

基于坐标变换的视频跟踪误差角的计算方法

金刚石, 吕宏宇, 刘立志
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要: 推导的算法主要用于两轴转台的视频跟踪。一般情况下, 在进行视频跟踪时, 常用目标相对视场中心的夹角来直接修正转台的方位角和俯仰角, 这种粗略的计算方法仅当俯仰角在零值附近时有很好的近似度, 俯仰角越大误差越大。文章基于坐标变换理论建立数学模型, 分析推导所得的计算方法适用性强(各个象限均可计算)、精度高、输入输出明确。

关键词: 视频跟踪; 两轴转台; 误差角

中图分类号: TN86; TP273 **文献标识码:** A

Angle error algorithm for video tracking based on coordinate transform

JIN Gang-shi, LÜ Hong-yu, LIU Li-zhi
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The algorithm developed in this article is mainly used in video tracking of two-axis turntable. The methods using angle deviation between target and the video center to correct the azimuth and pitching angle error directly can achieve good performance only when the pitching angle is close to zero. Large pitching angle will result in big error. To resolve the problem, a mathematic model based on coordinate transform was made, and the new algorithm based on the model can be used in any situation with high precision, and the inputs and outputs of the algorithm is definite.

Key words: video tracking; two-axis turntable; angle error

1 引言

在两轴光电系统中, 当目标位于远距离低空、远距离地面或是海面时, 俯仰角在零值附近变化, 此时像平面与水平面近似垂直, 可以近似地以像平面对应的角偏差量代替光电系统负载舱需要修正的角偏差量。当俯仰角增大, 像平面与水平面的夹角变小时, 需要用更精确的模型描述像平面对应的角偏差量与光电系统负载舱所需修正的角偏差量之间的关系, 否则跟踪系统无法得到正确的角度反馈。

本文采用坐标变换的方法来解决角偏差量的计算问题。即当两轴转台负载舱处于某一已知姿态时, 在图像的视场中发现需要跟踪的目标, 利用目标相对视场中心的夹角和转台负载舱当前的姿态来求解转台负载舱应如何修正姿态。

为了解决同样的问题, 国内外的论文常用立体几何知识建立坐标系后通过多次投影完成理论推

导, 推导过程繁琐且结果形式复杂。

本文使用机器人技术中的坐标变换方法, 数学建模简单、推导过程简单、结果形式简单、应用方便。

2 数学模型的建立

人直立面对转台, 将负载舱窗口调节到正前方(和人眼同方向)水平位置。以负载舱的几何旋转中心为坐标原点 O , 方位轴的转轴为 x 轴, 正方向向上, 俯仰轴的转轴为 y 轴, 正方向向右, 负载舱窗口的指向为 z 轴, 正方向向前, 建立转台基座坐标系 A 。 P 点位于以原点 O 为球心、1 为半径的球面上, 用向量 OP 表示目标所在方向, 当负载舱窗口指向坐标系 A 中坐标为 $[0 \ 0 \ 1]^T$ 的点时, 转台的方位

作者简介: 金刚石(1979-), 男, 在读工程硕士, 工程师, 主要从事控制器的设计与相关控制理论的研究, 视频监控系统的设计与相关应用技术的研究。E-mail: chinajgs@yahoo.com.cn

收稿日期: 2010-09-01; **修订日期:** 2010-12-18

角定义为0,俯仰角也定义为0,两轴转台的横滚角恒为0。

坐标系A的建立如图1所示。

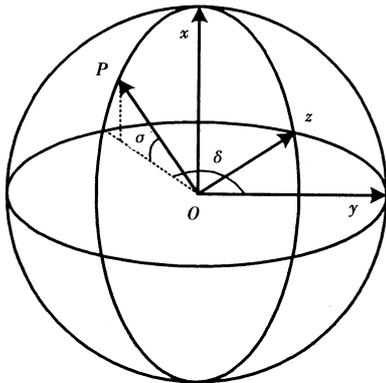


图1 坐标系A的建立

发现目标时,转台负载舱的初始姿态定义为坐标系B,坐标系B与坐标系A的关系为,B的初始姿态与A相同,首先坐标系B绕自身x轴旋转α角(方位角),再绕自身y轴旋转β角(俯仰角)。其中 $\alpha \in [-\pi, \pi], \beta \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ 。

