

基于立体定位技术的自动化精密加工系统设计

马文卓¹ 张杰²

(重庆生产力促进中心 重庆 401147)¹ (华通科技有限公司 重庆 401121)²

摘要 传统自动化精密加工过程由目标定位、程序控制、自动化操作 3 个环节实现。在目标定位环节,一次精度难以保证,二次精度更是随磨损而衰减,导致自动化生产无法满足高精度和高成品率的加工要求。为此,提出一种基于立体定位技术的目标定位优化方法,该方法首先在加工机械臂上安装定位传感器,然后对物料的待加工点进行立体建模,并基于经验模型操作机械臂进行坐标初始化,从而构建了以机械臂动态位置为变量、以高精度和稳定性为目标的优化模型。通过实验数据和算法优化结果得出了补偿算法和经验模型参数,分析了定位精度和加工精度之间的关联关系。

关键词 精密加工, RSSI, 物联网, 立体定位, 程控自动化

中图分类号 TP311.5 **文献标识码** A

Design Robot System Based on Stereo Perception Technology Computer Engineering and Applications

MA Wen-zhuo¹ ZHANG Jie²

(Chongqing Productivity Council, Chongqing 401147, China)¹

(Huatong Technology Corporation, LTD, Chongqing 401121, China)²

Abstract The traditional precision machining process is realized by three steps, which are target location, program control and automatic operation. In the target location, the accuracy of the traditional method to fixed material is difficult to be guaranteed. With the increase of equipment wear, the accuracy of the production line is continuous decline, which makes automatic production cannot complete the high accuracy of the processing needs. So, it is needed to use the three-dimensional positioning technology to take the relative position information converted to the intensity of the wireless signal, and get the quantification positioning information. Using this RSSI stereo positioning method, we treated the processing material and automation manipulator to three-dimensional modeling, and set parameters which can be identified by program control, then solved the difficult problem. The high accuracy of this system will not be reduced by the physical wear. The quality of the production gets guaranteed.

Keywords High precision machining, RSSI, Internet of things, Stereo positioning, Program control automation

1 引言

中国已经成为全球第一制造大国,但大而不强确是我国制造业的致命伤。目前,“中国制造”正竭力摆脱只能进行代加工制造的困局和廉价消费品制造大国的标签,向着高价值、高精度、高自动化的方向发展。然而我国与美国、日本等制造业强国相比,在核心技术上存在着很大的差距。为了改善这种现状,我国制造企业正在纷纷加强企业 IPD (Integrated Product Development), 不断寻求提高产品精度品质的方法。另一方面,随着市场经济进入“全球一体化”阶段,需求的重要性日益突出,用户需求的日益精细化已经成为制造型企业生产方向的主导因素。

在全球一体化的市场中,企业和广大独立消费者的需求不断驱动着产品的生产与开发。近年来,以及移动技术和物联网技术的不断发展,以及全球环保问题和能源问题的逐渐凸显,产品的潮流逐渐向着“小型化”、“微型化”和“个人化”的

趋势发展。例如“超薄”、“便携”等需求高涨。这些需求迫使现代制造企业的生产目标转向满足用户需求。但需求的潮流与趋势为制造企业提出了更高的精度要求。

因此,无论是企业未来发展的内部因素,还是市场环境的外部因素,都要求我国制造业进行技术创新,提升制造的精度与品质。

2 制造业的自动化

2.1 工业自动化的要素

对制造业现代化水平的衡量,主要取决于制造企业的自动化水平。我国现代制造企业仍普遍处于工业自动化的第三阶段(孤岛自动化),个别先进企业正向第四阶段(总线自动化)转变,与美国、日本等制造强国有着很大的差距。

企业要提升制造的精度和品质,就必须将自动化流水线进行分解,从微观发掘影响精度的要素,并逐一解决。在自动化加工中,工位是自动化流水线的最小单位。自动化工位加

马文卓(1985—),女,硕士,助理研究员,主要研究方向为互联网、自动化, E-mail: ponywz@qq.com; 张杰(1984—),男,工程师,主要研究方向为电子信息技术、物联网。

