

doi: 10.3969/j.issn.1007-7162.2016.04.001

可拓识别方法及其在无人车识别障碍物中的应用研究

花黄伟^{1,2}, 杨春燕^{1,2}

(广东工业大学 1. 可拓学与创新方法研究所; 2. 机电工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 智能识别障碍物是无人车的必备技术, 目前对该技术的研究已经成为热门的研究方向. 本文依据可拓学的基本理论与方法, 从解决矛盾问题的角度对可拓识别方法进行了深入研究, 给出了定性与定量相结合的可拓识别方法的一般步骤和流程, 并将该方法应用于无人车识别障碍物, 获得了符合识别要求的策略, 证明了其可行性. 该方法也为研制可拓识别系统提供了思路, 具有广阔的应用前景.

关键词: 可拓识别方法; 障碍物; 无人车; 可拓学

中图分类号: TP18; TH122

文献标志码: A

文章编号: 1007-7162(2016)04-0001-06

Research on Extension Recognition Method and Its Application on Obstacles Recognition of Self-driving Car

Hua Huang-wei^{1,2}, Yang Chun-yan^{1,2}

(1. Research Institute of Extenics and Innovation Methods, 2. School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Intelligent obstacle recognition is the essential technology of the self-driving car, which has been a popular research so far. Based on the basic theory and method of Extenics, a research is carried out by using the extension recognition method, to solve contradictory problems. The general procedure of extension recognition method is provided, combining qualitative analysis with quantitative calculation. This method is applied on obstacle recognition of the self-driving car and a strategy obtained that conform to the recognition requirements. The case analysis proves the feasibility of this method. In the meantime, this method offers a research idea for the development of extension recognition system and has a broad application prospect.

Key words: extension recognition method; obstacle; self-driving car; Extenics

随着人工智能、计算机视觉、图像处理及自动控制等技术的快速发展, 谷歌、百度等科技公司和通用汽车、长安汽车等传统汽车厂商相继开始在无人车领域开展研究. 最近在 2016 年 CES 大会、世界互联网大会等重量级的展台上, 无人车成了最热门的话题. 要实现无人驾驶汽车的安全行驶, 首先就需要给汽车一双“眼睛”, 即摄像头, 通过摄像头捕捉的图像, 进行处理、识别、判断、控制, 使得汽车在无人驾驶的情况下正常安全行驶.

智能识别障碍物是无人车能否实现的必备技

术, 目前对该技术的研究已经是一个热门的研究方向. 美国、法国、日本等国家相继在该研究方向做了深入的研究, 并取得丰硕的成果, 而我国由于经济实力和基础设施水平等因素限制, 在该方向的研究上确实与这些国家存在一些差距. 目前我国投入了巨大的人力、物力进行研究, 其差距已经逐步缩小了^[1]. 近几年, 国内外都提出了许多算法和实施策略, 如文献 [2] 提出的双目 CCD 和文献 [3] 提出的彩色 CCD 的计算机视觉方法, 该基本原理是利用两台参数性能相同、位置固定的摄像机, 从两个不同的

收稿日期: 2016-05-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61273306); 广东省科技计划项目(2016A040404015)

作者简介: 花黄伟(1991-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为可拓学、车辆工程、智能系统.

通信作者: 杨春燕(1964-), 女, 研究员, 广东工业大学可拓学与创新方法研究所所长, 主要研究方向为可拓学、信息与知识管理、智能系统、创新方法与创新设计等. E-mail: wyw@gdut.edu.cn

视点观察同一景物,获得两个不同视角下的图像,计算图像像素间位置的偏差,从而确定三维空间点的深度信息.目前这种识别障碍物方法是比较主流的方法,但该方法的算法十分复杂,所需的成本也很高.文献[4]提出了逆透视投影变换的方法,该方法将两幅图像都进行逆透视变换,可正常行驶路面在变换后的图像里没有视差,而有障碍物会高出路面,所以会在变换后的两幅图像里存在较大的差异.文献[5]提出了一种神经网络的方法来实现线性相机体视的匹配工作,采用Hopfield网络的能量函数来实现优化而不是通常的标准互相关.文献[6]提出了一种结合扩展的卡尔曼滤波器,基于特征的单目场景重建方法,通过处理一系列的单目视觉图像,再结合激光测距技术,就可以去除噪声干扰,从而可以精确地检测到障碍物位置,并重建三维地图.文献[7]提出了一个基于雷达的道路车辆检测系统,该雷达能以0.1 m的精度监测出约200 m以外的车辆,具有3°的垂直视角和12°水平视角.文献[8]提出了一种基于双目视感系统的空间点三维坐标的计算,主要依靠外极线几何约束理论来实现对障碍物的识别.

