**中文图书分类号：TP\*\*\***

**密 级：公开**

**UDC：\*\*\*\*\***

**学 校 代 码：10005**



**工程硕士学位论文**

**M.E. DISSERTATION**

**论 文 题 目：基于Hough变换和神经网络的智能车辆车道线识别**

**论 文 作 者：王嘉雯**

**领 域：软件工程**

**指 导 教 师：严海蓉**

**论文 提交 日期: 2018年\*月**

**独 创 性 声 明**

本人声明所呈交的论文是我个人在导师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，也不包含为获得北京工业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。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。

签 名：

日 期：2017年\*月\*日

**关于论文使用授权的说明**

本人完全了解北京工业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

签 名： 日 期：2017年\*月\*日

导师签名： 日 期：2017年\*月\*日

摘 要

随着人工智能（Artificial Intelligent）越来越受大众关注，将机器智能化已成为最终目标。其中，智能车辆（Intelligent vehicle）在近年来成为各国在智能交通中潜心研究的一个重要领域，其中，基于视觉的结构化道路环境识别研究成为研究的重点。结构化道路环境的检测与识别的一个主要方面就是对路面中的车道线进行检测与识别，确定车道的边界与类型，为智能车辆提供保持车道行驶和变换车道行驶必须的车道信息，使智能车辆能实现平稳、安全的自动驾驶。

无论是通过红外识别，图像识别还是最终的机器学习，智能车辆的首要关键都是为了让车辆能够准确的识别出车道线，只有准确识别出车道线，车辆才能根据车道线信息来进行下一步控制的判断。本课题以智能车辆中的车道线识别和智能车辆的自动驾驶为背景，主要针对卷积神经网络在车道线识别中的应用进行设计，实现智能车辆稳定实时的对道路结构进行识别为目标，提出了一种基于Hough变换和卷积神经网络的道路识别方法。

本课题设计的道路识别方法主要分为图像预处理，图像分类，车辆控制。因道路环境易受天气，光照等影响，所以提取的道路的图像会由于天气光照的不同而产生一定的噪声，为了让卷积神经网络能更好的识别到图像中的车道线，本课题首先通过图像的预处理将图像进行去噪，直线的提取。然后，针对处理后的图像，构建出卷积神经网络对原始图像进行训练，达到机器能正确将车道线提取并且进行正确的分类。最后，结合分类的结果和强化学习来进行车辆的控制。

………

关键词：机器视觉；图像处理；机器学习；卷积神经网络；强化学习；

Abstract

目录

[摘 要 I](#_Toc490218664)

[第1章 绪 论 3](#_Toc490218665)

[1.1 课题研究背景及意义 3](#_Toc490218666)

[1.2 车道线检测国内外研究现状 2](#_Toc490218667)

[1.2.1 车道线检测国内研究现状 3](#_Toc490218668)

[1.2.2 车道线检测国外研究现状 3](#_Toc490218669)

[1.3 论文研究内容及论文结构 4](#_Toc490218670)

[第2章 相关技术介绍 6](#_Toc490218671)

[2.1 图像预处理算法概述 6](#_Toc490218672)

[2.1.1 Canny边缘检测 6](#_Toc490218673)

[2.1.2 Hough Transform 直线提取 6](#_Toc490218674)

[2.2 神经网络概述 6](#_Toc490218675)

[2.2.1 普通人工神经网络概述 6](#_Toc490218676)

[2.2.2 卷积人工神经网络概述 6](#_Toc490218677)

[2.3 强化学习概述 6](#_Toc490218678)

[2.3.1 马可夫决策过程 6](#_Toc490218679)

[2.4 本章小结 6](#_Toc490218680)

[第3章 车道线检测需求分析 7](#_Toc490218681)

[3.1 车道线检测系统需求分析 7](#_Toc490218682)

[3.2 功能需求 7](#_Toc490218683)

[3.2.1 车道线标注 7](#_Toc490218684)

[3.2.2 图像预处理 7](#_Toc490218685)

[3.2.3 车道线检测 7](#_Toc490218686)

[3.2.4 结果显示 7](#_Toc490218687)

[3.2.5 车辆控制 7](#_Toc490218688)

[3.3 非功能需求 7](#_Toc490218689)

[3.3.1 性能需求 7](#_Toc490218690)

[3.3.2 鲁棒性 7](#_Toc490218691)

[3.4 本章小结 7](#_Toc490218692)

[第4章 车道线检测算法设计 8](#_Toc490218693)

[4.1 车道线图像数据来源与筛选 8](#_Toc490218694)