对准目标后,转台负载舱指向目标的姿态定义为坐标系C,坐标系C与坐标系A的关系为,C的初始姿态与A相同,首先坐标系C绕自身x轴旋转δ角(方位角),再绕自身y轴旋转σ角(俯仰角)。其中 $\delta \in [-\pi, \pi], \sigma \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ 。

3 具体算法设计

为了确定一个坐标系相对于另一个坐标系的关系,定义前者的三个单位主矢量x,y,z相对于后者的方向余弦组成3×3矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

绕x轴、y轴、z轴旋转ψ角的旋转矩阵分别为:

$$R(x, \psi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi \\ 0 & \sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix}$$

$$R(y, \psi) = \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi \end{bmatrix}$$

$$R(z, \psi) = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

由于坐标系由A变成B或者由A变成C都是相对运动坐标系而言的,所以变换矩阵应该按照“从左

向右”的顺序相乘^[1-9],所以B相对A的姿态为:

$${}^A T_B = R(x, \alpha) R(y, \beta) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ \sin\alpha \sin\beta & \cos\alpha & -\sin\alpha \cos\beta \\ -\cos\alpha \sin\beta & \sin\alpha & \cos\alpha \cos\beta \end{bmatrix}$$

同理,C相对A的姿态为:

$${}^A T_C = R(x, \delta) R(y, \sigma) = \begin{bmatrix} \cos\sigma & 0 & \sin\sigma \\ \sin\delta \sin\sigma & \cos\delta & -\sin\delta \cos\sigma \\ -\cos\delta \sin\sigma & \sin\delta & \cos\delta \cos\sigma \end{bmatrix}$$

由于向量OP指向目标,故P点在坐标系C中的坐标为[0 0 1]^T,记为^Cp,设P点在坐标系B中

的坐标为 $\begin{bmatrix} \frac{\tan\theta}{\sqrt{1^2 + \tan^2\theta + \tan^2\varphi}} \\ -\frac{\tan\varphi}{\sqrt{1^2 + \tan^2\theta + \tan^2\varphi}} \\ \frac{1}{\sqrt{1^2 + \tan^2\theta + \tan^2\varphi}} \end{bmatrix}$, 记为^Bp,其中,

$\varphi \in (-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ 为目标向量OP相对坐标系B的z轴正方向的水平夹角, $\theta \in (-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ 为目标向量OP相对坐标系B的z轴正方向的俯仰夹角。坐标系B与目标方向的关系如图2所示。

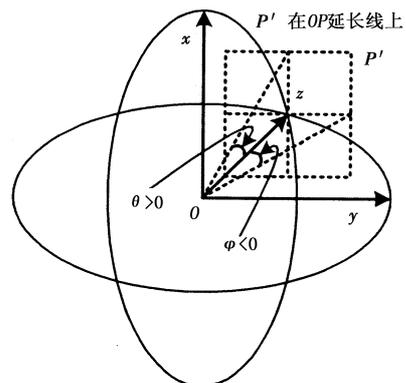


图2 坐标系B与目标方向

将P点在坐标系C中和坐标系B中的坐标同时变换至A坐标系,得:

$$\begin{aligned} {}^A p &= {}^A T_C {}^C p = [x_A \ y_A \ z_A]^T \\ &= [\sin\sigma \ -\sin\delta \cos\sigma \ \cos\delta \cos\sigma]^T \\ {}^A p &= {}^A T_B {}^B p = [x_A \ y_A \ z_A]^T \\ &= \begin{bmatrix} \frac{\sin(\beta + \theta) \sec\theta}{\sqrt{\tan^2\theta + \sec^2\varphi}} \\ -\frac{\sin\alpha \cos(\beta + \theta) \sec\theta + \cos\alpha \tan\varphi}{\sqrt{\tan^2\theta + \sec^2\varphi}} \\ \frac{\cos\alpha \cos(\beta + \theta) \sec\theta - \sin\alpha \tan\varphi}{\sqrt{\tan^2\theta + \sec^2\varphi}} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

由于 $\alpha, \beta, \theta, \varphi$ 已知, 所以 x_A, y_A, z_A 可以直接求得。

由于 $\sigma \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$, 所以 $\sigma = \arcsin x_A$, 且 $\cos \sigma = \sqrt{1 - \sin^2 \sigma} \geq 0$ 。

为准确地求得 δ 角, 不能简单地用 $\delta = \arctan\left(-\frac{y_A}{z_A}\right)$ 来计算, 因为 $\delta \in [-\pi, \pi]$, 定义域和值域都不匹配。

