



北京理工大学“双一流”建设精品出版工程

无人驾驶车辆理论与设计： 慕课版（第2版）

THEORY AND DESIGN OF
UNMANNED GROUND VEHICLES
(SECOND EDITION)

熊光明 龚建伟 陈慧岩◎主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

无人驾驶车辆理论与设计：慕课版

(第2版)

熊光明 龚建伟 陈慧岩 主编

无人驾驶车辆理论与设计：慕课版

(第2版)

熊光明 龚建伟 陈慧岩 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是《无人驾驶车辆理论与设计》一书的修订版，同时也是“无人驾驶车辆”慕课配套教材，慕课网址：<http://www.icourse163.org/course/BIT-1207432808>。

课程内容是北京理工大学智能车辆研究所在出版的系列教材和专著并参考国内外公开资料的基础上，针对初学者进行精心制作的。内容包括：无人驾驶车辆国内外发展历程、应用前景、体系结构，车辆底盘无人化改造，无人驾驶车辆电子电气架构及其硬件，环境感知，定位导航，决策与规划，运动控制，智能网联，无人驾驶车辆的设计与测试。

为了使初学者更好地理解 and 掌握基本知识，课程设置了丰富的案例，理论联系实际，尽量做到通俗易懂。

本书可作为高等院校车辆工程、交通工程、自动化、计算机等专业的参考教材；也可各类对无人驾驶车辆感兴趣的人员提供入门参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

无人驾驶车辆理论与设计：慕课版/熊光明，龚建伟，陈慧岩主编. —2 版. —北京：北京理工大学出版社，2021.4

ISBN 978-7-5682-9559-8

I. ①无… II. ①熊…②龚…③陈… III. ①汽车驾驶-无人驾驶-高等学校-教材 IV. ①U471.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 029458 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16.25

彩 插 / 6

字 数 / 359 千字

版 次 / 2021 年 4 月第 2 版 2021 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 78.00 元

责任编辑 / 孙 澍

文案编辑 / 孙 澍

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

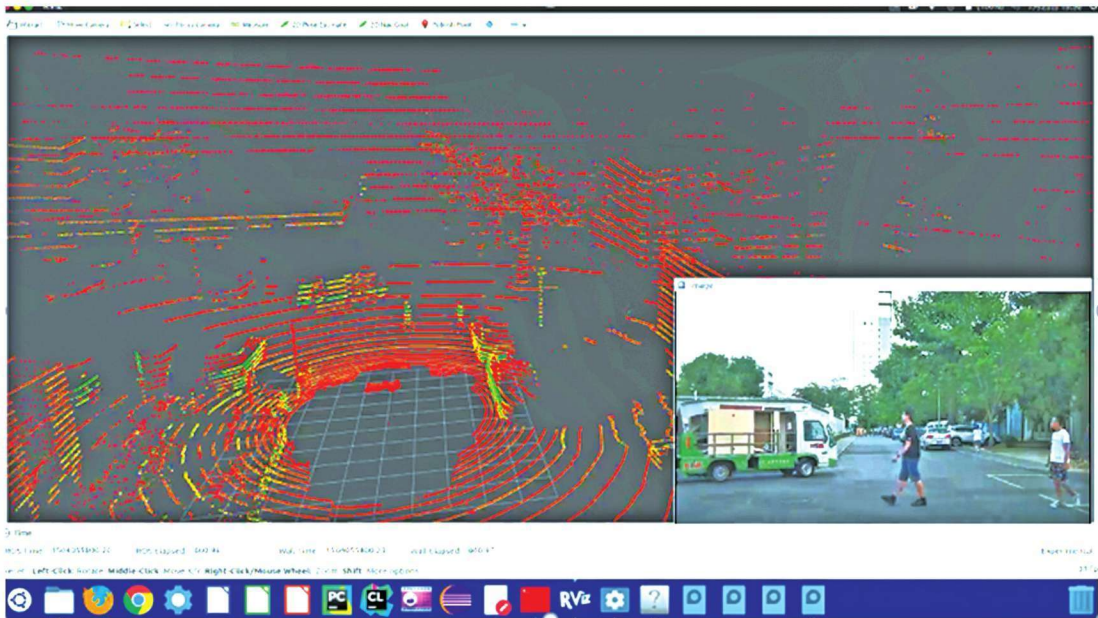


图 3-15 实验车辆在校园环境采取的数据回放

表 3-1 毫米波雷达目标数据示例

字节 \ 位	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1
1	0	0	0	0	1	0	1	0
2	0	0	0	0	1	1	1	0
3	0	0	0	0	1	0	1	0
4	0	0	0	0	1	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	1	0

■ 角度 (°)

■ 距离 (dm)

■ 速度 (cm/s)

