

一种立体景象匹配技术及其应用

张素苓¹, 李竹林², 赵宗涛³

(1. 西安美术学院 基础部, 陕西 西安 710065;

2. 延安大学 计算机学院, 陕西 延安 716000;

3. 第二炮兵工程学院 计算机系, 陕西 西安 710025)

摘要:景象匹配是航天武器精确制导的一种重要方法, 大多采用二维图像进行匹配, 其效率较低。文中提出一种立体景象匹配技术及相应的算法, 在实验中得到了应用。主要做法是将三维图像离散成二维图像序列, 而后与基准图进行比较。分析证明, 大大提高了精度和效率。为此, 文中还涉及了相应算法, 易于编码和应用。应用表明, 该算法的实时性和适应性较好, 匹配时间能达到 0.14s, 正确匹配率达到 92.5%。有待研究的图像立体匹配方法很多, 诸如多基准图对离散化的系列实时图进行匹配, 以及定义、构造立体图像的数学模型并进行匹配等。

关键词:三维景象匹配; 精确制导; 技术应用

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)03-0221-04

A Technology of Stereo Scene Matching and Its Application

ZHANG Su-ling¹, LI Zhu-lin², ZHAO Zong-tao³

(1. Foundation Dept., Xi'an Academy of Fine Arts, Xi'an 710065, China;

2. Computer Dept. of Yan'an University, Yan'an 716000, China;

3. Computer Dept., The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: Scene matching is an important method of spaceflight precision guidance, often using 2 dimensions images to match, and its efficiency is lower. The paper provides a stereo scene matching technology and its relevant arithmetics, which has been applied in experiment. The main method is that dispersing 3D images into 2D, and then comparing with reference images. Analysis precision and efficiency are greatly improved. Therefore, the paper refer to relevant arithmetics, making coding and application easier. Applications proved that the arithmetics have better real-time and adaptability, matching time reaching to 0.14s, and exactitude matching rate gets to 92.5%. Many stereo matching methods are being studied, such as matching between multi-reference images and series real-time images, and definition and designing model about stereo images.

Key words: 3D scene matching; precision guidance; technology & application

1 景象匹配制导系统

景象匹配技术就是一种基于景象基准图数据的主式导航定位技术, 它利用飞行器装载的图像传感器在飞行过程中采集实时景象图, 与预先制备的基准景象图进行实时匹配计算而获得精确的导航定位信息^[1,2]。它模仿人的定位过程——记忆、观察、比较判断。

首先通过航测或卫星拍摄地面图像, 经处理后制

成基准图, 预先将匹配区域的基准图存入计算机中; 当飞机或导弹飞越匹配区时, 装载的成像传感器实时测量地面景象, 生成实时图, 经过预处理后, 由计算机将实时图与基准图进行比较判断, 求出实时图在基准图中的最大概率位置, 该位置称为匹配点; 由匹配点即可求出飞机或导弹的实时精确位置, 从而引导控制系统修正飞行轨迹以实现目标的精确打击。景象匹配系统作为一种高精度的辅助导航技术, 具有理论上与射程无关, 导航精度高、自主性强、成本较低的特点, 因此在导航系统中占有极其重要的地位, 已成功地应用于多种飞行器的导航或制导系统中。

景象匹配系统又称景象匹配区域相关制导系统, 是借助雷达或其他敏感器件对导弹正在飞越的地形进行扫描, 将产生的地形图像与所存储的基准场景进行

收稿日期: 2009-06-08; 修回日期: 2009-09-01

基金项目: 中国博士后基金(080431401)

作者简介: 张素苓(1979-), 女, 硕士, 研究方向为数据库与数据挖掘, 通信与系统工程; 李竹林, 博士, 研究方向为精确制导; 赵宗涛, 教授, 博导, 研究方向为计算机技术。

