

一种农机车载 GPS 的准确定位算法的仿真研究

张 智¹ 周桂贤²

(贵州大学明德学院计信系 贵阳 550001)¹ (贵州财经大学信息学院 贵阳 550004)²

摘 要 农机车载 GPS 定位易受抖动影响,农田垄线不平坦会导致车载 GPS 抖动而使其定位不准确,造成农机作业的工作误差。传统的线性滤波车载 GPS 定位方法不能有效解决抖动造成的定位准确度不高的问题。为此,提出双假设滤波算法的车载 GPS 定位方法。用活化函数控制卡尔曼滤波器的增益而初步削弱抖动的影响,引入自适应衰减因子建立快速反应滤波器,并通过跟踪农机的机动变化来抖动影响,最终完成农机定位。仿真实验表明,这种方法能够有效去除因垄线不直存在的抖动问题,准确地完成农机车载 GPS 的定位。

关键词 线性滤波,活化函数,衰减因子

中图法分类号 TP183 **文献标识码** A

Farm Machinery on-board GPS Location Accuracy Simulation and Research

ZHANG Zhi¹ ZHOU Gui-xian²

(Department of Computer Science and Information, Mingde College, Guizhou University, Guiyang 550001, China)¹

(School of Information, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550004, China)²

Abstract Researched the agricultural production farm machinery on-board GPS positioning problem to improve the positioning accuracy. Farm machinery on-board GPS positioning vulnerable is easy influenced by jitter. The car GPS will shake when farmland long lines is not flat, causing car GPS position is not accurate, resulting the work error of agricultural machinery operation. The traditional linear filter on-board GPS positioning method cannot effectively remove jitter influence, causing the problem of low location accuracy. In order to solve this problem, this paper put forward the on-board GPS filter double localization method. Using activation function controls kalman filter gain and preliminary weakens the effect of jitter. Introducing self-adapting attenuation factor establishes a rapid response filter, and combining with the farm machinery motor change track finishes removing jitter influence, completing farm machinery positioning at last. Simulation results show that this method can effectively remove shaking influence caused by unstraight long line, accurately finish the orientation of agricultural machinery car GPS.

Keywords Linear filter, Activation function, Attenuation factor

1 引言

以现代科学技术为支撑的智能农业装备的发展和运用,不仅能够推动精准农业和智慧农业的建设和发展,而且能大幅度地减轻农民劳动的强度、降低伤害和提高劳动生产效率。实现智能农业装备的高效精准工作,这主要依赖能否对农田位置进行准确的感知,即农机的定位准确度能够保证智能农业的生产效率和作业精准性^[1],是人们研究和提高的重点内容。只有对农机进行准确定位,才能保证农田生产工作中精准地沿农田垄线进行农田播种、浇水、施肥、收割等各种农业作业。农机车载 GPS 定位方法因其较优的定位性和安装方便等特点成为农田位置感知的首选方式,并广泛应用在农业装备中。

农机车载 GPS 定位方法是通过将获取的传感信号处理后输入到农机运动模型中进行定位和模型修正的,传感信号

通过影响本次的定位以及模型修正间接影响的下次定位而决定车载 GPS 的整体定位准确度^[2]。车载的 GPS 由于直接安装在农机上,极易受到抖动的影响,当农田的垄线不平坦时,获取的传感信号掺杂了抖动噪声而影响定位。传统的车载 GPS 定位方法是利用线性滤波器对获取的传感信号进行去噪的,由于农机在田垄上抖动的信号是不规律地包含非线性信号^[3],使得传统线性滤波方法不能有效去除传感信号中的抖动噪声而影响最终的 GPS 定位,不能满足农机装备对车载 GPS 定位准确度的要求。

为有效去除抖动信号的影响而提高定位准确度,提出双假设滤波的车载 GPS 定位方法。首先将获取的传感信号输入到卡尔曼滤波器中,并同时用活化函数控制卡尔曼滤波器的增益而初步削弱传感信号中抖动信号的影响,引入自适应衰减因子建立快速反应滤波器以进一步去除传感信号中噪声的影响,并结合跟踪的农机机动变化完成运动模型的修正而

到稿日期:2012-02-10 返修日期:2012-07-25 本文受国家自然科学基金(9140C1101061886)资助。

张 智(1978—),男,硕士,讲师,主要研究方向为计算机科学技术与应用、信息安全、网络安全方向,E-mail:84399112@qq.com;周桂贤(1978—),男,博士,副教授,主要研究方向为计算机科学与技术、信息安全、制造业信息化。

