

农用飞机防治病虫害作业导航系统设计与地面模拟测试*

熊迎军 沈明霞 张祥甫 周良 马奉先

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 基于GPS技术和嵌入式系统技术,设计了可实现自动规划边界、自动规划航道、计算农田面积、实时显示飞行轨迹和语音提示的农用飞机作业导航系统。阐明了系统硬件平台结构和QT交叉编译过程,研究了系统各项功能的实现算法。运用最小二乘法实时预测了高速运行环境下的定位数据,有效减小了高速运动产生的GPS定位延迟。在选定地块手持导航系统进行功能模拟,实现了作业导航系统的设计功能。

关键词: 农用飞机 作业导航系统 嵌入式系统 GPS

中图分类号: S49; V271.3⁺1; V249.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0153-04

Navigation System for Preventing Pests and Diseases Using Agricultural Aircraft

Xiong Yingjun Shen Mingxia Zhang Xiangfu Zhou Liang Ma Fengxian

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

Based on the GPS technology and the embedded system, a multifunctional agricultural aircraft navigation system was designed. It combined the functions of automatic depiction of the farm outline, automatic trace planning, farm area calculation, real time trace-display and voice prompts. System hardware platform and QT environment were introduced, and the system function algorithm was discussed. The least square method was used to predict the positioning data in high-speed environments, it effectively reduced the positioning delay generated by the high-speed motion. Designing functions were achieved with the navigation system in certain field.

Key words Agricultural aircraft, Task navigation system, Embedded system, GPS

引言

目前多数飞防作业仍旧依靠地勤人员打信号旗^[1]的方法进行作业导航,农药的毒性和飞机超低空飞行往往给地勤人员带来生命威胁,还经常出现大面积重洒、漏洒和过洒的情况。采用GPS技术合理布设航道,准确引导农用飞机,可提高作业效率。国内针对农用飞机作业的专业导航产品较少,仅有云南省林业调查规划院营林分院研制的GPSMAS系统^[2]通过国家民航管理部门鉴定,该系统没有语

音提示功能,飞行员只能通过显示屏幕获得当前作业状况,同时计算机占用空间比较大。为此,基于GPS技术和嵌入式系统技术设计农用飞机防治病虫害作业导航系统。

1 系统硬件框架

图1为导航系统的硬件平台结构, S3C2410为中央处理器,存储器由SDRAM、NOR FLASH、NAND FLASH构成,其中,SDRAM型号为HY57V561620C,用于设置程序堆栈和存放各种变量。NOR FLASH

型号为 AM29LV800B, NAND FLASH 型号为 K9F1208U0M。USB 闪存盘用来记录数据。GPS 模块与 S3C2410 的一个串口相连。以太网接口用于程序调试和文件系统烧写,开发过程大多通过交叉双绞线与主机建立网络文件系统来调试,这样可以避免多次刷写 FLASH 而导致 FLASH 寿命降低。JTAG 接口用作 BootLoader 程序烧写接口。语音模块直接与 S3C2410 的 I/O 口相连。



图1 导航系统硬件平台结构

Fig.1 Navigation system hardware framework

2 QT 交叉编译

嵌入式软件系统开发要首先搭建一个软件开发环境,所用软件如表1所示。这些软件的版本之间要相互匹配。其中,开发板厂家已经对 Linux、U-BOOT和 arm-linux-gcc 作了移植,需要开发者重点考虑的只有 QT 交叉编译。

表1 系统所采用的系列软件版本

Tab.1 Software version in the system

名称	版本	用途
Linux	2.6.13	操作系统
U-BOOT	1.2.0	BootLoader
arm-linux-gcc	3.4.1	交叉编译工具
QT/X11	2.3.2	获得 UIC
QT/E	2.3.7	嵌入式 QT 图形库
QTOPIA	1.7.10	建立窗口环境

