

文章编号: 1001 - 2486(2011)04 - 0128 - 06

## 惯导信息辅助的匹配模板校正方法\*

闫宇壮, 黄新生, 郑永斌, 徐婉莹

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**面向飞行器对地面目标的匹配系统应用,提出一种惯导信息辅助的模板校正方法。根据目标位置以及摄像机位姿信息,建立目标透视成像模型以及不同摄像机位姿下的模板校正方程;通过分析目标任意点与形心的景深关系,对校正方程进行转化并给出完整的模板校正算法。最后通过基于视景仿真技术搭建的目标模拟平台,截取不同摄像机位姿下的目标成像,并与本文校正结果进行对比,结果表明校正后的模板图与实时图在尺度、旋转、视角具有良好的一致性。使用校正后的模板做目标匹配可以有效地抑制漂移,提升系统的匹配性能。

**关键词:**图像校正;透视投影;相关匹配;惯导辅助

中图分类号:TP391.4 文献标识码:A

## INS-aided Template Correction Method for Matching

YAN Yu-zhuang, HUANG Xin-sheng, ZHENG Yong-bin, XU Wan-ying

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** For the application to the ground target matching system of the aircraft, an INS-aided (Inertial Navigation System) template correction method is proposed. Firstly, the perspective projection model of the ground target was established according to the position of target and the pose (position and attitude) of camera. Then, the correction equations between the templates were deduced according to their pose parameters. By analyzing the relationship of the depth of field between each point and the centric of the target, the correction equations were transformed to an easier solved form and a complete correction algorithm was proposed. In the experiment, a virtual target simulation platform was employed to get the real scenes corresponding to the INS information. In comparing the corrected template with the real-time scene, it is found that they are apparently consistent in scale, rotation, perspective, etc. Tracking with the corrected template can avoid the template drift, and improve the performances significantly.

**Key words:** image correction; perspective projection; correlated tracking; INS-aided

基于相关匹配的目标跟踪方法无需对图像进行分割、特征提取等处理,且抗干扰能力强,被广泛应用于各种飞行器诸如无人机、电视制导武器等的模板匹配系统中<sup>[1]</sup>。目标模板作为相关匹配的测量基准,维系了整个图像匹配的动态过程。由于相关匹配仅对平移具有适应性(对小范围的旋转、尺度、视角也具有一定适应性,但定位精度无法保证),当实时图(实时目标成像)中目标尺度、旋转、视角等发生变化时,必须通过不断更新模板来实现对目标的跟踪。然而,载机在机动时所产生的成像畸变势必导致匹配误差,并且该误差伴随模板更新而不断积累,最终导致跟踪点漂移。文献[2]给出将当前帧的最优匹配区域与原模板图进行融合来更新模板图的方法,例如相关系数加权法等,这种方法对漂移有一定的抑制作

用,但无法从本质上消除畸变所引起的跟踪误差。文献[1,3]通过采用原始目标模板对存在漂移的跟踪结果进行二次匹配校正,能有效抑制跟踪漂移,但由于二次匹配所用的 Lucas-Kanade 算法耗时较多,实时性难以保证。文献[4]通过引入目标检测来抑制跟踪误差,但由于目标检测本身是一个较难的问题,该法难以在工程中得到应用。

目前大多数飞行器的目标匹配系统均配置有捷联惯导系统,可提供较精确的摄像机位姿信息,如果能够利用此信息对原始目标模板进行校正,使得校正后的模板在尺度、旋转、视角等方面与待匹配图像(实时图)保持一致,就可以有效地消除匹配误差<sup>[5]</sup>(本文所研究的目标主要指地面静态建筑物,如机场跑道等)。并且,采用先校正后匹配的方法进行相关匹配,无需进行模板更新,避免

