

基于矩形安全邻域的智能车移动仿真研究^{*}

熊升华, 赵海良

(西南交通大学 数学学院 信息与计算科学系, 成都 610031)

摘要: 为了利用仿真技术研究智能车在行进时的实时测控过程, 先由法线法构建近似等距曲线作为仿真道路的边界; 再利用非线性规划给出了道路内满意矩形安全邻域的寻找方法; 通过道路边界变异, 构建了有障碍道路的仿真模型。整个过程形成了一套基于矩形安全邻域的智能车移动仿真方法, 并对智能车实时搜索矩形安全邻域及据之决策行进的过程进行了仿真。结果表明, 该方法可以实时规划智能车的行驶路线, 有效地应对突发行驶障碍等问题。

关键词: 智能车辆; 自动驾驶; 系统仿真; 安全邻域; 行驶路线

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)12-3593-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.019

Simulations on movement of intelligent vehicle based on rectangular safe neighborhood

XIONG Sheng-hua, ZHAO Hai-liang

(Dept. of Information & Computation Science, School of Mathematics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: To simulate the monitoring process of an intelligent vehicle in automatic driving, firstly, the authors suggested a road model whose boundary consists of two approximate isometric curves. Secondly, this paper proposed a way for searching satisfying rectangular safe neighborhoods (RSN) in the road with a nonlinear programming method. Moreover, it constructed a simulation model with some obstacles in road by mutation of road boundary. Finally, it simulated that searching process of RSN and driving process for the intelligent vehicle based on the RSN in different roads. Simulation results show that, the method can plan driving route in unknown environments in real time, and deal with unexpected obstacles and other problems effectively.

Key words: intelligent vehicle; automatic driving; system simulation; safe neighborhood; driving route

智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)的相关探索与研究是基于传统交通工程基础发展起来的。其目的在于通过集成信息、通信、控制及计算机科学等现代先进技术并将其应用于交通运输领域,从而使交通运输系统^[1~3]智能化。作为ITS不可或缺的部分,智能车辆系统与ITS系统相一致,通过综合运用车辆技术、传感器技术、通信技术、自动控制及计算机网络技术等,旨在实现车辆自主搜索、自主循迹、自动避障等类室外轮式移动机器人功能^[4~6]。有关研究涉及多个方面,如智能车辆多车协作、车辆自适应巡航控制、电磁导引以及智能车仿真平台等研究成果^[7~14]颇多。所有的研究几乎都采用了计算机进行系统仿真这一重要的手段。而如何将实际道路和各种路况在仿真程序中给予实现,以及车辆在行驶过程中如何实时搜索行进方向上安全可行的邻域,是仿真研究中尚待解决且必须解决的问题。

为了实现智能车辆的自主控制,智能车辆通常会装有各种传感器,以感知和收集车辆所处环境和车辆运行状态信息。其中涵盖了智能车辆行驶速度、加速度、位姿、道路边界、障碍距离和行进方向等内容^[15~18]。这些信息为本文的智能车辆移动仿真方法提供了足够的数据基础。实施控制的首要问题是实时搜索行进方向上安全可行的邻域。为此,本文依据相关几何

理论,给出了简化的常见安全邻域数学描述;进一步利用等距曲线给出了近似等距的道路仿真模型;将寻求最优矩形安全邻域问题归结为长宽受限条件下的求解矩形面积最大值的非线性规划问题,并针对该问题给出了离散化满意解的最优矩形邻域的求解方法;针对车辆行驶时可能遇到的突发障碍路况,给出了相应的仿真解决方案。考虑到众多实际因素下仿真的高度复杂性,为便于仿真实现,进而验证基于矩形安全邻域智能车移动仿真的可行性,对车辆移动的瞬态特性进行了不失合理性的简化假设,并分别进行了有障碍与无障碍两种工况条件下的智能车移动仿真。

1 安全邻域概念

通常,将智能车辆在道路内可进行安全、无障碍行驶的附近区域称为安全邻域^[16]。其数学意义类似于高维空间中满足相应性质的某一集合,对于智能车辆而言,相应性质即为确保其行驶安全、无障碍两个关键因素,进而可以引述安全邻域所需具备的两个条件:a)安全邻域需依据道路形态在道路内建立;b)以智能车安全、无障碍行驶为建立安全邻域的出发点。

在实际行驶环境下,由于安装于车辆上的传感器存在位置

收稿日期: 2013-04-10; **修回日期:** 2013-05-20 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61175044);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(SWJTU11ZT29)