[4.2 车道线图片预处理 8](#_Toc490218695)

[4.2.1 ROI提取范围设计 8](#_Toc490218696)

[4.2.2 边缘提取设计 8](#_Toc490218697)

[4.2.3 直线提取设计 8](#_Toc490218698)

[4.3 基于CNN的车道线检测算法 8](#_Toc490218699)

[4.3.1 CNN结构及参数设计 8](#_Toc490218700)

[4.3.2 CNN的训练及测试 8](#_Toc490218701)

[4.4 基于强化学习的车辆控制算法设计 8](#_Toc490218702)

[4.4.1 Q学习方法运用设计 8](#_Toc490218703)

[4.5 本章小结 8](#_Toc490218704)

[第5章 车道线检测算法实现 9](#_Toc490218705)

[5.1 车道线图像数据预处理实现 9](#_Toc490218706)

[5.1.1 ROI区提取实现 9](#_Toc490218707)

[5.1.2 边缘检测实现 9](#_Toc490218708)

[5.1.3 直线提取实现 9](#_Toc490218709)

[5.2 基于CNN的车道线检测算法实现 9](#_Toc490218710)

[5.2.1 CNN整体架构实现 9](#_Toc490218711)

[5.2.2 CNN训练及测试 9](#_Toc490218712)

[5.3 基于强化学习的车辆控制算法实现 9](#_Toc490218713)

[5.3.1 Q学习方法实现 9](#_Toc490218714)

[5.4 本章小结 9](#_Toc490218715)

[第6章 车道线检测方法实现及测试 10](#_Toc490218716)

[6.1 系统实现测试环境 10](#_Toc490218717)

[6.2 测试实例 10](#_Toc490218718)

[6.3 测试结果 10](#_Toc490218719)

[6.4 本章小结 10](#_Toc490218720)

[结 论 11](#_Toc490218721)

[参 考 文 献 67](#_Toc490218722)

绪 论

课题研究背景及意义

近年来，由于硬件技术和软件技术的发展，人工智能得到了越来越多的关注。随着各种高级算法不断的提高，人工智能逐渐由单一的模式识别发展为机器学习再到深度学习。其中，无人驾驶近年来成为人工智能中的一个关注热点。无人驾驶主要基于智能车辆，让车辆通过机器的识别和控制，自主的实现安全准确的驾驶。

据统计，大多数车辆事故都由人为造成，而不是机器故障。大多数车辆事故原因都是疲劳驾驶，酒驾以及判断失误和来不及反应。根据交通部门的调查来看，在事故发生之前，只有在0.5s内做出相应的应对措施才能避免交通事故的发生。对于人来说，0.5s的时间往往不够，但是，对于按毫秒甚至微秒来进行计算的机器来说，0.5s的时间相当充足了。而智能车辆中的无人驾驶的出现就是为了解决这个问题。如果能让机器自主操作，而不加与人工干涉，交通事故的发生率会减小。除了在交通方面，在工业生产中，运送和放置材料的工作往往会交给机器来完成。但是在以往的工业生产中，运送和放置材料使用的工具大致为两种：一是传送带，二是由磁感线引导的智能小车。第一种情况，传送带可以保证运送的准确度，但是却不能保证转送的灵活度，而且传送带在一定时间内就需要保养和上油等工作，这样对于生产商来说既降低了灵活度，又增大了生产开销。而第二种由磁感线引导的小车，受环境的影响较大，并且短时间内磁感线需要不时的保养和修复，对于生产商来说又是一项不必要的开销。而采用无人驾驶的智能小车进行物料的运输，既能增加其灵活度，又能减少不必要的周围设备维护的开销。因此，无论从交通上还是工业生产上来看，智能车辆的无人驾驶研究实现都具有一定的现实意义。

智能车辆是一个复杂的系统，由感知模块，路径规划模块，机械控制模块等构成。其中，感知模块用于对汽车行驶中周围环境的感知，感知周围是否有障碍物，是否可以行驶等。目前感知模块主要基于两种：一种为传感器感知，一种为视觉感知。传感器感知主要为雷达，激光，红外等，主要用于障碍物的检测。而第二种视觉感知，一般都使用工业级的高清摄像头，双目摄像头结合图像处理来进行环境实景的感知。车道线属于交通标志，规定了车辆的行驶规则，一般都是直接融于环境实景中了，所以为了实现智能小车能按照交通规矩行驶，能有效的通过视觉感知模块将车道线提取出来是一个关键。