\* 收稿日期:2011-01-18

作者简介:闫宇壮(1982—),男,博士生。

了误差积累问题,因而从本质上解决了跟踪漂移的问题。文献[6]利用惯导信息实现透视投影图像到弱透视投影的校正,进而实现对地面平行线特征的检测。受此启发,本文研究利用惯导信息对匹配模板进行校正的方法,通过建立地面目标的透视投影模型,推导不同摄像机位姿下的目标成像转换关系,以此来校正原始模板,得到与实时拍摄的目标场景具有相同尺度、旋转、视角参数的匹配用模板图。使用校正后的模板做跟踪,可以有效地减小匹配误差,达到抑制跟踪漂移的目的。

### 1 目标透视投影模型

为了得到地面目标点  $p_i$  (大地坐标系下的经纬高坐标) 在当前成像系统中的像素坐标  $(u_i, v_i)$ , 建立一系列坐标系, 如图 1 所示。惯导系统与摄像机固联, 惯导测量的位姿信息即摄像机的位姿信息。摄像机坐标系的原点取摄像机的光心  $O_c$  处, 其  $x_c, y_c, z_c$  轴分别为滚动轴、偏航轴和俯仰轴。世界坐标系到摄像机坐标系的转换顺序为 2-3-1, 相应的欧拉角为偏航角、俯仰角和滚动角。成像平面坐标系的原点为光轴与成像平面的交点  $O$ ; 其  $y, z$  轴分别平行于摄像机坐标系的  $y_c, z_c$  轴。成像平面坐标系原点  $O$  对应于图像坐标系的  $(u_0, v_0)$ 。图 1 中, 经纬高表示的  $p_i$  点在像平面  $I$  中的投影  $p_{ci}$  可由透视投影的小孔成像模型求得。

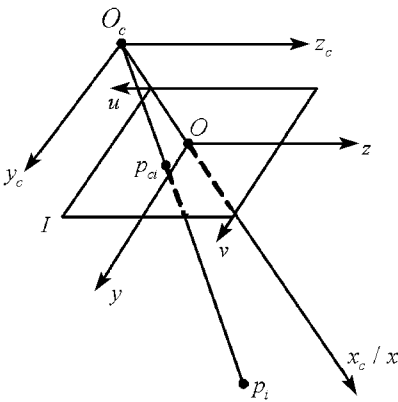


图 1  $p_i$  的透视投影示意图

Fig. 1 Perspective projection model of  $p_i$

设目标的位置信息  $p_i = (\lambda_i, L_i, h_i)$ , 惯导给出的当前摄像头的位姿信息为  $(p, \omega)$ , 其中  $p = (\lambda, L, h)$  (经度、纬度、高度),  $\omega = (\theta, \varphi, \gamma)$  (俯仰角、偏航角、滚动角), 根据摄像机针孔成像模型以及地心系到图像坐标系之间的坐标变换关系, 可得目标点  $p_i$  在当前实时图  $S$  中的成像位置  $(u_i, v_i)$ :

$$\begin{bmatrix} 1 \\ u_i \\ v_i \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta x_i} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -f_x & 0 \\ 0 & 0 & f_y \end{bmatrix} \cdot R_c^e(\omega) \cdot R_o^e(p) \cdot [E(p_i) - E(p)] + \begin{bmatrix} 0 \\ u_o \\ v_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\triangleq \frac{R(p, \omega) \cdot [E(p_i) - E(p)]}{\Delta x_i} + \begin{bmatrix} 0 \\ u_o \\ v_o \end{bmatrix}$$

其中,  $f_x = f/dx, f_y = f/dy$ , 为预先标定的摄像机内部参数,  $f$  为摄像机焦距,  $dx, dy$  分别为  $x$  轴、 $y$  轴上的像素间距尺寸。  $R_o^e(p)$  为地心系到地理系的变换矩阵, 见式(2);  $R_c^e(\omega)$  为地理系到摄像机系的变换矩阵, 见式(3)。  $E(p)$  为摄像机对应的地心系坐标,  $E(p_i)$  为目标  $p_i$  对应的地心系坐标, 可通过式(4)求得;  $(u_o, v_o)$  表示成像平面坐标系的原点  $O$  在图像坐标系的坐标。  $\Delta x_i$  为目标  $p_i$  所对应的景深, 即目标在摄像机坐标系  $x$  轴的投影, 如式(5)所示。

