

基于相关匹配的结构光测量数据的融合方法

刘可¹, 叶震¹, 翟鸣², 王征¹

(1. 合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009;
2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院 自动化系, 上海 200240)

摘要:针对结构光三维测量中利用旋转平台进行数据融合提出了一种基于相关匹配的结构光测量数据的融合方法, 利用相关物面进行匹配求出旋转平台的旋转角度, 利用这个角度就可以实现对测量结果的三维数据融合。实验表明, 该方法可行有效, 可以达到较高的精度。

关键词:相关匹配; 三维数据融合; 三维测量; 结构光

中图分类号:TP18

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2006)11-0001-03

A Fusion Method of Structured Light Data Based on Correlative Matching

LIU Ke¹, YE Zhen¹, ZHAI Ming², WANG Zheng¹

(1. School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. Dept. of Automation, School of Electronics and Electric Eng., Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A fusion method of structured light data based on correlative matching is proposed. Using a turntable, can get the 3D data of an object by structured light first. And then can get rotary angles through matching the correlative object's planes. Finally, can achieve the fusion of 3D data using these angles. The result of experiments shows that this method is effective and has high precision.

Key words: correlative matching; 3D data fusion; 3D measurement; structured light

0 引言

结构光测量数据的融合是结构光三维测量的最后一步, 是对三维测量结果的处理过程。三维测量是从图像获取物体的三维模型^[1], 它是计算机视觉研究的一项重要任务。其中利用结构光实现物体三维测量的常用方法。目前国内外已有许多利用结构光实现三维测量的算法, 如单点结构光法^[2]、单线结构光法^[3]、多线结构光法^[4]等。由于这些方法一次只能测量待测物体的一个侧面, 所以为了得到待测物体完整的三维数据, 一般利用一个可以精确读出旋转角度的旋转平台辅助测量。不断旋转平台, 记录平台的旋转角并用结构光测量出对应场景下物体的三维数据, 最后利用记录下的平台旋转角度对多次测量的结果进行融合来得到待测物体完整的三维数据。然而能够精确读出旋转角度的旋转平台增加了设备成本, 并且每次都需要人工读出旋转角度也给测量造成了不便。为此文中提出一种基于相关匹配的结构光测量数据融合方法, 通过计算相关物面的匹配程度得到旋转平台的旋转角度, 从而完成对三维数据的融合。

1 基于相关匹配的三维数据融合

1.1 旋转平台三维数据融合的原理

为了方便而准确地对物体进行三维数据融合, 可以将待测物体放置在可绕旋转轴旋转任意角度的旋转平台上, 转动旋转平台可将待测物体的任意侧面暴露在摄像机的拍摄范围之内, 旋转平台旋转的每一个位置称为一个场景, 通过将多个场景中测量到的三维数据进行转换及整合, 就可以得到待测物体完整的三维数据。由于待测物体的旋转在数学上等同于物体上各点坐标在不同空间坐标系之间的转换, 只要物体旋转的角度已知, 就能够根据空间坐标系的变化情况, 将不同场景的三维数据整合到同一坐标系中去^[5]。在结构光三维数据测量中, 世界坐标系是在系统标定过程中由标定块确定的。旋转平台坐标系由如下方式确定: 如图1所示, 取旋转平台旋转轴方向为旋转平台坐标系的Z轴方向(旋转平台旋转轴方向与世界坐标系Z轴方向是相同的)。取旋转平台坐标系X, Y轴方向与世界坐标系X, Y轴方向相同。取标定过程中所求得的旋转轴与世界坐标系XY面的交点为旋转平台坐标系的原点。设旋转平台未旋转前待测物体表面上任意点X在旋转平台坐标系中的坐标为 x' 。在测量时, 将旋转平台绕旋转轴顺时针旋转角度 $-\omega_i$ ($\omega_i > 0$), x'_i 为旋转平台旋转角度 $-\omega_i$ 后点X在旋转平台坐标系中的坐标, 则 x'_i 满足:

收稿日期: 2006-02-14

作者简介: 刘可(1978-), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向为信息系统与多媒体技术; 叶震, 副研究员, 硕士生导师, 研究方向为信息系统与多媒体技术。