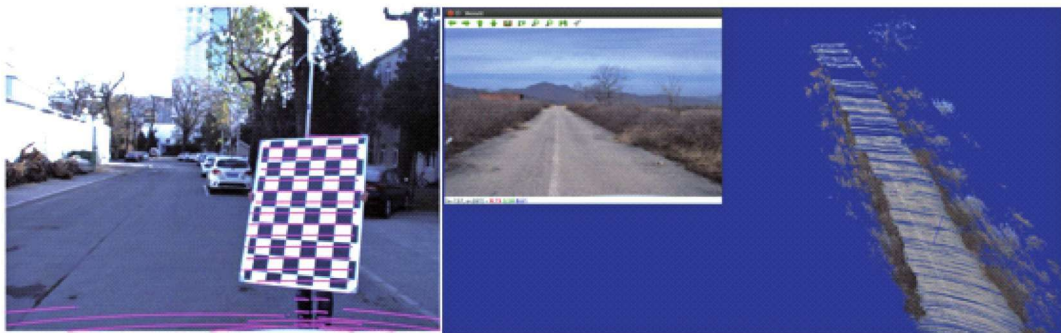


图 4-27 激光雷达点云与图像融合

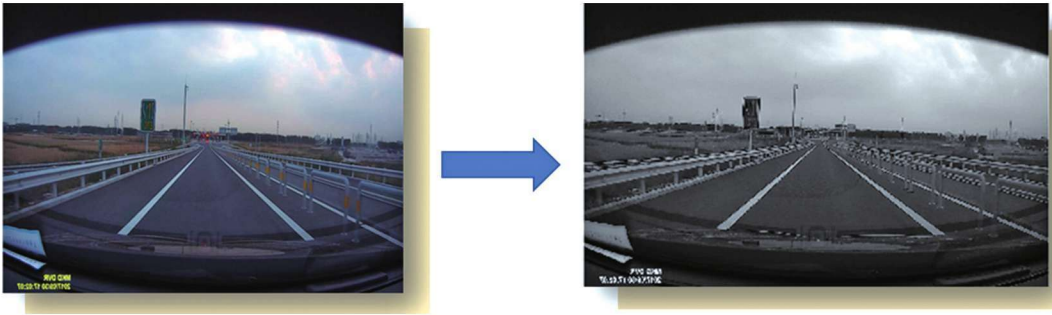


图 5-15 灰度化示意图

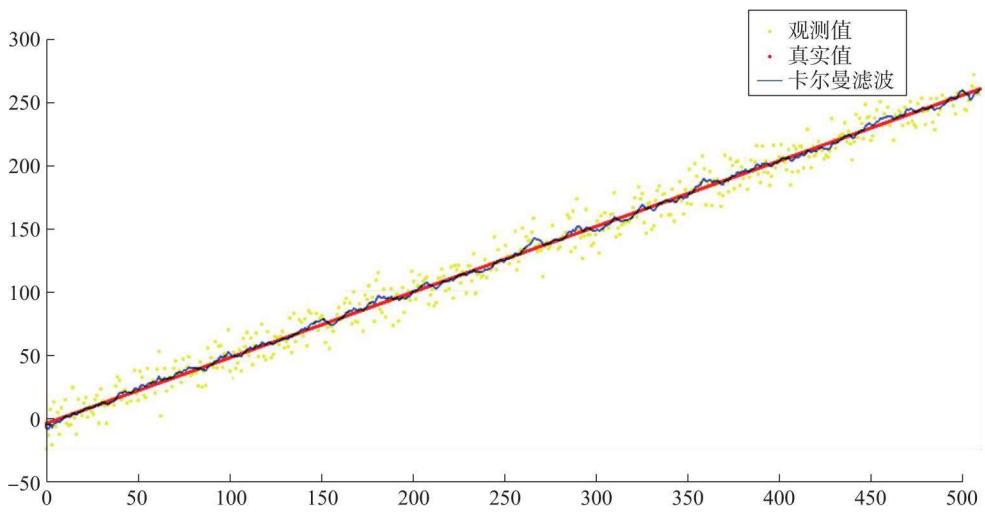


图 5-36 输出结果

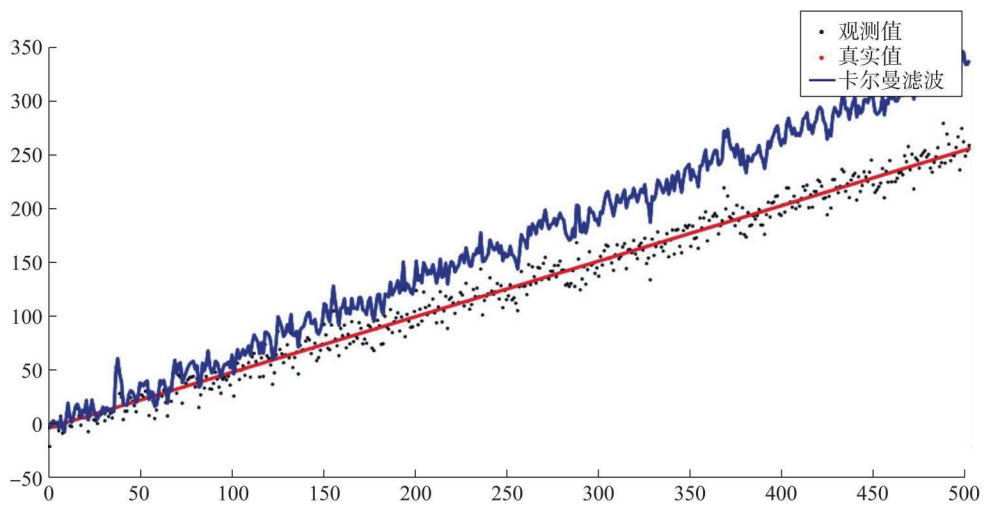


