

一种单机移动视觉的交通事故现场快速勘查系统

许致华 徐兴亮

(中国民航大学, 天津 300300)

A Traffic Accident Scene Swift Reconnaissance System of Single Mobile Vision

XU Zhihua, XU Xingliang

摘要: 针对目前交通事故现场勘查技术的缺陷和不足, 提出一种基于单机移动视觉的交通事故现场快速勘查系统。试验结果表明该方法可行, 且系统测量精度高、结构简单、应用灵活。

关键词: 计算机视觉; 交通事故; 现场勘查; 编码点; 优化平差

一、引言

目前的交通事故现场处理技术远远不能满足交通运输快捷、安全的要求, 如何快速准确地恢复事故现场已经成为研究热点。针对交通事故现场的视觉处理技术, 国内外许多学者已经做了大量研究, 目前的交通事故视觉勘查系统主要包括二维方法和三维方法两种。

二维重建^[1]的理论前提是图像上所有点对应的空间点都位于一个空间平面上, 但是由于路面拱度、车辆高度等因素的影响, 重建后会有较大的误差。而传统的三维方法^[2-3]采集交通事故现场三维数据特征点时是采用非编码单点形式, 不能实现多幅图像对应特征点的自动匹配; 同时系统中不存在长度基准等交通事故现场空间比例信息, 测量精度低, 操作不方便。本文所研究的交通事故快速查勘系统是利用一台相机从不同的方位对摆放在事故现场的编码点和空间点成像, 解决了上述传统视觉勘查系统中对应点误匹配和外部比例约束不准确等造成的测量误差。同时, 该系统采用优化平差的方法, 经迭代运算得到全局最优解, 从而得到高精度的事故现场三维信息。

二、系统的组成和测量原理

系统的组成包括高分辨率 CCD 相机、嵌入式计算机、编码特征点、反射特征点。如图 1 所示, 在交通事故现场, 将编码点摆放在车辆行驶轨迹、刹车痕迹、车辆姿态、轮胎拖痕、脱落物地点及路缘等位

置。反射特征点被贴敷在车损部位, 用于确定撞击破损程度和车辆位置。

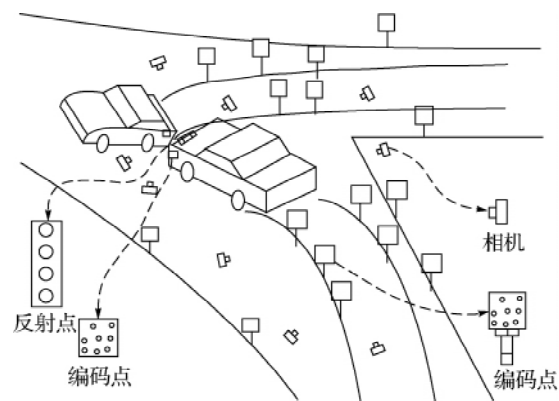


图 1 交通事故现场勘查示意图

1. 编码点的结构及应用

系统采用的编码点^[4]如图 2 所示, 每个编码点由 8 个特征点组成, 编码 1~5 的 5 个特征点是编码点的特征点, 它们的坐标已知, 用于相机外方位的绝对定位及比例约束。其中, 编码 1~3 的 3 个点共线; 编码 1、4、5 的 3 个点构成编码点的内部坐标系 $x \rightarrow y$; 编码 A、B、C 的 3 个点是多个编码位中的其中 3 个, 这 3 个编码位的不同组合可以得到几百个不同的编码点, 并且每个都是唯一的。利用编码点上的这 3 个特征点可以实现图像的自动匹配。编码点和反射点摆放好后, 利用内参数预先校准的 CCD 相机在现场周围的多个不同方位对特征点进行成像, 然后采用专门的处理软件对所拍摄图像进行处理, 最终得到事故现场三维信息。系统处理过程的简化流程图如图 3 所示。

