

文章编号 1004-924X(2012)10-2293-07

视觉测量中可纠错的编码点识别及提取

杨 剑*, 韩建栋, 秦品乐

- (1. 中北大学 电子与计算机科学技术学院, 山西 太原 030051;
2. 山西大学 计算机与信息技术学院, 山西 太原 030006;
3. 计算智能与中文信息处理教育部重点实验室, 山西 太原 030006)

摘要:针对视觉测量中经常发生椭圆点检测错误,影响三维场景的匹配,甚至影响三维重建的问题,设计了一种可纠错的编码点方案。将信息论中的信道可纠错编码方法用于编码点的设计,基于线性分组码将编码分为信息元和校验元,从而设计了生成矩阵和校验矩阵。在检测出错误时利用伴随式矩阵进行纠错,最后进行解码实现三维匹配。分析了编码点的解算及提取,从而大大提高了编码点的抗噪性。该方法不仅具有高的抗噪性能,同时可进一步拓展空间并且具有较好的实用价值。实验表明:文中设计的编码点方案完全可行,具有易于识别、可自行纠错的优点,在发生 1 位编码点错误的情况下可以实现 100%纠错。

关键词:视觉测量;编码点;纠错编码;编码点提取;编码点识别

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20122010.2293

Correcting error on recognition of coded points for photogrammetry

YANG Jian^{1*}, HAN Jian-dong², QIN Ping-le¹

- (1. School of Electronic and Computer Science & Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China;
 2. School of Computer and Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;
 3. Key Laboratory of the Ministry of Education for Computational Intelligence and Chinese Information Processing, Taiyuan 030006, China)
- * Corresponding author, E-mail: yangjian9770@126.com

Abstract: As the mistakes of detecting ellipse points can cause the three-dimensional data matching error, even the measuring task failure in a photogrammetric task, this paper proposes a new correcting scheme for error coded points. The scheme uses the channel code of information theory to design the code points, then divides the codes into information and verification elements based on the linear block codes, so that the generator matrix and the parity-check matrix are implemented. When errors happened, an adjoint matrix is used to correct the mistake. Finally, an encoding is performed to realize the three dimensional match. The proposed method improves the anti-noise property of code points greatly, and has good practical values and wide application prospects. Experiments show that the

收稿日期:2012-05-07;修订日期:2012-06-18.

基金项目:山西省青年基金资助项目(No. 2010021016-3);北京市工程研究中心(光电信息与仪器)开发研究课题资助项目(No. BJGC20110016);2011年中北大学校科学基金资助项目

method is feasible completely and easy to identify. When one code point is wrong, the correctness probability is 100%.

Key words: computer vision; code points; correction code; code point extraction; code point recognition

1 引言

在视觉系统中,三维重建的先决条件是要解决多幅图像中对应点的匹配问题。图像匹配是立体视觉测量中最关键的技术。在待测物体表面分布一些具有唯一身份特征且易于识别的元素作为标志点,可以方便、可靠地实现多幅图像之间的对应匹配。

图像匹配方法分为两类:

第一类方法是利用场景中原有的信息进行匹配,主要包括基于区域的匹配方法与基于特征的匹配方法^[1]。基于区域的匹配方法是将在一幅图像中某个像点的相邻区域作为匹配的模板,在另一幅图像中搜索具有相同或者相似灰度分布的对应点区域,从而实现两幅图像的匹配,这种方法也称为模板匹配或相关匹配,它的缺点是对图像的旋转、缩放、光强以及对比度的变化比较敏感,因此匹配的精度较低,不能用于精度要求高的测量领域。基于特征的匹配方法不是直接利用图像灰度进行匹配,而是首先通过灰度信息进行特征提取,然后利用某些算法寻找相互匹配的特征点,例如松弛算法^[2],动态规划算法^[3],或者尺度不变特征转移^[4](Scale Invariant Feature Transform, SIFT)算法等,相比于区域匹配方法,特征匹配方法受光照以及形变等因素影响较小,可以得到比较可靠的结果。