图 5-37 状态方程变化后结果对比

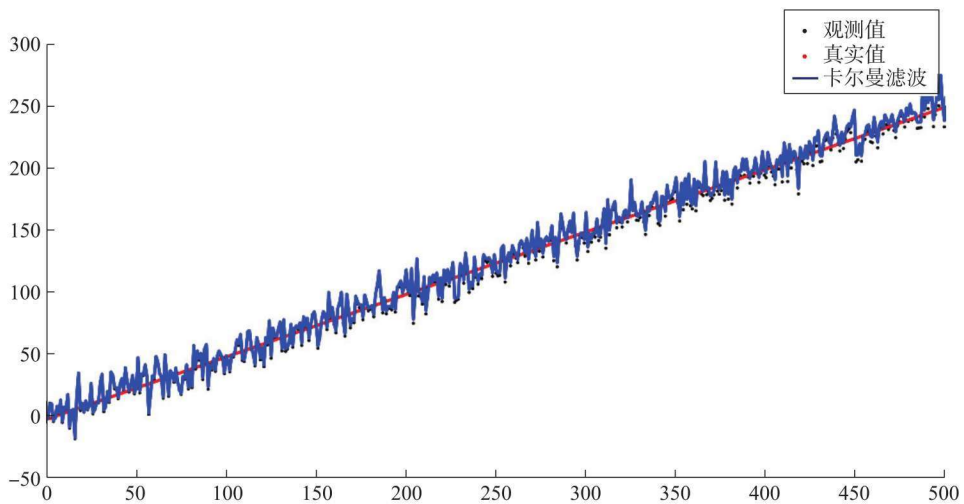
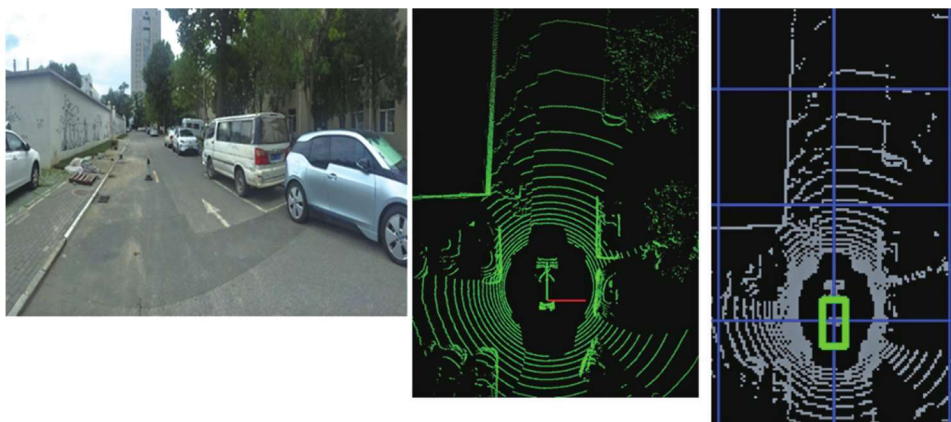


图 5-38 改善后的结果

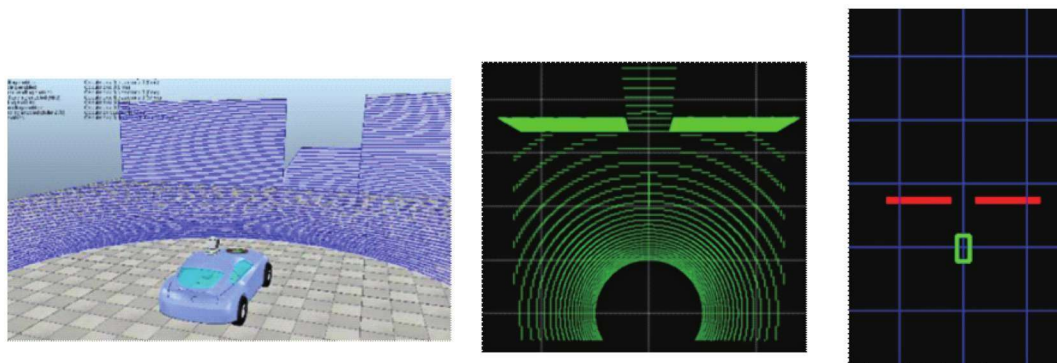


(a)

(b)

图 5-39 基于高度差的障碍物检测

(a) 场景实物图；(b) 点云图和二维栅格地图



(a)

(b)

(c)