去除抖动影响,最终准确地完成农机定位。

2 农机车载 GPS 定位原理分析

2.1 车载 GPS 传感信号的农机定位原理

在智能农业中,为提高农业生产效率和节约劳动率,农机车载 GPS 定位导航系统被广泛应用。农机车载 GPS 定位技术是一种典型的独立式的定位导航技术,通过使用 GPS 的距离和方位传感器测量获取到位移矢量传感信号^[4],然后输入到农机定位模型中推算农机位姿并进而跟踪定位农机位置,实现农机的自主导航和定位工作。在智能农机装备中,运动目标跟踪、载体定位系统都是基于模型的^[5],即通过已知的数学模型描述目标运动及观测状态,并根据输入数据分析对模型进行修正,以保证得到更准确的模型输出结果。

农机车载 GPS 定位系统辅助农机作业的一般原理框图如图 1 所示。

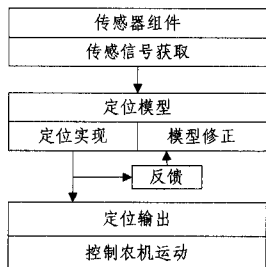


图 1 农机车载 GPS 定位系统原理框图

由原理框图可知,农机车载 GPS 定位系统的具体实现过程为:

1) 利用农机上安装的车载 GPS 传感器获取传感数据,由实际农机作业情况可知,获取的传感信号中不可避免会包含抖动信号。

2) 将获取的传感信号进行滤波去除信号中的噪声,然后将处理后的信号输入到农机定位模型中完成定位操作,并利用信号计算反馈因子进而完成农机定位模型的修正,以保证后续定位和最终的定位准确度。传感信号进入滤波器进行滤波的性能由去噪信噪比标识,去噪信噪比的表达式为:

$$\frac{S}{N} = \frac{P\{C(x)\}}{P\{C(Z_u)\}} \quad (1)$$

式中, $P\{C(x)\}$ 表示的是进行滤波后的传感信号中有效信号的功率, $P\{C(Z_u)\}$ 代表的是去噪后在传感信号中残余的噪声功率。

输入的信号会以反馈的形式影响模型的修正,如果信号中残余的噪声较多,则会大大影响模型的正确修正而使模型及模型输出的定位信息不准确。可见去噪性能不能仅由去噪信噪比决定,而应该加入反馈影响度(即传感信号对模型修正的影响)参量,也就是传感信号的去噪有效性,计算公式为:

$$U = \frac{\left(\frac{S}{N}\right) \cdot P\{Z|M\}}{P\{C(Z_u)\} \cdot X\{M\}} \quad (2)$$

$$X\{M\} \propto C(Z_u) \quad (3)$$

式中, U 表示去噪有效度,与信噪比和反馈影响度成正比; $X\{M\}$ 表示去噪后的传感信号对模型修正影响程度的反馈影响度,可知此反馈影响度与传感信号去噪后残余噪声的信息量成正比。

3) 利用模型输出得到的定位信息进行农机运动的调整和控制,以达到准确实现农机作业的目的。农机作业的准确程度由农机定位的准确度表示,且农机定位的准确度计算公式为:

$$O = \frac{U \cdot \left(\frac{S|M}{N|M}\right)}{H\{C(Z_u)\} P\{C(Z_u|M)\}} \quad (4)$$

式中, O 表示的就是农机定位的准确度。可见其准确度与传感信号去噪有效度成正比,即去噪越彻底,则农机定位越准确。

2.2 方法提出

农机车载 GPS 定位系统是直接将设备安装在农机上以获取信号,这样直接安装的设备极易受农机抖动的影响。当农田的垄线不平坦时,农机运动过程中会发生剧烈抖动,使得获取的传感信号中包含了大量的非线性抖动信号干扰而影响农机的定位。传统的线性滤波农机定位方法仅将传感信号进行线性滤波,以尽量去除噪声的影响,但对于非线性的抖动干扰不能全部去除,使得传感信号中残余的抖动噪声 $C(Z_u)$ 较多而增加了反馈影响度 $X\{M\}$ 。由反馈影响度与去噪有效性的反比关系可知,传统方法的去噪有效度 U 不高,并由去噪有效度与农机定位准确度的正比关系可知,这样会造成传统方法不能准确实现农机定位,无法满足智能农业生产的要求。

综上所述,为有效克服抖动干扰,提高农机定位准确度,提出了双假设滤波的车载 GPS 定位方法。先将获取的传感信号输入到卡尔曼滤波器中初步削弱传感信号中抖动信号的影响,然后引入自适应衰减因子建立快速反应滤波器以进一步去除传感信号中噪声的影响,并结合跟踪的农机机动变化完成运动模型的修正而去除抖动影响完成农机定位。