式(2)~(4)中,  $R_W, R_N$  分别为  $p$  点所对应的卯酉圈半径和子午圈半径。

$$R_o^e(p) = \begin{bmatrix} -\sin L \cos \lambda & -\sin L \sin \lambda & \cos L \\ \cos L \cos \lambda & \cos L \sin \lambda & \sin L \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_c^e(\omega) = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \varphi & \sin \theta & -\cos \theta \sin \varphi \\ \sin \gamma \sin \varphi - \cos \gamma \sin \theta \cos \varphi & \cos \gamma \cos \theta & \cos \gamma \sin \theta \sin \varphi + \sin \gamma \cos \varphi \\ -\sin \gamma \sin \theta \cos \varphi + \cos \gamma \sin \varphi & -\sin \gamma \cos \theta & \cos \gamma \cos \varphi - \sin \gamma \sin \theta \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$E(p) = \begin{bmatrix} E_x(p) \\ E_y(p) \\ E_z(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R_W(L) + h) \cos L \cos \lambda \\ (R_W(L) + h) \cos L \sin \lambda \\ (R_N(L) + h) \sin L \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{bmatrix} = R(p, \omega) \cdot [E(p_i) - E(p)] \quad (5)$$

由式(1)可以看出, 在摄像机一定的情况下 (内部参数确定), 目标点  $p_i$  的透视投影结果由  $\Delta x_i$  和  $R(p, \omega)$  决定, 前者决定目标成像的局部空间分辨率 (透视投影关键因子), 后者决定目标成像角度 (仿射投影)。如果目标尺寸与目标形心景深相差 10 倍以上, 即满足文献[7]给出仿射近似条件, 则目标任意点景深均用目标形心景深近似, 透视投影过程被简化为仿射投影过程。

## 2 惯导信息辅助的匹配模板校正

本节根据式(1),研究透视投影模型约束下的多视点模板校正问题。首先,建立了不同摄像机位姿下的模板转换模型。该模型求解的关键在于对目标不同位置的景深处理上,为此本文通过分析目标任意点与目标形心的景深关系,给出了一种易于工程实现的快速模板校正算法。

在本文所研究的匹配系统中,由于摄像机距离目标较远,且视线角也较大,因此,假设目标位于同一水平面内,即目标处处高度相同。

### 2.1 不同摄像机位姿下的模板转换关系

已知目标形心坐标  $p_0$  (经纬高)、模板图  $T_T$  及其对应时刻  $T$  (“对应时刻”是指用于截取模板图的实时图所对应的成像曝光时刻)下的摄像机位姿信息  $(p_T, \omega_T)$ , 求取任意摄像机位姿  $(p_i, \omega_i)$  情况下的跟踪模板  $T_i$  [8]。设模板图  $T_T$  的  $(u_{T_i}, v_{T_i})$  ( $u_{T_i} = 1, \dots, M_T, v_{T_i} = 1, \dots, N_T$ ) 点校正后变为  $T_i$  的  $(u_{i_i}, v_{i_i})$  ( $u_{i_i} = 1, \dots, M_i, v_{i_i} = 1, \dots, N_i$ ) 点,二者均对应于地面目标的  $p_i = (\lambda_i, L_i, h_i)$  点,如图2所示。且模板图  $T_T$  以及匹配用模板图  $T_i$  的中心点均对应到地面目标形心  $p_0 = (\lambda_0, L_0, h_0)$ 。根据式(1)可得