图 5-41 检测效果

(a) 原始场景；(b) 点云可视化；(c) 检测效果

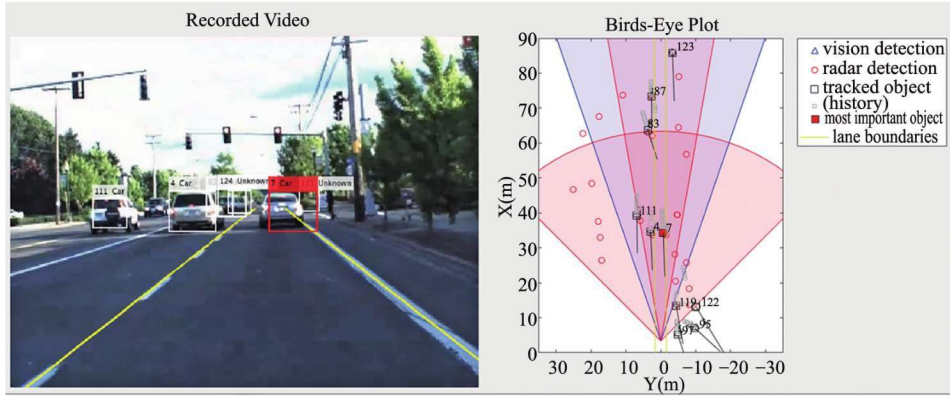


图 5-59 演示结果

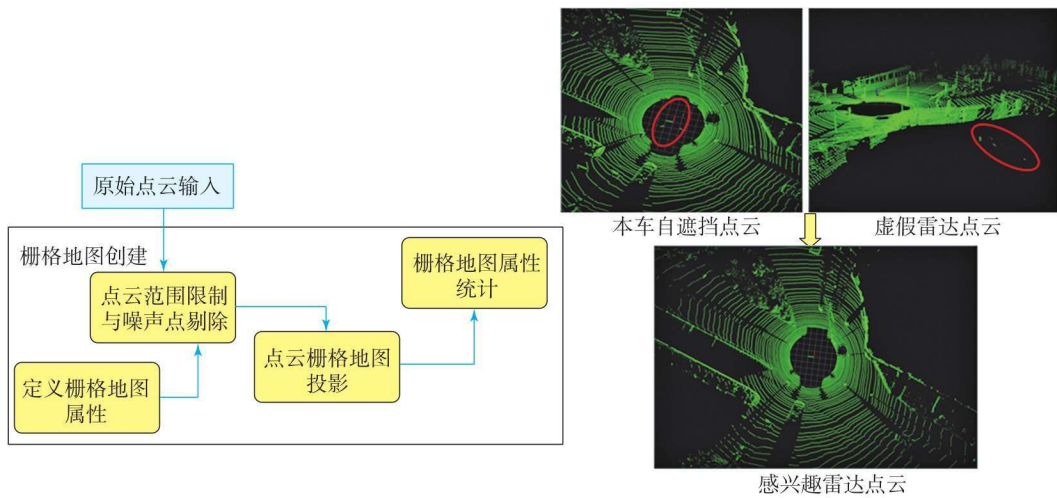


图 5-61 点云的预处理流程

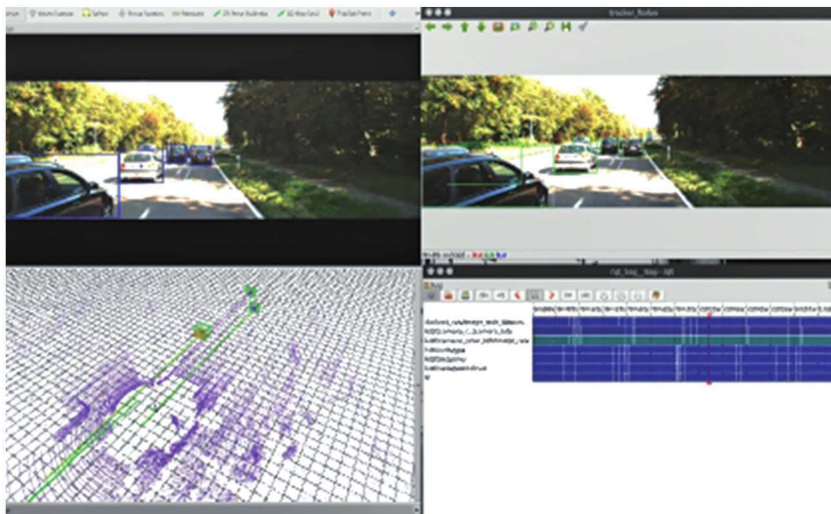


图 5-64 多目标检测与跟踪的效果图

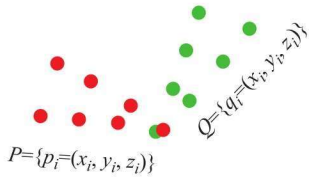


图 6-18 ICP 原理 1

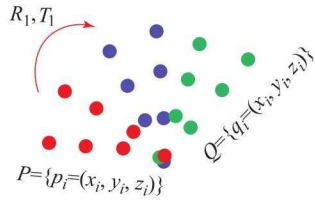