上述的一些国内外研究,基于任何一种测距技术的障碍物检测方法都有其局限性,目前还没有一种令人满意的解决策略.可拓学[9]是通过研究事物的可拓展性,进而利用可拓变换来解决矛盾问题的一门新兴交叉学科,并建立了可拓识别方法.本文从解决矛盾问题的角度对可拓识别方法进行了进一步的研究,并将该方法应用于无人车障碍物识别,证明了该方法的可行性.

1 可拓识别方法

可拓识别方法[9]是利用可拓集的思想,从解决矛盾问题[10]的角度去识别事物,研究如何利用可拓变换和判断使不能识别的对象变为能够识别,再对变换产生的策略进行优度评价,最终选出较优设计策略的一种定性与定量相结合的方法.

从解决矛盾问题的角度研究识别问题的可拓识别方法的主要步骤如下.

(1) 界定目标 G 与条件 L .对需要识别的物体进行分析,将该目标模型通过可拓学中的事元[9]形式化表示为 $G = (O_a, c_a, v_a)$,其中 O_a 表示动作, c_a 表示该动作的特征, v_a 表示该动作关于特征 c_a 的量值.而针对动作的多个特征进行分析的目标模型是多维事元,其表示形式为

$$G_a = \begin{bmatrix} G_{a1} \\ G_{a2} \\ \vdots \\ G_{an} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_a, & c_{a1}, & v_{a1} \\ & c_{a2}, & v_{a2} \\ & & \vdots \\ & c_{an}, & v_{an} \end{bmatrix}.$$

分析上述建立的目标模型,结合实际情况,将影响该目标模型不能实现或约束该目标模型的条件,用物元[9]形式化表示为 $L = (O_m, c_m, v_m)$,其中 O_m 表示对象, c_m 表示该对象的特征, v_m 表示该对象关于特征 c_m 的量值.而对对象的多个特征进行分析的物元模型是多维物元,其表示形式为

$$L_m = \begin{bmatrix} L_{m1} \\ L_{m2} \\ \vdots \\ L_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_m, & c_{m1}, & v_{m1} \\ & c_{m2}, & v_{m2} \\ & & \vdots \\ & c_{mn}, & v_{mn} \end{bmatrix}.$$

(2) 根据上述对目标 G 与条件 L 的界定,组合上述所得到的两个模型,可以建立待识别问题的可拓模型[9]: $P = G_a * L_m$.

(3) 对问题 P 进行分析,抽象出待识别问题中的关键基元或特殊基元,建立原问题 P 的核问题 P_0 的模型[9]: $P_0 = g_0 * l_0$.

(4) 利用可拓集与关联函数[11],针对不同的评价特征,选取相应的关联函数,对上述核问题 P_0 建立识别度函数 $k(x)$.关联函数主要包括初等关联函数、简单关联函数、离散关联函数等形式.如果是单评价特征问题,根据实际问题的领域知识,直接利用关联函数建立识别度函数;如果是多评价特征问题,则需要建立综合识别度函数,详见文献[9],此不赘述.

(5) 利用所建立的识别度函数,计算问题的识别度,若 $k(x) < 0$,则认为是不可识别问题或达不到识别要求的问题,进入下一步;若 $k(x) = 0$,则认为是临界问题,根据领域知识判定是否进入下一步;若 $k(x) > 0$,则认为是可识别问题或达到识别要求的问题,结束.

(6) 对识别度 $k(x) < 0$ 的问题,对其核问题 P_0 中的目标基元或条件基元进行拓展分析,拓展分析包括发散分析、相关分析、蕴含分析、可扩分析等分析方法,详见参考文献[9].

(7) 对拓展出的基元,进行可拓变换[9].可拓变换是在对原基元拓展分析之后,根据分析的结果对原基元进行的相应的变换操作,主要包括基本可拓变换、可拓变换的运算和传导变换等方法.