3 双假设滤波算法的车载 GPS 准确定位

3.1 传感信号的卡尔曼滤波

针对获取的农机车载 GPS 传感信号中抖动信号非线性特点,提出双假设滤波法以有效去除传感信号中的抖动干扰。首先将获取到的农机车载 GPS 传感信号输入到卡尔曼滤波器^[6-8]中进行初步的去噪处理。

卡尔曼滤波器的设定需基于对离散系统的假设,设随机离散系统方程为:

$$\begin{cases} X_k = \Phi_{k,k-1} X_{k-1} + \Gamma_{k,k-1} W_{k-1} \\ Z_k = H_k X_k + V_k \end{cases} \quad (5)$$

式中, X_k 是设定的随机离散系统的 m 维状态向量, Z_k 是设定的随机离散系统的观测矩阵,维数为 n 。根据对随机离散系统的假设定义,构造卡尔曼滤波器,据假设系统设置卡尔曼滤波器的各项特性参数为:

$$\begin{cases} E[W_k] = 0, E[W_k W_j] = Q_k \delta_{kj} \\ E[V_k] = 0, E[V_k V_j] = R_k \delta_{kj} \\ E[W_k V_j] = 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中, Q_k 是控制卡尔曼滤波器增益的活化函数, R_k 是观测噪声的滤波方差矩阵, δ_{kj} 是噪声观测单位函数。构建好卡尔曼滤波器后,将获取的农机传感信号作为输入信号输入到卡尔曼滤波器中,因卡尔曼滤波器是根据假设的随机离散系统构建的,更贴近抖动信号的特性,因此将传感信号输入到构建的

卡尔曼滤波器中能够初步完成最大限度抖动信号干扰的去除,方便后续操作。

3.2 定位实现和模型修正

农田环境复杂、工作状态多变,其农机运动模型的辨识更加复杂,对于农机模型其定位精度更关键、要求更高。为进一步有效去除抖动干扰的影响,引入自适应衰减因子在农机模型基础上建立快速反应滤波器,保证定位准确度和对模型反馈修正的准确性。

自适应衰减因子是在一般的离散化模型基础上改进的,农机车载 GPS 定位系统中一般的离散化模型表示为:

$$\begin{cases} x_{k+1} = f_k(x_k, u_k) + w_k \\ z_k = h_k(x_k) + v_k \end{cases} \quad (7)$$

式中, x_k 是农机目标状态向量, z_k 是农机定位的预测向量, w_k 是测量噪声。在一般模型中引入自适应衰减因子,其自适应因子表示式为:

$$\epsilon(k) = H(k)X(k, k-1) + V(k) + o(k) \quad (8)$$

式中, $\epsilon(k)$ 表示需要引入模型中的自适应衰减因子函数, $H(k)$ 是系统的特征函数, $V(k)$ 是衰减项。将自适应衰减因子引入到农机定位模型中,得到最终的农机定位模型表示为:

$$X_{k+1} = \Phi_{k+1,k}X_k + \Gamma_{k+1,k}w_k + \epsilon(k) \quad (9)$$

式中, Φ 是模型的状态转移矩阵,表示为:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

农机模型的噪声过滤分析矩阵 Γ 的表示式为:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{T^2}{2} & T \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, T 表示取样时间间隔。由此得到农机定位模型的具体表示为:

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= \Phi_{k+1,k}X_k + \Gamma_{k+1,k}w_k + \epsilon(k) \\ &= \begin{bmatrix} 1 & T & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{k+1,k} X(k) + \\ &\quad \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & T & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \frac{T^2}{2} & T \end{bmatrix}_{k+1,k} \begin{bmatrix} w_{k1} \\ w_{k2} \end{bmatrix} + \epsilon(k) \end{aligned} \quad (12)$$

式中, X_{k+1} 就是通过农机定位模型得到的定位信息,并且将此定位信息作为反馈因子,以反馈量的形式重新输入到农机定位模型中,对农机的定位模型进行修正。

经过传感信号的不断输入定位输出和信号反馈修正模型的循环计算,最终完成了农机车载 GPS 的准确定位,有效去除了农机作业过程中出现的抖动干扰的影响。在模型中引入自适应衰减因子能够克服传统方法去噪有效性不高的问题,利用抖动信号的特性将干扰全部去除,准确完成农机定位。