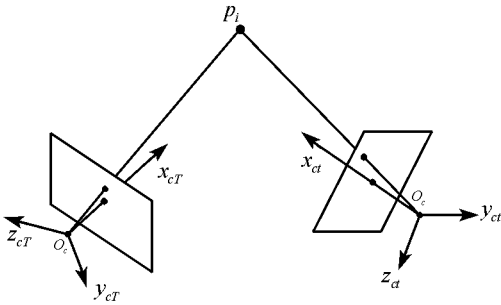


图2 同一目标  $p_i$  在不同摄像机位姿下的成像  
Fig.2 Imaging of  $p_i$  from camera of different poses

$$\begin{bmatrix} 1 \\ u_{T_i} \\ v_{T_i} \end{bmatrix} = \frac{R(p_T, \omega_T) \cdot [E(p_i) - E(p_T)]}{\Delta x_{T_i}} + \begin{bmatrix} 0 \\ u_o \\ v_o \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ u_{TA} \\ v_{TA} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中  $[0 \ u_{TA} \ v_{TA}]^T$  为平移向量,它使得目标形心  $p_0 = (\lambda_0, L_0, h_0)$  投影到模板图中心  $(u_{TA}, v_{TA})$ ,将  $p_0$  代入式(6)可得

$$\begin{bmatrix} 1 \\ M_T/2 \\ N_T/2 \end{bmatrix} = \frac{R(p_T, \omega_T) \cdot [E(p_0) - E(p_T)]}{\Delta x_{T_0}} + \begin{bmatrix} 0 \\ u_o \\ v_o \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ u_{TA} \\ v_{TA} \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中  $\Delta x_{T_0}$  为目标形心在  $T$  时刻所对应的景深。合并式(6)~(7)可得

$$\begin{bmatrix} 1 \\ u_{T_i} \\ v_{T_i} \end{bmatrix} = \frac{R(p_T, \omega_T) \cdot [E(p_i) - E(p_T)]}{\Delta x_{T_i}} - \frac{R(p_T, \omega_T) \cdot [E(p_0) - E(p_T)]}{\Delta x_{T_0}} + \begin{bmatrix} 1 \\ M_T/2 \\ N_T/2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

同理可得  $T_n$  上  $(u_{i_i}, v_{i_i})$  点与  $p_i$  点的对应关系:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ u_{i_i} \\ v_{i_i} \end{bmatrix} = \frac{R(p_i, \omega_i) \cdot [E(p_i) - E(p_i)]}{\Delta x_{i_i}} - \frac{R(p_i, \omega_i) \cdot [E(p_0) - E(p_i)]}{\Delta x_{i_0}} + \begin{bmatrix} 1 \\ M_i/2 \\ N_i/2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

变换后的模板图大小为  $M_i \times N_i$ ,以包括整个目标区域为标准。

由于目标处处高度相同,即  $h_i = h_0$ ,且  $\Delta x_{T_i}, \Delta x_{i_i}$  可用  $(\lambda_i, L_i)$  线性表出,式(8)、式(9)实际上包含4个方程、4个未知数  $(u_{T_i}, v_{T_i}, \lambda_i, L_i)$ 。根据向后映射法,可通过式(9)求解出  $(u_{i_i}, v_{i_i})$  对应的目标点  $p_i$ ,然后代入式(8),得到与其对应的原模板图位置  $(u_{T_i}, v_{T_i})$ ,最后在  $T$  上通过一定的插值算法即可求得  $(u_{T_i}, v_{T_i})$  的灰度值,即  $(u_{i_i}, v_{i_i})$  对应的灰度值。然而直接对式(9)进行求解比较复杂( $\Delta x_{T_i}, \Delta x_{i_i}$  引入的非线性因子),并且需要将世界坐标系坐标转换为大地坐标系坐标,计算量进一步增加,难以满足目标跟踪的实时性需求。显然,模型的求解关键在于对不同目标点的景深处理上,下面对任意摄像机位姿下的目标景深  $\Delta x_{i_i}$  进行深入分析。

### 2.2 任意目标点与形心的景深关系

由2.1节假设,目标点均位于同一平面,因此在摄像机位姿一定的情况下,目标任意点的景深必然与形心景深存在确定性关系。为便于分析,

首先假设滚动角为0。当滚动角不为0时,应先去掉滚动角的影响。由于相机绕  $x_c$  轴滚动  $\gamma$  角(右手准则),则对应的成像逆时针旋转  $\gamma$  角,因此将图像顺时针旋转  $\gamma$  角可得无滚动影响下的成像结果。图像顺时针变换的转换矩阵为

$$M_3(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma \\ -\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \quad (10)$$