图 6-19 ICP 原理 2

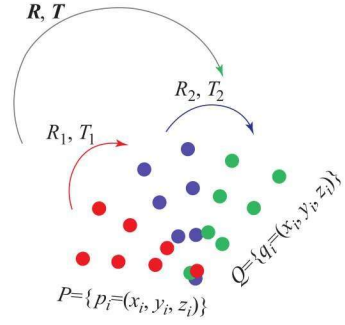


图 6-20 ICP 原理 3

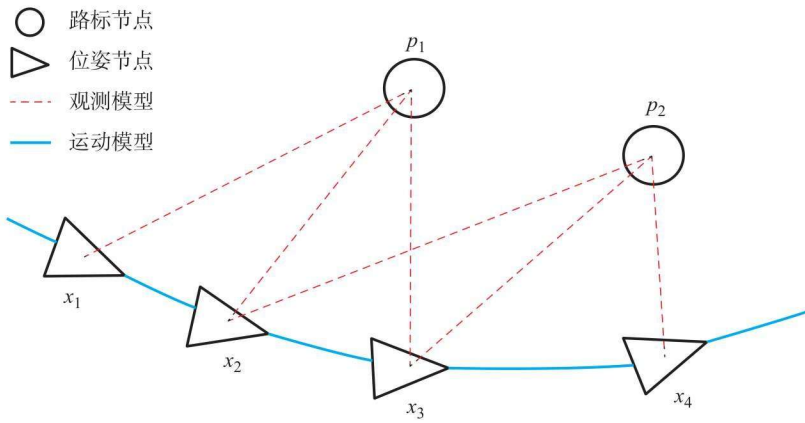


图 6-28 图优化模型

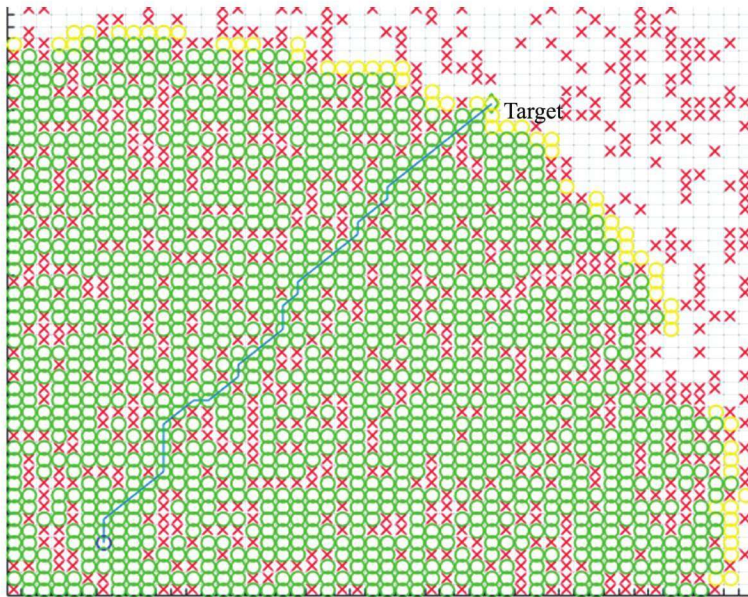


图 7-11 Dijkstra 算法 Matlab 示例 2

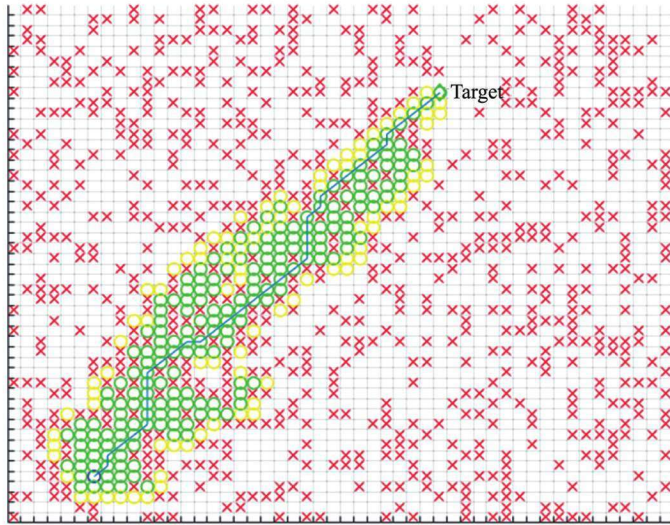


图 7-15 A* 算法 Matlab 示例

