

文章编号: 1007-2780(2012)02-0240-05

增加航空摄影地面收容宽度方法研究

刘立国^{1,2}, 丁亚林^{1*}, 赵运隆¹, 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, 吉林 长春 130033, E-mail: 952892203@qq.com;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 在实施大面积航空摄影时,常需要单航线飞行获取较大的地面收容宽度以提高效率,但单台航空相机的地面收容宽度是有限的。基于某项目的研制,为实现单航线摄影地面收容宽度不小于 $5.2H$ (H 为摄影高度)的指标,提出了采用多台短焦距相机组合使用的方式增加单航线摄影地面收容宽度。论述了采用双并列、三并列、四并列实现地面收容宽度指标的计算方法,通过计算前向像移速度差选择最优方案。该方法已在自然灾害监视及灾后重建普查方面得到广泛应用,文中论述的方法对推扫式航空相机、短焦距面阵 CCD 及胶片相机都是适用的。

关 键 词: 地面收容宽度;短焦距;相机组合;像移速度;航空摄影

中图分类号: O753.2 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20122702.0240

Method of Improving Coverage Width of Aerial Camera

LIU Li-guo^{1,2}, DING Ya-lin^{1*}, ZHAO Yun-long¹, YUAN Guo-qin^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: 952892203@qq.com;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: When the large-scale aerial photography is implemented, it is often need to obtain bigger coverage width to improve efficiency by single flight course fly. But, the coverage width of single aerial camera is limited, for realizing the coverage width specification of not less than $5.2H$ (H is defined as photograph height), based on some actual project, a method that the coverage width is improved by utilizing camera integration with short focal length is proposed. In this paper, some algorithms of twin-camera, tri-camera and four-camera for improving the coverage length are discussed. Furthermore, an optimum scheme is chosen by calculating the forward image motion velocity difference. This method has been widely used in the field of surveillance of natural disaster and re-establishment survey. Besides, the method is also feasible for scanning-aerial camera, short focal length plane array CCD camera and film camera.

Key words: coverage width; short focal length; camera integration; image motion velocity; aerial photography

收稿日期: 2011-12-20; 修订日期: 2012-01-04

作者简介: 刘立国(1978—),男,黑龙江七台河人,硕士研究生,助理研究员,主要从事航空相机设计与研究。

* 通讯联系人, E-mail: dingyl@ciomp.ac.cn

1 引言

在实施大面积航空摄影时,航空相机的地面收容宽度尤为重要,收容宽度大可以增大一次摄影时的拍摄宽度,有效减少编队摄影或单机复航路摄影的经济成本和时间消耗。目前国内外多使用长焦距或中等焦距航空相机通过全景、画幅等成像方式增加地面收容宽度^[1],受像移、曝光周期等因素限制,上述的成像方式在低空使用时,地面收容宽度会明显降低,因此在短焦距相机中较少使用。近年来,为增加航空相机地面收容宽度,出现了在短焦距光学系统视场内采用 CCD 机械拼接、光学拼接^[2]扩大相机有效视场以增加单次摄影地面收容宽度。虽然 CCD 制造技术日益成熟,可供选择的 CCD 器件逐渐增多,但若采用在单镜头内通过拼接方式实现 $5.2H$ 的地面收容宽度,需要光学系统的有效视场角不小于 137.92° ,其边缘视场像差将无法校正,且畸变严重^[3-4],无法保证像质,因此难以实现。本文提出采用多个短焦距相机组合使用增加地面收容宽度的方法,克服像移、曝光周期等因素的限制,并有效降低光学系统的设计难度。主要论述了双并列、三并列、四并列的组合方式实现地面收容宽度要求,并进行优化分析。

2 组合方式优化

单台航空相机的横向视场角是影响组合时所需相机数量的关键因素,而 CCD 的有效像元数、像元尺寸、焦距是影响单台相机横向视场角的关键因素,相机的有效横向视场角用公式(1)计算:

$$\beta = \arctan \frac{Nb}{2f'} \quad (1)$$

式中 β 为相机半视场角, N 为 CCD 横向有效像元数, b 为 CCD 像元尺寸, f' 为相机焦距 ($f' = 70 \text{ mm}$)。

由公式(1)可以看出,在焦距选定的情况下,CCD 横向有效像元数和像元尺寸是影响相机半视场角的关键因素。目前 CCD 器件种类繁多,本文选用技术较为成熟、价格适中的像元数为 $4\,096 \times 96$,像元尺寸为 0.013 mm 的 TDI CCD。