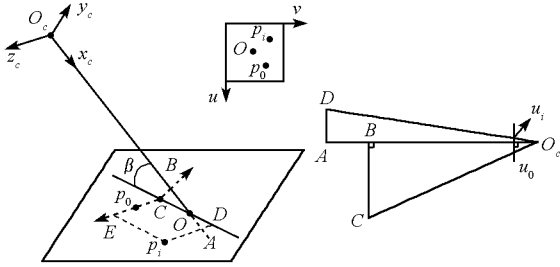


图3 目标任意点  $p_i$  与形心  $p_0$  的景深几何关系

Fig.3 The geometric relationship of the depth of field between  $p_i$  and the centroid  $p_0$

图3为目标上任意一点  $p_i$  与目标形心  $p_0$  的景深关系示意图,二者位于同一水平面内。 $O_c - x_c y_c z_c$  为当前时刻的摄像机坐标系,光轴  $O_c - x_c$  与目标平面夹角为  $\beta$ ,并交于点  $O$ 。由于滚动角为0,图中  $O_c z_c \parallel CE \parallel p_i D$ ,  $O_c y_c \parallel CB \parallel AD$ 。显然,  $p_0$  景深与  $B$  点景深相等,表示为  $\Delta x_0 = \|O_c B\|$ ,  $p_i$  点景深与  $D$  点景深相等,表示为  $\Delta x_i = \|O_c B\| + \|AB\|$ 。下面根据透视投影变换以及图3所示的几何关系推导  $\Delta x_i$  与  $\Delta x_0$  的关系。令  $\Delta y_0 = \|CB\|$ ,设光轴与目标水平面的交点  $O$  的景深为  $\Delta x_o$ ,则

$$\Delta y_0 = (\Delta x_o - \Delta x_0) \tan\beta \quad (11)$$

另外,在相机坐标系中,根据透视投影中的相似三角形关系:

$$\frac{\Delta y_0}{\Delta x_0} = \frac{(u_o - u_o) \cdot dx}{f} = \frac{(u_o - u_o)}{f_x} \quad (12)$$

综合式(11)~(12)可得  $\Delta x_0$  与  $\Delta x_o$  的关系:

$$\Delta x_0 = \frac{f_x \cdot \Delta x_o}{f_x - (u_o - u_o) \cot\beta} \quad (13)$$

同理可得  $\Delta x_i$  与  $\Delta x_o$  的关系:

$$\Delta x_i = \frac{f_x \cdot \Delta x_o}{f_x - (u_o - u_i) \cot\beta} \quad (14)$$

综合式(13)~(14)可得

$$\Delta x_i = \frac{f_x - (u_o - u_o) \cot\beta}{f_x - (u_o - u_i) \cot\beta} \Delta x_0 \quad (15)$$

以上公式中,  $u_0$  为目标形心  $p_0$  的成像行坐标,可通过式(1)求得;  $u_o$  为成像中心坐标;  $u_i$  为目标点  $p_i$  的成像行坐标。由于惯导数据给出的