第二类方法是在被测物体表面或者周围环境中人为布置若干具有定向反射性质的人工标志点,这些标志点具有特定几何形状(三角形、圆、四边形等)的平面图案,将图案中某个特征位置(圆心、交叉点等)作为该标志点的位置。如果给每个标志点加载唯一的身份信息,即对标志点进行编码,将载有编码信息的定向反射标志点称为“编码元”,对图像中每一个编码元进行唯一身份识别后,就可以方便地实现多幅图像之间的对应匹配问题。然而实际应用中,由于各种因素的影响,几乎每次测量中都有编码点提取错误的现象。例如美国 GSI 公司 V-STAR 在光照过强、景深过深或者角度因素的影响下都会产生编码点提取错误的

情况,其处理方法是遗弃该出错编码点。

本文针对编码点提取易于出错的情况,在分析了现有的多种编码点设计方案后,设计了可纠错的编码点方案,将信道编码理论用于编码点的设计中,引入了可纠错的线性分组码、卷积码等,从而克服编码点出错的情况,文末对该方案进行了验证。

2 现有编码点设计方案

近年来,相关学者提出了众多标志点的编码点设计方案^[5-11],并将其应用于计算机视觉测量中,如图 1 所示。编码信息主要包括:直线,圆形,方形等,他们共同的特点是通过沿着给定的路径或者几何特征的分布进行译码。

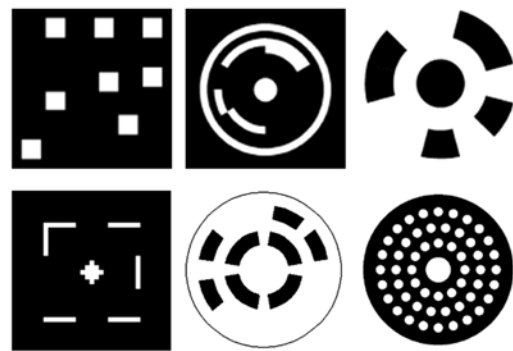


图 1 各种不同的编码方案

Fig. 1 Various encoding schemes

在实际应用中,由于图像的旋转、缩放、光强等因素的影响,通常会出现椭圆点提取错误的问题,现有的方法通常都遗弃出错的编码点,但这降低了图像之间的匹配,一些关键编码点提取的错误甚至会直接导致三维重建任务的失败。本章提出了一种新的标志点的编码设计方法,并将信道编码的可纠错编码方法用于编码点的设计,实现了编码元的自动识别、精确定位及自动纠错等功能。

3 纠错的编码点原理

由于各种因素的综合影响,实际应用中通常

会出现编码点提取错误的情况。为了解决该问题,设计实现可纠错的编码点是一种可行的思路。可纠错的信道编码有多种,例如分组码、卷积码等,这里以线性分组码为例进行说明。设编码点为 $c=(c_{n-1}, c_{n-2}, \dots, c_k, \dots, c_1, c_0)$, 其中 n 是编码长度, k 是信息元的位长, $n-k$ 是校验元, 组成的线性分组编码点可表示为 (n, k) 。这里以 $(7, 3)$ 码为例, 其编码方程可以表示为:

$$\begin{cases} c_6 + c_4 + c_3 = 0 \\ c_5 + c_4 + c_2 = 0 \\ c_6 + c_5 + c_4 + c_1 = 0 \\ c_6 + c_5 + c_0 = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

式(1)可以表示为矩阵形式

$$\mathbf{H} \cdot \mathbf{c} = \mathbf{0}, \quad (2)$$

其中: $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, 称为校验矩阵。

另一方面, 根据式(1), 同理可以得到其生成

矩阵 $\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ 。

并使得下式成立:

$$\mathbf{c} = \mathbf{G} \cdot \mathbf{m}, \quad (3)$$

其中: $\mathbf{m}=(c_{n-1}, c_{n-2}, c_{n-3})$, 也就是说通过生成矩阵 \mathbf{G} 就可以得到编码点的码字。

表 1 (7,3)纠错编码点
Tab.1 (7,3) error-correcting code

信元组	码	字
000	0000	000
001	0011	110
010	0100	111
011	0111	001
100	1001	011
101	1010	101
110	1101	100
111	1110	010