交叉编译 QT 涉及到 QT/X11、QT/E 和 QTOPIA 3 个软件,其中 QT/X11 主要是为了得到 UIC 工具(用户接口编译器),QT/E 是用于嵌入式环境的 QT 图形库,QTOPIA 是基于 QT/E 的图形界面应用程序集。QT 交叉编译简要步骤如下:

(1) 交叉编译 QT/X11

进入 qt/x11 目录,执行命令:

```
#export QTDIR = $PWD
```

```
#echo yes | ./configure-static-no-xft-no-opengl-no-sm
```

```
#make
```

(2) 交叉编译 QT/E

设置环境变量之后,进入 qt/e 目录,执行命令:

```
#(echo yes; echo no) | ./configure-xplatform
linux-arm-g++ -qconfig qpe-depths 16,24,32
```

```
#make
```

(3) 交叉编译 QTOPIA

设置环境变量之后,进入 qtopia 目录,执行命令:

```
#./configure-xplatform linux-arm-g++
```

```
#make
```

完成上述步骤后,就可以进行 QT 软件编程。

3 程序开发流程

3.1 坐标系平移和坐标系的 LCD 映射

通过串口获取 GPS 数据,对数据进行高斯-克吕格投影,得到平面坐标的数据,将获得的坐标数据进行预处理,以避免因为数据较大导致后面数据处理不便。具体思路是:假设农田边界是一个四边形(其他多边形形状也适用),边界顶点(经过高斯-克吕格投影的)依次为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、 (x_4, y_4) ,分别求出 x_1, x_2, x_3, x_4 和 y_1, y_2, y_3, y_4 的最小值 x_{\min} 和 y_{\min} ,将坐标系原点平移至 (x_{\min}, y_{\min}) ,则原坐标系中的坐标点 (x_i, y_i) 在新坐标系中就变成 $((x_i - x_{\min}), (y_i - y_{\min}))$,这样坐标数据大小就能集中到一个合适的范围。为了方便表述,称高斯-克吕格投影得到的坐标系为高斯坐标系 xOy ,基于最小坐标平移后的坐标系为平移坐标系 $x'O'y'$ 。

将平移坐标系 $x'O'y'$ 映射至 LCD 所在的平面坐标系,才能实现农田轮廓在 LCD 上的完整显示,为了保证农田形状能够相似地显示在 LCD 上,对 x 轴坐标和 y 轴坐标分别进行相似变换,具体做法是:分别求出高斯坐标系中农田边界顶点坐标的最大值 x_{\max} 和 y_{\max} 以及最小值 x_{\min} 和 y_{\min} ,构建以 (x_{\min}, y_{\min}) 和 (x_{\max}, y_{\max}) 为顶点的矩形,令 LCD 有效显示区域的长度 L 对应 LCD 坐标系的 x 轴,宽度 W 对应 LCD 坐标系的 y 轴。当 $x'O'y'$ 坐标系相似变换至 LCD 坐标系时, x 轴坐标的映射系数 $k_x = (x_{\max} - x_{\min})/L$, y 轴坐标的映射系数 $k_y = (y_{\max} - y_{\min})/W$ 。 $x'O'y'$ 坐标系上农田边界所覆盖区域的坐标点 (x, y) 映射至 LCD 上的相应坐标为 $(x/k_x, y/k_y)$,这样便能实现坐标点的 LCD 显示。

3.2 作业航道规划

采用 GPS 数据为农用飞机作业规划航道时应尽量避免漏洒和重复喷洒,作业航道规划思路为:设飞机一次喷洒所能覆盖的宽度为 W ,沿最长边(选择最长边方向作为航道方向可增加航道长度,减少航道条数,从而缩减了飞机调头次数)方向,以间距 W 作一组覆盖整个多边形的平行线,条数为 n ,那么