车道线检测国内外研究现状

为了能有效并且准确提取出车道线，国内外的研究人员已经提出了各式各样的技术解决方案。由最初的运用传感器，如雷达，红外进行检测提取，到由视觉感知系统与图像处理技术来进行车道线提取，再到由视觉感知系统与机器学习结合进行车道线提取，到目前由视觉感知系统与深度学习结合进行车道线提取。

### 车道线检测国内研究现状

论文[1]提出了一种基于三维道路模型的车道线检测算法，根据车道线颜色突变，检测车道线的边界，并使用卡尔曼滤波，实现车道线的跟踪。方法鲁棒性强，在路况复杂车辆较多时仍能取得优质的检测效果，但是由于算法的复杂性，算法比较耗时。

论文[2]为了避免车道线参数估计以及最终的车道线参数方程拟合问题，提出了一种基于视觉和车辆定位系统结合的车道线检测算法，该方法先通过视觉提取出车辆近端部分的特征点，然后利用提取出的特征点更新定位系统的采样参数，实现了一种利用参数追踪的车道线检测方案。该方法的检测效率很高，但很容易受到噪声的干扰。

论文[3]在视觉的基础上提出了一种基于贝叶斯关注的机制，利用该机制对图像数据进行自顶向下以及自底向上的扫描计算，实现了一种高效的车道线检测算法。但这种方法是建立于道路线完整突出的假设之上，因此对于一些有破损的道路效果欠佳。

论文[4] 利用模型匹配方法，对车辆行驶前方的两条主要车道线进行检测，并确定其位置及曲率，该方法首先需使用逆透视变换(IPM)，将行车图片中的正视图投影到俯视图中，去除近大远小的透视效果，使得车道线看上去较为平行。逆透视变换可以将行车图像中的透视效果消除，将具有近大远小特点的行车正视图转换成俯视图效果，转换的矩阵一般可以通过照相机内参和外参标定计算获得，一般对比较平的路面有效，因为这样行车图片逆透视变换之后图中车道线是平行状态，但若道路有一定的坡度，则逆透视变换后车道线会有一定交汇，这对后面的寻找同一条车道线像素点有一定不利。因此，该方法只对平坦道路有效，具有一定局限性。

### 车道线检测国外研究现状

论文[5]提出了一种实时性和鲁棒的方法来检测城市道路车道线标志。该方法首先使用逆透视映射，以避免道路图片行车产生的近大远小效果，之后使用高斯卷积滤波器，对逆透视变换得到的俯视图滤波。该滤波器是针对黑暗背景中的亮线以及车道线宽度进行了专门的调整。因此其能很好的提取出车道线保留图像中超过阈值的部分并去掉噪声。然后，使用简化的 Hough 变换，对滤波之后的结果进行直线检测，随后利用 RANSAC 进行样条曲线拟合。最后，利用原始图片对车道线进行定位。该算法没有使用跟踪。

论文[6] 提出了一种使用改进版随机霍夫变换对车道线检测的方案，计算效率得到优化，内存开销也得到减少，效率比传统霍夫变换高。然而，这种方法强烈依赖于车道线点的特征，且路面必须干净，当车辆较多或其他障碍物较多时，该方法容易失效。

论文[7] 提出了一种将几何投影与 Adaboost 算法结合以寻找可行驶区域的方法，该方法需要大量的不同道路区域作为训练集以训练道路区域分类器。

论文[8] 提出了一种基于 RANSAC（Random Sample Consensus）的车道线检测算法。该方法将原始输入图片转化为灰度图，增强灰度图的对比度，获取图像二值图，利用滤波器对图像本身平滑处理，通过 Canny 算子找出车道标志线的边缘，最后利用 RANSAC 算法识别出图像中的车道线。该方法简单高效，但只适合于一些简单的场景，对于复杂度较高的道路面，该方法的识别效果并不好。

论文[9] 开发了一种基于三种特征车道检测算法。所使用的特征分别是起始位置，方向和亮度值。最初，使用 Sobel 算子获取图像的边缘信息。车道边界被表示为包含三个的载体特征。通过输入图像和先前车道上模型计算出当前车道线向量。分别对左边界和右边界使用两个窗口。假设每行包含 N 个像素，就会生成 N 条车道线向量作为候选。利用先前的车道线向量并通过加权距离矩阵计算得到的最小距离作为最佳候选。 为了均衡每个特征被分配一个不同的权重。利用候选预测新车道向量。如果道路的宽度突然改变，当前车道线向量的计算结果将舍弃，并利用先前向量作为当前结果。