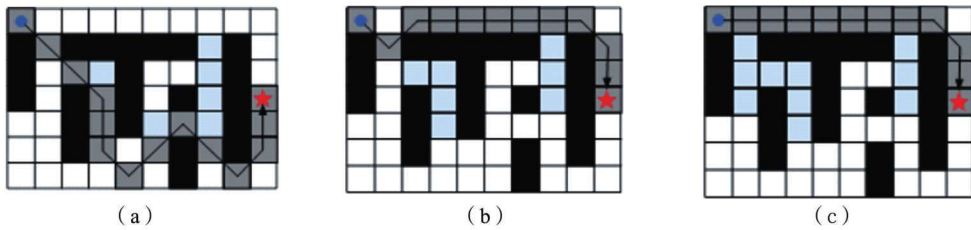


图 7-16 不同权重的 A* 算法

(a) $\varepsilon=3$; (b) $\varepsilon=2$; (c) $\varepsilon=1$

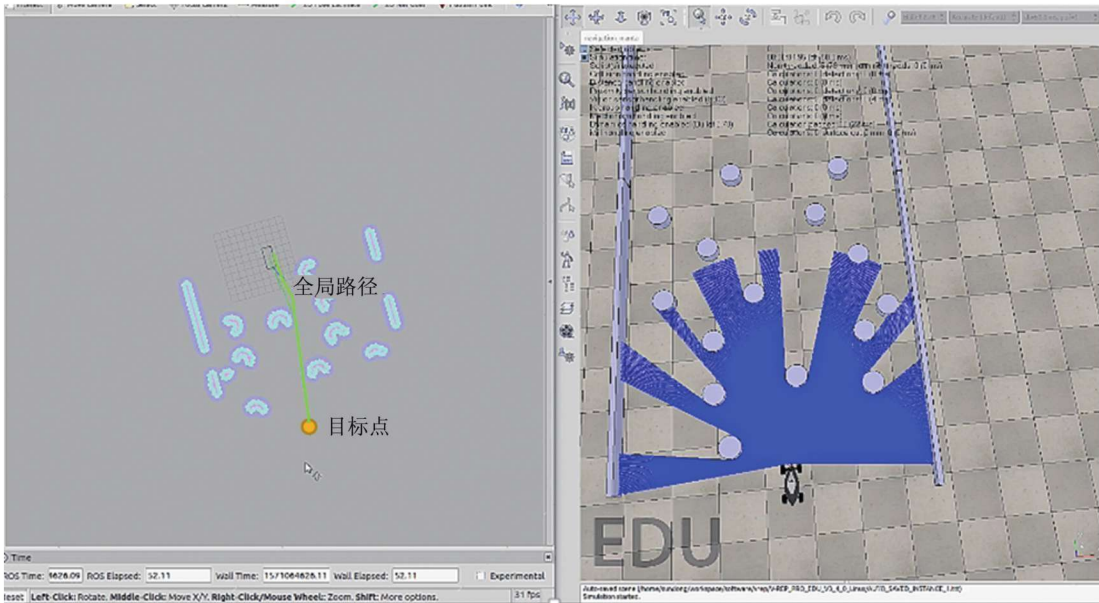


图 7-28 仿真运行起始阶段

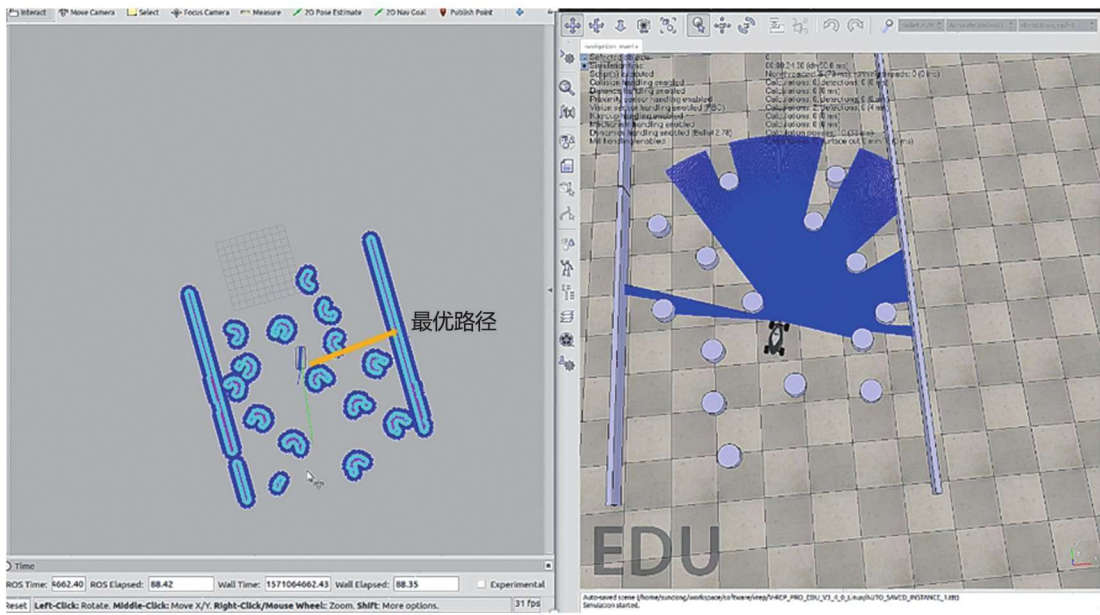


图 7-29 仿真运行中间阶段

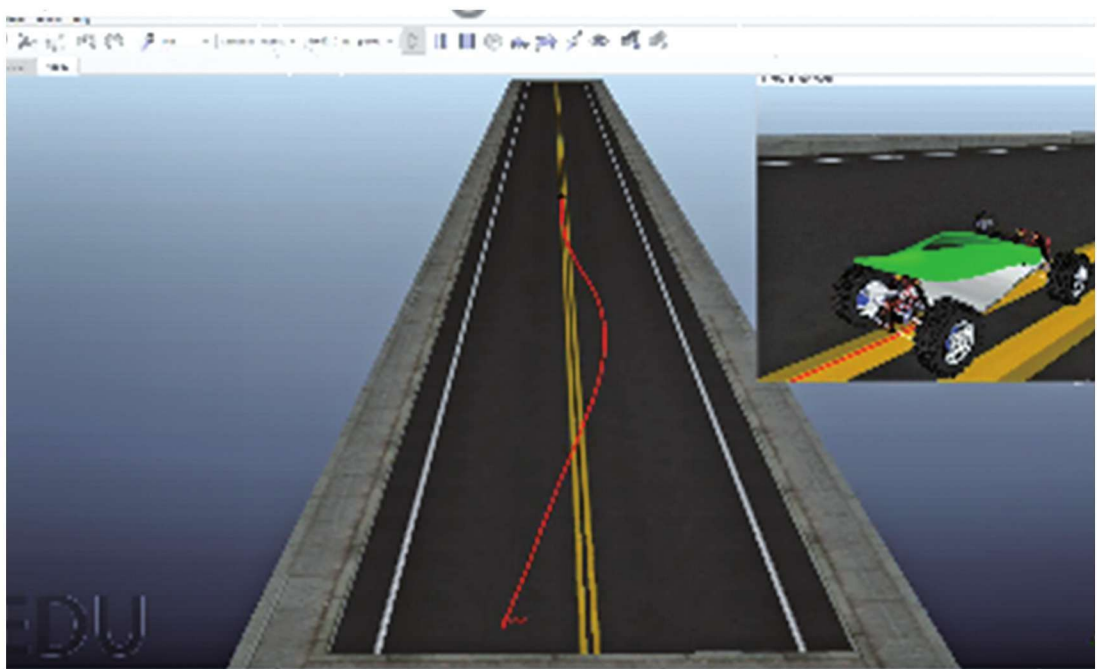


图 8-7 联合仿真场景

