

文章编号:1002-0640(2009)08-0145-04

## 飞机图像导航数据库系统的设计与开发\*

王 婷<sup>1</sup>, 吴亚锋<sup>1</sup>, 韦 刚<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学数据处理中心, 陕西 西安 710072, 2. 中国航空工业 618 研究所, 陕西 西安 710072)

**摘 要:**运用图像导航原理,设计并实现了一套飞机图像导航数据库系统。系统将导航所需的信息和若干地区的地面图预先存放在数据库中的特定位置。用户只需在系统的可视化界面中进行少量的操作,该系统就能够在飞机航行的过程中实时地显示拍摄到地面图像,并将该图像与数据库中的相关图像进行特征匹配,从而获取并提供给用户飞机当时的位置、航速快慢及航向误差等导航信息。

**关键词:**图像导航,数据库,图像检索,飞机定位

**中图分类号:**TP391

**文献标识码:**A

## The Design and Development of the Image Navigation Database for Airplane

WANG Ting<sup>1</sup>, WU Ya-feng<sup>1</sup>, WEI Gang<sup>2</sup>

(1. Data Processing Centre, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China,

2. Aeronautics Polytechnical 618 Research Institute, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** By the principle of the image navigation, in this paper, a suit of image navigation database for airplane was designed and realized. The system put the information which the navigation need and ground images of some regions into the special position of the navigation database. The users just need a little operation in visual interface, then the system can show the ground images which were shotted in airplane during the navigation, and match characteristics between this image and database images. Consequently, the system can provide users navigation information such as location, speed and direction error of the airplane.

**Key words:** image navigation, database, image retrieval, airplane location

### 引 言

飞机导航就是将飞机从起始点引导到目的地的技术或方法。应用较多的飞机导航系统有惯性导航系统、多普勒导航系统、卫星全球定位系统(GPS系统)、图像导航系统等<sup>[1]</sup>。

最近几年,随着计算机图像处理能力和技术的提高,硬件设备的快速升级,信号处理技术和控制技

术的发展,图像导航技术得到了迅速的发展。

图像导航技术是利用传感器获取航行装置下方景物的图像,并且将获取到的图像进行识别或者与已有的地形图进行匹配,从而确定航行装置的准确位置,用作导航系统自动避障,或将处理后的有用信息显示出来以提醒操纵人员<sup>[1]</sup>。如图1所示为图像导航流程图。

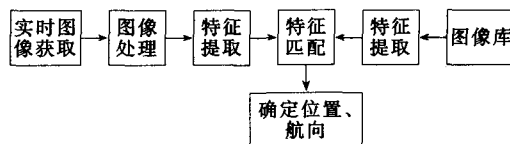


图1 图像导航流程图

图像导航方法分为景物导航、特征标志匹配导

收稿日期:2008-07-27

修回日期:2008-09-24

\* 基金项目:中国航空工业集团×××研究所合作项目

作者简介:王 婷(1983- ),女,贵州贵阳人,硕士研究生,主要研究方向:信号与信息处理、图像处理等。

航、地形图匹配导航等<sup>[2]</sup>。景物导航就是利用自然存在的或人造特定的景物判断系统目前所处的位置。特征标志匹配导航是一种利用特征标志来判断系统是否已经飞入特定区域或接近特定位置的导航方法。地形图匹配导航是利用现场拍摄到的地面图像与预先存储的地形图的特征进行比对、判断,确定系统当前的位置和航向等信息。

根据上述图像导航的原理和方法,本文利用图像导航技术中的地形图匹配导航方法,运用 SQL Server 2000 数据库技术和 VC++6.0 面向对象的可视化程序设计技术,设计并实现了一套飞机图像导航数据库系统。该系统不仅能够对航班信息进行浏览、查询、添加、删除和修改,而且能够方便地获取飞机在某一时刻的位置、航向及航行速度快慢等导航信息,从而有效地对飞机进行导航。