在距离最长边 $W/2, 3W/2, \dots, nW/2$ 处分别再作一组平行线, 这组平行线就是飞机的航道。

3.3 语音提示

为了保证农用飞机始终在规定航道上运行, 必须在飞机偏离航道时及时提醒飞行员注意。另外, 由于飞机相对地面运动速度很快, 传统导航方式中经常出现以下情况: 飞机飞至农田边界上空开始喷洒农药, 但农药落到农田时已经洒在农田内距离边界很远的位置, 在飞机飞出农田时又将农药喷洒到农田以外。所以需要提前告知飞行员飞机将飞至农田或飞离农田, 让飞行员作好开始喷药或停止喷药准备。

(1) 判断飞机是否偏离航道

判断飞机是否偏离航道, 实际就是判断点是否在线段上。假设线段两个顶点 P_1, P_2 的坐标分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 以 P_1, P_2 为顶点的矩形内有一点 Q , 坐标为 (x, y) 。判断点 Q 在线段上的依据是 $(Q - P_1) \times (P_2 - P_1) = 0$, 据此即可判断飞机是否在偏离航道作业。

(2) 开始喷洒农药和停止喷洒农药

确定飞机何时开始喷洒和停止喷洒农药, 实际上是确定飞机是否农田之内。适合农用飞机作业的农场农田形状, 大多数地块为矩形, 少数为凸多边形。为了具有一般性, 这里按凸多边形分析, 这样问题就简化成判断一个点是否在凸多边形之内, 具体思路如下^[3]: 设 $ABCDE$ 为五边形 (凸多边形), P 为平面上一点。求出 P 点指向多边形顶点的向量, 按顺时针或逆时针方向, 计算这些向量中相邻两个向量的叉积, 如果所有叉积结果符号同号, 则 P 点也在多边形 $ABCDE$ 之内; 如果结果为 0 , 则 P 点也在多边形 $ABCDE$ 边界上; 如果异号, 则在多边形之外。

按照以上思路, 还不能最终确定飞机开始喷洒农药和停止喷洒农药的时间, 假设飞机飞行速度为 v , 农药从离开飞机到落地所需要的时间为 t , 农药落地位置相对于农药离开飞机时刻的位置在水平方向实际上已经移动了 vt 距离。要是忽略这种情况, 就会出现过洒, 或者漏洒。所以要在飞机即将飞抵农田或飞出农田时预测飞机何时到达边界。具体思路如下: 如图 2 所示, L 为飞机飞行航道, ΔP 为相对偏移量 (飞机作业时的速度与 GPS 读取一条指令所需时间的乘积再加上农药落地时间 t), P 为飞机当前位置, P 点加上相对偏移量 ΔP 得到图中的 P_1 点。当飞机满足 P 在 $ABCDE$ 外, 飞机沿航道 L 飞行, 并且 P_1 在 $ABCDE$ 内或边界上时语音提示开始喷洒; 当飞机满足 P 在 $ABCDE$ 内, 飞机沿航道 L 飞行, 并且 P_1 在 $ABCDE$ 外或边界上时语音提示结束喷洒。

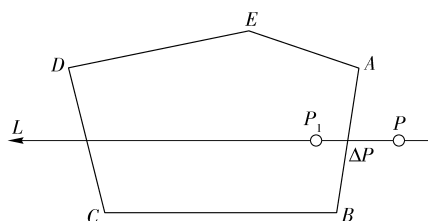


图 2 开始喷洒农药和结束喷洒农药时刻预测

Fig. 2 Time forecast of the beginning and the end of spraying pesticides

3.4 农田面积计算

系统具有一个附带功能, 飞行员可方便计算自己的作业面积。农田面积计算实际上是多边形面积计算, 具体思路如下:

对于一个三角形 ABC , 3 个顶点坐标为 $A(x_1, y_1), B(x_2, y_2), C(x_3, y_3)$ 。则其面积为

$$S_{ABC} = 0.5 \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

设多边形顶点为 $A_1(x_1, y_1), A_2(x_2, y_2), \dots, A_n(x_n, y_n)$, 有平面上任意一点 M , 多边形可以分割成 n 个以 M 点为顶点的三角形, 则其面积 S 可以认为是 (A_i, A_{i+1}, M) 组成的三角形代数, 即

$$S = \text{abs}(S_{(A_1, A_2, M)} + S_{(A_2, A_3, M)} + \dots + S_{(A_n, A_{n+1}, M)})$$

