

拖拉机地头转弯的最佳路径研究*

党革荣, 韩 冰

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

〔摘 要〕 为合理设计拖拉机在地头作业时的最佳路径, 采用车辆运动学模型, 应用最优控制理论, 设计了单体拖拉机利用前进挡工作时在进行地头转弯的最佳路径, 并用VC++进行了编程。程序运行结果表明, 其计算时间短, 能够保证拖拉机自动行驶控制中的实时要求。

〔关键词〕 自动行走拖拉机; 地头转弯; 最优控制; 路径设计

〔中图分类号〕 S219; TP13

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1671-9387(2006)10-0202-03

农业机械包括动力机(如拖拉机、内燃机、电动机)和其配套的农机具, 两者以牵引、悬挂或半悬挂等方式相连接而成为机组, 或制造成为一个整体如联合收获机。农业机械的发展, 经历了从木制农具到金属农具及从畜力到发动机提供动力的漫长过程, 直到现在进入信息时代。在现代农业生产中, 一方面通过对小区域内土壤状态的准确测量, 以便能够精确地进行施肥、除草和灌溉等作业, 从而达到提高水、肥利用率及产量的目的; 另一方面, 为了将人能够从繁重的体力劳动中解放出来, 农业机械的自动化作业也引起了研究者的重视, 其中农用车辆的自动行走研究作为基础研究, 近年来在发达国家越来越受到重视。例如利用埋藏在地下的引导线使车辆沿着固定轨道进行作业的方式, 很早就在设施园艺中得到应用^[1], 但是这种方法在使用范围上受到很大的限制。随着视觉传感器和GPS等的使用, 使得车辆在自由路径上自动行走的研究越来越多^[2-6]。但总的来说, 对于车辆自动行走的控制包含行驶路径的设计和沿着行驶路径的跟踪控制两个方面。

拖拉机在进行田间作业时都存在地头转弯, 设计最佳地头转弯路径不仅能够保证车辆在作业时的最低能源消耗, 而且也可作为车辆自动行驶的跟踪控制提供基础数据资源。而国内对这一方面的研究甚少, 为此, 本研究采用最优控制理论, 对单体拖拉机利用前进挡作业时的地头转弯最佳路径设计进行了探讨, 以期能为拖拉机自动行驶的实时控制提供技术支持。

1 车辆运动方程的建立

所研究的对象为前轮导向、后轮驱动的四轮拖拉机。由于拖拉机的行驶速度较低, 假定不考虑侧滑和回转惯性力, 并且将左右两个车轮近似为中间一个车轮, 即得到两轮车辆模型(图1)。

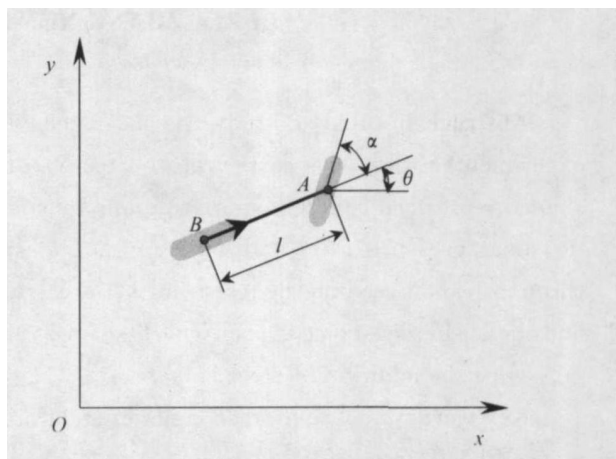


图1 拖拉机的运动模型

Fig 1 Tractor motion model

由图1可知, 车辆的运动方程为:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{v}{l} \tan \alpha \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \cos \theta \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt} = v \sin \theta \quad (3)$$

式中, x, y 为拖拉机后轮中心点的坐标(m); θ 为拖拉机的横摆角(rad); α 为拖拉机的转向角(rad); v 为拖

* 〔收稿日期〕 2006-03-24

〔基金项目〕 西北农林科技大学人才基金项目(01140501); 西北农林科技大学科研专项(05ZR085)

〔作者简介〕 党革荣(1968-), 男, 陕西澄城人, 讲师, 在职硕士, 主要从事农业机械研究。

拖拉机的行驶速度(m/s); l 为拖拉机的轴距(m)。

2 状态方程和评价函数的建立

以转向角为控制量 u , 拖拉机的横摆角、车辆后轮中心点坐标分别为状态量 x_1, x_2, x_3 。由于拖拉机行驶速度较难控制, 本研究中假定拖拉机以速度 V_m (m/s) 匀速行驶, 则状态方程为:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{V_m}{l} \tan u \quad (4)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = V_m \cos x_1 \quad (5)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = V_m \sin x_1 \quad (7)$$

初始条件如图2所示。

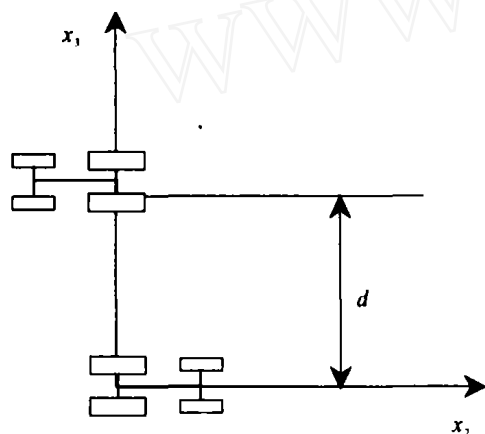


图2 初期和终端状态设定

Fig. 2 Setting of original and terminal states

设初始时刻为 t_0 , 则各状态量为:

$$x_1(t_0) = 0, x_2(t_0) = 0, x_3(t_0) = 0 \quad (7)$$

设终端(图2)时刻为 t_f , 则各状态量为:

$$x_1(t_f) = \pi, x_2(t_f) = 0, x_3(t_f) = d \quad (8)$$

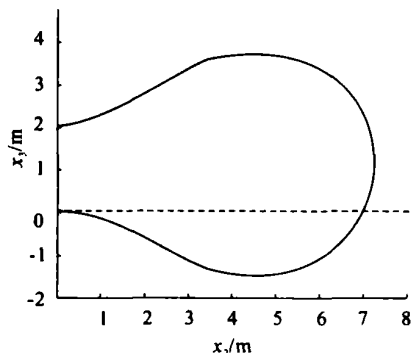


图3 所设计的车辆地头转弯路径

Fig. 3 Turning track designed for automobiles

式中, d 为机组一次作业的幅宽。

考虑到拖拉机转向角的操纵范围, 控制量转向角的约束条件分别为拖拉机能够操纵的最大转向角 α_m , 则有

$$|u| \leq \alpha_m (\alpha_m > 0) \quad (9)$$

另外, 在进行地头转弯时为了使拖拉机不进入已耕地, 则状态量 x_2 的约束条件为:

$$x_2 \geq 0 \quad (10)$$

根据以上约束条件, 可以采用的评价函数为

$$J = [(x_1(t_f) - \pi)^2 + (x_2(t_f))^2 + (x_3(t_f) - d)^2] + \int_0^{t_f} \left[\frac{\gamma_1}{\alpha_m^2 - u^2} + \gamma_2 H(x_2(t)) \right] dt \quad (11)$$

式中, $\gamma_1, \gamma_2, H(x_2(t))$ 为罚函数, 其中

$$H(x_2(t)) = \begin{cases} -x_2(t)^3 x_2 < 0 \\ 0 & x_2 \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

在进行计算时, 当评价函数值小于 10^{-3} 时, 即可认为所设计的路径为最佳路径。

3 实例计算与分析

考虑到将来与控制系统软件的接口问题, 本研究在轨道设计时, 用VC++ 软件进行了编程。由于状态方程呈非线性, 故当初始时间为 $t_0 = 0$, 通过改变终端时间 t_f , 作为两点边值问题可利用二次变分法求解^[7-8], 即可求得车辆在进行地头回转时的路径及控制量转向角前馈控制的最优解。最后以上海-50拖拉机为研究对象, 其轴距为 $l = 1.9$ m, 作业幅宽 $d = 2.0$ m, 车辆行驶速度 $V_m = 10.0$ m/s。当输入时间 $t_f = 18.2$ s 时, 求出在终端位置时车辆的位置偏差为 0.03 m, 横摆角偏差为 3° ; 计算出的车辆路径和前馈控制的最优解如图3、图4所示。

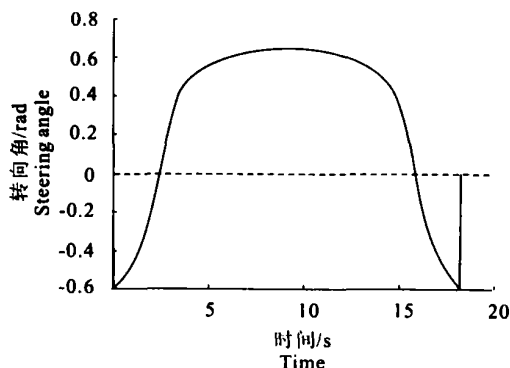


图4 转向角随时间的变化

Fig. 4 Varying of steering angle with time

由图3, 4可以看出, 所设计的轨道状态量随着时间连续平滑地变化, 因此在控制中容易实现, 且计算时能在0.5 s内完成, 便于实现实时生成、实时控制的要求。但是, 控制量转向角在开始和结束时存在突然变化的问题, 这是由于在设计时没有考虑转向角角速度这一约束条件所致。因为拖拉机作业时速度很低, 转向角的控制能够在控制过程中得到修正。如果不能得到快速修正, 可以适当增加时间, 使转向角变化变得平缓来解决。

4 结 语

本研究采用最优控制方法, 对拖拉机在地头转弯时的最佳路径进行了探讨, 用VC++进行了编程。结果表明, 本研究所用方法计算时间短, 能够保证拖拉机自动行驶控制中的实时要求。关于该设计方法的精确性, 今后将在拖拉机上加装各种传感器, 通过实测来验证。

[参考文献]

- [1] 山下淳 施設園芸用无人作业车[J]. 計測と制御, 1989, 28(2): 38-39
- [2] Bell T. Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 53-66
- [3] Reid F J, Zhang Q, Noguchi N, et al. Agricultural automatic guidance research in North America[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 155-167.
- [4] Zhang Q, Qiu H. A dynamic path search algorithm for tractor automatic navigation[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(2): 639-646
- [5] Keicher R, Seufert H. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 169-194
- [6] Torii T. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 133-153
- [7] 吴受章 应用最优控制[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988: 78
- [8] Katsuhiko O gata 现代控制理论[M]. 第4版 卢伯英, 于海勋, 等译 北京: 电子工业出版社, 2003: 830-841

Optimal turning track for tractor at turn-row

DANG Ge-rong, HAN Bing

(College of Mechanical and Electronics Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to design the optimal track of tractor working in the field, the automobile kinematics model and optimal control theory were used in the design of optimal turning track for the single moving tractor in forward gear at turn-row. The optimal turning track design was programmed by computer language VC++. The results showed that calculation was prompt, which could meet the real needs of self-steering tractor.

Key words: self-steering tractor; turning at turn-row; optimal control; track design