2.1 双并列方式

双并列方式是采用两台相机左右对称安装,安装角相等。若每台相机中安装一个 TDI CCD,

由公式(1)计算出相机半视场角:

$$\beta = \arctan \left(\frac{4\,096 \times 0.013}{2 \times 70} \right) = 20.824^\circ$$

显然使用两台这样的相机组合是无法满足地面收容宽度指标的。为此在每个相机中安装两个 TDI CCD,在光学系统视场内采用机械拼接^[5],并根据工程经验使两 CCD 重叠 192 个像元,计算出此时相机的半视场角:

$$\beta = \arctan \left(\frac{8\,000 \times 0.013}{2 \times 70} \right) = 36.607^\circ$$

图 1 为双并列安装示意图。相机安装角用公式(2)计算:

$$\alpha = \beta(1 - Q) \quad (2)$$

式中 Q 为视角重叠率。

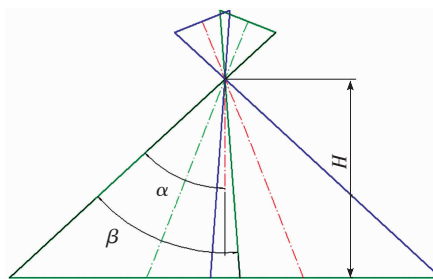


图 1 双并列安装示意图

Fig. 1 Twin-paratactic installation

为保证不遗漏目标,避免图像无法正常拼接,取视角重叠率 $Q = 10\%$,由公式(2)计算出相机安装角:

$$\alpha = 36.607^\circ \times (1 - 10\%) = 32.946^\circ$$

用公式(3)可以计算出双并列的地面收容宽度:

$$W = 2H \tan(\alpha + \beta) \quad (3)$$

式中 α 为倾斜角最大的相机安装角, H 为摄影高度, W 为组合后地面收容宽度。

双并列的组合方式按公式(2)计算出地面收容宽度:

$$W = 2 \times H \times \tan(32.946^\circ + 36.607^\circ) = 5.364H$$

其满足地面收容宽度指标要求。

2.2 三并列方式

由以上分析可知,若每台相机中安装一个 TDI CCD,即使使用三并列方式,仍然无法满足地面收容宽度指标。为此在一台相机中安装两个 TDI CCD,作为中相机光轴垂直对地安装,另两台相机中各安装一个 TDI CCD 进行组合,作为左

右相机倾斜安装,且左右对称。图 2 为相机三并列安装示意图,左右相机安装角按公式(4)计算:

$$\alpha_{左} = \beta_{左}(1 - 2Q) + \beta_{中} \quad (4)$$

式中 $\beta_{中}$ 为中相机半视场角, $\beta_{左}$ 为左相机半视场角, $\alpha_{左}$ 为左相机安装角。

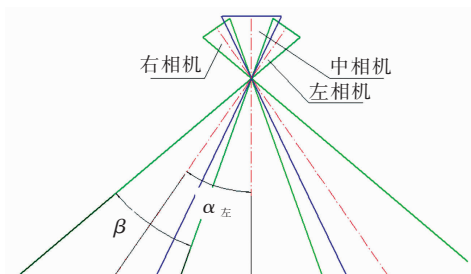


图 2 三并列安装示意图

Fig. 2 Three-paratactic installation

左右相机视场角较小,因此选用较大的视角重叠率 $Q=20\%$,由公式(4)计算出相出相机安装角:

$$\alpha_{左} = 20.824^\circ \times (1 - 2 \times 20\%) + 36.607^\circ = 49.101^\circ$$

因左右相机对称安装,安装角相等。地面收容宽度仍可按公式(3)计算,式中 $\alpha = \alpha_{左} = 49.101^\circ$, $\beta = \beta_{左} = 20.824^\circ$ 可计算出地面收容宽度:

$$W = 2 \times H \times \tan(49.101^\circ + 20.824^\circ) = 5.47H$$

也是满足地面收容宽度指标要求的。

2.3 四并列方式

四并列方式为每台相机中安装一个 TDI-CCD, 四台相机均为倾斜安装,图 3 为四并列安装示意图。相机左右对称安装,各相机安装角用以下公式计算:

$$\alpha_{左1} = \alpha_{右1} = \beta(1 - Q) \quad (5)$$

$$\alpha_{左2} = \alpha_{右2} = 3\beta(1 - Q) \quad (6)$$

式中 $\alpha_{左1}$ 为左 1 相机安装角, $\alpha_{左2}$ 为左 2 相机安装

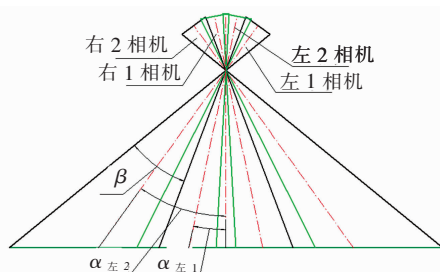


图 3 四并列安装示意图

Fig. 3 Four-paratactic installation

角, $\alpha_{右1}$ 为右 1 相机安装角, $\alpha_{右2}$ 为右 2 相机安装角。

根据公式(5)、(6)计算各相机安装角:

$$\alpha_{左1} = 20.824^\circ \times (1 - 20\%) = 16.659^\circ$$

$$\alpha_{左2} = 3 \times 20.824^\circ \times (1 - 20\%) = 49.978^\circ$$

地面收容宽度仍可按公式(3)计算,式中 $\alpha = \alpha_{左2} = 49.978^\circ$, 可计算出地面收容宽度:

$$W = 2 \times H \times \tan(49.978^\circ + 20.824^\circ) = 5.74H$$

完全满足地面收容宽度要求。

3 前向像移速度差分析

虽然上述三种方式都满足地面收容宽度指标要求,但倾斜安装相机由于光轴与地面不垂直,引起不同横向视场前向像移速度不同,而前向像移速度差是影响像质的重要因素之一^[6],各种组合方式对像质的影响也不同。受 CCD 采购等诸多因素限制,这种速度差目前无法补偿。因此,在满足地面收容宽度指标要求的前提下,前向像移速度差最小的组合方式为最优方法。

任一视场像点前向像移速度可用式(7)表示:

$$v_b = \frac{vf' \cos(\alpha + \gamma)}{H \cos \gamma} \quad (7)$$

式中 v_b 为像面上 b 点的像点前向像移速度, v 为飞机飞行速度, γ 为像点所对应的半视场角 $\gamma = (-\beta \sim +\beta)$ 。

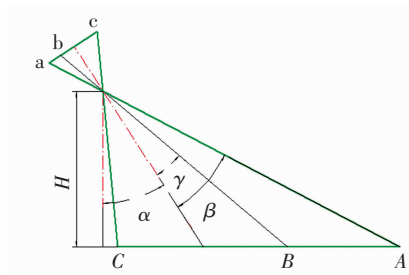


图 4 倾斜安装相机前向像移分析图

Fig. 4 Analytical illustration of forward image motion when the camera is mounted slantways

由公式(7)和图(4)可以看出, a 点的前向像移速度最小, c 点的前向像移速度最大,最大速度差可用公式(8)计算,表 1 为各种组合方式的最大的前向像移速度差计算值。

$$\Delta v = \frac{vf'(\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta))}{H \cos \beta} \quad (8)$$

由表 1 可见,三并列的最大前向像移速度差

最小,对成像影响最小,综合考虑像质、装机空间、成本等因素,选用三并列方法。

表 1 最大前向像移速度差计算值

Table 1 Calculation result of maximum forward image motion velocity difference

组合方式	最大前向像移速度差/(m·s ⁻¹)
双并列	$\frac{0.808vf'}{H}$
三并列	$\frac{0.575vf'}{H}$
四并列	$\frac{0.5825vf'}{H}$

4 应 用

本文论述的三并列方法已经应用于航空摄影中,取得良好效果。图 5、图 6、图 7 分别为不同方式拍摄的图像。可以看出采用单相机,在内安装一个或两个 TDI CCD,其地面收容宽度都明显小于三并列方法拍摄的图像。在摄影高度为 200 m 时,三并列方法的地面收容宽度为 1 094 m,装有一个 CCD 的相机地面收容宽度为 152 m,装有两个 CCD 的相机地面收容宽度则为 297 m,欲拍摄一座桥长均为 800 m 的十字立交桥的完好情况,采用三并列的方式单次飞行即可完成,而采用单台相机则分别需要 7 次、4 次,显然三并列方式



图 5 单台相机(装有一个 TDI CCD)拍摄的图像
Fig. 5 Picture taken by single camera(single TDI CCD inside)



图 6 单台相机(装有两个 TDI CCD)拍摄的图像
Fig. 6 Picture taken by single camera(twin TDI CCD inside)