## 1 系统的设计

系统主要由 VC++6.0 设计的可视化界面和 SQL Server 2000 建立的导航数据库两部分组成。

### 1.1 可视化界面的设计

本文系统也主要由两个可视化界面构成。如图 2 所示的航班信息界面,它主要用于实现航班信息的显示、查询、添加、删除及修改。实现的方法在界面中都有明确的提示。该界面的确定按钮是图像导航界面的连接按钮,用户在选择上一条航班信息记录后点击确定按钮即进入图像导航界面。

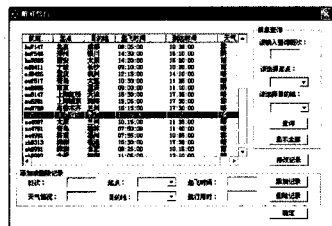


图 2 航班信息

图像导航界面如 148 页图 5 所示,该界面主要由图像检索和导航信息两个模块组成。图像检索模块的上半部分用于显示实时拍摄的地面图像;单击位于该模块下部的图像检索按钮,系统则根据图像检索算法,用当前时刻已经完全读入的一幅图像与对应的导航数据表中的图像进行图像的检索,检索到最相似的一幅图像,系统则将其显示在该模块下半部分的图像检索结果中。与此同时,位于该界面右半部分的导航信息模块中的各个信息也获得更新。这些信息即可用于飞机的导航。

### 1.2 导航数据库的设计

导航数据库主要由航班信息表和导航数据表构

成。

航班信息表主要记录了各航班的航班号、起点、目的地、起飞时间、到达时间和天气情况。导航数据表的第一栏为时间栏,该栏中记录的是以起飞时间为开始,以到达时间为结束,相同时间间隔的时间信息,此外,该表中还有与这些时间记录相对应的地点、地理位置、图像、航向及天气情况栏。分别记录着在该时刻飞机应该到达的地点、地理位置、在该位置处的地面图像及应有的航向、拍摄该图像时的天气情况。这些记录具有如下作用:

① 航班信息记录将在该系统的航班信息界面的 List Control 控件中被显示,以提供系统操作者进行浏览、查询、添加、删除、修改等操作。

② 航班信息表中的起点和目的地是系统访问导航数据表的索引,即确定了起点和目的地后,系统就能够找到其对应的导航数据表。例如:起点为北京,目的地为西安的这一行航班信息记录对应的导航数据表为“北京至西安航班导航数据表”。

③ 航班信息表中的起飞时间和到达时间与对应的导航数据表中时间栏的第一行和最后一行数据保持一致。这两项记录若被修改,则对应的导航数据表中时间栏的每一行数据都将被相应的修改。见 148 页图 4。

④ 导航数据表中的图像记录用于在系统的图像导航界面中进行图像检索,而其他记录则用于航班的导航。

⑤ 由于不同天气情况时拍摄到的地面图像会有较大差异,导航数据表中的天气情况栏用于记录该行中的图像在拍摄时的天气情况。该系统将此栏中数据设置为晴、雨、阴、雾四种。这样,表中同样的时间、地点、地理位置和航向就应该对应有 4 行记录,分别保存了不同天气情况时,在同一地点拍摄到的地面图像。图像检索时,系统将根据用户选择的航班信息记录中的天气情况,仅检索导航数据表中天气情况与之一致的记录行中的图像。从而加快检索速度,减小检索误差,增强系统的实时性。

## 2 系统应用的图像检索的原理

本文系统采用的是基于纹理特征的图像检索算法来进行图像的检索。

纹理特征是一种不依赖于颜色或亮度的、反映图像中同质现象的视觉特征<sup>[3]</sup>。在遥感影像中,与地物光谱特征相比,影像中地物的纹理特征相对更为稳定,它是目前基于内容的遥感影像检索中研究和应用最多的可视化特征。

