

基于多项式预测滤波的机动目标轨迹获取

孙 双, 刘 清

(南京师范大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210048)

[摘要] 目标的轨迹反应了目标的运行位置, 如果能够提前一步得到目标的运行位置, 就能提前采取必要的措施, 然而目标的轨迹预测受到各种因素影响难于准确的计算. 提出了一种基于多项式预测滤波的机动目标轨迹预测方法(MPF), 该方法利用目标的前 k 步位置, 分别从直线、斜线、曲线 3 个方面预测目标运动的下一个轨迹位置. 仿真实验验证, 此方法较其他轨迹预测方法具有较高的准确性.

[关键词] MPF, 轨迹预测, k 步位置

[中图分类号] TP872 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2009)04-0012-04

Target Path Obtain Based on Multinomial Predictive Filter

Sun Shuang Liu Qing

(School of Computer Sciences and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210048 China)

Abstract The goal path reflected the goal operating position. If the goal operating position is obtained ahead of time, we can take the essential measure. However, the forecast of goal path is difficulty to accurately compute because of various kinds of factor influencing on it. This article proposed a flexible target path forecast method based on the multinomial predictive filter(MPF), which uses the previous k -step position, and predicts the next path position from the straight line, the oblique line and the curve separately. The simulation confirms that the algorithm proposed in this paper has higher accuracy than other path prediction method.

Key words MPF, path prediction, k -step position

随着数字处理技术的发展, 目标跟踪及目标识别技术在航天、军事等领域得到了广泛的应用. 由于机动目标运动位置是变化的, 如何确定目标的下一步运动区域, 就成为快速跟踪目标的关键技术. 而对目标下一步运动区域的确定, 是通过对机动目标轨迹的预测实现的. 目前, 机动目标轨迹预测的方法主要有以下几种: 曲线拟合技术^[1, 2], 该技术通过拟合曲线方法对目标轨迹拟合, 然后通过拟合函数实现对目标下一运行位置的预测, 该方法每预测一个目标位置就要进行曲线拟合, 运算量比较大, 而且拟合函数的多项式次数难以确定. 卡尔曼滤波^[3, 4] (Kaman), 是以最小均方误差估计的最佳准则, 来寻求一套递推估计的算法, 该方法只考虑到当前目标位置对预测目标位置的影响, 所以得到的预测位置不够精确; 卡尔曼滤波要求已知运动系统的数学模型, 而目标运动是动态的, 其数学模型是未知的. 基于神经网络的预测技术^[5-7], 该技术是在 BP 神经网络和遗传算法的基础上进行的目标轨迹预测, 该算法同样存在网络训练频繁和运算时间长的问題.

为此, 本文提出了一种多项式预测滤波 (Multinomial Predictive Filter) 的机动目标轨迹预测方法 MPF, MPF 算法是对曲线拟合方法采用不同的优化准则, 其利用目标前 k 步位置, 通过多项式预测滤波, 得到目标的下一个运行位置. MPF 方法考虑了目标运行的实际情况 (水平、倾斜、曲线), 因此能够较精确地实现目标的轨迹预测.

收稿日期: 2009-06-23
基金项目: 国家自然科学基金 (60774060) 资助项目.
通讯联系人: 刘 清, 博士, 副教授, 研究方向: 智能控制与现场总线测控系统的研究与开发. E-mail: njnuhq@163.com

1 多项式预测滤波方法 (MPF) 分析

1.1 多项式预测滤波方法 (MPF) 原理

当目标的运行轨迹 $y(n)$ 可以用 L 阶多项式表达时, 有限脉冲响应的多项式预测滤波, 可以预测出目标的下一步位置. 考虑目标运动的实际情况 (水平、倾斜、曲线), 分别采用 $L = 0, 1, 2, 3$ 个阶次对运动目标轨迹预测. 在第 i 步的预测中 L 确定, 是通过分别计算出第 $i-1$ 步的实际运行位置, 与第 $i-1$ 步中 $L = 0, 1, 2$ 预测位置的最小距离 $D_i (i = 0, 1, 2)$, 取 D_i 对应的阶次 i 使 $L = i$.