(8) 通过上述的拓展分析和可拓变换,会得到很多不同的识别策略,对变换后得到策略再用步骤

(4) 建立的识别度函数进行计算,若变换后的识别度 $k(x') < 0$,则说明该识别策略仍然无法达到识别要求,选择舍去或进一步实施可拓变换;若 $k(x') > 0$,说明该识别策略可以达到识别要求,则进行下一步。

(9) 利用优度评价方法对所有识别度大于0的策略进行评价选优^[9],获得优度较高的识别策略。主要步骤如下:① 根据具体问题确定衡量指标;② 确定各衡量指标的权系数;③ 建立各衡量指标的关联函数,并选择综合优度计算方法,计算优度,列出优度评价表;④ 获得优度较高的识别策略。

上述步骤可用图1的框图来表示。

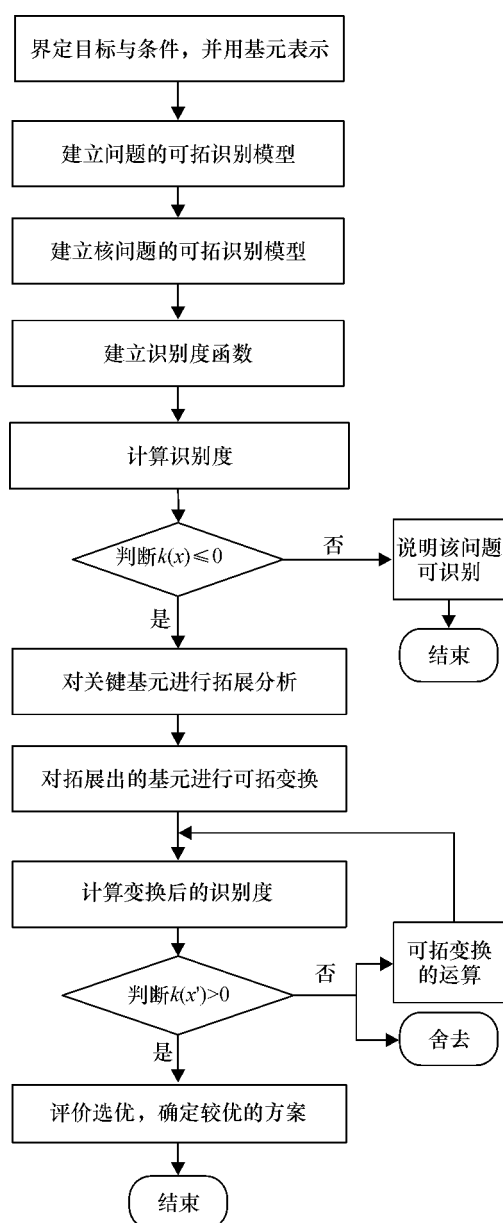


图1 可拓识别方法的框图

Fig.1 Flowchart of extension recognition

2 在无人车智能识别障碍物中的应用

目前在无人车^[12]智能识别障碍物方面,还很难获得识别错误次数少、反应时间短和成本较低的识别障碍物策略。根据这个不相容问题,下面利用本文的可拓识别方法,尝试获得优度较高的无人车智能识别障碍物的策略。具体步骤如下。

(1) 界定目标 G 与条件 L 。

该问题的目标是:无人车利用识别系统 D 智能识别行驶过程中的障碍物,希望达到目标识别错误次数 V_1 、反应时间 V_2 和成本 V_3 ;条件是:目前无人车内的识别系统 D_0 ,在车辆行驶的过程中智能识别前方障碍物的识别错误次数是 v_1 ,反应时间是 v_2 ,成本是 v_3 。

(2) 由上述界定的目标 G 与条件 L ,可以建立该问题的可拓识别模型

$$P = G * L =$$

$$\begin{bmatrix} \text{识别, 支配对象, 障碍物} \\ \text{工具, 识别系统 } D \\ \text{识别错误次数, } V_1 \\ \text{反应时间, } V_2 \\ \text{成本, } V_3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \text{识别系统 } D_0, \text{ 位置, 车内} \\ \text{状态, 行驶过程中} \\ \text{作用, 识别障碍物} \\ \text{识别错误次数, } v_1 \\ \text{反应时间, } v_2 \\ \text{成本, } v_3 \end{bmatrix}$$