纹理与灰度基元的空间分布密切相关。灰度共生矩阵就是用来描述纹理中灰度基元之间空间联系的矩阵<sup>[3]</sup>。它表示的是图像中相距 $(\Delta x, \Delta y)$ 的两个灰度像素同时出现的联合频率分布,在一幅灰度级为 $L$ 的图像中,共生矩阵 $P_{(\Delta x, \Delta y)}(i, j)$ 可以表示为一个 $L \times L$ 的矩阵,在矩阵中位于 $(i, j)$ 的元素 $p_{i,j}$ 的值表示一个灰度为 $i$ ,另一个灰度为 $j$ 的两个相距为 $(\Delta x, \Delta y)$ 的像素对出现的次数。 $p_{i,j}$ 归一化后的值 $p$ 如式(1)所示。

$$p_{i,j} = \frac{p_{i,j}}{\sum_{j=0}^{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} p_{i,j}} \quad (1)$$

$(\Delta x, \Delta y)$ 通常有 $(1, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 1)$ ,  $(-1, -1)$  4 种空间位置关系,本文系统采用 $(1, 0)$ 这种位置关系获得归一化灰度共生矩阵 $P_{(1,0)}(i, j)$ 。

利用灰度共生矩阵可以得到一系列的纹理特征统计量,本文选择反差、熵、逆差矩和能量作为特征量<sup>[3]</sup>,以 $f_1, f_2, f_3, f_4$ 分别表示之,由于它们的定义较为复杂,本文在此就不再逐一介绍。

将彩色图像转化为灰度图像,这样,就可以分别得到飞机拍摄到的灰度图像以及对应数据表中灰度图像的特征向量 $q = (f_1, f_2, f_3, f_4)$ 和 $q' = (f'_1, f'_2, f'_3, f'_4)$ ,本文采用欧氏距离作为图像特征向量之间的相似性度量方法,如式(2)所示。

$$d(q, q') = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (f_i - f'_i)^2} \quad (2)$$

$d$  的值越小,认为两幅图像越相似。检索的时候,根据式(2),将与当前飞机拍摄图像欧氏距离最小的一幅图像作为检索的结果。

### 3 系统实现的几个关键技术

#### 3.1 系统对数据库的访问

本文在用 VC++ 开发系统的时候,采用了 ADO 技术进行数据库的访问。

ADO 模型包括了 7 个对象,主体对象有 3 个: Connection、Command 和 Recordset。

Connection 对象用于建立到数据库的连接; Command 对象代表一个命令,可以通过该对象的方法执行针对数据源的有关操作; Recordset 对象代表一个表的记录集或者查询命令执行的结果。

用 ADO 来实现系统对数据库的访问的流程如下:① 使用 Connection 对象链接到数据源;或者创建 Recordset 对象,在其 Open 方法的参数中连接数据源<sup>[4]</sup>。② 用 Command 对象制定对数据源的命令,并执行命令,处理结果。③ 用 Close 方法关闭记录

集,再关闭连接,释放资源。为了更方便地使用 ADO 进行编程,本文为 ADO 编写了封装类,并使用该封装类开发本文的数据库系统程序。

#### 3.2 航班信息表中信息的管理

航班信息表中信息的管理主要包括航班信息的显示、查询、添加、修改和删除。

① 信息的显示。信息的显示是通过 List Control 控件来完成的。该控件类的成员函数 InsertColumn 能够为该控件设置栏的数目,以及每一栏的标题和宽度。通过记录集指针调用 GetFieldValue 函数得到航班信息表中每一行的数据;再用 SetItemText 函数将得到的数据逐个对应地添加并显示在控件中。

② 信息的查询。写 SQL 语句,以根据航班号查询为例,SQL 语句为:“select \* from 航班信息 where 航班号=”,其中等号后面跟随用户在查询条件中输入的航班号。用数据库指针调用函数 Execute 执行该语句,找到表中用户查询的记录。

③ 信息的添加。用记录集指针调用 AddNew 函数和 SetFieldValue 函数,将用户输入的数据添加到航班信息表中的对应项,再调用 Update 函数,让该表更新。