1.2 多项式预测滤波方法 (MPF) 实现

假设目标实际运行轨迹多项式表示如下:

$$y(n) = \sum_{l=0}^L a_l n^l, \tag{1}$$

其中, a_l 为多项式系数. 目标预测值 $y_p(n)$ 表示如下:

$$y_p(n) = P[y(n-1), y(n-1), \dots, y(n-k)], \tag{2}$$

其中 $P[\]$ 是向前预测处理运算.

利用有限脉冲响应多项式预测方法计算 $y_p(n)$ 得:

$$y_p(n) = \sum_{i=1}^k b_l(i) y(n-i), \tag{3}$$

其中, $b_l(i)$ 是多项式预测方法 (MPF) 的多项式系数, k 为我们选择的范围.

预测值与实际值之间的绝对误差表示为:

$$e(n) = |y_p(n) - y(n)|. \tag{4}$$

要希望目标运行位置预测值尽可能的等价于实际运行值, 即要实现 $e(n)$ 等于零, 结合 (1) 和 (3) 式, 得:

$$\sum_{i=1}^k b_l(i) \sum_{l=0}^L a_l (n-i)^l = \sum_{l=0}^L a_l n^l. \tag{5}$$

要满足公式 (5), 必须满足下面两个约束条件:

$$d_0 = \sum_{i=1}^k b(i) - 1 = 0. \tag{6}$$

$$d_m = \sum_{i=1}^k i^m b_l(i) = 0 \quad m = 1, \dots, l, \tag{7}$$

因此, 对 $e(n)$ 等于零求解问题, 转化为在约束条件 (6) 和 (7) 下求解误差增益函数 J 极小值的最优化问题.

$$J = F(b_l(1), \dots, b_l(k)) = \sum_{i=1}^k [b_l(i)]^2, \tag{8}$$

采用拉格朗日乘子法构造增广函数 T :

$$T = J + \lambda_0 d_0 + \lambda_m d_m, \quad m = 1, \dots, l.$$

得:

$$T = \sum_{i=1}^k [b_l(i)]^2 + \lambda_0 [\sum_{i=1}^k b_l(i) - 1] + \lambda_m \sum_{i=1}^k i^m b_l(i), \quad m = 1, \dots, l. \tag{9}$$

分别对 (9) 式求解对 $b_l(i)$ 、 λ_0 、 λ_m 的一阶偏导数, 并使偏导数等于零, 因此得:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial b_l(i)} &= 2 \sum_{i=1}^k b_l(i) + \lambda_0 + \lambda_m \sum_{i=1}^k i^m = 0 & \frac{\partial T}{\partial \lambda_0} &= \sum_{i=1}^k b_l(i) - 1 = 0 \\ \frac{\partial T}{\partial \lambda_m} &= \sum_{i=1}^k i^m b_l(i) = 0 & m &= 1, \dots, l. \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

解 (10) 式得:

当 $l = 0$ 时, 多项式预测方法 (MPF), 即求解前 $k-1$ 范围的平均值, 其中:

$$b_0(i) = 1/k; \tag{11}$$

当 $l = 1$ 时, 多项式预测方法 (MPF), 转化为直线预测方法, 其中:

$$b_1(i) = \frac{4k - 6i + 2}{k^2 - k};$$

(12)

当 $l = 2$ 时, 多项式预测方法 (MPF), 即转化为二次曲线预测方法, 其中,

$$b_2(i) = \frac{9k^2 + (9 - 36i)k + 30i^2 - 18i + 6}{k^3 - 3k^2 + 2k}.$$

(13)

为了获取最合适多项式预测方法阶, 就要计算目标第 $i - 1$ 步实际运行位置, 与第 $i - 1$ 步中 $L = 0, 1, 2$ 预测位置的距离 $D_i (i = 0, 1, 2)$,

$$D_i = |y_p^i(n) - y(n)|, \quad i = 1, 2, 3$$

(14)

其中, i 表示 0 阶、1 阶、2 阶. 取 D_i 为最小时对应的阶次 i 使 $L = i$

$$D = \min[D_0, D_1, D_2],$$

(15)

按照 D 采用的多项式预测方法阶 L , 求解目标第 i 位置预测值.