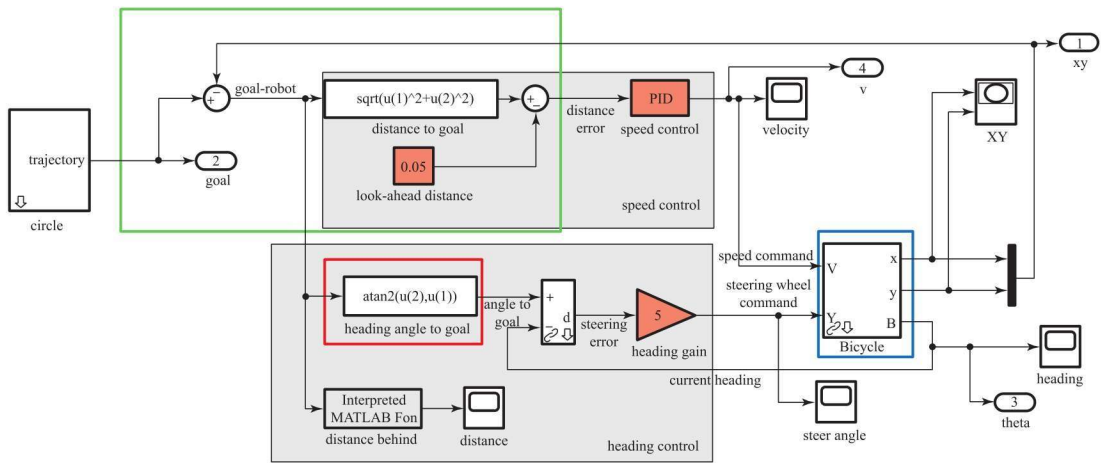


图 8-13 PID 控制系统模型

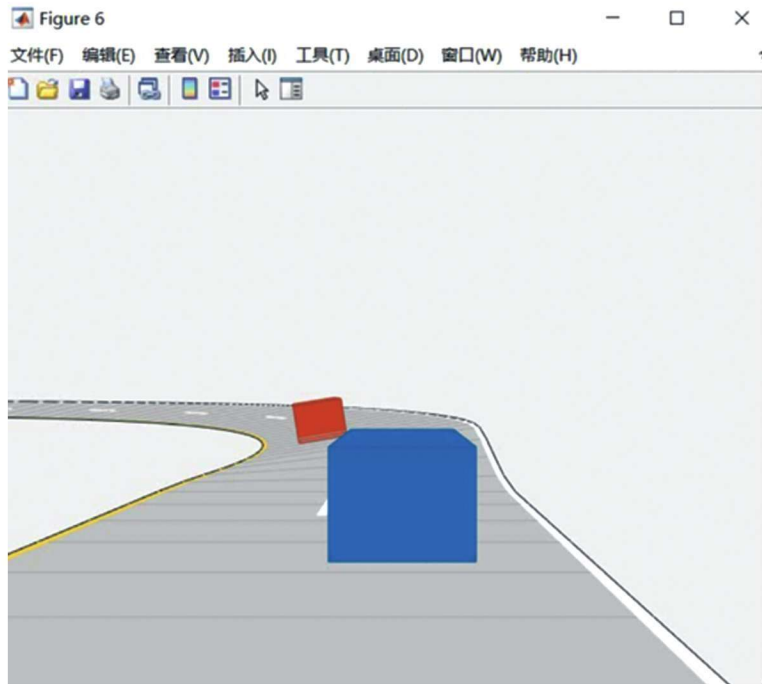


图 C-14 仿真场景

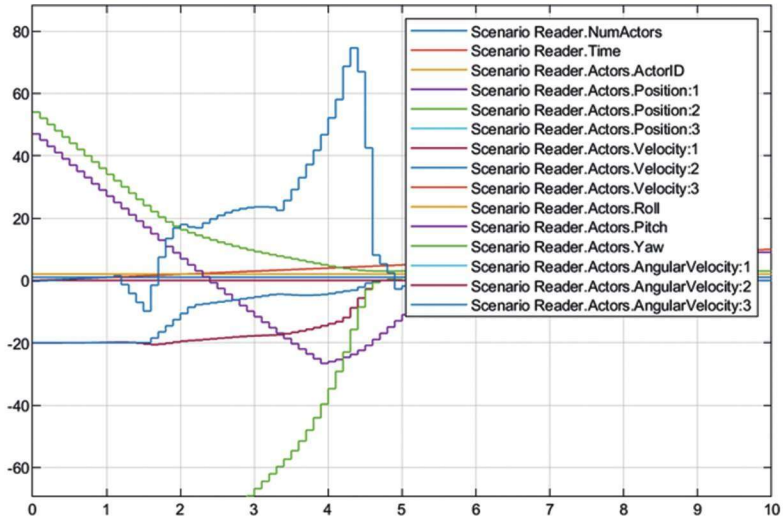


图 C-26 actor 的位姿和速度曲线图

本书是《无人驾驶车辆理论与设计》一书的修订版，全书立足无人驾驶技术的迅猛发展，致力培养优秀的车辆技术人才，服务国家新兴产业战略规划。据不完全统计，第1版已经被近20所高校作为教材连续使用。同时第1版也获得2019年第七届兵工高校精品教材和北京理工大学精品教材。