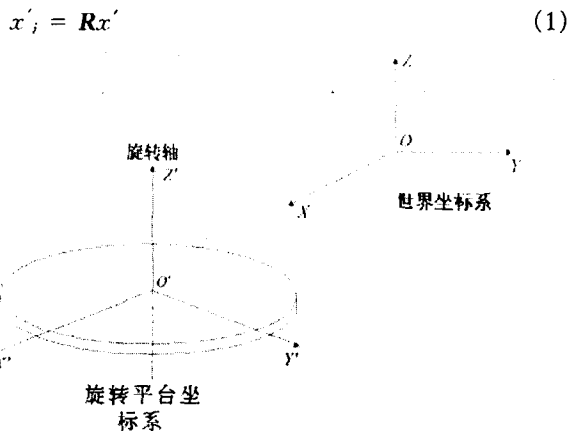


图 1 旋转平台坐标系与世界坐标系

其中: $i = 1, 2, 3, \dots, N$ 为场景编号。旋转矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\omega_i & \sin\omega_i & 0 & 0 \\ -\sin\omega_i & \cos\omega_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(1) 式表现了在测量过程中, 旋转平台旋转前后坐标的变换关系。在融合过程中的坐标变换关系可以简单地表示成(1)式的逆式:

$$x' = R^{-1}x' \quad (3)$$

要由物体上的点 X 在旋转平台坐标系下的坐标 x' 取得旋转平台未旋转时该点在世界坐标系中的坐标, 还必须知道世界坐标系和旋转平台坐标系之间的转换关系。设旋转平台坐标系坐标原点在世界坐标系中的坐标为 (x_0, y_0, z_0) , 根据空间解析几何知识可以得到:

$$x' = T^{-1}x \quad (4)$$

$$x'_i = T^{-1}x_i \quad (5)$$

其中 $i = 1, 2, 3, \dots, N$ 为场景编号; x 为旋转前点 X 在世界坐标系中的坐标; x_i 为旋转平台旋转角度 $-\omega_i$ 后点 X 在世界坐标系中的坐标, 其中

$$T = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos\psi - \sin\varphi\sin\psi\cos\theta & -\sin\varphi\cos\psi - \cos\varphi\sin\psi\cos\theta & \sin\psi\sin\theta & x_0 \\ \cos\varphi\sin\psi + \sin\varphi\cos\psi\cos\theta & -\sin\varphi\sin\psi + \cos\varphi\cos\psi\cos\theta & -\cos\psi\sin\theta & y_0 \\ \sin\varphi\sin\theta & \cos\varphi\sin\theta & \cos\theta & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

T 为世界坐标系和旋转平台坐标系之间的转换矩阵, ψ, φ, θ 为两坐标系之间转换的欧拉角。值得注意的是由于旋转平台坐标系坐标轴取向的特殊性, $\psi = 0, \varphi = 0, \theta = 0$, 即两坐标系间的关系仅为平移关系。所以 T 简化为:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

由式(3), 式(4), 式(5)可以推出:

$$x = TR^{-1}T^{-1}x_i \quad (8)$$

由式(8)可以看出, 当世界坐标系和旋转平台坐标系空间位置关系确定后, 待测物体在不同场景中的坐标转换

仅与旋转平台的旋转角度 ω_i 有关。因此, 只要得到每次测量时旋转平台旋转的角度, 就可以将不同场景中的数据整合, 实现三维数据融合。

要得到旋转平台的旋转角度一般是通过在旋转平台边缘画上刻度, 在旋转平台旋转过后由人工读出读数, 或者通过在旋转平台上画上一组平行线, 然后计算该组平行线的消影点, 以及利用摄像机矩阵 P 来求出旋转角度^[6]。这两种方法都需要人工的操作, 比较繁琐。因此提出通过计算相关物面匹配的新的角度计算方法, 完全脱离人工操作。

1.2 基于相关匹配的旋转角度计算方法

使用旋转平台数据融合方法进行数据融合时, 旋转平台每旋转一个角度就对物体测量一次, 为了使测量结果较为完整, 一般使本次测量的物面与上一次测量的物面有少许重合, 利用重合部分的这些数据可以对两次测量结果中的物面进行匹配。由于两次测量的物面是绕同一个旋转轴进行旋转的, 进行匹配时只需要考虑一个参数, 即旋转平台的旋转角度。也就是说对相邻两次测量的物面进行匹配就可以求出旋转平台的旋转角度, 利用这个角度就可以实现对测量结果的三维数据融合。

如图 2 所示为测量过程中的场景一, L 为旋转平台旋转轴, M 为过 L 的平面, 该平面与物面相交于曲线 S , 图 3 为当旋转平台旋转角度 θ_0 后的场景二, 其中 M', S'