工系统来自于由工人操作的手工加工工位。对自动化工位进行仿生学建模,可以将工位加工再次分解为感知、思考和操作3个步骤,这3个步骤组成的系统体现了加工制造的输入、运算和输出指令的全过程。解决加工的精度问题,就要从以下3个步骤入手,如图1所示。

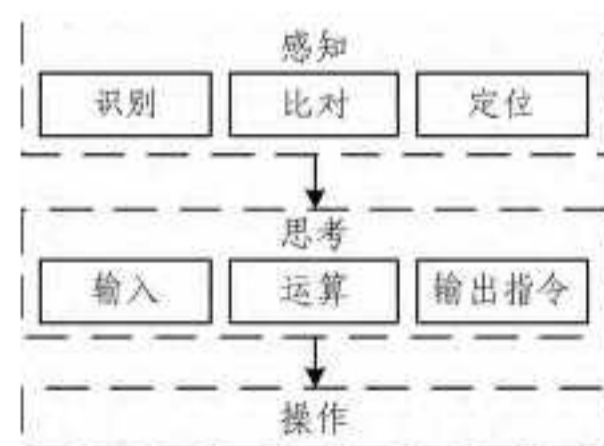


图1 工位加工系统模型

首先,感知部分是自动化的“眼睛”,将完成构件的识别、比对确认以及定位等工作。

其次,思考部分是指自动化程序控制的过程。自动化程序以感知过程中获得的类型信息为依据,进行操作类型的判断,再根据构件的位置信息对操作部分(如自动机械臂)进行初始化。

最后,操作部分对设计进行计算并转化为机械臂指令,指挥机械臂,完成一次加工操作过程。

在工位加工的过程中,我国制造业在思考和操作部分投入巨大,却往往忽视了加工的“感知”过程。大部分自动化流水线还停留在对构件进行人工摆位或卡榫定位的原始阶段。这种原始的感知过程将最初的定位误差带入到整个系统中,并在后续的一系列操作中将误差放大,极大地制约了制造的精度。

2.2 现代制造企业面临的问题

在自动化生产中,一个工位的精度良品率将用如下的公式进行衡量:

$$P_v = P_a \cdot P_p \cdot P_o$$

工位的精度良品率由感知合格率、程控合格率和操作合格率共同体现。其中,每一步的精度误差都将影响到下一步的结果,从而将误差积累到最终的产品。

目前,工业自动化加工系统中,感知部分的自动化程度不高,这成为了制约系统整体精度的最大问题。

传统的工业自动化,感知部分的构件位置信息往往通过人工摆放构件或者通过自动化流水线上的固定卡榫完成构件摆放,构件摆放的精度难以得到保证。感知的合格率公式可通过感知合格率公式表示,如下:

$$P_a = \frac{1}{n} \cdot P_p \cdot P_t \cdot X_t \cdot \sum_{i=0}^n \varphi_i$$

感知的合格率由构件摆放的精度、卡榫尺寸的精度、系统的磨损系数和各工位间的差异决定。

随着固定卡榫的物理磨损,在时间维度上,各批次的产品质量不一致,产品精度将呈非线性下滑的趋势,如图2所示。

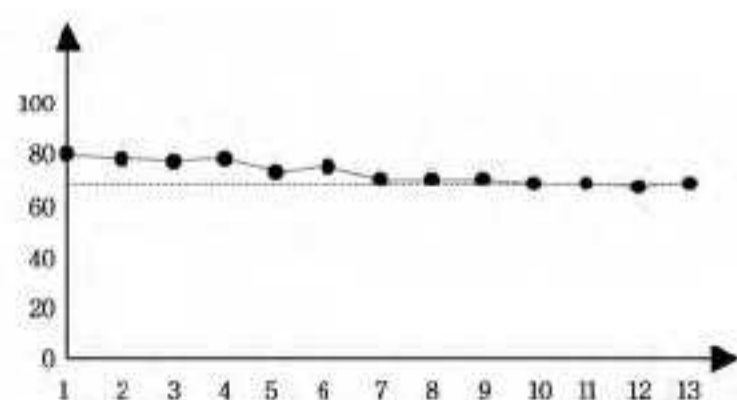


图2 各批次感知总合格率

由于各工位差异的存在,在空间维度上,不同卡榫的个体差异不同,磨损的程度也不同,全生产线各构件的加工精度将呈非正态分布,其感知合格率分布如图3所示。

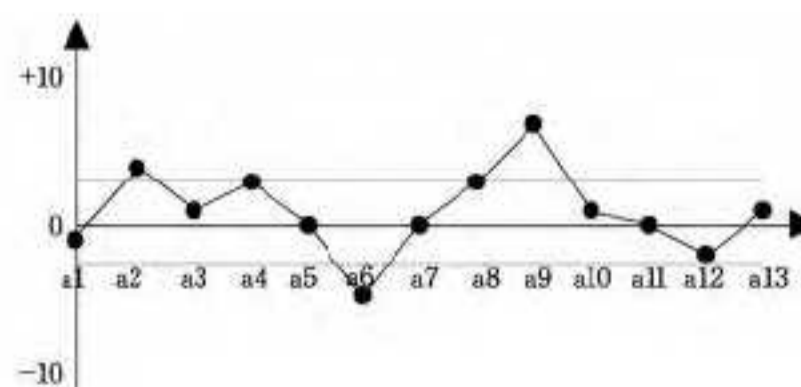


图3 各工位感知合格率分布

因此,定位的精度对于自动化生产的整体精度至关重要。定位的精度问题需要寻找一种技术手段,解决在时间维度和空间维度上的问题,提高最终生产的良品率。

3 立体定位模型 MSP

3.1 立体定位技术简介

立体定位模型(Model-Stereo Positioning, MSP)综合了传感器技术、嵌入式技术、无线通信技术、分布式信息处理技术。

基于RSSI(Received Signal Strength Indicator)的立体定位技术是传感器网络中的关键技术,根据应用方式的不同,定位技术分为基于空间坐标系的绝对定位和基于参照坐标系的相对定位两大类。绝对定位主要通过测量被测物体与空间坐标零点间的距离和角度信息实现。测量方法有三维测量法、角度测量法、最大似然法等算法。相对定位主要由参照坐标系零点主动测量与被测物体间的距离和角度信息,因此更适于不断位移的系统。根据定位方式的不同,相对位置的感知过程又分为主动感知和被动感知两种方法。主动感知即由参照坐标系主动发起测量,实时计算坐标系零点与被测物体间的距离和角度信息。被动感知是将参照坐标系零点与被测物体都置于空间坐标系中,同时测量两物体的绝对运动轨迹,再根据两物体间的距离和角度差值计算出相对位移信息。在本文中,生产线自动化机械臂处于不断位移的过程中,更适用于采取相对定位的方式。

3.2 立体定位系统设计

设计通过无线信号强度指示(RSSI)技术,利用主动感知的方式建立模型,测量机械臂与物料间的相对位置。系统通过对构造数据的比对,进行动作设计和运动指令的计算,指挥机器人做出精确的操作,完成自动化生产过程。其管理过程以有限状态自动机状态图表示,如图4所示。