收稿日期: 2010-10-13

作者简介: 许致华(1959—), 女, 天津人, 教授, 主要研究方向为机械学。

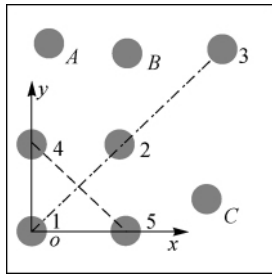


图2 编码点示意图



图3 系统的处理流程图

2. 相机绝对方位和相对方位求解

(1) 相机初始基站的绝对方位的确定

基于现场中一个基站对编码点的成像,利用编码点中的5个特征点作为绝对方位的参考装置,采用基于空间交会姿态估计的方法来求解相机初始外方位^[5]。

如图4所示,设 P_i 为编码点上编码1~5中的第*i*个特征点,其对应的像点为 p_i 。 q_i 为从相机原点出发指向像点 p_i 的单位向量,三维点 P_i 处于相同的方向。设 $P_i = r_i q_i$,其中 r_i 为比例因子,假如能够得到 r_i 的值,则可以根据特征像点在相机坐标系中的坐标 p_i 确定编码点上特征点 P_i 在相机坐标系中的坐标,进而利用编码点的任意3点得到相机坐标系相对于编码点坐标系的方位(相机绝对方位)。

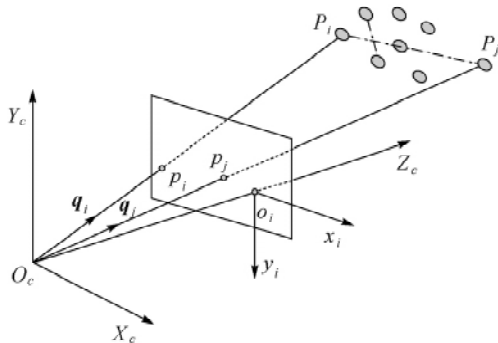


图4 相机外部方位求解示意图

由于编码点上编号为1~5的特征点坐标已知,则两两特征点之间的距离 d_{ij} 已知,则有

$$d_{ij}^2 = \|r_i q_i - r_j q_j\|^2 = r_i^2 - 2r_i r_j (q_i q_j) + r_j^2 = r_i^2 - 2r_i r_j \cos \theta_{ij} + r_j^2 \quad (1)$$

对应编码点的5个特征点就可以列出10个方程,求解这个超定方程组,最终唯一确定 r_i 的值,由此比例因子就可以确定编码点上编号1~5的特征点相对于相机坐标系的坐标,并通过坐标变换得到相机的绝对方位。

(2) 相机的相对方位的确定

对应摆放在事故现场的每一个编码特征点,在两个相机基站的成像上均有对应的图像特征点,并且这些点满足外极线约束,利用基于M估计的鲁棒算法确定基础矩阵 F ^[6],在相机内参数已知的情况下,由基础矩阵 F 确定本质矩阵 E (包含比例因子),表示两个相机相对方位的平移矢量 T 和旋转矩阵 R 可以由下式通过对 E 的分解得到

$$E = VWU^T \quad (2)$$

分解得到

$$R = V \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & t \end{bmatrix} U^T, \quad T = s \begin{bmatrix} e_1 \cdot e_2 / e_2 \cdot e_3 \\ e_1 \cdot e_2 / e_1 \cdot e_3 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 s 为比例因子; e_i 为本质矩阵的第*i*行。

由于式(3)中的平移矢量包含比例因子 s ,所以在交通事故三维场景中必须给出比例信息。尽管在测量空间中只要给出一个长度信息就可以确定该比例,但由于测量误差,为了得到在整个测量空间中的全局优化,本文给出在不同方向和位置的编码特征点特征位1与特征位3以及特征位4与特征位5(如图3所示)之间的多个精确长度信息。本文中对在相机视场之内的多个编码特征点的特征位进行测量,此时,比例因子可由下式确定

$$s = \frac{1}{2n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{d_0} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_1} \right) \quad (4)$$

式中, n 为编码特征点采样个数; d_0 、 d_1 为已知精确的编码特征点特征位1~3以及特征位4~5之间的距离; d_i 和 d_j 为 $\|T\|=1$ 的情况下的重构长度。

得到比例因子后,就可以确定相机两基站间的空间相对方位。由初始基站的相机的绝对方位,利用两基站的相对方位,采用级联坐标转换的方法,得到交通事故现场相机各基站相对于初始基站坐标系的绝对方位,并且将此外方位参数作为优化