作者简介: 熊升华(1988-),男,四川眉山人,硕士研究生,主要研究方向为智能控制与应用、系统建模与优化等(xsh1841@163.com);赵海良(1962-),男,河北石家庄人,教授,主要研究方向为智能信息处理、智能控制理论等。

和个数的差异,基于上述两个条件,可以建立不同形状的安全邻域。需要指出的是,基于三维空间描述的道路,尽管与实际情况更为接近,但仿真实现比较困难。考虑到实际道路通常较为平坦,在平面内描述安全邻域不仅可简化相应模型、不失实用意义,也有利于智能车辆移动仿真的实现。事实上,将车辆视为一个质点,将道路视为一个平面点集,考虑到车辆在道路中的各种相对位置,则在平面直角坐标系下便可得到以下几类较为常见的安全邻域的数学描述^[16,17]。

1.1 圆形安全邻域

圆形安全邻域 $L(p_0, r)$ 的数学描述如下:

$$L(p_0, r) = \{ (x, y) \mid (x^2 - x_0^2) + (y^2 - y_0^2) \leq r^2 \} \quad (1)$$

其中: $P_0(x_0, y_0)$ 表示智能车所在位置; r 表示圆形安全邻域半径,如图 1(a) 所示。

1.2 扇形安全邻域

扇形安全邻域 $L(p_0, r, \theta)$ 的数学描述如下:

$$L(p_0, r, \theta) = \left\{ (x, y) \mid \begin{cases} (x^2 - x_0^2) + (y^2 - y_0^2) \leq r^2 \\ l_1: A_1x + B_1y + C_1 > 0 (A_1B_1 > 0) \\ l_2: A_2x + B_2y + C_2 \leq 0 (A_2B_2 > 0) \end{cases} \right\} \quad (2)$$

其中: r 表示扇形安全邻域半径; θ 表示直线 l_1, l_2 的夹角,亦即扇形安全邻域的顶角,如图 1(b) 所示。式(2)仅为扇形安全邻域的一种数学描述,其他数学描述可由 A_1B_1, A_2B_2 的符号以及 l_1, l_2 两式不等号的变化表示。

1.3 矩形安全邻域

矩形安全邻域 $L(p_0, d, s)$ 的数学描述如下:

$$L(p_0, d, s) = \{ (x, y) \mid x_0 - \frac{d}{2} \leq x \leq x_0 + \frac{d}{2}, 0 \leq y - y_0 \leq s \} \quad (3)$$

其中: d 和 s 分别为矩形安全邻域的宽度和长度,如图 1(c) 所示。

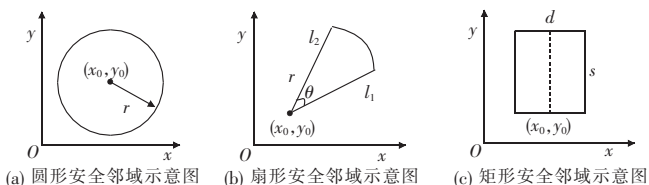


图1 圆形、扇形、矩形安全邻域示意图

无论采用哪种类型的安全邻域,其确定过程必须满足实时性与连续性。此处所谓的连续性是指在智能车辆的行驶过程中,安全邻域是一系列覆盖于道路的、贯穿于起点和终点的连续几何图形。为了更直观地说明,以矩形安全邻域为例,其安全邻域的实时性和连续性如图 2 所示。在图 2(a) 中,由于位置 $P_i(x_i, y_i) (i=1, 2)$ 不同,矩形安全邻域 L_1, L_2 的长度 s_1, s_2 不同;图 2(b) 中,矩形安全邻域 L_1, L_2, L_3 贯穿于起点和终点。

关于圆形安全邻域和扇形安全邻域已有学者用于相应的研究^[16,18]。需要指出的是,具有特殊外形的圆形和扇形安全邻域适用于那些被控对象相对其邻域足够小,进而可将其简化为一个质点的研究,如机器人、无人飞行器等。对于智能车而言,由于其外形通常具有矩形轮廓,在限宽道路上,圆形和扇形安全邻域不便于智能车在其内相对位置的描述,而矩形安全邻域与车体同为矩形,数学处理和表示相对简单。综上所述,矩形安全邻域模型对智能车的移动仿真研究更具实用性。本文仅就矩形安全邻域讨论智能车移动仿真的模型构建及优化分析。