然而由于实际工作中各种因素的影响, CCD 采集到的编码点经过识别后得到相应的编码, 其表示为 \mathbf{R} , 如果用 \mathbf{E} 表示错误图样, 则

$$\mathbf{S} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{H}^T = (\mathbf{c} + \mathbf{E}) \cdot \mathbf{H}^T = \mathbf{c} \cdot \mathbf{H}^T + \mathbf{E} \cdot \mathbf{H}^T = \mathbf{E} \cdot \mathbf{H}^T, \quad (4)$$

其中 \mathbf{S} 称为伴随矩阵, 其和错误图样对应, 从而可进行编码点的纠错。

4 纠错的编码点设计方案

对现有编码点进行分析与比较表明, 与其他的几何形状相比, 圆形具有受图像噪声影响小、提取精度高且易于提取的特点。考虑到圆形固有的优势, 文献[10]提出了一种圆形靶标的设计方法。为了提高编码的抗噪性, 同时实现纠错的编码点设计, 提出了一种新的编码方法。编码元全部由圆形组成, 包括标志点、参考点与编码点, 根据标志点所处的位置不同, 可以设计 2 种不同的编码模式, 如图 2 所示, 本节以第二种编码模式进行说明。

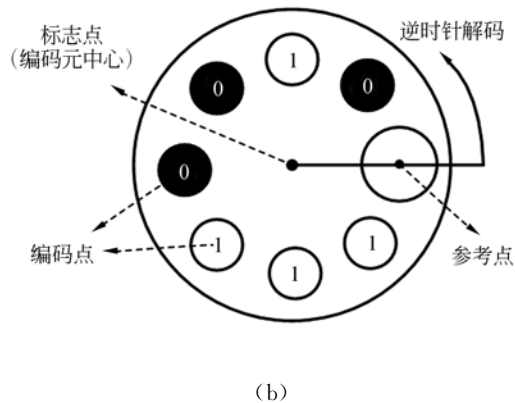
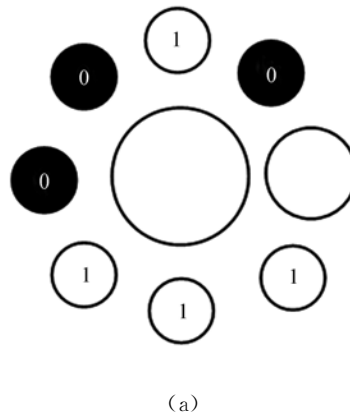


图 2 两种编码图案, 图示的编码值为: 01001112
Fig. 2 Two kind of coding schemes, the code in figure is 01001112

标志点的圆形半径最大, 参考点和多个编码

点等角度均匀地分布于标志点圆形内部。为了区别于编码点,参考点的圆形半径大于编码点的圆形半径。标志点的中心位置作为整个编码元的中心位置,参考点为编码元的解码提供了一个起始点,从参考点开始,逆时针进行读码,各个编码位上编码点的有无对应为二进制“1”或者“0”,由编码点组成的不同序列代表着不同的编码信息。通过引入参考点,确保了编码的唯一性、简单性,图 2(b)给出了表 1 中一个七位编码长度的实例: 0100111_2 。

5 编码点的自动识别

假设标志点对应的椭圆参数为 $(X_0, Y_0, a_0, b_0, \beta_0)$, (X_c, Y_c) 是编码圆和参考圆成像后对应的椭圆中心,如图 3(a)所示。在进行编码元识别之前,需要将椭圆图像进行逆投影变换,如图 3(b)。具体方法为:

$$\begin{bmatrix} X_c' \\ Y_c' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_0 & \sin \beta_0 \\ -\sin \beta_0 & \cos \beta_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} X_0' \\ Y_0' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_0 & \sin \beta_0 \\ -\sin \beta_0 & \cos \beta_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