2 仿真实验

2.1 实验流程

为了验证本文提出的基于多项式预测滤波的机动目标轨迹预测方法 (MPF) 的有效性, 作者提取不同时间序列图像中的运动目标, 并将其质心运动位置转化到图中坐标系相应位置, 然后通过文中提出的多项式轨迹预测方法 (MPF), 实现对目标轨迹的预测, 具体步骤如下:

- (1) 初始化 k , 输入目标当前位置, 初始化程序其他部分.
- (2) 根据式 (14), 计算前一位置轨迹预测值与实际值距离, 然后根据式 (15) 选择最合适多项式阶.
- (3) 根据式 (3)、(11)、(12)、(13) 计算不同的预测值, 并且根据步骤 2 中选取最佳多项式阶, 计算当前位置的预测值.
- (4) 判断是否还有输入, 如果有则跳转到步骤 2, 否则跳转到步骤 5.
- (5) 根据计算的目标轨迹, 在图中输出.

2.2 实验环境及结果分析

实验中通过提取不同时间序列图像中的运动目标进行轨迹预测, 并与卡尔曼滤波方法、曲线拟合方法 (最小二乘多项式拟合) 进行实验对比, 验证了 MPF 方法预测具有更高的准确性. 图 1、图 2 和表 1 是其中某次实验结果. 实验中 $k = 4$ 轨迹点个数为 99, 实验环境为 MATLAB 7.0

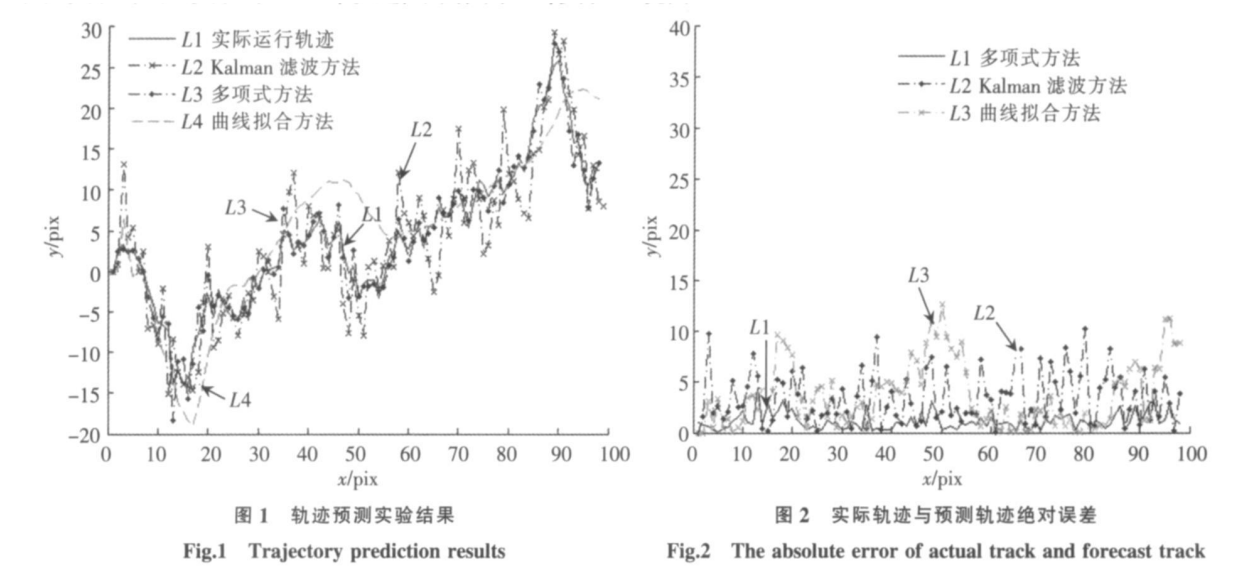


图 1 中 $L3$ 预测的目标运行轨迹能够准确的模拟出目标的实际运行轨迹, $L1$ 、 $L2$ 和 $L4$ 预测的目标运行轨迹都存在较大的偏差; 从中可以总结, 多项式预测方法 (MPF) 较卡尔曼滤波预测方法、曲线拟合方法