欧拉角对应于坐标系转换的2-3-1顺序,因此俯仰角  $\theta$  即为光轴与目标平面的夹角  $\beta$ 。式(15)即为目标任意一点与形心的景深关系式,代入式(8)、式(9)可得用形心景深统一表示的目标成像模型:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ u_{Ti} \\ v_{Ti} \end{bmatrix} = \frac{f_x - (u_o - u_{Ti}) \cot\theta_T}{f_x - (u_o - u_{T0}) \cot\theta_T} \begin{bmatrix} 1 \\ M_T/2 \\ N_T/2 \end{bmatrix} \frac{R(p_T, \omega_T) \cdot [E(p_i) - E(p_T)]}{\Delta x_{T0}} - \frac{R(p_T, \omega_T) \cdot [E(p_0) - E(p_T)]}{\Delta x_{T0}} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ u_{Ti} \\ v_{Ti} \end{bmatrix} = \frac{f_x - (u_o - u_{Ti}) \cot\theta_i}{f_x - (u_o - u_o) \cot\theta_i} \begin{bmatrix} 1 \\ M_i/2 \\ N_i/2 \end{bmatrix} \frac{R(p_i, \omega_i) \cdot [E(p_i) - E(p_i)]}{\Delta x_{i0}} - \frac{R(p_i, \omega_i) \cdot [E(p_0) - E(p_i)]}{\Delta x_{i0}} \quad (17)$$

从该式也可以看出,弹体俯仰、偏航不仅对目标成像位置产生影响,而且对成像局部分辨率有一定影响。通过式(16)、式(17),消去  $E(p_i)$  便可得  $(u_i, v_i)$  与  $(u_{Ti}, v_{Ti})$  之间的解析关系。由于计算过程复杂,下面给出一种便于实现的数值计算方法。

### 2.3 惯导信息辅助的目标模板校正算法

通过以上分析,设计如图4所示的模板校正思路。 $t$ 时刻的模板像素值可以通过求取与其对应的  $T$ 时刻的模板像素值而得到,二者均对应于式(16)、式(17)所示的地面目标  $E(p_i)$ 。完整的模板校正算法如下:

Step 1 设  $t$ 时刻的模板图为  $T_t$ ,取任意一点  $(u_i, v_i)$  ( $u_i = 1, \dots, M_t, v_i = 1, \dots, N_t$ ),实施 Step 2~5,直到遍历  $T_t$  的所有点。

Step 2 根据式(10),以  $(M_t/2, N_t/2)$  为中心,对坐标点  $(u_i, v_i)$  顺时针旋转  $\gamma_i$  角,得到无滚动情况下的模板图坐标  $(u'_i, v'_i)$ 。

Step 3 根据式(5)求得目标形心景深  $\Delta x_{i0}$ ,代入式(17)可得无滚动情况下的像素坐标

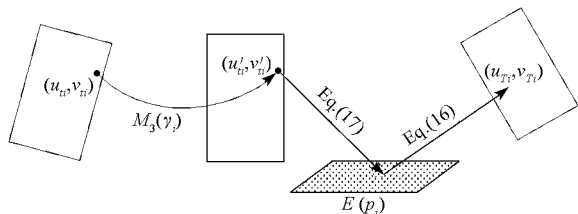


图4 本文模板校正算法的像素填充原理示意图  
Fig.4 The reverse mapping principle of the proposed template correction algorithm

$(u'_i, v'_i)$ , 即  $T_i(u_i, v_i)$  所对应的地面目标点  $E(p_i)$ 。约定模板图中心点对应于目标形心, 因此式(15)中的  $u_0 = M_i/2$ 。此外, 由于在 Step 2 中已去掉滚动角的影响, 因此, 式(17)中  $\gamma_i = 0$ , 而其余参数不变。

Step 4 根据式(5)以及摄像机在  $T$  时刻的位姿信息可以求得  $E(p_i)$  在该时刻对应的景深, 代入式(16)即可得到  $p_i$  点在模板图  $T_T$  中的投影  $(u_T, v_T)$ 。

Step 5 根据精度需求, 采用一次、二次或高阶线性插值算法求取图像坐标  $(u_T, v_T)$  在  $T_T$  中对应的灰度值, 并赋予  $T_i(u_i, v_i)$ 。