平差求解的迭代初值。

(3) 事故现场特征点的空间三维坐标的优化平差求解^[7-8]

对应每一个特征点和一个相机成像基站,根据共线性约束条件可以获得如下方程

$$\left. \begin{aligned} x_m &= x_0 + \Delta x - \\ & c \frac{m_{11}(X_M - X_0) + m_{12}(Y_M - Y_0) + m_{13}(Z_M - Z_0)}{m_{31}(X_M - X_0) + m_{32}(Y_M - Y_0) + m_{33}(Z_M - Z_0)} \\ y_m &= y_0 + \Delta y - \\ & c \frac{m_{21}(X_M - X_0) + m_{22}(Y_M - Y_0) + m_{23}(Z_M - Z_0)}{m_{31}(X_M - X_0) + m_{32}(Y_M - Y_0) + m_{33}(Z_M - Z_0)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

上式中包含图像观测值 (x_m, y_m) 、相机内参数 $(x_0, y_0, c, \Delta x, \Delta y)$ 、相机成像基站外部方位参数 $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa)$ 、空间特征点坐标 (X_M, Y_M, Z_M) 。

对非线性模型应用泰勒级数展开,并考虑到误差因素,得到间接最小二乘模型,由此可得优化平差模型

$$\begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} A_1^T P A_1 & A_1^T P A_2 \\ A_2^T P A_1 & A_2^T P A_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_1^T P w \\ A_2^T P w \end{bmatrix} \quad (6)$$

利用优化平差迭代求解方法,结合给定的外部方位参数初始值和 $O = O_0 + \delta_1$ 及 $X = X_0 + \delta_2$ 获得空间特征点的三维坐标值。再加入相机内参数的修正问题,设置更加严格的前方交会三角测量和优化平差收敛极限,以及空间特征点粗大误差的拒绝极限等进行精确优化平差。最终获得高精度的现场三维信息。

三、交通事故现场模拟试验

在模拟的交通事故现场,将用特殊材料制作的编码特征点布置在车辆行驶轨迹、刹车痕迹、车辆位置及姿态、脱落物位置及撞击破损处等关键测量部位,视场不可见处可将编码特征点置于特制的金属支架上。利用 Nikon D3 相机在现场周围距离不等的多个基站进行成像,对得到的图像经过上述步骤的处理,得到任意空间特征点的精确三维坐标,进而得到现场的三维信息。

为了检验结果的精确度,反推编码点特征位 1 和特征位 3 之间的标准距离(90 mm),如图 2 所示。并在现场中加入了外部方位参考装置(图 5 中对应点 45、46、47、231、232、233)作进一步检测。得到结果如表 1、表 2 所示。



图 5 模拟事故现场处理过程

表 1 反推编码点 1、3 距离结果 mm

编号	标准距离	实测距离	误差
CODE 2	90	89.894 6	0.105 4
CODE 4	90	89.993 2	0.006 8
CODE 7	90	90.015 9	-0.015 9
CODE 15	90	89.987 1	0.012 9
CODE 75	90	89.907 7	0.092 3
CODE 16	90	90.025 4	-0.025 4
CODE 20	90	89.912 5	0.087 5
CODE 9	90	89.931 4	0.068 6
CODE 60	90	90.058 4	-0.058 4
平均误差: 0.052 6		标准偏差(std): 0.063 7	

表 2 参考装置点距测量结果 mm

编号	标准距离	实测距离	误差
231 ~ 46	180	179.942 5	0.057 5
46 ~ 232	175	175.060 2	-0.060 2
232 ~ 233	115	114.936 8	0.063 2
45 ~ 47	370	369.865 5	-0.134 5
平均误差: 0.078 9		标准偏差(std): 0.085 2	

四、结论与展望

基于单机移动视觉的交通事故现场勘查系统操作简单,可以大大缩短交通事故现场的处理时间,减少车辆阻塞;图像数据处理过程的自动化程度高,能够快速、客观地获得高精度的事故三维信息,所以有很好的应用前景,并且处理结果可以进一步用于事故过程的三维动画模拟演示。

参考文献:

[1] 李江,汪国宪,李洪才. 摄影测量技术在交通事故再现中的应用[J]. 中国公路学报,1995,8(1):39-41.
 [2] 鲁光泉,许洪国. 用双目视觉方法重建交通事故现场空间点[J]. 公路交通科技,2002,19(2):94-96.

