....	42
4.2 实验步骤 .....	49
4.2.1 手臂位置采集 .....	50
4.2.2 训练结果分析 .....	51
4.2.3 抓取动作执行 .....	53
4.3 实验结果分析 .....	55
4.4 本章小结 .....	57
<b>第五章 总结与展望 .....</b>	<b>59</b>
5.1 总结 .....	59
5.2 展望 .....	60
<b>参考文献 .....</b>	<b>61</b>
<b>攻读硕士学位期间发表的论文 .....</b>	<b>65</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>67</b>

## Contents

<b>Abstract in Chinese</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract in English</b> .....	<b>III</b>
<b>Contents in Chinese</b> .....	<b>V</b>
<b>Contents in English</b> .....	<b>VII</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Research Background</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Research Progress on Intelligent Robotics .....	<b>1</b>
1.1.2 Research Progress on Developmental Robotics .....	<b>2</b>
<b>1.2 Research Background on Robotic Hand-Eye Coordination</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Project Preparation</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4 Structure of this Dissertation</b> .....	<b>6</b>
<b>Chapter 2 Developmental Model and Related Knowledge</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Developmental Model Analysis</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2 Role of Development in Cognitive Process</b> .....	<b>11</b>
2.2.1 Biological Inspired Intelligent Systems.....	<b>11</b>
2.2.2 Development of Human Cognitive Process.....	<b>13</b>
<b>2.3 Development of Human Infant Hand-Eye Coordination</b> .....	<b>14</b>
2.3.1 Syntax of Human Infant Reaching .....	<b>15</b>
2.3.2 Development of Cranial Nerve for Controlling Hand-Eye Coordination ...	<b>15</b>
<b>2.4 Importance of Development Constraint</b> .....	<b>16</b>
<b>2.5 Review on Developmental Robotic Hand-Eye Coordination</b> .....	<b>18</b>
<b>2.6 Development within Hand-Eye Coordination</b> .....	<b>20</b>
<b>2.7 Chapter Summary</b> .....	<b>20</b>

<b>Chapter 3 Developmental Model Biologically Inspired by Human</b>	
<b>Brain.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 System Design .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Experimental Configuration .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Developmental Robotic Hand-Eye Coordination Based on Brain Like Structure .....</b>	<b>23</b>
3.3.1 Brain Like Nerual Network Structure .....	24
<b>3.4 Development Reflects in the Experiment .....</b>	<b>35</b>
3.4.1 Image Preprocessing.....	36
3.4.2 Threshold Setting.....	38
<b>3.5 Chapter Summary.....</b>	<b>39</b>
<b>Chapter 4 Experimental Results .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1Hardware .....</b>	<b>41</b>
4.1.1 Workspace Setup .....	41
4.1.2 Visual System .....	42
4.1.3 Instrucation of Servo Controller and the Interface .....	42
<b>4.2 Experiment Steps.....</b>	<b>49</b>
4.2.1 Robotic Arm Allocation .....	50
4.2.2 Training Result Anlaysia .....	51
4.2.3 Reaching Execution.....	53
<b>4.3 Analysis of Experimental Result.....</b>	<b>55</b>
<b>4.4 Chapter Summary.....</b>	<b>57</b>
<b>Chapter 5 Conclusion and Future Work .....</b>	<b>59</b>
<b>References .....</b>	<b>61</b>
<b>Publications .....</b>	<b>65</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>67</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 课题研究背景

自 20 世纪 50 年代第一台机器人问世后，机器人就一直处在从低级到高级智能的不断发展过程中，特别是随着传感器技术、计算机技术、电子技术及人工智能技术的发展，人们已不再满足于只能在固定的已知环境中按照程序设定的功能完成重复作业的机器人，纷纷开始研究具有高度灵活性、环境适应能强的智能型机器人。研究者通过给机器人加上外部传感器件，如力觉、触觉、接近觉、视觉等，来提高机器人的自主感知和决策规划能力，以适应周围变化的环境<sup>[1]</sup>。人类对于机器人的研究已经取得了很大的进步，并且有了较为广泛的应用。当今机器人技术的发展趋势主要有两个突出特点：一个是在横向上，机器人的应用领域在不断扩大，机器人的种类日趋增多；另一个在纵向上，机器人的性能不断提高，并逐步向智能化方向发展。为了提高机器人的性能，使机器人具有更高的适应性，智能化已经成为机器人科学的研究热点<sup>[2]</sup>。