4 仿真实验和方法可行性分析

为验证农机车载 GPS 定位系统中去除抖动噪声的有效性和定位准确度等性能,设计仿真实验,采用 LabView 软件构建农田仿真环境,设计一个具有 5 条垄线的矩形仿真农田,且其中有 3 条垄线不是平行直线,即仿真农机作业时因垄线不直而存在的抖动干扰噪声。利用 Java 编辑器将传统线性滤波定位方法和双假设滤波定位方法进行编程,并将程序分别输入到农机车载 GPS 定位仿真系统中进行仿真实验。实验中采用真实定位结果与实践定位结果的偏差形式,以衡量定位算法的有效性。两种方法的定位偏差如图 2 所示。

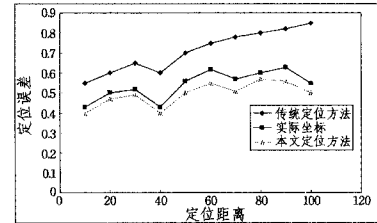


图2 不同算法的定位偏差仿真图

通过图2中在不同定位算法下得到的误差结果可以看出,本文方法下的误差较小,定位方法较好。对多次试验进行统计,得到的实验结果数据对比如表1所列。

表1 实验数据对比表

定位方法	去噪有效性	定位准确度
线性定位法	53%	62%
双假设定位法	78%	95%

由上述实验结果数据对比分析可知,当农机作业过程中出现农田垄线不直而在传感信号中存在抖动干扰时,因抖动信号非线性的特性使其较难去除,且残余噪声进入到定位模型中转换成反馈因子影响定位模型的修正而降低农机的定位准确度。传统的车载 GPS 定位方法是利用线性滤波器对获取的传感信号进行去噪的。对于农机车载 GPS 获取的传感信号中包含不规则的非线性的抖动信号,仅通过进入模型前的线性滤波不能完全去除抖动影响,使得传统线性滤波方法去除传感信号中的抖动噪声的有效性仅为 53%,从而通过反馈因子进一步影响农机定位,而影响最终的 GPS 定位准确度只能达到 62%,不能满足农机装备对车载 GPS 定位准确度的要求。而提出的双假设滤波的车载 GPS 定位方法,首先将获取的传感信号输入到卡尔曼滤波器中初步削弱传感信号中抖动信号的影响,然后引入自适应衰减因子建立快速反应滤波器以进一步去除传感信号中噪声的影响,避免传统方法仅依靠一次线性滤波而不能有效去除噪声的问题,使得抖动噪声去除有效性提高到 78%;最后结合跟踪的农机机动变化完成运动模型的修正而去除抖动影响完成农机定位,并使定位准确度达到 95%的理想状态,大大满足了智能农业对农机定位准确度的要求。

结束语 提出了双假设滤波的车载 GPS 定位方法。先将获取的传感信号输入到卡尔曼滤波器中,用活化函数控制卡尔曼滤波器的增益而初步削弱传感信号中抖动信号的影响,然后引入自适应衰减因子建立快速反应滤波器,以进一步去除传感信号中噪声的影响,并结合跟踪的农机机动变化完成运动模型的修正而去除抖动影响完成农机定位。仿真实验

表明,这种方法能够有效去除因垄线不直存在的抖动问题,从而准确完成农机车载 GPS 的定位,具有较高的使用价值。

参 考 文 献

[1] Huang J-Y, Tsai C-H. Improve GPS positioning accuracy with context awareness [C]//IEEE International Conference on Ubi-Media Computing. 2008;94-99

[2] 陈娇,姜国权,杜尚丰,等. 基于垄线平行特征的视觉导航多垄线识别[J]. 农业工程学报,2009,25(12):107-113

[3] 杨玲,李博峰,楼立志. 不同对流层模型对 GPS 定位结果的影响[J]. 测绘通报,2009(04):9-11

[4] 朱志宇. 基于 ukf 的闪烁噪声机动目标跟踪[J]. 计算机仿真,2007,24(11):120-123

[5] Abdel-Hafez M F. The Autocovariance least-squares technique

(上接第 183 页)

的 BPA 数据,并在一台硬件配置为 CPU2. 6G、内存2. 0G,装有 Windows 7 操作系统的 PC 上,选择 $|H|=5,9,13,15,16,21,31$,对两个算法的运行时间进行记录,得到表 1 所列的数据。