当 M 坐标为 $(0, 0)$ 时^[4]

$$S = 0.5 \text{abs} \left(\begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{vmatrix} + \dots + \begin{vmatrix} x_n & y_n \\ x_1 & y_1 \end{vmatrix} \right)$$

4 仿真与系统功能模拟

4.1 高速运动环境下的导航预测仿真

作业导航系统实际工作在飞机高速运动的环境中, 高速运动会产生明显的定位延迟, 使得系统的实时性降低, 所以有必要对导航数据进行实时预测。实时预测主要有 3 类理论基础, 即 Wiener 滤波理论方法, Kalman 滤波理论方法和最小二乘法。最小二乘法是经典的参数估计方法, 算法简单, 不必知道与被估量及量测量有关的任何统计信息。限定记忆型最小二乘递推算法是记忆型最小二乘法的一种, 其基本思想是: 下一时刻的测量值只与现在以及此前一段 m 个历史测量值有关, 而与更远过去测量值没有实质联系, 因此可以根据有限个数据 $x_{i-m}, x_{i-m+1}, \dots, x_{i-1}$ 采用递推的算法, 给出 x_i 的线性最小估计值 \hat{x}_i 作为预测值^[5]。相当于在这批测量数据上加一个“窗口”, 每次只对“窗口”内的数据运用最小二乘法进行拟合, 通过所得的拟合函数就可预测当前定位数据, 随着新测量数据的不断注入, “窗口”也沿时间轴在实际测量序列中向右滑动, 拟合

函数也随着更新,这样便实现了定位数据的实时预测。

在以 50 km/h 速度行进的汽车上模拟飞机高速运行的情况,测得时长 267 s 的 GPS 数据,取“窗口”长度为 20 s,假设 1 ~ 20 s 之间最小二乘拟合所得函数为 $f_1(x)$,则紧靠“窗口”的第 21 秒的预测数据即为 $f_1(21)$,将“窗口”向右移动 1 s,则得到新的拟合函数 $f_2(x)$,则第 22 秒的预测数据为 $f_2(22)$,依次向右移动“窗口”,可得一组预测数据。对整个过程进行 Matlab 仿真,可得经度、纬度方向的实时预测误差,如图 3 所示。

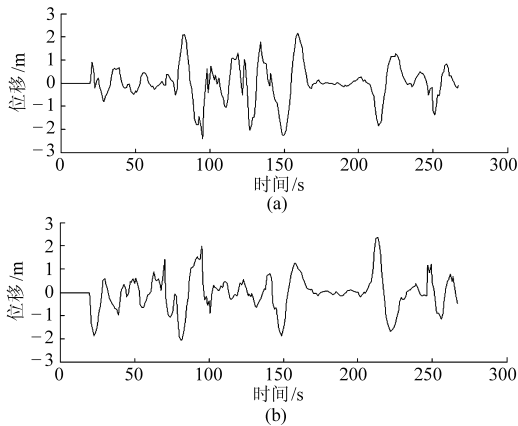


图 3 经度、纬度方向实时预测误差仿真

Fig. 3 Real-time prediction error simulation diagram in longitude, latitude direction
(a) 经度方向 (b) 纬度方向

由图 3 可知,经度方向的最大误差为 2.454 m,纬度方向的最大误差为 2.354 m,相比飞机实际工作的速度和工作区域面积,可知运用最小二乘法进行实时预测的误差在容许范围内。

4.2 系统功能模拟

选定一个长方形地块,手持导航系统在地面模拟系统功能,图 4 为系统操作界面,其中,“顶点获取”按钮用来记录地块顶点坐标,“边界航道”用来绘制地块边界和飞机作业航道,“北纬”和“东经”标签旁的编辑框实时显示每个点的经纬度,最右边的编辑框显示农田面积。