能够更准确的预测出目标的下一步运动路线. 图 2 中绝对误差图能清晰的反映 $L1$ 方法产生的预测误差较 $L2$ 和 $L3$ 方法小很多, 并且还可以发现多项式预测方法 (MPF) 误差范围低于 5 个像素, 处理图像目标时该误差范围是完全可以接受的. 表 1 从平均误差, 最大误差两个方面进行分析, 从表中发现, 多项式预测滤波方法 (MPF) 最大误差低于 5 个像素, 平均误差在 2 个像素以下, 较其他两种方法都有优势. 同时相比较其他两种预测方法, 多项式预测方法 (MPF) 还具有算法简单、运算速度快等特点.

表 1 结果分析表
Tab 1 Result analysis table

方法	误差	
	平均误差 (pix)	最大误差 (pix)
卡尔曼滤波 (Kahman)	3.5	13
多项式预测滤波 (MPF)	1	4
曲线拟合	4	10

3 结语

目标的轨迹反应了目标的运行位置, 如果能够提前一步得到目标的运行位置, 就能提前采取必要的措施, 然而目标的轨迹预测受到各种因素影响难于准确的计算. 本文提出了一种多项式预测滤波的机动目标轨迹预测方法 (MPF), 该方法较卡尔曼滤波预测方法、曲线拟合法, 能够比较准确的获得目标的运行轨迹, 且运算速度较快, 特别适合军事、航天等领域对实时性要求高的情况使用. 文中通过仿真实验, 验证了多项式预测方法 (MPF) 的有效性和可行性. 该方法还可以应用到滤波处理中, 能够有效地降低噪声对实验结果的干扰, 具有一定的通用性.

[参考文献] (References)

[1] 沈颖, 薛安克, 王瑞荣. 曲线拟合技术在信息融合性能评估中的应用 [J]. 杭州电子科技大学学报, 2005, 25(2): 25-28
Shen Ying, Xue Anke, Wang Ruirong. Application of curve-fitting in evaluation for information fusion system [J]. Journal of Hangzhou Institute of Electronic Engineering, 2005, 25(2): 25-28 (in Chinese)

[2] 徐智勇, 傅承毓, 王满意, 等. 用拟合函数法准确预测运动目标的轨迹 [J]. 光电工程, 2000, 27(1): 17-19.
Xu Zhiyong, Fu Chengyu, Wang Manyi, et al. Accurate prediction for trace of a moving target with fitting function method [J]. Opto-Electronic Engineering, 2000, 27(1): 17-19 (in Chinese)

[3] 刘惟锦, 章毓晋. 基于 Kalman 滤波和边缘直方图的实时目标跟踪 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(7): 1104-1107.
Liu Weijin, Zhang Yujin. Edge-color-histogram and Kalman filter-based real-time object tracking [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology Edition, 2008, 48(7): 1104-1107. (in Chinese)

[4] 赵其杰, 屠大维, 高健, 等. 基于 Kalman 滤波的视觉预测目标跟踪及其应用 [J]. 光学精密工程, 2008, 16(5): 937-942
Zhao Qijie, Tu Dawei, Gao Jian, et al. Kalman filter based vision predicting and object tracking method and its application [J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16(5): 937-942 (in Chinese)

[5] 马国兵, 张楠. 一种基于神经网络的机动目标轨迹预测方法 [J]. 青岛理工大学学报, 2006, 27(5): 108-111.
Ma Guobing, Zhang Nan. Method based on neural network in predicting the track of maneuvering target [J]. Journal of Qingdao Technological University, 2006, 27(5): 108-111. (in Chinese)

[6] Ah King R T F, Rughooputh H C S. Real-time transient stability prediction using neural tree networks [C] // Systems Man and Cybernetics ' Intelligent Systems for the 21st Century', IEEE International Conference on, 1995, 32: 2182-2187.

[7] 马国兵, 薛安客. 数据挖掘技术在运动目标轨迹预测中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(11): 210-212
Ma Guobing, Xue Anke. Application of data mining technology in predicting the track of moving object [J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 40(11): 210-212 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]