### 3 仿真实验验证

为了获得不同摄像机位姿下的目标场景图像, 使用 Vega 视景仿真技术构建目标模拟器来模拟摄像机在不同位姿下所拍摄的真实目标场景。模拟器利用 3D 建模技术建立目标场景模型, 其场景贴图通过 Google Earth 获得。它可以根据仿真生成的惯导位姿数据以及预置的视景参数在显示器上显示当前位姿下所拍摄的真实场景。在此系统上, 我们分别进行了两组实验: 首先, 输入  $T1$  ( $T2$ ) 时刻的惯导数据, 并从场景中截取目标模板图; 输入任意  $i$  ( $i = 1, 2$ ) 时刻的惯导数据(新的位姿), 通过本文所给出的算法对  $T1$  ( $T2$ ) 时刻的模板图进行校正。校正后的模板图与  $i$  时刻的实时场景进行相关匹配; 通过对比匹配结果(实时子图)与校正前后的模板图区别, 观察校正效果。由于本文方法适应于任意相对摄像机位姿情况下的模板校正, 因而各时刻的测试惯导数据可以任意选取。为了获得最为直观的校正效果, 随机选取了一些位姿变化较大的数据, 见表 1。

表 1 实验所用的惯导位姿数据

Tab.1 The pose parameters of the INS used in the experiments

	$\lambda(^{\circ})$	$L(^{\circ})$	$h(m)$	$\theta(^{\circ})$	$\varphi(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$
$p_0$	100.5333	40.7233	1060	—	—	—
$T1$	100.5333	40.7233	3500	-90	0	0
$t1$	100.5333	40.7133	2500	-50	10	45
$t2$	100.5333	40.7133	1500	-25	3	130
$T2$	100.5226	40.7233	3500	-75	-90	-30
$t3$	100.5226	40.7233	2500	-59	-90	120
$t4$	100.5226	40.7233	1500	-25	-90	-40

实验中目标模拟器中虚拟摄像机的视场设置为  $28^{\circ}$ , 经简单计算可知虚拟摄像机的内部参数  $f_x = f_y = 2470$ 。图 5 为四组不同摄像机位姿下的校正效果比较。其中, 第 1 列为  $T_i$  时刻的模板图  $T_{Ti}$  ( $256 \times 256$ ); 第 2 列为根据  $t_i$  时刻的惯导信息对原模板图进行校正后的结果; 第 3 列为真实目标场景子图, 由于原场景图像较大, 这里只给出匹配所得到的目标图像; 第 4 列为校正后的模板图

与真实目标子图的绝对差值, 图像越黑表示差值越小。从这 4 组校正实验效果来看, 校正后的模板图  $T_{Ti}$  与实时目标截图  $S_{ti}$  在尺度、旋转、视角等因素上已经达到一致, 其差值图像(见图 5 第 4 列)表明二者基本上达到重合。此外, 在与实时图进行匹配时, 校正后的模板图能够达到 0.9 以上的互相关值(取值范围:  $-1 \sim 1$ )。

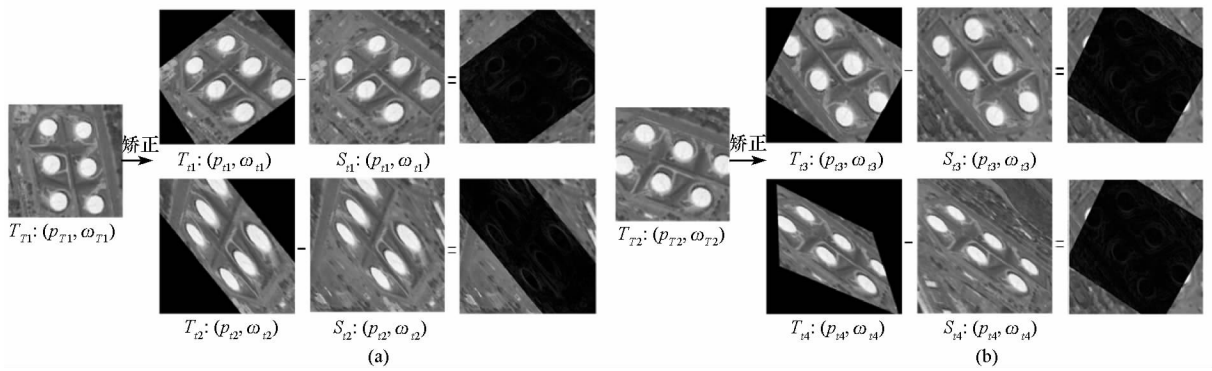


图5 两组实验结果。每组第1列为位姿  $(p_{\pi}, \omega_{\pi})$  时的原目标模板图;