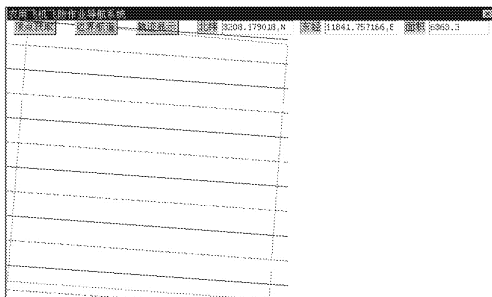


图 4 农田边界及作业航道规划图

Fig. 4 Plan of farmland boundaries and the operating channel

(1) 按顺时针顺序采集长方形地块的顶点坐标。在每个顶点等待 3 min 左右再点击“顶点获取”按钮记录数据,减少 GPS 单点定位的误差。在记录了 2 个顶点后,每记录一个顶点,最右边的编辑框就会实时显示以已记录点为顶点的多边形地块面积。

本文中,已知地块长宽分别为 82 m 和 80.3 m,准确面积应该为 6 584.6 m²,导航系统测得农田边界的 4 个顶点坐标如表 2 所示,计算得农田面积为 6 363.3 m²,误差 221.3 m²。

表 2 农田顶点实验数据

Tab. 2 Field vertex experimental data		m
x 坐标	y 坐标	
3 558 306.788 382	160 021.212 185	
3 558 304.127 122	159 944.968 150	
3 558 219.506 764	159 951.271 687	
3 558 225.293 263	160 027.545 800	

(2) 顶点数据采集完毕后,点击“边界航道”按钮,图 4 所示界面中出现一个近似的矩形框,这就是绘制出的地块边界轮廓,同时,矩形中出现了等间距的实线和虚线,其中实线是按照农用飞机作业宽度平行于地块边界最长边绘制的,实线之间是农业飞机的作业区域,两条实线之间的虚线便是作业航道。

(3) 实时轨迹显示和语音提示

手持该导航系统地块边界环绕一周,得到图 5 所示实时轨迹。导航系统每秒刷新一次数据,实验中设定接近农田约 1 m(实际工作中随农用飞机的飞行速度变化)时,提示“开始喷洒”,离开地块边界约 1 m 时提示“结束喷洒”,语音提示效果符合设计要求。

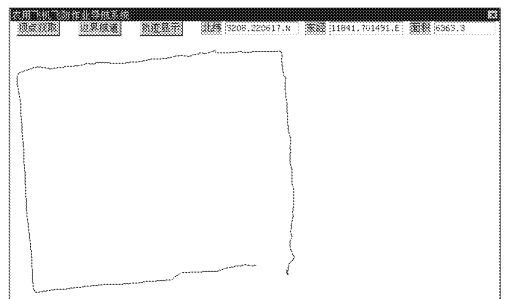


图 5 实时轨迹显示图

Fig. 5 Real-time trajectory display

5 结束语

结合嵌入式系统技术和 GPS 技术,提出了农用飞机防治病虫害作业导航系统的软硬件设计方案。系统在地面模拟测试中实现了自动规划边界、自动

(下转第 146 页)