比较的自主式相关制导系统,其基本原理是预先把可测量的与时间无关的地形变量数值编成“数字化地图”,存储在弹载计算机中,在导弹飞行的末段,对导弹飞越地区的地形再次测量。若导弹飞行中所测得的“数字化地图”与原先测量编制好的“数字化地图”失配,计算机就会发出修正导弹飞行弹道的命令,使导弹按正确的弹道飞行,直到命中目标为止,作为一种辅助导航的方式,景象匹配可提高巡航导弹末制导的精度,景象匹配的效率高大大影响巡航导弹的攻击精度。

2 三维立体景象匹配

三维立体景象匹配与二维的相比较,三维景象匹配具有如下的优点:

①可以建立多尺度、多视点的三维影像特征库^[3],提高制导过程中匹配成功率。

②应用三维景象匹配,可建立三维战场地形地物的模型^[4],有利于战场的可视化指挥。

③通过立体匹配,容易获取地形地物的 DEM 数据。在已知基准模型数据的基础上,稍加处理即可。这就为未知的地形地物的自动测量提供了一种重要的方法。

④在运动目标检测中,可用立体序列图像寻找目标运动的轨迹,从而确认目标和目标的状态。

2.1 立体景象匹配制导流程

三维立体景象匹配^[5],对每一小方块地面图像,事先都从不同的角度或不同的时空拍摄形成其序列基准图,当实时图与其进行比较时,按照一定的顺序选择基准图进行匹配,当重叠区域(overlap)接近 100% 时,匹配成功。具体可以描述为:设实时图为 I_i , 3D 序列基准图为 $I_{i1}, I_{i2}, \dots, I_{im}$, 立体匹配需要满足条件 $I_i \in \bigvee_{j=1}^m I_{ij}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, l; m = 1, 2, \dots, k$ 。流程图如图 1 所示。

2.2 立体景象匹配算法设计

文中根据流程图所示的思想,提出了一种基于标志性区域的立体景象匹配算法(Stereo Scene Matching Algorithm, SCMA)^[6]。

以下归纳出表征上述思想的算法。

SCMA 立体景象匹配算法步骤:

Step1: 搜索窗口大小的确定。若基准图的大小为 $M \times N$, 则搜索窗口的大小定义为 $M' \times N'$, 其中 $M' = M + c, N' = N + d; c, d$ 为正整数,如均取 4。

Step2: 用区域检测算法,检测出实时图中的特征区域。

Step3: 计算实时图中搜索窗口内区域的特征矢

量:

$$\lambda' = \{\bar{I}_1, \varphi_1', \varphi_2', \varphi_3', \varphi_4', \varphi_5', \varphi_6', \varphi_7', V', f_{\text{ENT}}'\}$$

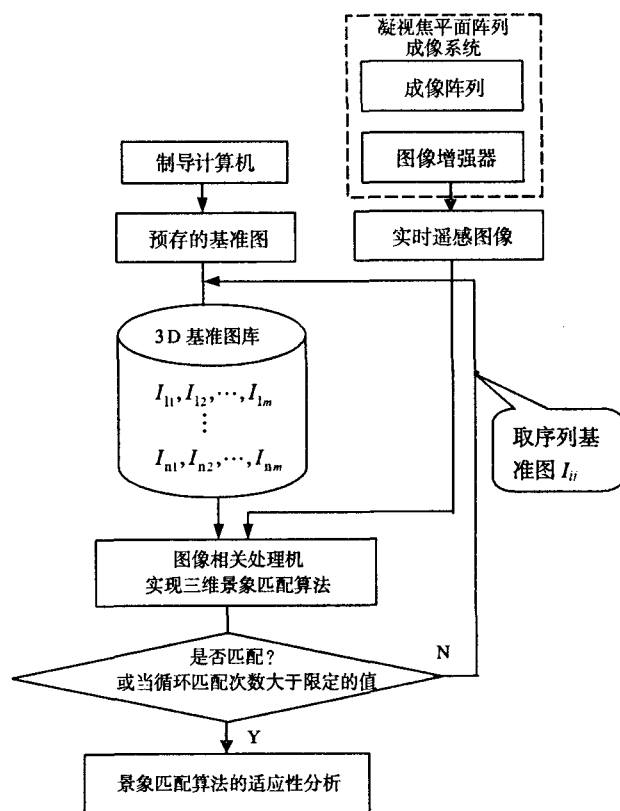


图 1 立体景象匹配制导流程图

Step4: 在实时图中寻找类似基准图中已标记的区域。具体方法是:

①用层次法匹配基准图 $I_{ij} (i \leq n, j \leq k)$ 和实时图的对应关系。

②计算的 Hausdorff 距离^[7]均满足 $H \leq H_T$ (H_T 为给定的阈值), 则认为是对应图像, 转 Step7; 否则, 转 Step5。

Step5: 若在实时图中没有搜索完毕, 则移动搜索窗口, 转 Step3; 否则转 Step6。

Step6: 若基准图序列不空, 则取下一张图像, 重新执行 Step3~Step5; 否则, 转 Step7。

Step7: 结束。

图 2 是模拟试验结果。

对图 2 中的示例图进行模拟实验, 基准图中的 5 个标志性区域, 如图 2(h) 所示, 它们属性值的实验数据见表 1, 即 $\{\bar{I}, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, V, f_{\text{ENT}}\}$, 表 2 和表 3 给出匹配结果。

在该实验结果中, 由于不变矩的值较大, 根据经验值, 给定的 Hausdorff 距离阈值为 35。从实验结果可以看出, 对该示例图, 算法的匹配效果较好。下面从算法的实时性、精度以及对环境的适应性进行分析讨论算法的性能。

表 1 基准图中标记区域的属性值

区域	\bar{I}	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	V	f_{ENT}
R_1^I	114.75	695.36	49349.6	802.72	241.993	-32519.73	-41249	157.806	165.82	-5.7403
R_2^I	91.82	195.36	29041.9	450.32	451.993	-33509.7	-49262	354.143	605.89	-12.398
R_3^I	150.45	804.32	69599.3	1098.13	998.786	-92352.1	-87643	769.882	512.37	-1.8460
R_4^I	93.09	214.87	29054.6	464.09	444.857	-33518.3	-49279	363.218	612.09	-11.759
R_5^I	119.85	679.75	49317.8	843.54	236.034	-32488.65	-41238	154.872	179.23	-6.0137

表 2 图像匹配成功率

目标区域	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
Hausdorff 距离值	31.87	29.51	18.93	29.63	25.09
实验次数	120	120	120	120	120
成功次数	98	101	111	102	106
成功率	81.67%	84.17%	92.50%	85.00%	88.33%

表 3 图像匹配时间

实验次数	50	70	90	110	150	200	250	300	350	400	500
成功次数	32	29	61	72	113	166	201	259	311	365	458
平均时间(ms)	242	563	681	148	577	397	142	487	513	557	365

标。一般情况下,前视景象匹配要求准确性 $\eta > 85\%$,时间 $t < 0.6s$,下面以此为参考,对文中算法进行分析。

文中的方法和传统二维景象匹配方法相比较,匹配的成功率提高了。通过监测软件统计表明,如图 3 (a) 所示。实验结果表明,正确的匹配率达到了 92.5%。但在匹配的时间比二维匹配方法长,如图 3 (b)所示。在示例实验中,其最佳匹配平均时间可达到 0.14s,最差为 0.68s。

剖析其原因在于:二维匹配方法一次匹配过程只用一张基准图和实时图匹配,而立体匹配是用同一目

标不同角度的序列基准图和实时图进行匹配。因而,前者匹配成功率低,执行时间快;后者匹配的成功率大大提高,执行时间至少大于前者,最佳情况是在匹配第一张序列基准图时便成功,最坏情况是在匹配到最后一张序列基准图才成功或未成功。

和给定的指标相比较,文中的算法已达到了实时性要求和准确度要求。当然,和实际情况相比,模拟实验的环境条件简单,距离实用阶段还有一定的差距。但对这方面的研究能提供一定的参考价值。