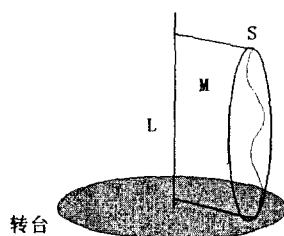


图 2 场景一

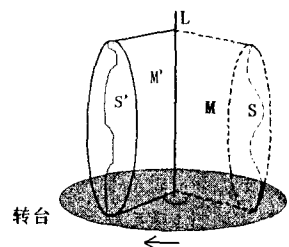


图 3 场景二

分别为场景一中的平面 M 、曲线 S 绕旋转轴 L 旋转角度 θ_0 后所在的位置。 M_p 为过旋转轴 L 且与物面相交的所有平面中的一个, 当且仅当 M_p

与 M 的夹角为 θ_0 , 即当平面 M_p 与平面 M' 重合时, M_p 与物面的交线与曲线 S 最匹配。求出场景二中物面与所有过 L 的平面的交线, 将这些交线与 S 进行匹配运算, 最佳匹配曲线所对应平面与 M 的夹角即为旋转台旋转角度 θ_0 。

1.2.1 对测量结果的插值

使用横向的结构光对待测物体进行测量, 结构光平面未能达到的物面就无法知道其三维信息, 为了进行匹配运算, 根据这些区域周围已知三维坐标的点通过插值的方法来估算这些区域的三维信息。插值的方法有很多种如: 拉格朗日插值法、逐步插值法、牛顿插值法、艾尔米特插值法、数值微分插值法和样条插值法等。拉格朗日插值法计算简单、速度快, 所以插值时使用该插值方法。拉格朗日

插值方法如下:

设 $U = \{(x_i, y_i) \mid y_i = f(x_i), i = 0, \dots, N\}$ 是一个二维点集, 对点集 U 进行拉格朗日插值首先要计算点集 U 的基本插值多项式 $L_0(x), L_1(x), \dots, L_k(x), L_{k+1}(x), \dots, L_N(x)$,

$$L_k(x) = \begin{cases} 1 & (x = x_k) \\ 0 & (x \neq x_k) \end{cases} \quad (9)$$

显然 $x_0, x_1, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_N$ 为 $L_k(x)$ 的零点, 故可设:

$$L_k(x) = A_k(x - x_0)(x - x_1) \cdots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \cdots (x - x_N) \quad (10)$$

其中 A_k 为待定系数, 由条件 $L_k(x_k) = 1$ 可得:

$$1 = A_k(x_k - x_0)(x_k - x_1) \cdots (x_k - x_{k-1})(x_k - x_{k+1}) \cdots (x_k - x_N) \quad (11)$$

由上式可解出 A_k , 于是:

$$L_k(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1) \cdots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \cdots (x - x_N)}{(x_k - x_0)(x_k - x_1) \cdots (x_k - x_{k-1})(x_k - x_{k+1}) \cdots (x_k - x_N)} \quad (12)$$

至此基本插值多项式求解完毕。令

$$L(x) = \sum_{k=0}^N y_k L_k(x) = y_0 L_0(x) + y_1 L_1(x) + \cdots + y_N L_N(x) \quad (13)$$

$L(x)$ 即为所求的插值多项式。 $N = 1$ 时 $L(x)$ 为线性插值, $N = 2$ 时为抛物线插值。

1.2.2 物面匹配方法

首先对场景一中的获取的三维数据进行横向插值, 即对处于同一个光平面上的点插值, 插值的间隔以能够满足精度需要为准。由于所要插值的点处在同一个光平面上, 于是将已知点向旋转平台平面投影, 然后对投影点进行二维插值, 最后将所得的插值点反投影求取与光平面的交点, 就可以得到所要求的三维插值点。用该方法分别对场景一和场景二中的点进行插值, 得到插值点集合 A 和 B 。