(3) 建立核问题的可拓识别模型。

根据目前研究现状分析,该问题主要体现在现有识别系统的识别错误次数 v_1 、反应时间 v_2 和成本 v_3 之间满足不了目标要求识别系统的识别错误次数 V_1 、反应时间 V_2 和成本 V_3 的要求。对此,建立核问题的可拓识别模型为

$$P_0 = g_0 * l_0 = \begin{bmatrix} \text{识别系统 } D, \text{ 识别错误次数, } V_1 \\ \text{反应时间, } V_2 \\ \text{成本, } V_3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \text{识别系统 } D_0, \text{ 识别错误次数, } v_1 \\ \text{反应时间, } v_2 \\ \text{成本, } v_3 \end{bmatrix}$$

(4) 建立识别度函数 $k(x)$

根据实际的技术水平和问题的目标要求,选取评价特征“识别错误次数”、“反应时间”和“成本”,

分别对其建立识别度函数 $k_1(x_1)$ 、 $k_2(x_2)$ 、 $k_3(x_3)$ 。

① 对“识别错误次数”建立识别度函数 $k_1(x_1)$ 。

对于无人车的识别错误次数的要求,由于它关乎人、车的安全,所以最理想的是一次识别错误都不能发生,但由于各种因素的影响,难以做到一次识别错误都不发生。根据历史数据资料查询判定,在识别实验 10 000 次,允许识别错误的临界次数为 3 次。对此,将识别障碍物的精确性分为高、中、一般、低、差,分别由识别错误次数来衡量,则可建立识别度函数为

$$k_1(x_1) = \begin{cases} 1, & x_1 = 0; \\ 0.5, & x_1 \in \{1, 2\}; \\ 0, & x_1 = 3; \\ -0.5, & x_1 \in \{4, 5\}; \\ -1, & x_1 \geq 6. \end{cases}$$

② 对“反应时间”建立识别度函数 $k_2(x_2)$ 。

反应时间的长短决定能不能在有效时间内识别出障碍物并控制车辆做出相应的改变,如果反应时间过长了,那就相当于该识别策略没用,无人车不能正常在马路上安全行驶。根据经验和实验数据,反应时间越短越好,且低于 500 ms 是可以接受的,因此设定反应时间的正域 $X_2 = (0 \text{ ms}, 500 \text{ ms}]$,则可建立识别度函数为

$$k_2(x_2) = \frac{500 - x_2}{500}, x_2 > 0.$$

③ 对“成本”建立识别度函数 $k_3(x_3)$ 。

成本的高低关系到无人车能不能推广以致达到普及的效果,对于一个新兴的无人车,成本的控制是一项重要的衡量特征,也是一个企业生存下去的根本。如果企业都不能生存下去,那么无人车只能在人们的想象中,所以要尽力控制成本,对本文来说,识别障碍物整套系统的成本需要得到很好的控制。通过市场的问卷调查和各个设备的实际价格,可设定成本的正域为 $X_3 = (0, 25] \text{ (万元)}$,最优值点为 20 万元,可建立识别度函数为

$$k_3(x_3) = \begin{cases} \frac{x_3}{20}, & x_3 < 20, \\ \frac{25 - x_3}{25 - 20} = 5 - \frac{1}{5}x_3, & x_3 \geq 20. \end{cases}$$

再根据领域知识知,上述 3 个要求必须同时满足才符合识别要求,故取综合识别度函数为 $k(x) = k_1(x_1) \wedge k_2(x_2) \wedge k_3(x_3)$ 。

(5) 计算识别度函数,并判断原问题符合识别要求的程度。

根据现有的技术水平和现在已有的识别策略,将 v_1, v_2, v_3 的取值代入综合识别度函数计算可知: $k(x_0) = k_1(v_1) \wedge k_2(v_2) \wedge k_3(v_3) < 0$,属于不能满足识别要求的问题。

(6) 对核问题进行拓展分析。

由上述步骤 5 可以得出,该问题为不满足识别要求的问题,因此,需要对核问题进行拓展分析,以寻找更好的识别策略。在上述建立的核问题可拓识别模型中,首先要从条件的分析入手。设

$$l_0 = \begin{bmatrix} \text{识别系统 } D_0, & \text{识别错误次数}, & v_1 \\ & \text{反应时间}, & v_2 \\ & \text{成本}, & v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{01} \\ l_{02} \\ l_{03} \end{bmatrix}.$$