(下转第 26 页)

试验结果表明:斜基线大大降低了解算精度,无法满足工程应用的精度要求。因此,拍摄影像时基线应选择在摄区的中间位置,且基线的方向应尽量与被摄物平行,因为基线方向与被摄物夹角越大,变形越大,精度越低。

4. 植被对精度的影响

徐州市凤山采石场边坡春夏季植被生长旺盛,而秋冬季植被较少。为了研究植被对近景摄影测量精度的影响,现采用旋转多基线的摄影方式采集了夏季和冬季的两期边坡数据,利用 Lensphoto 多基线数字近景摄影测量系统进行解算,解算精度如表 7 所示。

表 7 检查点的解算精度表

季节	匹配 点数	单位权 中误差 /mm	中误差/cm			点位 精度	点位 相对 精度
			X	Y	Z		
夏季	1 016	± 1.628	± 0.71	± 0.63	± 0.47	± 1.06	1/2 520
冬季	1 610	± 2.064	± 0.63	± 0.24	± 0.43	± 0.97	1/2 737

由表 7 不难看出植被对精度的影响较大。夏季采集的数据不易匹配,且解算精度较低;而冬季采集的数据易于匹配,解算精度较高。

四、结 论

以上研究表明,影响采石场边坡三维重建精度的主要因素包括控制点的数量及分布、基线的长度及方向、摄影距离、植被等。控制点从 4 个增加到

8 个的过程中,解算精度提高较快;而当控制点数增加到 8 个以上时,其解算精度提高很小,甚至有所下降。控制点应均匀立体地分布于整个摄区,摄区四周必须有控制点且兼顾中部控制。摄影基线应选择在摄区的中间位置,且方向尽量与被摄物平行,基线长度取约为 1/12 摄影距离,首尾摄站的间距在 1/4 到 1/2 摄影距离之间。尽量选择秋冬季以较短的摄影距离进行影像拍摄。

由此得出本研究的最佳测量方案为:采用立体均匀分布的 10 个控制点,基线长度选为 3 m,方向平行于被摄面,摄影距离为 19 m,在秋冬季进行数据采集。该方案提高了采石场边坡的重构精度,对类似的特殊地形三维景观重构也具有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 张祖勋,杨生春,张剑清,等.多基线—数字近景摄影测量[J].地理空间信息,2007,5(1):1-4.
- [2] 张剑清,胡安文.多基线摄影测量前方交会方法及精度分析[J].武汉大学学报:信息科学版,2007,32(10):847-851.
- [3] 石栓虎.近景摄影测量精度影响因素分析[J].交通科技,2009(3):63-64.
- [4] 龚涛.近景摄影测量控制点布设方案的研究[J].西安交通大学学报,1997,32(3):330-335.
- [5] 柯涛,张祖勋,张剑清.旋转多基线数字近景摄影测量[J].武汉大学学报:信息科学版,2009,34(1):44-47.
- [6] BARTOLI A, STURM P. Non-Linear Estimation of the Fundamental Matrix with Minimal Parameters[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(4):426-432.
- [7] 刘大杰,白征东.一种 GPS 网三维平差的数学模型[J].测绘学报,1997,26(1):37-41.
- [8] 贾盛举,于晶涛.数字近景摄影测量在工业检测中的应用[J].测绘学报,2002,31(S0):61-64.

(上接第 16 页)

- [3] 鲁光泉.基于普通相机的交通事故现场三维重建关键技术研究[D].长春:吉林大学,2004.
- [4] 范生宏.工业数字摄影测量中人工标志的研究与应用[D].郑州:解放军信息工程大学,2006.
- [5] YU Zhijing, CHEN Gang. Single Camera 3D Coordinate On-line Measuring System [C]// Proceedings of Second International Symposium on Instrumentation Science and Technology. Jinan [s. n.], 2002.