设 $M(n)$ 为过旋转轴的平面束, 其中 $n = 1, 2, 3, \dots$, 相邻两平面间的夹角均为 ω_0 。 ω_0 的大小以能够达到精度要求为准。 $M(N_p)$ 为平面束中的一个平面, 设 $M(N_p)$ 与场景一中的待测物面相交, 求出场景一插值点集合 A 中所有在平面 $M(N_p)$ 上的点, 设这些点构成集合 C , 考虑到精度, 若集合 C 中的点数大于预设的阈值, 那么再进行下面的操作。先将三维点集 C 转换为二维点集 C' , 转换方法如下: 设 $x(x_1, x_2, x_3)$ 为 C 中一点, 则该点对应的 C' 中的点 x' 的坐标为 $(x_3, f(x_3))$, $f(x_3)$ 为 x 点到旋转轴的距离。对 C' 中的点进行插值得到集合 $D(N_p)$, 插值的起始值为 x_0 , 间隔为 d_0 , 终止值为 $x_0 + md_0$ 。同样, 平面 $M(N_p)$ 也与场景二中的待测物面相交, 按上述方法求取其对应的二维点集 $D'(N_p)$ 。对于平面束 $M(n)$ 中的每一个平面均按上述方法求取其对应的两个二维点集, 与场景一相关联的二维点集的集合记为 $D(n)$, 与场景二相关联

的二维点集的集合记为 $D'(n)$ 。

匹配的过程实际上就是从 $D(n)$ 和 $D'(n)$ 中分别找出一个集合, 使得这两个集合中的对应点间的距离最小。设 $D(N_0) \in D(n)$, s 为 $D(N_0)$ 中一点, 点 s 的坐标可以表示为 $(x_0 + td_0, f(x_0 + td_0))$ 其中 $t = 0, 1, 2, \dots, m$ 。设 $D'(M_0) \in D'(n)$, s' 为 $D'(M_0)$ 中一点, s' 的坐标可以表示为 $(x_0 + kd_0, f'(x_0 + kd_0))$, 其中 $k = 0, 1, 2, \dots, m$ 。定义 $D(N_0)$ 与 $D'(M_0)$ 的相似度为:

$$g(N_0, M_0) = \frac{1}{\sum_{t=0}^m |f(x_0 + td_0) - f'(x_0 + td_0)|} \quad (14)$$

求出 $D(n)$ 中每个集合与 $D'(n)$ 中每个集合的相似度, 设 $g(N'_0, M'_0)$ 是相似度函数的最大值, 则 $(N'_0 - M'_0)\omega_0$ 即为场景一与场景二之间的旋转角度。

2 实验结果

实验中使用一个打印机作为待测物体, 将其放在一个旋转平台上, 如图 4 所示。先使用结构光测量它的三维数据。最后使用文中所述方法进行数据融合, 结果如图 5 所示。从实验结果可以看出, 提出的方法是行之有效的且具有较高的精确度。



图 4 待测量的打印机

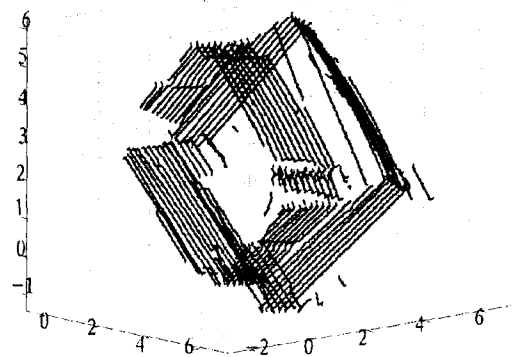


图 5 打印机三维数据融合结果

3 总结

提出了一种基于相关匹配的结构光测量数据的融合方法, 使得在利用旋转平台进行三维数据融合的过程中不

(下转第 61 页)

3.1 设值注入的优势

1) 通过 setter 方法设定依赖关系显得更加直观、更加自然。

2) 如果依赖关系(或继承关系)较为复杂,那么构造子注入模式的构造函数也会相当复杂(需要在构造函数中设定所有依赖关系),而设值注入模式往往更为简单。

3) 对于某些第三方类库而言,可能要求组件必须提供一个默认的构造函数,此时构造子注入的依赖注入机制就体现出其局限性,难以完成所期望的功能。

3.2 构造子注入的优势

1) “在构造期即创建一个完整、合法的对象”,构造子注入很好地贯彻了这条 Java 设计原则。

2) 如果依赖关系比较简单,构造子注入模式避免了繁琐的 setter 方法的编写,所有依赖关系均在构造函数中直接设定,依赖关系集中呈现,更加易读。

3) 由于没有 setter 方法,依赖关系在构造时由容器一次性设定,因此组件在被创建之后即处于相对“不变”的稳定状态,无需担心上层代码在调用过程中执行 setter 方法对组件依赖关系产生破坏,特别是对于 Singleton 模式的组件而言,这可能对整个系统产生重大的影响。