所以, 先计算 $\sin \delta = -\frac{y_A}{\cos \sigma}$ 和 $\cos \delta = \frac{z_A}{\cos \sigma}$, 如果 $\sin \delta > 0$, 则 $\delta = \arccos(\cos \delta)$, 否则 $\delta = -\arccos(\cos \delta)$ 。

补充说明: 如果只希望计算方位角的增量 $\Delta \alpha = \delta - \alpha$ 和俯仰角的增量 $\Delta \beta = \sigma - \beta$, 则在计算 ${}^A p = {}^A T_B {}^B p$ 时可以令 $\alpha = 0$ 以简化计算, 最后得到的 δ 即为 $\Delta \alpha$, $\Delta \beta$ 仍需用 $\sigma - \beta$ 计算, 但 σ 的求取已经简化了。此时 ${}^A p$ 简化为:

$${}^A p = {}^A T_B {}^B p = \begin{bmatrix} \frac{\sin(\beta + \theta) \sec \theta}{\sqrt{\tan^2 \theta + \sec^2 \varphi}} \\ -\frac{\tan \varphi}{\sqrt{\tan^2 \theta + \sec^2 \varphi}} \\ \frac{\cos(\beta + \theta) \sec \theta}{\sqrt{\tan^2 \theta + \sec^2 \varphi}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{bmatrix}$$

4 计算结果及讨论

表1 修正角的计算

(单位: 度)

α	β	φ	θ	δ	σ
0	0	15	0	15	0
0	0	0	15	0	15
0	45	15	15	27.37	56.97
45	45	15	15	72.37	56.97
-45	-45	15	15	-28.36	-28.95
-180	-45	15	15	-163.36	-28.95
90	90	15	0	-180	75
-90	-90	0	15	-90	-75

从以上计算结果可以看出: 俯仰角为零时光电系统负载舱需要修正的角偏差量(增量)等于像平面对应的角偏差量; 像平面对应的角偏差量不变时, 光电系统负载舱需要修正的角偏差量(增量)仅与光电系统负载舱修正前的俯仰角有关, 俯仰角越大, 方位角的修正量(增量)越大; 俯仰角不为零时, 俯仰角的修正量(增量)与方位角的修正量(增量)

有关。

5 结论

本文使用坐标变换的理论推导和计算视频跟踪时如何根据目标在像平面的偏差角来调整转台负载舱的位置。计算结果表明, 本算法能够准确计算角度偏差。有了准确的角度反馈, 在与伺服系统构成闭环的跟踪系统时就可以准确地评估目标运动的角度速度与角加速度, 从而可以方便地将运动目标锁定在视频图像的正中心。此算法经实际检验, 跟踪效果良好, 在相同的伺服系统中, 应用此算法比粗略的直接替代法稳定时间要短, 动态性能好, 此算法由于结果形式简单, 所以和几何投影算法得出的形式复杂的结果相比要节省处理器时间。

参考文献:

- [1] Xiong Youlun. Fundamentals of robot technology [M]. Wuhan: Huazhong University of Technology Press, 1996. (in Chinese)
熊有伦. 机器人技术基础 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.
- [2] Xiong Youlun, Ding Han, Liu Encang. Robotics [M]. Beijing: China Machine Press, 1993. (in Chinese)
熊有伦, 丁汉, 刘恩沧. 机器人学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [3] Zhou Yuanqing, Zhang Zaixing, Xu Wanyong. Intelligent robot system [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1989. (in Chinese)
周远清, 张再兴, 许万雍. 智能机器人系统 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1989.
- [4] Zhang Bopeng, Zhang Kun, Xu Jiaqiu. Engineering foundation of robotics [M]. Beijing: China Machine Press, 1989. (in Chinese)
张伯鹏, 张昆, 徐家球. 机器人工程基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [5] Craig J J. Introduction to robotics [M]. New York: Addison-Wesley Publishing Co., 1989.
- [6] Fu K S, Gonzalez R C, Lee C S G. Robotics: Sensing, Vision and Intelligence [M]. New York: McGraw-Hill Book Co., 1987.
- [7] Paul R. Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control [M]. Massachusetts: The MIT Press, 1981.
- [8] Asada H, Stotiner J J. Robot Analysis and Control [M]. Hoboken: Wiley, 1986.
- [9] Hunt K H. Kinematic Geometry of Mechanisms [M]. Oxford: Clarendon Press, 1978.