(2) 算法适应性分析

由于匹配区内景象特征变化对匹配性能影响最大,匹配区内景象特征的丰富程度及模式的相似性对匹配性能的影响次之,因而下面就可能发生的各种变

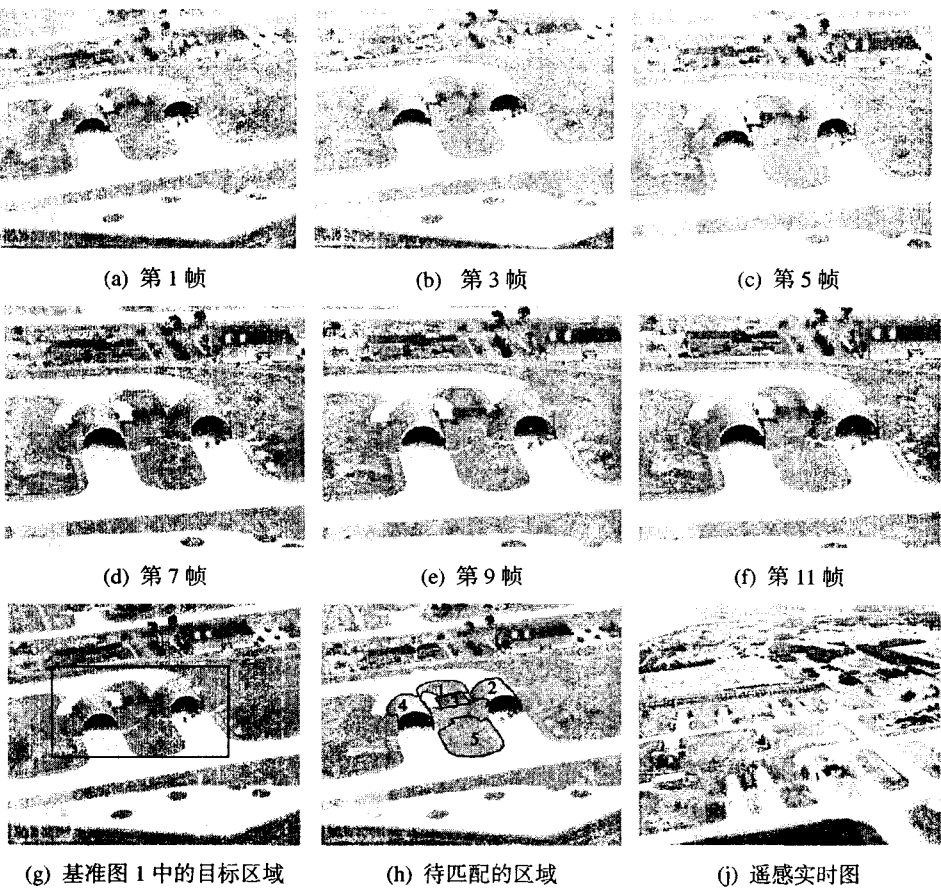


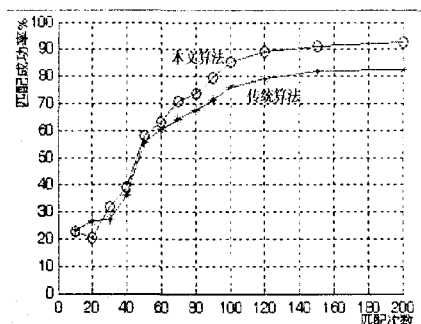
图 2 基准图序列和实时图

2.3 算法分析

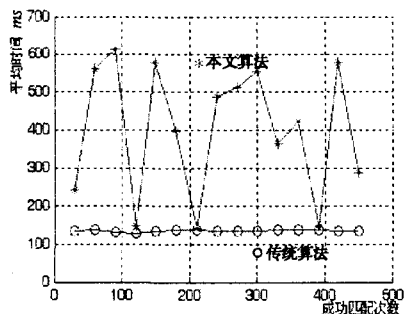
(1) 准确度和实时性分析。

算法的精度和实时性是景象匹配算法的重要指

换及噪声情况下分析算法的适应性能力。其中,基准图大小为 160×160 , 实时图大小为 640×640 。



(a) 匹配成功率



(b) 平均匹配时间

图3 文中算法和传统二维算法的匹配结果比较

3 结束语

综合上述分析,可以看出,文中的立体景象匹配算法总体的适应性良好。应用表明,该算法的实时性和

适应性较好,匹配时间能达到 0.14s,正确匹配率达到 92.5%。

有待研究的图像立体匹配方法很多,诸如多基准图对离散化的系列实时图进行匹配,以及定义、构造立体图像的数学模型并进行匹配等。

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像工程(中册). 图像分析[M]. 第2版. 北京:清华大学出版社,2005:41-50.
- [2] LI Zhu-lin, ZHAO Zong-tao, ZHANG Hong-lei, et al. Binocular Stereo Matching Algorithm for Wide Baseline Based on Stable Extremal Regions[C]//FSKD'07(The 4th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery). Haikou, China: IEEE, 2007.
- [3] 曹菲. 景象匹配制导基准图选定准则研究[D]. 西安:第二炮兵工程学院,2006:71-73.
- [4] 詹总谦, 张祖勋. 基于多基线立体匹配技术的三维重建[J]. 地理空间信息, 2004, 6(2): 17-19.
- [5] 赵锋伟. 景象匹配算法、性能评估及其应用[D]. 长沙:国防科技大学, 2002: 34-36.
- [6] Stefano L D, Marchionni M, Mattocci S. A fast area-based stereo matching algorithm[J]. Image and Vision Computing, 2004, 22: 983-1005.