4) 由于关联关系仅在构造函数中表达,只有组件创建者需要关心组件内部的依赖关系。对调用者而言,组件中的依赖关系处于黑盒之中。对上层屏蔽不必要的信息,也为系统的层次清晰性提供了保证。

5) 通过构造子注入,意味着可以在构造函数中决定依赖关系的注入顺序,对于一个大量依赖外部服务的组件而言,依赖关系的获得顺序可能非常重要。

可见,构造子注入和设值注入模式各有千秋,而 Spring Framework、PicoContainer 等轻量级容器都对这两种类型的依赖注入机制提供了良好支持。这也提供了更多的选择余地。理论上,以构造子注入类型为主,辅之以

设值注入类型机制作为补充,可以达到最好的依赖注入效果,不过对于基于 Spring Framework 开发的应用而言,设值注入使用更加广泛^[4]。

4 小 结

IoC 是构架松耦合应用的很好的实例。IoC 还有几个重要的好处,例如:因为组件不需要在运行时间寻找合作者,所以它们可以更简单地编写和维护。同样原因,应用代码更容易测试。大部分业务对象不依赖于 IoC 容器的 API。这使得很容易使用遗留下来的代码,且很容易地使用对象,无论在容器内或不在容器内。IoC 不同于传统容器的体系结构(EJB),代码最小程度地依赖于容器。这意味着业务对象可以潜在地被运行在不同的 IoC 框架上,或者在任何框架之外并且不需要任何代码的改动^[5]。

目前, IoC 在 Spring Framework、PicoContainer、Castle Windsor 等轻量级容器中都有很好的应用。

参考文献:

- [1] 透 明. IoC 容器和 Dependency Injection 模式[EB/OL]. 2004. <http://gigix.blogdriver.com/gigix/inc/Dependency-Injection.pdf>.
- [2] 林 润. 什么是 IoC[EB/OL]. 2004-04. <http://tech.blogbus.com/logs/2004/04/129472.html>.
- [3] Fowler M. Inversion of Control Containers and the Dependency Injection pattern[EB/OL]. 2004. <http://martinfowler.com/articles/injection.html>.
- [4] 夏 昕. Spring 开发指南[EB/OL]. 2004. http://www.xiaxin.net/Spring_Dev_Guide.rar.
- [5] Johnson R. Introducing to Spring Framework[EB/OL]. 2005. <http://www.theserverside.com/articles/article.tss?l=SpringFramework>.

(上接第 3 页)

需要使用能够精确读出旋转角度的旋转平台,使用普通的旋转平台就可以进行测量,从而减少了测量设备的成本。并且测量过程中不需要人工读取平台旋转角度,简化了测量过程。但是当所测量的物体为圆柱体或球体且旋转平台旋转轴过其对称轴时这种方法失效,因为任意两个过旋转轴的平面与物面相交所成的曲线都是完全匹配的,但是这种情况极少发生。除此之外,融合结果的精确程度与计算过程中插值精度选择有关,精度过小或者过大都不能得到最优结果。具体精度要求应该按照实际要求确定。

参考文献:

- [1] Hartley R, Zisserman A. 计算机视觉中的多视图几何[M]. 韦 穗,杨尚骏,章权兵,胡茂林,译. 合肥:安徽大学出版社,2002:223-224.
- [2] Rioux M. Laser ranger finder based upon synchronized[J].

Appl Opt, 1984, 23(21): 3837-3844.

- [3] Vandop E R, Regtien P L. Volumetric segmentation of range images for printed circuit board inspection[C]//In: Frederik Y W, Ye Shenghua. Proceedings of SPIE Int Conf on Automated Optical Inspection for Industry. Washington: SPIE, 1966: 697-694.
- [4] Yu Xiaoyang, Zhang Jian, Wu Liying, et al. Laser scanning device used in spaceencoding rangefinder[C]//In: Frederik Y W, Ye Shenghua. Proceedings of SPIE Int Conf on Automated Optical Inspection for Industry. Washington: SPIE, 1996: 490-495.
- [5] 龙 玺,钟约先,李仁举,等. 结构光三维扫描测量的三维拼接技术[J]. 清华大学学报:自然科学版,2002,42(4):477-480.
- [6] 翟 鸣. 基于结构光的三维数据测量方法研究[D]. 合肥:安徽大学电子工程与信息科学学院,2005.