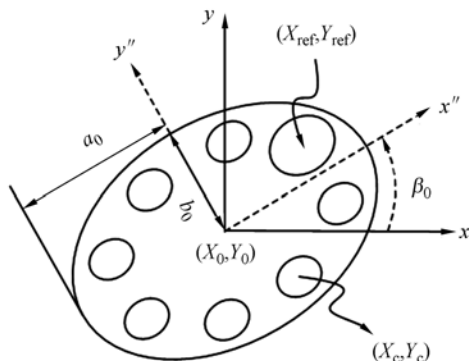
设 $x_c'' = X_c', y_c'' = \frac{a_0}{b_0} \cdot (Y_c' - Y_0')$, 那么:

$$\theta = \begin{cases} \arctan(y_c'', x_c''), & y_c'' \geq 0 \\ \arctan(y_c'', x_c'') + 2\pi, & y_c'' < 0 \end{cases}. \quad (7)$$

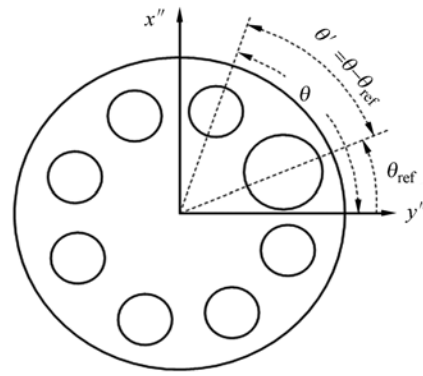
在每一个标志圆中心周围,搜索位于标志圆之内的椭圆,作为编码点与参考点。隶属关系为:

$$0 < \frac{(X_c' - X_0')^2}{a_0^2} + \frac{(Y_c' - Y_0')^2}{b_0^2} < 1. \quad (8)$$

设编码长度为 k , 那么在从参考点为起点,逆



(a)



(b)

图 3 编码点解码示意图

Fig. 3 Decoding algorithm diagram

时针方向第 i 个编码(如果存在)位所对应的十进制权值为:

$$bit_i = \begin{cases} INT \left\{ \frac{\theta_i - \theta_{ref}}{2\pi} \times (k+1) \right\}, & \theta_i \geq \theta_{ref} \\ INT \left\{ \frac{(\theta_i - \theta_{ref})}{2\pi} \times (k+1) \right\} + (k+1), & \theta_i < \theta_{ref} \end{cases}, \quad (9)$$

其中: INT 表示取整运算。

那么,最终得到编码元的编码值:

$$code = \sum_{i=1}^k 2^{k-bit_i}, \quad (10)$$

图 4 给出了编码标志点自动识别的流程。

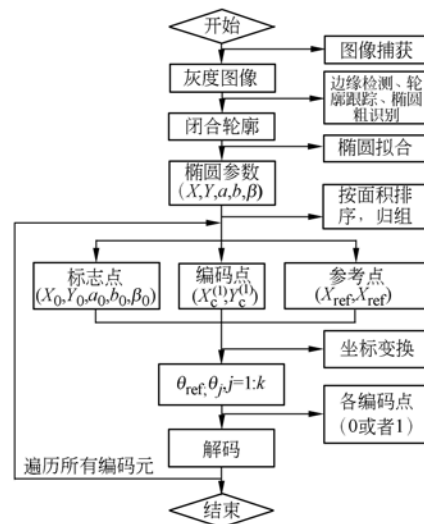


图 4 解码流程图

Fig. 4 Decoding flow chart

6 纠错实验

6.1 编码检测及纠错实验

为了验证文中纠错编码点的可行性,进行了验证实验。实验采用大恒 DH-HV1351UM 相机,像素分辨率为 $1\ 280 \times 1\ 024$ 。采用表 1 中的 4 种可纠错编码点 (0011110), (1110010), (1010101), (0100111), 编码长度 7, 编码元实际的物理尺寸为 25 mm, 最小的编码圆直径为 4 mm, 拍摄距离约 1.5 m。设计的编码点如图 5 所示。

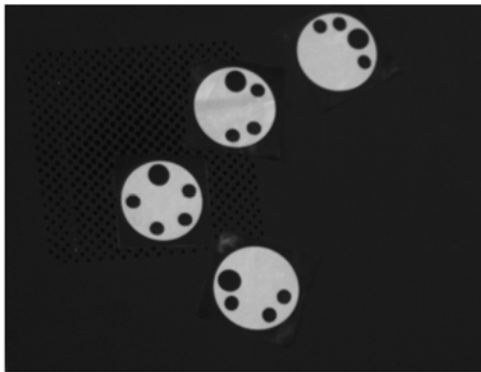


图 5 编码点设计图

Fig. 5 Design diagram of coding points

编码点的解码过程如下:

- (1)对图像去噪,同时设定阈值将图像二值化;
- (2)用 Canny 算法进行边缘提取;
- (3)进行轮廓跟踪去除断裂;
- (4)根据边缘点进行椭圆的拟合,确定椭圆点的中心;
- (5)根据各个圆的半径,判断起始点并按照逆时针旋转 43° ,颜色为黑则灰度值记为 0,为白则记为 1,从而可以得到解码的编码点;

如图 6 所示,图 6(a)为图像的求反图像,6(b)为边缘检测结果及圆点中心的拟合结果。从图(b)中可以看到,解码为(0011110), (1110010), (1010101), (0110111)。由于实际工程各种因素的影响,经常出现编码点识别错误的问题,因此需要对识别结果进行校验。根据式(4)

可知,将解码结果乘以 H ,得到伴随阵 S : (0000), (0000), (0000), (1110)。从伴随阵可以看出,最下方的编码点出现了错误,这也可以在图 6(b)中得到相同的结果,其原因是未能检测出圆点的中心。解码错误在现有方法中是经常出现的问题,通过错误样图可以将错误进行纠正得到正确的码点(0100111)。

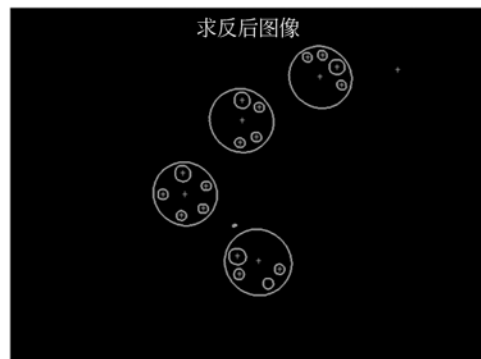
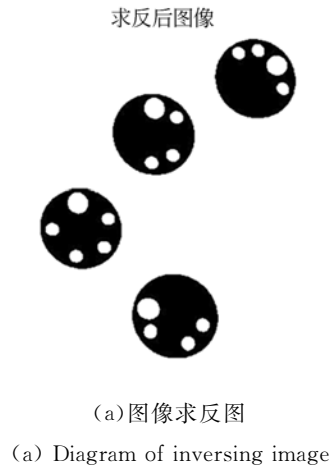


图 6 编码点解码结果图

Fig. 6 Decoding diagram of coding points

6.2 统计实验及结论

不难看出文中提出的可纠错的编码点理论上可进行一位编码纠错,为了验证该方法的有效性,在实际应用中出错情况进行了统计实验,重复实验(1)35次,每次实验过程和(1)中完全相同,不同之处在于拍摄角度、拍摄距离、光照等因素都是随机选取的,其结果如表 2 所示。

表 2 纠错编码点统计实验

Tab. 2 Statistical experiment of error-correcting code

项目	次数	纠错有效	百分比
一位错误	9	是	100%
二位错误	2	否	0%
实验总数		35	

从表 2 可以看出本文提出的可纠错编码点设计的有效性。在 35 次实验中,出现了 11 次错误,出错概率近 29%,现有的实际工程中采用的定向反光材料可减小出错概率,但基本上编码点识别错误的概率也较高。从实验的结果可以看出,出现一位错误的概率较大,同时(7,3)编码只对一位错误码点有 100%的纠错能力,但对二位纠错能

参考文献:

- [1] 周晓刚. 立体视觉测量技术中编码匹配方法研究[D]. 北京:北京机械工业学院,2003.
ZHOU X G. *The research on encoding point match of stereo vision measurement* [D]. Beijing: Beijing Institute of Machinery, 2003.
- [2] POLLARD S, MAYHEW J, FRISBY J. PMF: a stereo correspondence algorithm using a disparity gradient limit[J]. *Perception*, 1985, 14:449-470.
- [3] BAKER H H, BINFORD T O. Depth from edge and intensity based stereo[C]. *The 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vancouver, Canada*, 1981:631-636.
- [4] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2):91-110.
- [5] 李晓峰,张瑜. 摄影测量中环状编码点的检测方法[J]. *现代制造工程*, 2012(2):117-121.
LI X F, ZHANG Y. Detection algorithm on circular encoded point in photogrammetry[J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2012(2):117-121.
- [6] FRASER C S. Automation in digital close-range photogrammetry[C]. *Proc. First Trans Tasman Surveyors Conference, Newcastle, Australia*,

力为 0%,这和理论完全吻合。实际工程中可以根据此原理设计可纠错多位的编码,但由于实际工程中一般一位出错的概率最大,因此可纠错一位的编码点较为必要。

7 结 论

从上述实验与讨论可看出,本文提出的新的可纠错的编码点是可行的,并有较强的实用价值,其优点在于编码点由圆点组成,易于识别,同时将信息论中信道编码的理论用于编码点的设计实现了编码点的自纠错性,较好地解决了实际应用中编码点识别错误的问题。经过实验验证,该方法在编码出现一位错误时可以实现自修正的功能。

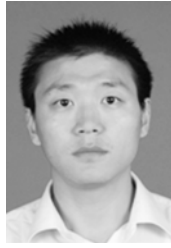
1997:1-10.

- [7] NIEDERÖST M, HANS-GERD M. Automatic deformation measurement with a digital still video camera[C]. *Processings of 4th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Zurich, Switzerland*, 1997:266-271.
- [8] KEITH F, ANTHON V, NDIMI B. An inexpensive, automatic and accurate camera calibration method[C]. *Proceedings of the Thirteenth Annual Symposium of the Pattern Recognition Association of South Africa*, 2002:115-120.
- [9] SHORTIS M R, SEAGER J W, ROBSON S, et al.. Automatic recognition of coded targets based on a hough transform and segment matching[C]. *Videometrics VII, Proceedings of the SPIE*, 2003:202-208.
- [10] DONG M L, ZHOU X G, ZHU L Q, et al.. Automated image matching with coded points in stereo vision measurement[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2005, 18(3):453-456.
- [11] AHN S J, RAUH W. Circular coded target for automation of optical 3D measurement and camera calibration[J]. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2001, 15(6):905-919.

作者简介:



杨 剑(1979—),男,山西临汾人,博士,讲师,2005 年于太原理工大学获得硕士学位,2009 年于北京邮电大学获得博士学位,主要从事计算机视觉及图像处理等方面的研究。E-mail: yangjian9770@126.com



秦品乐(1978—),男,山西太原人,博士,副教授,2008 年于大连理工大学获得博士学位,主要从事控制优化算法及误差分析方面的研究。E-mail: qpl@nuc.edu.cn



韩建栋(1980—),男,山西文水人,博士,讲师,2009 年于北京邮电大学获得博士学位,主要从事计算机视觉、图像处理及数据挖掘方面的研究。E-mail: zhch-min2002@yahoo.com.cn

● 下期预告

面阵彩色航空遥感相机前向像移补偿机构精度分析

李延伟^{1,2},远国勤^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室,吉林 长春 130033; 2. 中国科学院大学,北京 100039)

航空遥感相机中的前向像移补偿机构的运动精度会直接影响相机分辨率,因此对机构的补偿精度进行了分析。首先,研究了面阵彩色航空遥感相机的一种机械式前向像移补偿机构的特点,给出了对应于曝光时间的前向像移补偿速度残差的许用值;其次,分析了影响像移补偿精度的主要误差来源,建立了速度补偿残差的数学模型,并运用 Monte Carlo 算法对其进行了仿真分析;最后,通过动态目标发生器成像试验对仿真结果进行验证。试验结果显示,前向像移补偿机构的速度补偿残差 3σ 为 $395.6 \mu\text{m/s}$,与仿真分析结果 $400 \mu\text{m/s}$ 基本一致,说明该精度分析方法可以比较准确地确定前向像移补偿精度。