- scavenging effect [J]. Korean Journal of Pharmacognosy, 2007, 38: 263 ~ 269.
- 7 Jung H A, Jung Y J, Yoon N Y, et al. Inhibitory effects of Nelumbo nucifera leaves on rat lens aldose reductase, advanced glycation endproducts formation, and oxidative stress [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(12): 3 818 ~ 3 826.
 - 8 Cho E J, Yokozawa T, Rhyu D Y, et al. Study on the inhibitory effects of Korean medicinal plants and their main compounds on the 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical [J]. Phytomedicine, 2003, 10(6 ~ 7): 544 ~ 551.
 - 9 Wijngaard H H, Rößle C, Brunton N. A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 202 ~ 207.
 - 10 Lai P, Li K Y, Lu S, et al. Phytochemicals and antioxidant properties of solvent extracts from Japonica rice bran [J]. Food Chemistry, 2009, 117(3): 538 ~ 544.
 - 11 Jiang S H, Wang C L, Chen Z Q, et al. Antioxidant properties of the extract and subfractions from old leaves of *Toona sinensis* roem (meliaceae) [J]. Journal of Food Biochemistry, 2009, 33(3): 425 ~ 441.
 - 12 Liang C H, Syu J L, Mau J L. Antioxidant properties of solid-state fermented adlay and rice by *Phellinus linteus* [J]. Food Chemistry, 2009, 116(4): 841 ~ 845.
 - 13 Bakar M F A, Mohamed M, Rahmat A, et al. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*) [J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 479 ~ 483.
 - 14 Di Mambro Valéria M, Fonseca Maria J V. Assays of physical stability and antioxidant activity of a topical formulation added with different plant extracts [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2005, 37(2): 287 ~ 295.
 - 15 Chen Y, Xie M Y, Nie S P, et al. Purification, composition analysis and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of *Ganoderma atrum* [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 231 ~ 241.
 - 16 Yang J X, Guo J, Yuan J F. In vitro antioxidant properties of rutin [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(6): 1 060 ~ 1 066.
 - 17 Hutadilok-Tawatana N, Chaiyaputti P, Panthong K, et al. Antioxidative and free radical scavenging activities of some plants used in Thai folk medicine [J]. Pharmaceutical Biology, 2006, 44(3): 221 ~ 228.
 - 18 Chen F A, Wu A B, Shieh P, et al. Evaluation of the antioxidant activity of *Ruellia tuberosa* [J]. Food Chemistry, 2006, 94(1): 14 ~ 18.
 - 19 Yu J O, Liao Z X, Lei J C, et al. Antioxidant and cytotoxic activities of various fractions of ethanol extract of *Dianthus superbus* [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1 215 ~ 1 219.

(上接第 156 页)

规划航道、计算农田面积、实时显示飞行轨迹和语音提示等功能。受到飞机高速运动的影响,定位数据存在滞后,文中采用最小二乘法对高速运动下的

GPS 数据进行了实时预测,仿真结果表明最小二乘法预测有效地减小了数据延迟。需要指出的是,非差单点 GPS 定位精度有限,如果条件允许,也可以采用 DGPS 来提高定位精度。

参 考 文 献

- 1 王壬林,宋凝芳.差分 GPS 技术在农业飞防导航中的应用[J].战略导弹控制技术,2001,35(4):19 ~ 23.
- 2 李灿云,刘国龙.飞播造林中 GPSMAS 导航与应用[J].林业调查规划,2004,29(2):29 ~ 33.
Li Canyon, Liu Guolong. GPSMAS navigation and application in the afforestation of aerial seeding [J]. Forest Inventory and Planning, 2004, 29(2): 29 ~ 33. (in Chinese)
- 3 卢之慧,沈明霞,姬长英.嵌入式 GPS 技术的农用飞机作业航线及边界规划[J].安徽农业科学,2009,37(8):3 819 ~ 3 820,3 823.
Lu Zhihui, Shen Mingxia, Ji Changying. Channel planning and border algorithm in agricultural aircraft operating based on embedded and GPS technology [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(8): 3 819 ~ 3 820, 3 823. (in Chinese)
- 4 魏许青.计算多边形交集、并集的算法[J].计算机工程与科学,2007,29(12):85 ~ 86.
Wei Xuqing. An algorithm for evaluating the area of the overlap or the union of polygons [J]. Computer Engineering & Science, 2007, 29(12): 85 ~ 86. (in Chinese)
- 5 罗兆文,张沛,王文,等.基于 GPS 的飞机航迹预测方法研究[J].海洋测绘,2009,29(2):35 ~ 38.
Luo Zhaowen, Zhang Pei, Wang Wen, et al. Research on the prediction method of the airplane trajectory base on GPS [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2009, 29(2): 35 ~ 38. (in Chinese)