论文研究内容及论文结构

智能车辆驾驶准确性和安全性的保障完全依赖于车辆对道路的识别和认知，只有当车辆能正确识别实时的道路状况，才能及时做出相应的反应以应对多变的道路状况。针对如何提高机器视觉对图像的处理和识别，本课题需要对一下内容展开研究：

1. 图像预处理算法设计

由于道路背景的复杂性，除了车道线以外，道路图像还常常包含着大量的干扰信息，例如道路旁边的障碍物，树木等。如果将一张图像直接进行识别，这不仅会造成部分车道线无法识别，还会严重影响机器识别图像的效果和效率，所以在进行车道线识别之前必须对道路进行图像的预处理。

1. 图像识别的人工神经网络训练方法

图像经过预处理后， 为了让机器（智能车辆）能够准确的识别出图像中的车道线，一般都会对车辆进行训练，让其在日后的使用中能自主的判断出车道线的位置以及转向，目前，运用的最多的训练方法就是运用人工神经网络进行训练，而在众多的神经网络中，本研究拟选的为卷积神经网络。

1. 小车车道识别算法与控制设计

通过机器视觉识别出了道路，如何根据识别出的图像进行小车的控制和判断也是本课题的一个研究内容。根据研究内容，本论文结构如下：

第1章 绪论。主要介绍了论文的研究背景及意义、车道线检测的国内外研究现状、论文研究内容。

第2章 相关技术。本章主要针对本系统所使用的算法相关技术进行介绍，为后续工作提供理论依据。

第3章 车道线检测系统需求分析。本章主要针对车道线检测方法进行需求分析。介绍车道线检测的重要性，分析了智能车辆中车道线识别的整体结构，明确了本课题需要完成的目标，最后进行用例分析。

第4章 车道线检测算法设计。本章主要针对车道线检测算法模型进行设计与仿真。根据第三章的需求分析、道路图像的特点进行算法的总体设计，之后分别针对图像预处理，卷积神经网络结构，强化学习算法进行详细设计，最后进行仿真验证。

第5章 车道线检测方法设计。本章主要针对智能车辆中车道线检测进行设计。根据第三章的需求分析、第四章的算法设计，针对总体结构进行分析及设计，对车道线检测进行了功能模块的划分，之后针对各个模块进行了详细的设计描述。

第6章 车道线检测方法的实现及测试。本章主要针对车道线检测方法进行实现与测试。根据第五章的车道线检测方法设计，首先介绍系统实现配置环境，其次分模块详细介绍各模块的实现，最后进行仿真测试。

相关技术介绍

## 图像预处理算法概述

### Canny边缘检测

### Hough Transform 直线提取

## 神经网络概述

### 普通人工神经网络概述

### 卷积人工神经网络概述

## 强化学习概述

### 马可夫决策过程

## 本章小结

车道线检测需求分析

车道线检测系统需求分析

车道线检测是无人车感知模块中的不可或缺的一个重要环节，为了准确的控制无人车下一步的动作，车道线检测结果需要传递给无人车决策模块用以作为路径规划的基础信息。在本系统中，车道线最终检测结果以二进制状态00,01,10,11（停止，左转，右转，前进）返回给决策系统。

本文主要利用深度学习对车道线进行检测。深度学习是基于大规模数据驱动的一种机器学习方法，本文选择了运用卷积神经网络对车道线进行检测和分类，属于有监督的学习方法。有监督的学习方法需要大量训练集，并且每一个训练的图片都由对应的Ground Truth (标签)，及每张含车道线信息的图片的类别是明确标出的。基于以上所述，本文提出了5个功能需求：车道线标注，图像预处理，车道线检测。3.2节将对这几个功能需求进行详细介绍。

功能需求

无人车感知模块在整个无人车系统中奠定了一切控制的基础，车道线检测属于感知任务，主要目的是从包含道路信息的图像中检测行车道路中的车道线。本文采用了卷积神经网络对海量行车图片数据进行训练，使用该模型对图片中的道路信息进行提取和分类，最后利用分类出的结果进行车辆的控制。

### 车道线标注

该功能需求为图像预处理的一部分，核心内容为将收集的车道线图片信息进行人工的筛选，将其按4大类别进行标记：左转，右转，停止，后退，人工将每一张图片与做对应的标记（label）一一对应。已分类的图片结果在后续会用于模型的训练。