④ 信息的删除。与信息查询类似,写删除记录的 SQL 语句,再调用函数 Execute 执行该 SQL 语句。

⑤ 信息的修改。调用 List Control 控件的类成员函数 GetItemText 得到用户选择行记录的文本,并将它们付给修改记录对话框中相应的控件变量。再调用 SetFieldValue 函数,将用户修改后的数据通过控件变量传递给该函数,用于修改表中相应项的信息。

#### 3.3 图像的显示

本文系统除了需要对飞机拍摄的图像进行实时显示外,还需要对检索到的导航数据表中图像进行显示。为此,程序使用了一个 CPicture 封装类,先后调用该类中的 LoadPictureData、UpdateSizeOnDC 和 Show 函数分别用于加载该图像的数据,得到图像的大小,以及显示图像。

① 飞机拍摄的图像实时显示。系统在程序中通过 SetTimer 函数设置了定时器,将时间的间隔设置为与飞机拍摄图像的时间间隔相同。并在 WM\_TIMER 消息的命令响应函数 OnTimer 中添加上述加载图像数据及显示图像的代码。这样,每间隔固定的时间段,系统就会执行一次 OnTimer 函数,实行一次图像数据的加载和显示。

② 导航数据表中图像的显示。导航数据表中的图像是 BLOB 类型的数据, BLOB 是指非常巨大的不定的二进制或者字符型数据。使用 ADO 提供的 GetChunk 和 AppendChunk 函数, 即可实现 BLOB 类型的图像数据在表中的读取和写入<sup>[4]</sup>。因此, 导航数据表中图像的显示需要调用 GetChunk 函数, 读取需要显示的图像的数据, 再用 CPicture 类中的上述三个函数加载并显示该图像。

### 3.4 导航信息的获取

图像导航界面的导航信息模块包括了当前时间, 当前航向, 当前所在地地名, 当前所在位置, 当前正确航向, 航向偏差, 航行速度快慢, 当前应在地地名和当前应在位置信息<sup>[5]</sup>。当前时间是通过 CTime 类的 GetCurrentTime 函数得到的。通过传感器, 可以将航向陀螺仪测到的飞机当前航向传入系统, 并在系统中显示。将记录集指针指向表中与待匹配图像最相似的图像行, 取出该行的地点、地理位置及航向栏的数据, 即得到了当前所在地地名、当前所在位置及当前正确航向。将当前正确航向与当前航向求差值, 即得到航向偏差。再将该行的时间栏中的时间记录取出, 与当前时间求差值, 若差值为零, 则在航行速度快慢中显示“正好”, 当前应在地地名和当前应在位置即为当前所在地地名和当前所在位置; 若差值大于零, 则显示“较快”, 将记录集指针用 MoveLast 函数逐条上移, 反之, 则显示“较慢”, 将记录集指针用 MoveNext 函数逐条下移, 依次取出时间栏的每一项与当前时间求差值, 得到差值最小的一项, 将指针移动到该行, 取出该行中地点和地理位置栏记录, 即得到当前应在地地名和当前应在位置。

## 4 系统的测试

本文首先在航班信息表中完整地输入了 30 行记录; 接着, 对应这 30 行记录, 又建立了 30 个导航数据表, 将对应的地面图像及各项数据完整地输入到各表中; 最后, 对系统进行反复的测试。

现以上海浦东至香港的航班为例, 设该航班因故延迟 30 min 起航。运行该系统, 如图 2 所示, 选中 List Control 控件中的该条记录, 点击“修改记录”按钮, 弹出如图 3 所示的对话框, 将该对话框中的“起飞时间”和“到达时间”分别延迟 30 min。点击“确定”按钮, 系统就完成了对该记录的修改。此时, 打开“上海浦东至香港航班导航数据表”, 该表中的时间栏的记录也已得到了相应的修改, 如图 4 所示。再选择该条记录, 点击“确定”按钮, 系统就进入了图像导航界面, 可以看到左侧“图像检索”模块的上半部分

每隔 5 s 就刷新并显示一幅飞机拍摄的图片, 点击该模块下面的“图像检索”按钮, 则系统停止对拍摄图像的更新显示, 该模块的下半部分显示出与当前拍摄图像最相似的图像, 并将获取到的导航信息显示在右侧的“导航信息”模块中。点击右下角的“确定”按钮后, 界面被刷新, 导航信息模块中的数据被清空, 系统又开始读入并显示飞机实时拍摄到的图像。