表 1 两种实现方法的计算时间比较

核的规模	$ H $	$ H ^2$	$ H ^3$	$2^{ H }$
焦元个数	5	25	125	32
dcArray	0.000	0.000	/	0.000
dcVectorMap	0.000	0.000	/	0.000
焦元个数	9	81	729	512
dcArray	0.002	0.000	/	0.000
dcVectorMap	0.000	0.000	/	0.169
焦元个数	13	169	2197	8192
dcArray	0.651	0.543	0.634	0.607
dcVectorMap	0.000	0.033	2.262	30.791
焦元个数	15	225	3375	32678
dcArray	6.507	6.550	6.648	6.873
dcVectorMap	0.000	0.066	6.183	>60.000
焦元个数	16	256	4096	65536
dcArray	25.558	25.600	25.757	26.193
dcVectorMap	0.001	0.085	9.473	>60.000
焦元个数	21	441	9261	924844032
dcArray	—	—	—	—
dcVectorMap	0.002	0.499	>60.000	—
焦元个数	31	961	29791	2147483648
dcArray	—	—	—	—
dcVectorMap	0.004	2.848	>60.000	—

3.2 结果分析

从表 1 的数据可以看出,在识别框架较小的情况下,如 $|H|=5,9$ 时,两种算法的效率相差并不大;随着识别框架中元素的不断增多,当 $|H|=13$ 时,dcAarry 算法依旧保持较好的性能,而 dcVectorMap 算法的性能则随焦元个数的增加而明显下降;当 $|H|=15,16$ 时,dcVectorMap 算法已经无法在 1 分钟之内解出规模为 $2^{|H|}$ 的合成结果,此时的 dcAarry 算法的计算时间也分别达到 6 秒和 25 秒;当 $|H|>16$ 时,其也不能在 1 分钟之内解出结果;相反,当 $32>|H|>16$ 时,dcVectorMap 算法还可以解出部分规模的结果。因此在实际应用中,当识别框架所包含的元素(命题或者假设)个数少于 16 时,可以直接使用 dcAarry 算法;反之,在焦元个数小于 8192 时,则可以采用 dcVectorMap 算法。

结束语 证据理论已经得到了广泛的应用,对于证据推

for cps measurement nose estimation [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2010,59(2):574-588

[6] 卢晓燕,卢京潮,周良荣,等. 野值存在下的 BP 网络自适应卡尔曼滤波[J]. 计算机仿真,2010,27(01):158-161

[7] Hill J, Szewcyk R, Woo A, et al. System Architecture Directions for Networked Sensor[C]//Proceeding of International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems. 2009,11:93-104

[8] Mainwaring, Polastre J, Szewczyk R, et al. Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring[C]//Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications. 2010;94-97

[9] 王金刚. GPS 数字中频信号仿真及捕获验证[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2010,22(2):252-256

理中的核心——Dempster 合成法则的算法实现,前人已经取得了很多有益的研究成果。针对目前 Dempster 合成法则的算法实现不够精确、不适用于合成结果的焦元包含了多个假设或命题的情形,提出 3 种精确实现 Dempster 合成法则的通用算法,即 dcArray、dcLink 和 dcVectorMap。通过比较分析与实验表明,在实际应用中,当识别框架不太大($|H|\leq 16$)时,一般可以选择 dcArray 算法,对 $|H|$ 较大而焦元个数较小的情形,则可以选择 dcVectorMap 算法。

参 考 文 献

[1] Dempster A P. A generalization of Bayesian inference(with discussion)[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series B, 1968,30(2):205-247

[2] Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence[M]. Princeton: Princeton University Press,1976

[3] 徐从富,耿卫东,潘云鹤. Dempster-Shafer 证据推理方法理论与应用的综述[J]. 模式识别与人工智能,1999,12(4):424-430

[4] 徐从富,耿卫东,潘云鹤. 面向数据融合的 DS 方法综述[J]. 电子学报,2001,29(3):393-396

[5] Barnett J A. Computational methods for a mathematical theory of evidence[C]//Proceedings of 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence,1981. San Francisco,CA,USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.,1981:868-875

[6] Voobraak F. A computationally efficient approximation of Dempster-Shafer theory[J]. International Journal of Man-Machine Study,1989,30:525-536

[7] Dubois D, Prade H. Consonant approximations of belief functions [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 1990,4:279-283

[8] Tessem B. Approximations for efficient computation in the theory of evidence[J]. Artificial Intelligence,1993,61:315-329

[9] Yen J. Generalizing the Dempster-Shafer theory to fuzzy sets [J]. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, 1990, 20 (3):559-570

[10] 王晓东. 数据结构(C 语言描述)[M]. 北京:电子工业出版社,2007

[11] 侯捷. STL 源码剖析[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002

[12] Zadeh L A. Review of Shafer's a mathematical theory of evidence[J]. AI Magazine,1984,5:81-83