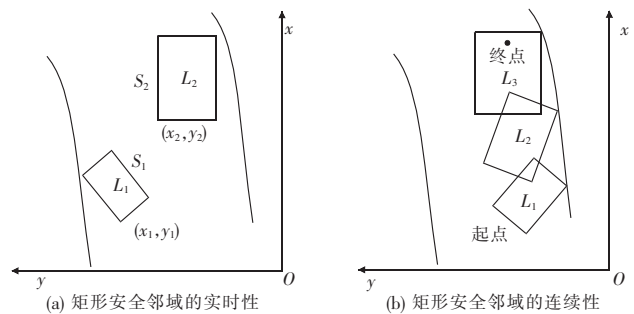


图2 矩形安全邻域的实时性和连续性描述示意图

2 道路模型构建与矩形安全邻域的确定方法

智能车的移动仿真涉及道路及安全邻域两个方面,而仿真道路则是仿真平台得以构建的基础。考虑到实际道路多为等宽路面,故采用等距曲线或平行曲线^[16,17]作为仿真道路边界曲线是合理的。但等距曲线的计算量较大,不利于仿真实现,故通常将两条具有近似等距的曲线作为仿真道路边界曲线^[16,19]。一般情形下,此近似等距性对仿真结果不会产生太大的影响。为了便于表述,本文将模拟智能车在仿真道路边界曲线内活动的过程定义为智能车的移动仿真。

将智能车体在路面上的投影看做一个矩形,称之为车体矩形。取与车体矩形下边界(底边,对应车体的尾部)重合,长度大于车体矩形下边界的线段作为矩形安全邻域的下边界;同理,以平行且长度大于车体矩形左(右)边的线段作为矩形安全邻域的左(右)边界;基于上述线段构建矩形安全邻域的边界并根据需求(本文为矩形面积最大化)构成矩形安全邻域。此外,矩形安全邻域各边的长度取决于道路边界曲线的形态、车体位向信息(位置标志坐标 $P(x, y)$ 和车体纵向与 x 轴正向的夹角 θ)以及给定的限定值。在道路边界曲线的形态和限定值给定的情形下,矩形安全邻域随车体相对于道路中的位置变化而变化,而车体位向信息取决于智能车在矩形安全邻域内以何种规则进行移动。

2.1 构建道路模型的基本假设

为简化基于矩形安全邻域的道路模型,考量实际道路环境需求,给出以下两点关于道路模型的基本假设:a) 仿真道路为单行道,且道路两边线处于同一平面内;b) 智能车所处位置必存在矩形安全邻域(也即仅对智能车前进作仿真分析)。

2.2 道路模型

基于智能车辆移动仿真道路模型构建的需要,作如下符号约定: $C[a, b] = \{f(x) \mid f(x) \text{ 为区间 } [a, b] \text{ 上的连续函数}\}$, $C^\infty[a, b] = \{f(x) \mid f(x) \text{ 为区间 } [a, b] \text{ 上的无穷阶可导函数}\}$ 。

简便起见,利用函数 $y=f(x)$ 表示曲线 $\{(x, y) \mid y=f(x), x \in [a, b]\}$ 。因而 $f \in C[a, b]$ 表示 f 为一条连续曲线,该曲线对应的函数为 $y=f(x)$ 。由此,道路模型的构建步骤可描述如下:

a) 如图 3(a) 所示,假设已知一条曲线为 $C: f(x) \in C^\infty[a, b]$,按照 $P: a = x_1 < x_2 < \dots < x_n = b$ 将其划分为 $n-1$ 份,并记小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 的长度为

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i \quad i=1, 2, \dots, n-1 \quad (4)$$

b) 过任意相邻两点 B_i 和 B_{i+1} 作一条直线 l_i ,将 l_i 看做曲线在点 B_i 处的切线。

c) 过 B_i 点作另一条直线 l'_i 垂直于 l_i 。将 l'_i 看做曲线在点 B_i 处的法线。

d) 在 l'_i 上取点 A_i , 使得线段长 $|A_i B_i| = \omega$ ($\omega > 0$, 表示道路的宽度)。

e) 重复步骤 b) ~ d), 直至 $i = n - 1$ 。对于 $i = n$, 过 B_n 点作直线 l'_n 垂直于 l_{n-1} , 在 l'_n 上取点 A_n 使得线段长 $|A_n B_n| = \omega$ 。

f) 以折线连接点 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 即得曲线 C' 。显然, C' 即为曲线 C 的一条近似等距曲线。