本书同时也是“无人驾驶车辆”慕课的配套教材。

2019年5月，在北京理工大学教务部的大力支持下，无人驾驶车辆课程慕课建设项目入选“2019年北京理工大学教育教学建设项目——信息技术与教育教学深度融合专项”项目支撑计划。6月，课程组进行了广泛的调研，包括兄弟院校、汽车企业、互联网企业等。7月、8月，课程组在已经出版的系列教材和专著并参考国内外公开资料的基础上，针对初学者精心选材制作，按照慕课的要求对知识点进行了梳理、分解、碎片化整合等工作。9月到11月，完成了视频录制、检查修改、补录重录以及网站建课等。

在慕课中，为了使初学者更好地理解 and 掌握基本知识，专门设置了一些案例，如激光雷达V-REP仿真示例、基于霍夫变换的车道线检测Matlab示例、基于Haar+Adaboost的OpenCV车辆检测实例、卡尔曼滤波Matlab示例、基于深度学习的Stop标志检测Matlab示例、视觉和毫米波雷达融合Matlab示例、动态窗口算法ROS+V-REP仿真示例、纯跟踪方法Matlab+V-REP仿真示例、Carsim+Matlab联合仿真、Prescan+MATLAB联合仿真。

2019年12月，课程组制作的“无人驾驶车辆”慕课正式在中国大学MOOC网站上线。截至2020年7月底，已完成了春季和夏季2期的教学。很多在校生以及社会从业人员参加了本课程的学习。我们也收到了一些意见和建议，在此表示感谢。

“无人驾驶车辆”慕课由熊光明、龚建伟、陈慧岩统筹，课程组教师吕超、邱慧军、吴绍斌，实验室研究生陈晨、黄书昊、孙博帆、何刚、王羽纯、关海杰、于洋、廖俊博、韦家明、叶坤鸿等参加了部分内容的讨论、制作。

作为配套教材，本书汇编了慕课的主要内容，并在附录A、B中分

别补充了激光雷达 VREP 仿真示例和纯跟踪方法 MATLAB + VREP 仿真示例的详细过程。在附录 C 中增加了 MATLAB 自动驾驶工具箱的一些案例。

本书的出版得到北京理工大学 2020 年“特立”系列教材、教学专著立项资助。本书部分成果来源于教育部产学合作协同育人项目“基于 MATLAB 自动驾驶工具箱的无人驾驶车辆课程建设（201901159001）”和“2020 年北京理工大学教育教学建设项目——信息技术与教育教学深度融合专项”（《无人驾驶车辆》MOOC 持续改进）。本书也参考了国内外公开发表的资料，在此向相关资料的作者表示感谢。

由于无人驾驶车辆技术在不断发展之中，加之作者水平和能力有限，书中不当之处，望广大读者批评指正。

编者
2020 年 7 月

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	001
1.1 发展历程	001
1.1.1 国外发展历程	001
1.1.2 国内发展历程	002
1.2 应用前景及体系结构	003
习题	006
第 2 章 车辆底盘无人化改造	007
2.1 转向系统无人化改造	008
2.1.1 液压助力转向系统	008
2.1.2 电控液压助力转向系统	011
2.1.3 电动助力转向系统	012
2.1.4 主动前轮转向系统	014
2.1.5 线控转向系统	015
2.2 油门无人化改造	016
2.2.1 机械式节气门系统	016
2.2.2 电子节气门系统	017
2.3 制动系统无人化改造	019
2.3.1 传统制动系统	019
2.3.2 线控制动系统	020
2.3.3 线控制动系统实例	022
2.4 案例介绍	027
习题	028

第3章 无人驾驶车辆电子电气架构及其硬件	029
3.1 环境感知常用传感器	029
3.1.1 激光雷达	029
3.1.2 毫米波雷达	035
3.1.3 车载相机	037
3.2 定位导航常用传感器	038
3.3 车载通信系统	039
3.3.1 无人驾驶车辆常用的通信方式	040
3.3.2 无人驾驶车辆常用设备所采用的通信方式	040
3.3.3 无人驾驶车辆常用的信号转换设备	041
3.3.4 以太网交换机	042
3.4 车载计算平台	043
3.5 车载供电系统	045
习题	047
第4章 传感器标定	048
4.1 相机标定	049
4.1.1 单目相机标定	049
4.1.2 双目相机标定	055
4.2 激光雷达标定	057
4.2.1 单线激光雷达的标定	057
4.2.2 多线激光雷达的标定	059
4.3 相机与激光雷达联合标定	060
习题	063
第5章 环境感知	064
5.1 基于相机的环境感知	064
5.1.1 图像预处理	064
5.1.2 车道线检测	067
5.1.3 车辆检测	074
5.2 卡尔曼滤波与状态估计	083
5.2.1 基本概念	083
5.2.2 Matlab 案例	085
5.3 基于激光雷达的环境感知	089
5.3.1 障碍物检测	089
5.3.2 激光雷达回波强度的应用	091