- [7] LI Zhu-lin, ZHAO Zong-tao, ZHANG Gen-yao, et al. A Stereo Matching Implementation Method for Uncalibrated Color Image Based on SCILab [C]//OSSS-EA'06. Hangzhou, China: [s. n.], 2006: 189-195.

(上接第 220 页)

现过程中,主要的操作步骤:

①原始医学数据的读取:读入医学图像的数据(人头,主要是大脑),关键是实现数据头与数据内容的对应;

②浏览、绘制功能的实现:利用 VC++ 6.0 与 OpenGL 实现了三维空间内三个方向的观察、绘制功能,并且利用光线投射(Ray Casting)算法实现图像的绘制。

3 结束语

利用 VC++ 6.0 以及 OpenGL 实现了光线投射算法,实现从 CT 扫描医学图像中读取数据并进行绘制,绘制图像质量比较高,能够取得比较满意的结果。利用光线投射算法实现的过程中,最大的困难之一是每次绘制的过程中,需要重新进行大量的计算。所以绘制速度与图像质量很难同步,因此后续工作中需要进行算法的优化。

参考文献:

- [1] Levoy M. Volume Rendering by Adaptive Refinement[R]. [s. l.]: UNC, 1988.
- [2] Levoy M. Efficient Ray Tracing of Volume Data[J]. ACM Transactions on Graphics, 1990, 9(3): 245-261.
- [3] 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [4] Drebin R A, Carpenter L, Hanrahan P. Volume Rendering[J]. Computer Graphics, 1988, 22(4): 65-74.
- [5] Angel E. OpenGL 程序设计指南[M]. 第2版. 李桂琼, 张文祥译. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [6] 郭涛, 平西建. 基于 OpenGL 的三维地形可视化技术研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(1): 193-195.
- [7] Lims, Shinbs. Bi Directional Distance Map for Efficient Volume Ray Casting [C]//ISCIS, International Symposium on Computer and Information Sciences. Istanbul: [s. n.], 2006: 334-342.
- [8] 唐泽圣, 袁骏. 用图象空间为序的体绘制技术显示三维数据场[J]. 计算机学报, 1994, 17(11): 801-808.