将上述两条近似等距曲线 C 与 C' 所辖带状区域作为仿真道路, 也即仿真道路的边界由曲线 C 与 C' 共同构成。

以上方法称为作等距曲线的法线法。图 3(b) 为 MATLAB^[20] 下以 $f(x) = \sin x, x \in [0, 5], \omega = 1$ 为输入参数而输出的道路图形。易知, 划分 P 越细, 曲线 C 与 C' 的近似等距性越好。作等距曲线的方法还有基于线性变换的平移法和基于同心圆的画弧线法等。其中平移法在处理较大曲率的曲线时, 其近似等距性较差; 而画弧线法要求步骤 a) 的划分必须足够细, 否则将导致所生成的曲线不连续的情形出现。此外, 画弧线法的编程复杂性远远高于其他两种方法^[17]。基于仿真的可行性以及编程的方便性, 本文以法线法作为仿真道路的生成方法。

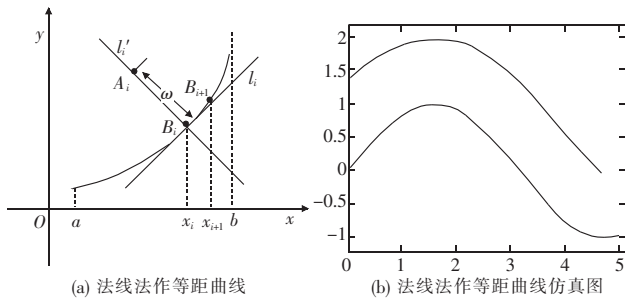


图 3 道路模型构建示意图

为了便于仿真, 本文将仿真道路边界曲线 C 与 C' 等同于上述过程中得到的点列 $\{A_i\}, \{B_i\}$ (其中 $i = 1, 2, \dots, n$), 即仿真道路边界曲线是由两列向量构成的。

2.3 矩形安全邻域的确定与优化模型

假设智能车为矩形, 如图 4(a) 所示, 矩形的长度为 s_c , 宽度为 d_c , $d_{\min}, d_{\max}$ 分别为智能车到矩形安全邻域左右边界的最小和最大距离, $s_{\min}, s_{\max}$ 分别为智能车到矩形安全邻域的最小和最大长度。 $d_{\min}, d_{\max}, s_{\min}$ 和 $s_{\max}$ 均为人为设定的值。 d_l, d_r 分别为智能车到矩形安全邻域左右边界的距离。 本文将矩形安全邻域的建立转换为求解如下非线性规划问题:

$$\begin{cases} \max & z = s \cdot d \\ \text{s. t.} & d_{\min} \leq d_r \leq d_{\max} \\ & d_{\min} \leq d_l \leq d_{\max} \\ & s_{\min} \leq s \leq s_{\max} \\ & d_c + d_r + d_l = d \end{cases} \quad (5)$$

该规划问题的解所确定的矩形即为智能车在该时刻的矩形安全邻域, 它正是满足条件限制的、具有最大面积的矩形。 上述规划问题满意解的求解步骤如下:

a) 取定 s, d_l, d_r 为限定范围内的最大值 $s_{\max}, d_{\max}, d_{\max}$, 根据此时车体位向信息作矩形 L_N , 称之为理想安全邻域。

b) 若 L_N 与道路边界曲线不相交, 则 L_N 为此时的矩形安全邻域, 且记为 L_i ; 否则转步骤 c)。

c) 假设 L_N 与道路边界曲线相交, 如图 4(b), 交点为 B_i 和

B_j , 在离散点 B_i 和 B_j 之间选取一点 B_k 。

d) 过 B_k 作 L_N 下边界的垂线 $B_k D_k$, 垂足为 D_k ; 过 B_k 作 L_N 右边界的垂线 $B_k S_k$, 垂足为 S_k 。

e) 若 $|B_k D_k| \geq s_{\min}$ 且 $|D_k H| \geq d_{\min}$, 计算值 $M_k = |B_k D_k| \cdot |B_k S_k|$, 记此时的矩形邻域为 L_k 。

f) 对 B_i 和 B_j 之间的所有点重复步骤 c) 和 d), 比较所有的 M_k 大小, 记其中最大的一个为 M_i , 并记 M_i 所对应的矩形为 L_i 。