① 对识别错误次数进行相关分析:由领域知识可得

$$l_{01} = (\text{识别系统 } D_0, \text{识别错误次数}, v_{01}) \sim$$

$$\begin{cases} l_{011} = (\text{摄像头 } D_{011}, \text{像素数}, v_{011}), \\ l_{012} = (\text{摄像头组 } D_{012}, \text{摄像头个数}, v_{012}), \\ l_{013} = (\text{摄像头组 } D_{012}, \text{位置}, v_{013}), \\ l_{014} = (\text{识别系统 } D_0, \text{算法}, v_{014}), \\ l_{015} = (\text{图形处理器 } D_{015}, \text{处理效果}, v_{015}), \\ l_{016} = (\text{车载激光 } D_{016}, \text{质量}, v_{016}). \end{cases}$$

由上述相关分析结果可知,识别错误次数与识别系统的算法^[3]、图形处理器的处理效果、车载激光质量和摄像头的像素数、个数等都具有相关性,该相关分析提供了提高识别精度的思路。

② 对反应时间进行相关分析:为尽量缩短识别过程的耗时,即反应时间,需要对 $l_{02} = (\text{识别系统 } D_0, \text{反应时间}, v_{02})$ 进行分析。根据可拓学中相关分析原理,由领域知识可知

$$l_{02} = (\text{识别系统 } D_0, \text{反应时间}, v_{02}) \sim$$

$$\begin{cases} l_{021} = (\text{CPU } D_{021}, \text{运行速度}, v_{021}), \\ \sim l_{0211} = (\text{CPU } D_{021}, \text{核数}, v_{0211}), \\ l_{022} = (\text{控制转向器 } D_{022}, \text{响应速度}, v_{022}), \\ l_{023} = (\text{传感器组 } D_{023}, \text{感应速度}, v_{023}), \\ l_{024} = (\text{环境 } D_{024}, \text{能见度}, v_{024}), \\ l_{025} = (\text{无人车 } E, \text{行驶速度}, v_{025}). \end{cases}$$

根据上述的相关分析,可以得出识别障碍物的反应时间与 CPU 的运行速度、控制转向器的响应速度、传感器的感应速度、环境的能见度和无人车行驶的速度等都具有相关性,该相关分析提供了缩短反应时间的思路。

③ 对成本进行相关分析: 通过上面对识别错误次数和反应时间的相关分析可知, 整个识别过程需要摄像头、传感器、行车电脑、图形处理器和车载激光发生器等部件合作完成, 由领域知识可得

$$l_{03} = (\text{识别系统 } D_0, \text{ 成本}, v_{03}) \sim \begin{cases} l_{031} = (\text{摄像头组 } D_{012}, \text{ 价格}, v_{031}), \\ l_{032} = (\text{传感器组 } D_{023}, \text{ 价格}, v_{032}), \\ l_{033} = (\text{行车电脑 } F, \text{ 价格}, v_{033}), \\ l_{034} = (\text{车载激光发生器 } D_{015}, \text{ 价格}, v_{034}), \\ l_{035} = (\text{图形处理器 } D_{013}, \text{ 价格}, v_{035}), \end{cases}$$

对此, 可通过选择相应的个数和价格, 在能够识别的前提下控制成本.

(7) 对拓展出的基元进行可拓变换.

由步骤(6)对核问题的拓展分析, 可以得出该问题的主要相关因素, 根据可拓变换理论, 对所拓展出的基元实施可拓变换, 原基元必定会发生传导变换. 例如, 选择进行如下可拓变换, 可获得相应的策略.

① 对与 l_{01} 相关的基元同时实施 5 个主动可拓变换 $T_{011} \wedge T_{012} \wedge T_{013} \wedge T_{015} \wedge T_{016}$,

$$T_{011}l_{011} = (\text{摄像头 } D'_{011}, \text{ 像素数}, 800 \text{ 万}) = l'_{011}, v_{011} < 800 \text{ 万},$$

$$T_{012}l_{012} = (\text{摄像头组 } D'_{012}, \text{ 摄像头个数}, 8) = l'_{012}, v_{012} < 8,$$

$$T_{013}l_{013} = (\text{摄像头组 } D'_{012}, \text{ 位置}, v'_{013}) = l'_{013}, v'_{013} = \text{前端 4 个} \wedge \text{左边 1 个} \wedge \text{右边 1 个} \wedge \text{后端 2 个},$$

$$T_{015}l_{015} = (\text{GTX580 型 } D'_{015}, \text{ 处理效果}, v'_{015}) = l'_{015}, v'_{015} > v_{015},$$

$$T_{016}l_{016} = (\text{车载激光 } D'_{016}, \text{ 质量}, v'_{016}) = l'_{016}, v'_{016} > v_{016}.$$