#### 1.1.1 智能机器人的研究进展

一般工业机器人是指只具有一般编程能力和操作功能的机器人，而智能机器人可获取、处理和识别多种信息，自主地完成较为复杂的操作任务，大多数专家认为智能机器人至少要具备以下三个要素：一是感觉要素，用来认识周围环境状态；二是运动要素，对外界做出反应性动作；三是思考要素，根据感觉要素所得到的信息，思考出采用什么样的动作。

现有的智能开发方法可分为以下三类：“基于知识”的，直接对机器人编程完成一定任务；“基于学习”的，通过特定目标学习让机器人完成对应任务；“基于行为”的，面对复杂环境，机器人通过与环境相互作用完善其智能。这些智能开发方法存在一个共同的局限，那就是要针对特定任务进行编程，如果任务改变了，机器人将不再有能力完成新任务，需要机器人开发人员根据自己对新任务的理解重新编写控制程序。这一局限严重限制了机器人的发展与应用<sup>[3]</sup>。

智能机器人根据其智能程度的不同，又可分为三种：（1）传感型机器人，又称外部受控机器人。机器人的本体上没有智能单元只有执行机构和感应机构，它具有利用传感信息进行传感信息处理、实现控制与操作的能力。受控于外部计算机，在外部计算机上具有智能处理单元，处理各种信息，然后发出控制指令指挥机器人的动作。（2）交互型机器人，机器人通过计算机系统与操作员或程序员进行人一机对话，实现对机器人的控制与操作。虽然具有了部分处理和决策功能，能够独立地实现一些诸如轨迹规划、简单的避障等功能，但是还要受到外部的控制。（3）自主型机器人，机器人无需人的干预，能够在各种环境下自动完成各项拟人任务。自主型机器人的本体上具有感知、处理、决策、执行等模块，可以像一个自主的人一样独立地活动和处理问题。

尽管机器人人工智能取得了显著的成绩，但现阶段的智能机器人与真正的人类智能还是有很大的差距。控制论专家们认为它可以具备的智能水平的极限并未达到。其问题在于模拟动物运动和人的学习能力和适应能力。真正的自主机器人必须能够在无帮助的情况下运行和存活一个相当长的运行时间，尽管在生物界有很多自主系统的实例存在，但是这仍然是一个相当困难研究挑战。在这个真实的，非结构化的环境中不可避免的有很多新的经历，并且需要得到合理的处理，因此极其复杂的适应性和学习能力是很重要的。这就意味着这个学习系统不但要适应当前所经历的环境，而且还要能够适应这个学习过，让自己如何很好的处理在环境中遇到各种问题。因此，新的学习过程必须随着条件的改变和新需求的产生而同时出现。这也为后来的发展型机器人的出现提供了研究方向。

### 1.1.2 发展型机器人的研究进展与趋势

为了解决上面智能机器人研究领域所存在的问题——模拟动物运动和人的学习能力和适应能力，发展型机器人逐渐成为目前机器人研究领域的研究热点之一。其主要借鉴发展心理学的思想与研究成果，融合了发展心理学、认知心理学、机器人学、人工智能、神经生理学、生物学等多个学科领域，目的在于促进相关学科的发展，尤其是机器人学与发展心理学的发展。

为此, J·Weng 在 1996 年提出了机器人自主心智发育的思想, 主要目的是为了摆脱传统机器人针对任务进行编程的局限, 希望能构造一种通用的机器人结构将人类从繁琐的编程工作中解放出来。2001 年, J·Weng 在经过一系列卓有成效的实验之后, 在著名的 Science 杂志上详细地阐述了自主心智发育的思想框架与可实现的算法模型<sup>[3]</sup>, 即机器人在初始发育算法的控制下通过与环境的交流, 动态的改变自己的记忆, 对外界的刺激给出越来越积极的响应。在这一过程中, 人类不再扮演程序员的角色, 而是以教师的身份出现, 从外部对机器人进行指导, 逐步改进机器人的性能。