第2列为根据实时位姿  $(p_{i1}, \omega_{i1})$  对原模板图进行校正后的结果;

第3列为位姿  $(p_{i1}, \omega_{i1})$  下的实时场景目标子图;第4列为前两列的绝对差

Fig.5 The experimental results. In each group: the 1<sup>st</sup> column is the original template in the pose of  $(p_{\pi}, \omega_{\pi})$ ;

the 2<sup>nd</sup> column is the corrected template according to the real-time pose of  $(p_{i1}, \omega_{i1})$ ;

the 3<sup>rd</sup> column is the sub-image cut from the real-time scene in the pose of  $(p_{i1}, \omega_{i1})$ ;

the last column is the absolute difference of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> columns

## 4 结论

本文提出一种惯导信息辅助的目标匹配模板校正方法,该方法可以根据摄像机位姿的变化来求取与当前实时场景图具有相同尺度、旋转、视角等的跟踪用模板,算法适应于任意静止地面目标的多视点、多视角图像校正应用。总结本文方法的特点以及跟踪应用效果如下:

(1)该方法只需预知目标形心坐标、不同视角下的摄像机位姿即可实施模板校正,算法简单,校正精度高且计算量小。

(2)以校正后的模板图做匹配,相关曲面整体上会有一定幅度的下降(变换后的模板图信息损失越多,相关曲面下降越大),然而由于校正前后的模板图中心对应的目标形心不变,相关曲面极值(目标定位)不会发生漂移,因此使用校正后的模板做跟踪可以有效地抑制传统方法所固有的跟踪漂移现象。

(3)当目标景深变化较大,即模板图尺度变化较大时,校正后的模板图逐渐模糊,相关曲面主峰差异逐渐变小,因此有必要适时地对原跟踪模板进行更新。方法是只需将实时图中的最佳匹配区域作为新的跟踪模板,同时更新其所对应的惯导信息,以便下一次校正时使用。

(4)本文方法可以有效地解决由于云层短时遮挡等复杂情况下所引起的跟踪失配问题。由于

遮挡或摄像机载体机动等情况下,目标存在长时间离开视野的情况,此时摄像机相对位姿变化较大,旧的跟踪模板相对实时图已有较大尺度、旋转、视角等形变情况,以此来做相关跟踪势必失败,而使用本文所研究的模板校正方法可以获得任意视角变换后的新的跟踪模板图,此模板与实时图保持尺度、旋转、视角等参数一致。

## 参考文献:

- [1] 林喆,姚郁,递晓光,等.捷联成像导引头相关跟踪算法研究[J].兵工学报,2009.30(5):572-579.
- [2] 朱永松,国澄明.基于相关系数的相关跟踪算法研究[J].中国图像图形学报,2004.9(8):963-967.
- [3] Matthews I, Ishikawa T, Baker S. The Template Update Problem[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004. 26(6): 810-815.
- [4] 周晓,任仙怡,张桂林,等.仿射模型目标跟踪中的一种模板修正策略[J].中国图像图形学报,2002.7(A)(11):1171-1175.
- [5] 刘颖,吴美平,谢红卫.地磁匹配算法研究框架和组合匹配策略[J].国防科技大学学报,2010.32(6):171-176.
- [6] 岳冬雪,黄新生,谭红力.基于仿射投影的弹载图像几何失真校正方法[J].中国图像图形学报,2009.14(4):663-668.
- [7] 张奇峰,张立明.一种新的统计仿射不变量[J].计算机工程与科学,2004.26(9):35-38.
- [8] Hartley R, Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision[M]. 2nd Edition, Cambridge University Press, 2003.