根据传导变换原理, 上述变换必然会导致发生传导变换

$$T_{011} \wedge T_{012} \wedge T_{013} \wedge T_{015} \wedge T_{016} \Rightarrow T_1, \text{ 使得 } T_1l_{01} = (\text{识别系统 } D'_0, \text{ 识别错误次数}, 2 \text{ 次}) = l'_{01}.$$

上述主动变换和传导变换的结果显示: 提高摄像头的像素数和个数, 如采用 8 个像素数为 800 万的摄像头, 在车身前端装 4 个, 左右侧各装 1 个, 后端装 2 个; 采用专业级的图像处理器, 如选择 nVidia 公司 GTX580 型号专业级的图形处理器; 选择激光光束集中, 直线度较好的激光发射器. 此时, 做识别实验 10 000 次, 识别错误次数为 2 次.

② 对与 l_{02} 相关的基元同时实施 2 个主动可拓变换: $T_{0211} \wedge T_{025}$, 使得

$$T_{0211}l_{0211} = (\text{CPU } D'_{021}, \text{ 核数}, 4) = l'_{0211}, v_{021} < 4,$$

$$T_{025}l_{025} = (\text{无人车 } E', \text{ 行驶速度}, v'_{025}) = l'_{025}, \text{ 其中}$$

$$v'_{025} \begin{cases} \leq 120 \text{ km/h}, & \text{高速公路段;} \\ \leq 60 \text{ km/h}, & \text{城市路段;} \\ \leq 50 \text{ km/h}, & \text{农村路段;} \\ \leq 40 \text{ km/h}, & \text{其他路段;} \end{cases}$$

根据传导变换原理, 必然会发生传导变换 $T_{0211} \wedge T_{025} \Rightarrow T_2$, 使得

$$T_2l_{02} = (\text{识别系统 } D''_0, \text{ 反应时间}, 450 \text{ ms}) = l'_{02}.$$

上述主动变换和传导变换的结果显示: 对于 CPU, 可通过增加其核数, 来提高运行的速度, 如选择四核酷睿 i7 的 CPU. 通过上述的变化, 根据实验, 在识别障碍物过程中, 反应时间为 450 ms.

③ 对与 l_{03} 相关的基元同时实施 3 个主动可拓变换: $T_{031} \wedge T_{033} \wedge T_{034}$,

$$T_{031}l_{031} = (\text{摄像头组 } D'_{012}, \text{ 价格}, 8 \times 0.08 \text{ 万元}) = l'_{031}, v_{031} > 0.64 \text{ 万元},$$

$$T_{033}l_{033} = (\text{行车电脑 } F', \text{ 价格}, 10 \text{ 万元}) = l'_{033}, v_{033} < 10 \text{ 万元},$$

$$T_{034}l_{034} = (\text{车载激光发生器 } D'_{015}, \text{ 价格}, 8 \text{ 万元}) = l'_{034}, v_{034} > 8 \text{ 万元}, \text{ 根据传导变换原理, 必然会发生传导变换 } T_{031} \wedge T_{033} \wedge T_{034} \Rightarrow T_3, \text{ 使得 } T_3l_{03} = (\text{识别系统 } D'''_0, \text{ 成本}, 20.64 \text{ 万元}) = l'_{03}. \text{ 其中包括没有实施主动变换的其他装置的成本 2 万元.}$$

上述主动变换和传导变换的结果显示: 对于摄像头, 适当控制摄像头的个数, 选择价格适中的针孔摄像头, 如选择 8 个价格为 0.08 万元/个的针孔摄像头; 对于识别系统, 选择较好的电脑, 保证其使用寿命, 如价格为 10 万元行车电脑; 对于激光装置, 可以选择价格为 8 万元的激光发生器; 加上其他未改变的装置的成本 2 万元, 综上总成本为 20.64 万元.

同理还可进行其他类型的可拓变换及其运算, 以获得更多的策略. 限于篇幅, 本文只针对上述策略进行判断.

(8) 计算变换后的识别度.