### 图像预处理

在不同场景下，由于天气，光照等的自然原因，每一张车道线图片的质量会参差不齐。除此之外，在原始图片中所包含的信息众多，一些不相关的信息，如道路两旁的建筑以及任何物体，天空等会对神经网络的分类增加额外的负担。因此，选取ROI（Region of interest，感兴趣区域），进行边缘检测，以及直线提取都成为了图像预处理中的一部分。预处理模块主要作用就是为了将图片处理为深度学习模型所需要的文件，并且通过预处理尽可能的保证能将在训练中不必要的额外负担降低到最小。

### 车道线检测

该功能需求的核心内容是运用深度学习技术，训练出车道线分类模型，最终达到的效果为可以输入一张原始车道线图片，模型能准确的对该图片中的车道线信息分类。通过预处理的车道线图片会被输入卷积神经网络模型中进行不断的调参训练，该部分需要负责实现车道线分类模型的结果解析以及车道线提取算法的核心实现。

### 结果显示

该功能需求的核心内容为运用Class Activation Map 将图片中的车道线通过热感图高亮出来。该部分主要功能为通过热感图的显示将车道线信息显示出来，更加直观的体现在分类过程中，特定区域对分类结果的影响。

### 车辆控制

该功能需求的核心内容为运用强化学习来进行车辆策划模块的控制。通过结合已分类图片的状态，运用强化学习来判定车辆的下一步动作。

非功能需求

### 性能需求

机器学习本来就是基于大规模数据的习得，深度学习在机器学习上又增加了学习的数量以及次数，会存在更多的超参数，由于训练数据量大，模型训练计算复杂，本文训练主要采用GPU训练。由于用于智能小车中，实时性必须得到一定的保证，因此，对于已训练好的模型，单帧的处理时间应该控制在1s以内。

### 鲁棒性

在机器视觉中，外界环境变化所带来的影响是不可避免的。道路中车道线种类繁多， 路况随着时间、地点、天气的变化而不停的变化。不同的时间 、地点天气可能不同，路面可检测区域大小也会不同，不同光照也会对检测产生影响，光照强烈时容易出现逆光现象，当光照有阴影时容易出现路面车道线被覆盖。本文最终的车道线检测算法，需在各种光照不同的场景下，能够准确识别检测出车道线，保障车辆的正常行驶

本章小结

车道线检测算法设计

车道线图像数据来源与筛选

车道线图片预处理

### ROI提取范围设计

### 边缘提取设计

### 直线提取设计

基于CNN的车道线检测算法

### CNN结构及参数设计

### CNN的训练及测试

基于强化学习的车辆控制算法设计

### Q学习方法运用设计

本章小结

车道线检测算法实现

车道线图像数据预处理实现

### ROI区提取实现

### 边缘检测实现

### 直线提取实现

基于CNN的车道线检测算法实现

### CNN整体架构实现

### CNN训练及测试

基于强化学习的车辆控制算法实现

### Q学习方法实现

本章小结

车道线检测方法实现及测试

系统实现测试环境

测试实例

测试结果

本章小结

结 论

参 考 文 献

1. 刘富强，田敏，胡振程. 智能汽车中基于是觉的道路检测与跟踪算法[J].同济大学学报（自然科学版）.2007，35：1535-1537.
2. Wang, Chenhao, Zhencheng Hu, and Keiichi Uchimura. "A novel lane detection approach fusion by vehicle localization." In Intelligent Control and Automation (WCICA), 2011 9th World Congress on, pp. 1218-1223. IEEE, 2011.
3. Li, Jian, Xiangjing an, and Hangen He. "Lane Detection Based on Visual Attention." In Image and Graphics (ICIG), 2011 Sixth International Conference on, pp. 570-575. IEEE, 2011.
4. S. Zhou, Y. Jiang, J. Xi, J. Gong, G. Xiong, and H. Chen, “Anovel lane detection based on geometrical model and gabor filter,” in Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE, 2010, pp. 59–64..
5. Aly, M. (2008). Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets. In:Proceedings of IEEE International Vehicles Symposium, pp. 7-12.
6. A.Borkar, M.Hayes, and M.T.Smith, "Polar randomized hough transform for lane detection using loose constraints of parallel lines." Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011.
7. Alon, Y., Ferencz, A., and Shashua, A. (2006). Offroad path following using region classification and geometric projection constraints. In: Proceedings of International Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp.689-696.
8. Keyou, Guo, Li Na, and Zhang Mo. "Lane detection based on the random sample consensus." In Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences (ICM), 2011 International Conference on, vol. 3, pp. 38-41. IEEE, 2011.
9. Y.U. Yim and S.- Y. Oh, "Three-feature based automatic lane detection algorithm (TFALDA) for autonomous driving," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. , vol. 4, no. 4, pp. 219-225, Dec. 2003.