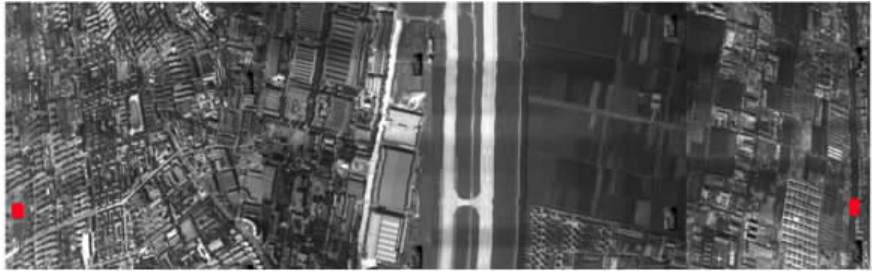


图 7 三并列方法拍摄的图像
Fig. 7 Picture taken by tri-paratactic method

在节约时间和成本、提高效率方面是很有优势的。

5 结 论

文基于实现地面收容宽度 5.2H 的需求,在使用短焦距相机增加地面收容宽度方面进行论述,主要论述了双并列、三并列、四并列 3 种实现指标要求的组合方法,并通过比较前向像移速度差选择对像质的不利影响最小的三并列方法。这种方法充分发挥短焦距相机可实现大视场的优

势,在保证光学系统成像质量的前提下,实现较大的地面收容宽度。若采用性能更为优良的 CCD 器件,减小前向像移速度差,地面收容宽度还可以明显增加。该方法已在自然灾害监视及灾后重建普查方面得到广泛应用,明显减少经济成本和时间消耗,提高自然灾害监测的工作效率。文中论述的方法对推扫式航空相机、短焦距面阵 CCD 及胶片相机都是适用的。

参 考 文 献:

- [1] Dorofeeva M V. Features of using a right-angle prism to scan wide fields of view [J]. *Opt. Technol*, 2010, 77(7): 428-431.
- [2] 刘妍妍, 李国宁, 张瑜, 等. 可见光面阵 CCD 响应非均匀性的检测与校正 [J]. *液晶与显示*, 2010, 25(5): 759-763.
- [3] 王之江. 光学技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994: 866-911.
- [4] 郁道银, 谈恒英. 工程光学[M]. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2006: 146-149.
- [5] 马岩, 胡君. CCD 成像单元仿真系统的实时显示方法研究 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(3): 334-339.
- [6] 李娜, 丁亚林, 冷雪, 等. 线阵 CCD 相机模拟器的分析与设计 [J]. *液晶与显示*, 2009, 24(6): 922-927.

物理量量值表示法

物理量量值必须用阿拉伯数字表示。按规定, 阿拉伯数字后的单位必须使用我国法定计量单位, 在非普及性的科技书刊中, 还应使用单位的国际符号。例如: 1 m, 5 d, 12 m², 4 A, 2 000 m³/s, 273 K, 100~150 kg, 30 多 V, 400 余 t 等。

在非普及性的科技书刊中, 非量值情况下也使用单位的国际符号。例如: “速度的单位为 m/s”, “每 mL 溶液……”等, 只要不会引起误解, 单位的国际符号可以用于一切使用单位的场合。

对于非物理量的量词前面的数字, 一般也应使用阿拉伯数字, 包括整数一至十。例如: 1 支铅笔, 2 台电视, 3 组数据。

组合单位加词头的规则

a. 通过单位相乘构成的组合单位, 通常词头加在第 1 个单位前面。例如: N·s 加词头 k, 应为 kN·s。但常见的法定单位中有 2 个单位例外。一个是电阻率的单位 $\Omega \cdot \text{m}$, 通常写成 $\text{k}\Omega \cdot \text{m}$, $\text{M}\Omega \cdot \text{m}$, 但当加词头 c 时, 则要写成 $\Omega \cdot \text{cm}$; 另一个是货运量单位“吨公里”写成 $\text{t} \cdot \text{km}$ 。

b. 通过单位相除或相乘除(分数形式)构成的组合单位, 词头一般加在分子的第 1 个单位前, 分母一般不加词头。例如: 摩尔熵单位 $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 加词头 k, 应写成 $\text{kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, 不能写成 $\text{J}/(\text{mmol} \cdot \text{K})$, 虽然 $\text{kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = \text{J}/(\text{mmol} \cdot \text{K})$, 但 $\text{J}/(\text{mmol} \cdot \text{K})$ 是不规则的。

c. 一般不在组合单位的分子分母同时加词头。

d. 组合单位的分母为长度、面积、体积单位或分子为 1 时, 分母可按习惯与方便选用某些词头。

e. 质量单位 kg 例外。