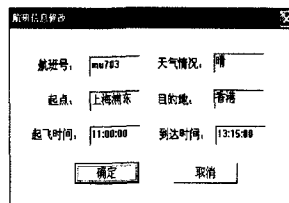


图 3 信息修改

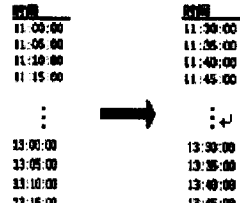


图 4 修改前后的时间记录

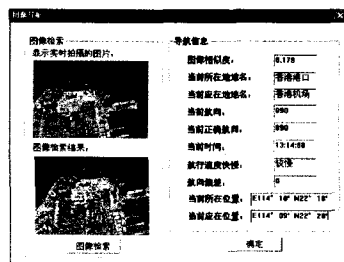


图 5 图像导航

测试结果表明, 该系统不仅能够顺利地实现导航信息表中记录的浏览、查询、修改、添加和删除, 而且能够在飞机航行的过程中, 通过对存放在数据库中的地面图像的检索, 得到有用的导航信息, 实现上文所述的导航功能。

此外, 测试还发现检索结果中显示的图像有时会与当前飞机拍摄图像不相似。这是由于导航数据表中存放的地面图像数目太少, 以至当前拍摄到的图像在表中不存在相似图像。这时, 得到的导航数据是不准确的。系统在设计时设置了一个阈值, 当相似度超过该阈值时, 系统会自动弹出对话框提示用户: “检索结果不准确, 请重新检索”。当然, 进一步解决这一问题的方法是在表中存放尽可能多的地面图像的样本。

## 5 结 论

本文根据图像导航原理, 设计并实现了一套飞机图像导航数据库系统。

由于图像导航方法不依靠外界信号, 因此该系统使用起来更加安全可靠。对于适用于图像导航的区域, 该系统将会提供精确的导航参数和信息, 对于图像导航失效的区域或时间, 可以利用其他辅助的

(下转第 152 页)

后的航向。计算方法如下:

根据上式迭代求解出的鱼雷转角  $\Psi_1$ , 即可得出鱼雷的一次搜索主航向。

左舷鱼雷一次搜索主航向:

$$\begin{cases} C_{T1} = C_W - \pi/4 + \phi_1, 0 \leq C_W - \pi/4 + \phi_1 < 2\pi \\ C_{T1} = C_W - \pi/4 + \phi_1 + 2\pi, C_W - \pi/4 + \phi_1 < 0 \\ C_{T1} = C_W - \pi/4 + \phi_1 - 2\pi, C_W - \pi/4 + \phi_1 \geq 2\pi \end{cases}$$

右舷鱼雷一次搜索主航向:

$$\begin{cases} C_{T1} = C_W + \pi/4 + \phi_1, 0 \leq C_W + \pi/4 + \phi_1 < 2\pi \\ C_{T1} = C_W + \pi/4 + \phi_1 + 2\pi, C_W + \pi/4 + \phi_1 < 0 \\ C_{T1} = C_W + \pi/4 + \phi_1 - 2\pi, C_W + \pi/4 + \phi_1 \geq 2\pi \end{cases}$$

### 3.2 自导开机距离

鱼雷自导开机距离指的是鱼雷从入水到自导开始主动搜索的航程。 $\theta = \text{tg}^{-1} \frac{EmR \sin |Q'_m|}{D' + EmR \cos Q'_m}$

鱼雷发现目标舷角理论值:

$$Q_a = Q'_m + \sin^{-1} [R_{\max} \cdot E / R \sin(\varphi_a + \theta)] - \theta$$