自从 1996 年, J·Weng 率先提出发展型机器人的思想以来, 很多机器人研究人员已经加入了这一研究领域, 并做了大量的工作。目前, 发展型机器人在国外开展的比较好, 也产生了一系列卓有成效的研究成果。在发展型机器人领域最突出的两个国际会议 ICDL (International Conference on Digital Libraries) 以及 EpiRob (International Conference on Epigenetic Robotics) 为这一领域的研究人员提供了成果发布与经验交流的机会。另外, 由 IEEE 计算智能协会 (Computational Intelligence Society) 和 IEEE 消费电子协会 (Consumer Electronics Society) 联合创办的期刊 TAMM (Transactions on Autonomous Mental Development), 以及很多期刊也会开辟出专门的 Special Issue 来为发展型机器人这一研究热点提供交流平台。由此可见发展型机器人正在逐渐成为机器人领域新的研究热点。

发展型机器人与传统机器人的不同之处在于: 首先, 发展型机器人是任务独立的, 因此, 不用针对特定任务进行编程, 只需要为机器人预先编制一套发育程序, 便可使它通过后天的自主学习来获得各种能力。其次, 人类在机器人发育的过程中不再充当程序员的角色, 而是作为环境的一部分出现, 作为教师或者机器人保姆来影响机器人的学习内容与学习进程。另外, 不同于传统的机器人, 发展型机器人的学习是一个自组织与累积学习的过程, 即高级智能的发展依赖于底层基本技能的获得<sup>[39]</sup>。

关于自主系统学习认知的发育, 阿兰·图灵曾经提出过: “与其竭尽所能编写一个程序来模仿成年人的思维, 为什么不试着写一个程序来模仿婴儿的呢? 如果对这个程序进行适当的教育训练, 那么它将训练成为一个成年人的大脑……<sup>[19]</sup>”

由于模仿婴儿的发育更符合人类发育的过程,并且婴儿的发育过程也为实验的可操作性提供很多便利。

为了解人类婴幼儿的发育过程和特征,心理学在关于婴儿发育方面提供了很多的数据和理论,这为建立基于能力和技能的成长机制提供了想法和灵感。近几年,发展型机器人作为机器人研究中的一个新型领域快速的出现,目标是开发机器人能够通过自己的行动来进行自主心智的建立<sup>[16]</sup>。这样的一个发育型的学习通常被看作是一系列的阶段,是从简单基础的行为到更高级更适应环境的性能的一个渐进过程。

脑科学领域的长期研究已经激起了很多在生物计算机模拟和为了适应生物设计和开发的新型计算机技术方面的科研活动。但是,发育方面,特别是认知发育方面,最近仅仅是在机器人方面开始有一些关注。发展型机器人的课题现在正在成为机器人的一个新的研究领域,包括机器人的适应性、控制和学习等方面。这个方法强调环境和内部因素对在塑造适应性和行为方面所起的作用,并且设定一个发展框架,让控制、协调和技能逐渐合并。本文中的实验方法也模仿脑科学相关知识的来建立发展模型。

因此,本文的研究旨在前人的基础上在人造系统中引入发育机制,建立一个新的发展模型,结合阿兰·图灵的想法——构建一个程序来模仿婴儿发育,拓展发展型机器人这一研究领域,并弥补以往研究的不足之处。

### 1.2 手眼协调的研究背景与意义

在人类感知客观世界的信息中,有 70%来自视觉,所以机器人视觉被认为是机器人最重要的感知能力<sup>[1]</sup>。在机器人视觉研究的众多课题中,手眼协调,即研究机器人执行器与视觉传感器之间的协调控制策略具有广阔的应用前景,并成为机器人科研工作者的研究热点。

机器人对物体的抓取,是机器人手眼协调的一个重要应用分支,是在无限制环境中服务和工作的智能机器人的最重要技能之一,也是自主机器人系统研究领域的重要组成部分和研究课题。此外,机器人手眼协调已经有了广泛的应用,如车辆制造业,空间探索,食物包装等。机器人手眼协调的研究可以追溯到 20 世纪 70 年代,在最初几年发展比较缓慢,但从 20 世纪 80 年代末开始,随着图像



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库