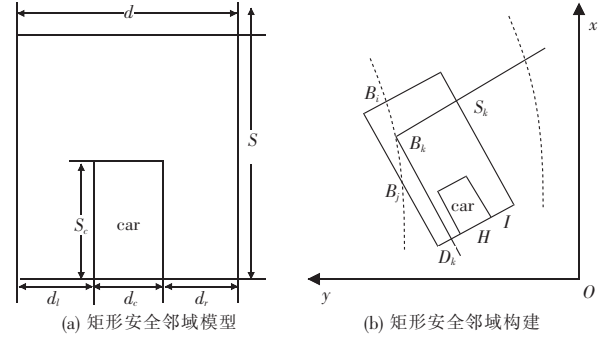


图 4 矩形安全邻域构建相关示意图

易知, M_k 越大, 所形成的矩形面积越大, 即 L_i 为此时的矩形安全邻域, 即可作为原非线性规划问题的满意解, 即 L_i 为一个满意的可行矩形安全邻域。 其求解流程如图 5 所示。

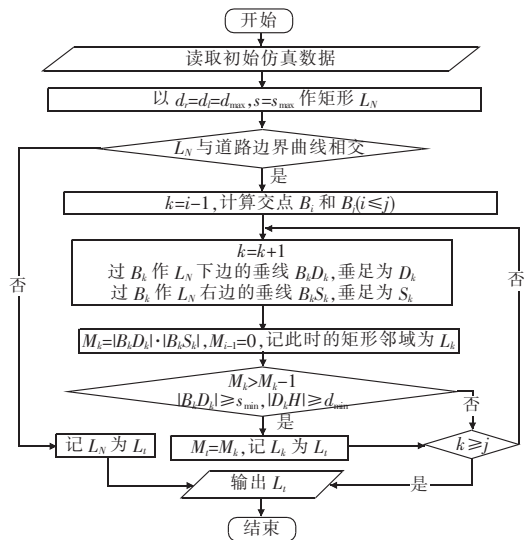


图 5 矩形安全邻域模型构建流程

根据道路形态和车体位向信息, L_N 与道路边界曲线相交的情形共有 14 种, 图 4(b) 仅为其中一种, 各种情形的处理方式类似。 图 6 为利用 MATLAB 软件模拟智能车在不同位置生成的三个满意的矩形安全邻域, 其中虚线矩形框表示理想安全邻域 L_N , 实线矩形框表示可行的满意安全邻域 L_i 。

3 车辆瞬态移动特性假设与安全移动规则

由以上的分析知, 当道路边界曲线、 $s_c, d_c, s_{\min}, s_{\max}, d_{\min}, d_{\max}$ 和车体位向信息确定后, 第 t 个矩形安全邻域就能唯一确定。 为了建立一系列贯穿于起点到终点的矩形安全邻域, 本文对车辆的瞬态移动特性作如下定常假设:

假设智能车在矩形安全邻域 L_i 内移动的速度 v_i 和轮子转角 α_i (假定方向向左的转角为正方向) 恒定不变。

分析易知, 智能车将在每个矩形安全邻域内作匀速圆周运动, 且圆周半径 R_i 与轮子转角 α_i 的关系为

$$R_t = \frac{s_c}{\sin \alpha_t} \quad (6)$$

其中: s_c 表示智能车前轮与后轮的距离,可近似为车长。

设智能车在矩形安全邻域 L_t 中的活动轨迹如图7所示,且转过的角度为 δ_t 。有如下几何关系:

$$\Delta s_t = R_t \times \sin \delta_t \quad (7)$$

$$\Delta d_t = R_t \times (1 - \cos \delta_t) \quad (8)$$

由线速度与角速度的关系 $v_t = \omega_t \times R_t$ 可知,此过程活动的时间可表示为

$$t_t = \frac{\delta_t \times \pi}{180} \times \frac{R_t}{v_t} \quad (9)$$

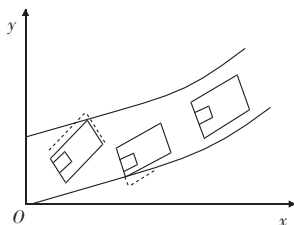


图6 MATLAB生成矩形安全邻域

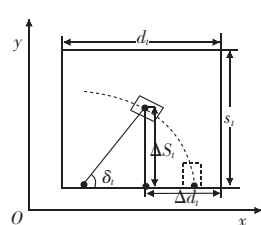


图7 智能车转向示意图

为了便于仿真实现,进而验证基于矩形安全邻域智能车移动仿真的可行性,基于车辆瞬态移动特性定常假设,本文假设智能车在 L_t 内按以下规则移动,称之为安全移动规则:

a) 智能车在矩形安全邻域内沿 s_t 方向移动的距离为 $\Delta s_t = s_t - s_c$ 。

b) 智能车在矩形安全邻域内沿 d_t 方向移动的距离为 $\Delta d_t = d_{\max} - (d_t - d_c)/2$ 。其中, s_c 、 d_c 分别表示智能车的长度和宽度。