直航搜索段航程理论值 ( $|DI|$ ):

$$L_z = \frac{D' \sin Q'_m - R_{\max} \sin Q_a}{\sin(Q'_m + \varphi_a)}$$

鱼雷一次转角后距离相遇点的距离 ( $|DH|$ ):

$$S_t = D' \cdot \sin(|Q'_m|) / \sin(\varphi_a + |Q'_m|)$$

$$t_2 = S_t / V_t$$

自解算时刻至鱼雷到达相遇点的时间:

$$t = t_1 + t_2$$

提前点目标散布误差源:

距离最大误差

$$\Delta D = 3 \cdot \sigma_D = 0.06 D_{\text{声纳量程}}$$

式中  $\sigma_D = 2\% D_{\text{声纳量程}}$ 。

$$\Delta S_{VM} = 3 \cdot \sigma_{rm} \cdot t = 2.315 \cdot t$$

$$\Delta S_{CM} = \Delta S_{VM} = 2.315 \cdot t$$

目标散布误差在鱼雷航向上的投影

$$\Delta D_{MT} = \Delta D \cdot \cos(\varphi_a)$$

$$\Delta S_{VMT} = \Delta S_{VM} \cdot \cos(\varphi_a + Q'_m)$$

$$\Delta S_{CMT} = \Delta S_{CM} \cdot \sin(\varphi_a + Q'_m)$$

鱼雷航速误差引起的距离误差:

$$\Delta D_T = 3 \cdot \sigma_{VT} \cdot t$$

式中  $\sigma_{vt}$  为鱼雷航速误差

合成误差为:  $\Delta S = (\Delta D_T^2 + \Delta D_{MT}^2 + \Delta S_{CMT}^2 +$

$$\Delta S_{VMT}^2)^{1/2} = (\Delta D_T^2 + \Delta D_{MT}^2 + \Delta S_{VMT}^2)^{1/2}$$

$$D_H = \max\{D_S, S_{\text{最小开机距离}}\}$$

自导开机距离, 其中  $D_S = L_z - \Delta S$ 。

### 3.2 直航搜索距离

直航搜索距离指的是在始终没有发现目标的前

提下, 鱼雷自导开始主动搜索点, 至开始其他搜索方式点的航程。超过直航搜索距离后, 鱼雷转入环形搜索弹道<sup>[5]</sup>。

$$D_z = S_t + \Delta S - D_H$$

## 4 结束语

本文通过对鱼雷弹道的分析研究, 建立了真北平面坐标系的运动方程。综合考虑了各种延时差, 采用迭代的方法求解转角, 进而求出一次搜索主航向、自导开机距离及直航搜索距离。本文的研究成果为进一步深入研究作战使用问题打下了基础。

### 参考文献:

- [1] 崔绪生. 国外鱼雷技术进展综述[J]. 鱼雷技术, 2003, 11(1): 6-7.
- [2] 徐德明. 鱼雷运动的数字模型[H]. 水中兵器第二分册. 大连舰艇学院, 1984.
- [3] 孟庆玉. 鱼雷作战效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [4] 赵正业. 潜艇火控原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [5] 张宇文. 鱼雷弹道与弹道设计[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1999.

(上接第 148 页)

导航方法, 使飞机不至于失航或发生意外<sup>[6]</sup>。

对系统的测试结果表明了该系统能够为飞机的航行提供有价值的导航信息。此外, 该系统的实时性较强且易于操作。因此, 具有较高的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 包桂秋, 周兆英, 熊沈蜀, 等. 图像导航技术的发展和应[J]. 航空计测技术, 2003, 23(6): 1-4.
- [2] 干国强. 导航与定位: 现代战争的北斗星[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [3] 章毓晋. 基于内容的视觉信息检索[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [4] 原 奕. Visual C++ 实践与提高——数据库开发与工程应用篇[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [5] Zhu B, Ramsey M. Creating a Large-scale Content based Airphoto Image Digital Library[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2000, 9(1): 163-167.
- [6] Bao G Q, Xiong S S, Zhou Z Y. Vision-based Extraction of Flight Parameters for Micro Air Vehicle [C]// 2nd International Symposium on Instrumentation Science and Technology, 2003: 469-473.