将上面变换后所得到的数据代入步骤(4)中建立的综合识别度函数, 计算可得

$$k(x') = k_1(x'_1) \wedge k_2(x'_2) \wedge k_3(x'_3) = 0.5 \wedge 0.1 \wedge 0.872 = 0.1 > 0.$$

显然, 上述组合变换所形成的策略

$$(T_{011} \wedge T_{012} \wedge T_{013} \wedge T_{015} \wedge T_{016}) \wedge (T_{0211} \wedge T_{025}) \wedge (T_{031} \wedge T_{033} \wedge T_{034})$$

可以满足识别要求.

(9) 评价选优.

通过实施不同的可拓变换及其运算,可以获得多个不同的识别策略,其中识别度大于0的策略可能有多,可以利用文献[6]的优度评价方法对多个策略进行评价选优.限于篇幅,此略.

3 结论

本文通过对国内外研究现状的分析,指出了一些不能实现障碍物识别的主要原因,然后从解决矛盾问题的角度对可拓识别方法进行了进一步研究,并将该方法应用于无人车识别障碍物.该方法通过建立模型、拓展分析、可拓变换和评价选优等主要步骤,将一些不能识别或不满足识别要求的问题,转变成可以识别或满足识别要求.案例研究显示了该方法的可行性,找到了一个相对更好的识别障碍物的策略.本文给出的方法具有较好的普适性和可操作性,如果根据具体问题进行更深入的拓展分析和可拓变换,将可获得更多解决识别中的矛盾问题的策略,其识别步骤和流程,也为研制可拓识别系统提供了思路,将具有广阔的应用前景.

参考文献:

- [1] 王荣本,赵一兵,李琳辉,等. 智能车辆的障碍物检测研究方法综述 [J]. 公路交通科技,2007,24(11): 109-114.
WANG R B,ZHAO Y B,LI L H,et al. Approach review of obstacle detection for intelligent vehicle [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007,24(11): 109-114.
- [2] 王荣本,张明恒,石德乐. 双目视觉技术在目标测量中的应用 [J]. 公路交通科技,2007,24(2): 122-125.
WANG R B,ZHANG M H,SHI D L. Application of binocular vision technology in the environment detection [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2007,24(2): 122-125.
- [3] BULUSWAR S D,DRAPER B A. Color machine vision for autonomous vehicles [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence,1998,11: 245-256.
- [4] BOHER S,ZIEILKE T,FREIBURG T. An intelligent obstacle detection framework for intelligent cruise control on motorways [C] //Proceedings of Intelligent Vehicles' 95 Symposium. Detroit: IEEE, 1995: 276-281.
- [5] RUICHEK Y,POSTAIRE J G. Real time neural vision for obstacle detection using linear cameras [C] // Proceedings of Intelligent Vehicles' 95 Symposium. Detroit: IEEE, 1995: 261-266.
- [6] E. Einhorn,Ch. Schroter,H. M. Gross. Attention - driven monocular scene reconstruction for obstacle detection , robot navigation and map building [J]. Robotics and Autonomous Systems,2011,59(5): 296-309.
- [7] LANGER D. An integrate MMW radar system for outdoor navigation [J]. USA Pittsburgh: Carnegie Mellon University,1997: 417-422.
- [8] 张秀彬,应俊豪. 汽车智能化技术原理 [M]. 上海: 上海交通大学出版社,2011.
- [9] 杨春燕,蔡文. 可拓学 [M]. 北京: 科学出版社,2014.
- [10] 杨春燕,李卫华,李小妹. 矛盾问题智能化处理的理论与方法研究进展 [J]. 广东工业大学学报,2011,28(1): 86-93.
YANG C Y,LI W H,LI X M. Recent research progress in theories and methods for the intelligent disposal of contradictory problems [J]. Journal of Guangdong University of Technology,2011,28(1): 86-93.
- [11] 杨春燕,蔡文. 可拓集中关联函数的研究进展 [J]. 广东工业大学学报,2012,29(2): 7-14.
YANG C Y,CAI W. Recent research progress in dependent functions in extension sets [J]. Journal of Guangdong University of Technology,2012,29(2): 7-14.
- [12] 陈慧岩,熊光明. 无人驾驶汽车概论 [M]. 北京: 北京理工大学出版社,2014.
- [13] 李延伟,王璐,王芳. 基于可拓学的 E-SURF 图像识别算法 [J]. 计算机应用与软件,2014,31(7): 221-225.
LI Y W,WANG L,WANG F. E-SURF image recognition algorithm based on Extenics [J]. Computer Applications and Software,2014,31(7): 221-225.