进一步,结合式(6)~(8)计算可得:

$$R_t = \frac{\Delta s_t^2 + \Delta d_t^2}{2\Delta d_t} \quad (10)$$

$$\delta_t = 2\arctan \frac{\Delta d_t}{\Delta s_t} \quad (11)$$

一方面,第 $t+1$ 个矩形安全邻域就可以由新的车体位向信息(位置坐标 $P_{t+1}(x_t + \Delta s_t, y_t + \Delta d_t)$ 和角度 $\theta_{t+1} = \theta_t + \delta_t$)唯一确定;另一方面,由上述分析,可以作出从起点 P_t 到终点 P_{t+1} ,以半径为 R_t 的圆弧 L^- ,并将圆弧 L^- 看做智能车从起点 P_t 到终点 P_{t+1} 的活动轨迹。易知,当 $\Delta d_t = 0$,即此时的矩形安全邻域为 L_N ,则智能车从起点 P_t 到终点 P_{t+1} 的活动轨迹为线段 $\overline{P_t P_{t+1}}$ 。重复以上步骤就能建立一系列贯穿于起点和终点的矩形安全邻域。结合车辆瞬态移动特性定常假设,便能描绘智能车从起点移动到终点的轨迹曲线。

4 模型仿真

4.1 无障碍模型仿真

基于车辆瞬态移动特性定常假设和安全移动规则,仿真过程简要步骤如下:a)根据道路边界曲线函数,作出具有近似等距性的道路边界曲线;b)基于道路边界曲线及车体位向信息建立矩形安全邻域;c)结合安全移动规则,使智能车在上述矩形安全邻域内活动,并记录智能车在该矩形安全邻域内活动终止时的车体位向信息;d)重复步骤b)c),直到智能车到达仿真终点。

图8为智能车以表1数据在MATLAB下仿真输出的行驶路线图,小矩形框表示车体,大矩形框表示矩形安全邻域。虚

线框内为起点附近部分放大图,从放大图可以看出,智能车由 ab 、 bc 和 cd 所对应的圆弧实现安全转弯, ad 所对应的弧线光滑且连续。

表1 智能车仿真数据

内容	数据	内容	数据
道路宽度 ω	1	$s_{\min}$	0.3
智能车长度 s_c	0.3	$s_{\max}$	1
智能车宽度 d_c	0.2	$d_{\min}$	0.02
起点坐标 $P_0(x_0, y_0)$	(0.74, 0.4838)	$d_{\max}$	0.2
道路边界曲线函数	$y = \tan(0.14x)$	起点转角 θ_0	45.836

4.2 障碍模型仿真

本文以改变道路边界曲线的方法模拟仿真智能车行驶过程中的突发障碍工况。如图9所示,在表1的基础上,添加了障碍物,构成有障碍运行工况。根据障碍物信息,通过分析和计算,以包含障碍物的曲线代替原 bc 间的道路边界曲线,对智能车而言,新边界曲线下构成的道路是一条安全无障碍的道路。对比图8和9,点 a 处为智能车在新道路上行驶时的一个转弯点,且 a 点以后的行驶路线与无障碍条件下的行驶路线有所不同。

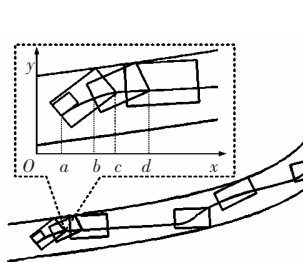


图8 智能车无障碍移动仿真

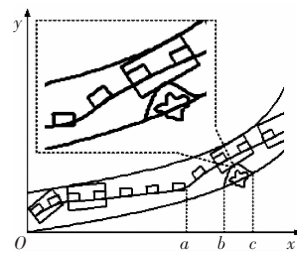


图9 智能车障碍移动仿真

5 结束语

计算机仿真是研究智能车技术的主要研究手段,其简便、廉价且实用的特点为智能车辆系统的深入分析创造了有利条件。本文依据相关几何理论,提出了基于矩形安全邻域的智能车移动仿真方法,其中包括仿真道路模型、行进方向上的满意矩形安全邻域求解算法、突发障碍仿真运行工况的处理方案,并在安全移动规则的基础上,对智能车辆的移动进行了仿真研究。仿真结果表明,基于矩形安全邻域的行驶是可行和有效的。该方法解决了未知环境下智能车辆行驶路线的搜索问题,具有固有避障特性,因而可以处理突发障碍等行驶路况。

参考文献:

- [1] NIRAV S, SUBODHA K, FAROKH B, et al. Optimization models for assessing the peak capacity utilization of intelligent transportation systems[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 216(1): 239-251.
- [2] 胡海峰, 史忠科, 徐德文. 智能汽车发展研究[J]. 计算机应用研究, 2004, 20(6): 20-23.
- [3] ROMAN I, MADINABEITIA G, JIMENEZ L. Experiences applying RM-ODP principles and techniques to intelligent transportation system architectures[J]. Computer Standards & Interfaces, 2011, 35(3): 338-347.
- [4] 陈涛, 魏朗. 人—车—路虚拟仿真中驾驶数据采集系统开发[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(7): 229-231.
- [5] 李进, 陈无畏, 李碧春. 基于行为的智能车辆导航控制体系结构[J]. 机械工程学报, 2007, 43(7): 162-167. (下转第3621页)

MAE 趋于稳定,说明近邻数太多并不能提高推荐质量,这与现实生活实际情况相吻合,证明了三种算法的有效性和正确性。同时,本文算法的 MAE 在邻居数超过 70 后减速更趋于稳定,说明本文算法计算出的相似性更逼近客观项目间的相似程度。另一方面,通过比较三者的 MAE 发现,本文算法的 MAE 要比文献[3,13]中算法的 MAE 都小,说明本文基于项目兴趣度特征向量的协同过滤推荐算法的推荐质量要高,使用本文定义的项目—项目类别特征向量计算出的相似性更准确。

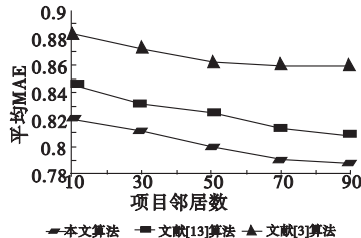


图1 MZE随项目邻居数变化图

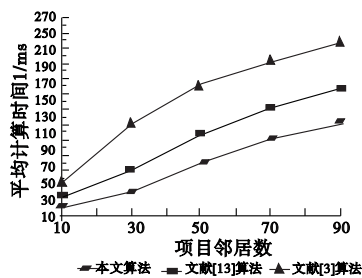


图2 算法平均计算时间随项目邻居数变化图

从图2 不难看出,本文算法产生推荐的平均计算时间比文献[3,13]的要少,说明本文算法的计算速度更快,效率高。证明了本文算法通过仅仅计算目标项目与其所在类别中项目的相似性产生最近邻,避免了目标项目与相似性不大项目间相似性的大量无用计算是有效的。

图2 说明三种算法的计算效率随项目邻居数的增加而降低,同时图1 说明项目的邻居数达到一定数目时 MAE 趋于稳定,不能再大幅提高推荐质量,因此在预测项目推荐列表时并不是近邻越多越好,过多不会提高算法的推荐质量,反而降低了算法的效率,必须要有较好的过滤策略过滤掉不必要的近邻,如本文的项目—项目类别特征向量就是一种好方法。

4 结束语

本文提出了一种基于项目兴趣度的协同过滤新算法。在通过预测未评分项目的分值解决数据稀疏问题的基础上综合考虑项目分类、评分值及次数等因素,引入项目—项目类别兴趣度特征向量计算项目间的相似性,很好地解决了传统单一评分相似度导致的项目推荐质量不高的问题;通过仅仅计算目标项目与其所在类别中项目的相似性产生最近邻,避免了大量不必要的相似性计算,大大提高了算法的效率。

参考文献:

- [1] BILLSUS D, PAAZZAANI M J. The adaptive Web [M]. Berlin: Springer, 2007: 550-570.
- [2] 孟祥武, 胡勤, 王立才, 等. 移动推荐系统及其应用[J]. 软件学报, 2013, 24(1): 91-108.
- [3] SARWAR B, KARYPIS G, KONSTAN J, et al. Item-based collaborative filtering recommendation algorithm [C]//Proc of the 10th International Conference on World Wide Web. New York: ACM Press, 2001: 285-295.
- [4] ASOMAVICIUS G, TUZHILIN A. Toward the next generation of recommender system: a survey of the state-of-the-art and possible extensions [J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 2005, 17(6): 734-749.
- [5] 朱丽中, 徐秀娟, 刘宇. 基于项目和信任的协同过滤推荐算法[J]. 计算机工程, 2013, 39(1): 58-62.
- [6] 熊忠阳, 刘芹, 张玉芳, 等. 基于项目分类的协同过滤改进算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(2): 493-496.
- [7] 张海鹏, 离烈彪, 李仙, 等. 基于项目分类预测的协同过滤推荐算法[J]. 情报学报, 2009, 19(6): 218-223.
- [8] 汪静, 印鉴. 一种优化的 item-based 协同过滤推荐算法[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(12): 2337-2342.
- [9] 邓爱玲, 朱扬勇, 施伯乐. 基于项目评分预测的系统过滤推荐算法[J]. 软件学报, 2003, 14(9): 1621-1628.
- [10] 许海玲, 吴潇, 李晓东, 等. 互联网推荐系统比较研究[J]. 软件学报, 2009, 20(2): 350-362.
- [11] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 第2版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000: 81-85.
- [12] MILLER B N, ALBERT I, LAM S K, et al. MovieLens unplugged: experience with an occasionally connected recommender system [C]//Proc of International Conference on Intelligent User Interfaces. New York: ACM Press, 2003: 263-266.
- [13] 嵇晓声, 刘宴兵, 罗来明. 协同过滤中基于用户兴趣度的相似性度量方法[J]. 计算机应用, 2010, 30(10): 2618-2610.
- [14] HUNG M L, LIM R S, DU Jian-hao. Development of a small-scale research platform for intelligent transportation systems [J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 2012, 13(4): 1753-1762.
- [15] ARMINGOLA J M, ESCALERA A D L, HILARIO C. IVVI: intelligent vehicle based on visual information [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2007, 55(12): 906-916.
- [16] 李果, 王旭. 基于 agents 系统的汽车转向制动稳定协同控制[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(12): 4494-4498.
- [17] 宋军智, 赵海良. 智能汽车安全邻域的搜索 [J]. 科协论坛, 2012, 4(8): 109-111.
- [18] 姬渊, 秦志远, 毛丽. 利用公切圆弧生成光滑等距曲线算法研究 [J]. 计算机应用, 2006, 26(11): 2704-2706.
- [19] 孙立光, 史其信. 用于微观行人仿真的邻域决策模型 [J]. 公路工程, 2009, 34(4): 68-72.
- [20] 徐永, 赵海良, 郑怡. 基于机器视觉的车辆自动驾驶模糊控制设计 [J]. 北华大学学报, 2008, 9(1): 89-92.
- [21] 卓金武. MATLAB 在数学建模中的应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [22] 肖文健, 李永科. 基于模糊控制的智能车系统设计 [J]. 电子设计工程, 2012, 20(18): 158-160.
- [23] WANG C H, HUANG De-yu. A new intelligent fuzzy controller for nonlinear hysteretic electronic throttle in modern intelligent automobiles [J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 2012, 60(6): 2332-2345.
- [24] 林蓁蓁, 李庆, 梁艳莉, 等. 一种基于路径规划的自动平行泊车算法 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29(5): 1713-1715.
- [25] 李进, 徐朝胜, 陈杰平, 等. 基于集散决策体系结构的智能车辆自主导航 [J]. 控制工程, 2012, 19(4): 728-732.
- [26] FRANKE U, LOOSE H, KNOPPEL C. Lane recognition on country roads [C]//Proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2007: 99-104.
- [27] XIONG Bo, QU Shi-ru. Intelligent vehicle's path tracking based on fuzzy control [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(2): 70-75.
- [28] MANZIE C, WATSON H, HALGAMUGE S. Fuel economy improvements for urban driving: hybrid vs. intelligent vehicles [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2007, 15(1): 1-16.
- [29] DUCHON F, HUBINSKY P, HANZEL J. Intelligent vehicles as the robotic applications [J]. Procedia Engineering, 2012, 48(1): 105-114.

(上接第3596页)