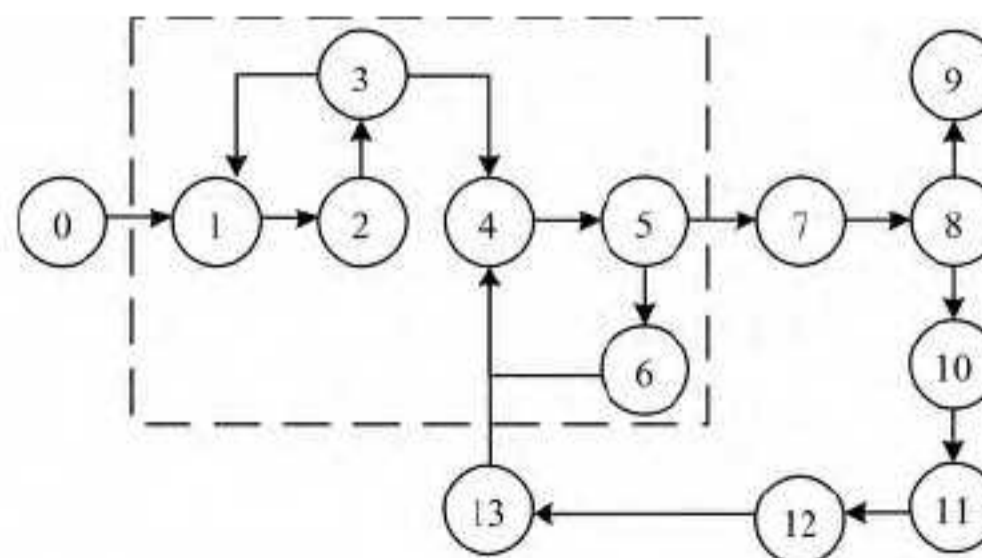


图4 有限状态自动机状态图

有限状态自动机状态与逻辑判断的对应关系如表1所列。

表1 状态描述和逻辑判断的对应关系表

| 状态 | 状态描述 | 逻辑判断 |
|----|-------------|-------------------------------------|
| 0 | 启动 | 系统启动 |
| 1 | 识别 | 有构件进入识别区 |
| 2 | 构造比对 | 与构件模型库进行比对 |
| 3 | 确认构件种类 | 确定加工类型和加工批次 |
| 4 | 立体感知 | 基于RSSI的立体感知 |
| 5 | 获得量化信号 | 机器人获得可量化的感知信号 |
| 6 | 变更参照系 | 变更机器人的位置,反复获取感知信号,至少3个角度才能获得完整的立体信号 |
| 7 | 数据整合 | 合成感知信号 |
| 8 | 动作设计 | 将构件的感知信息与模型匹配 |
| 9 | 异常处理 | 无法匹配时异常处理 |
| 10 | 生成初始化指令 | 转化坐标系 |
| 11 | 机器人初始化 | 矫正机器人的初始化位置 |
| 12 | 生成启动信息和启动指令 | 生成动作指令 |
| 13 | 机械臂执行操作 | 执行操作 |

3.3 立体定位算法

立体定位模型。在三维空间中实现定位的最少参考数据为3组,如图5所示, A_1, A_2, A_3 为参考坐标,未知点 X 为待定位节点。整个模型可表示为数组 $Z = (A_1, A_2, A_3, X)$ 。数组 Z 构成了最小的三维立体空间定位模型。

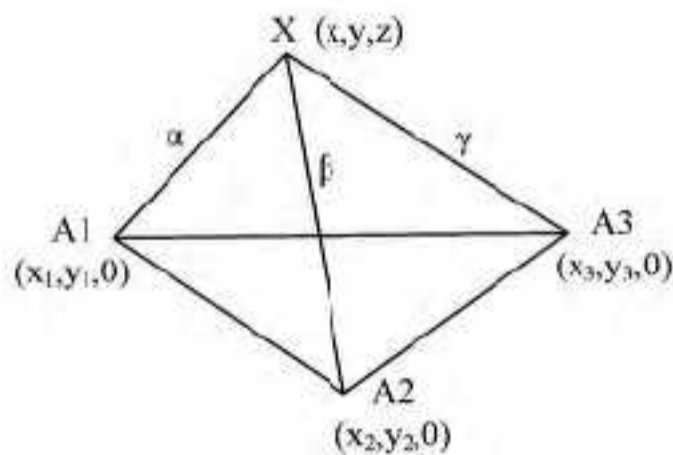


图5 三维立体空间定位模型

根据该模型,将 A_1, A_2, A_3 定义为机械臂上3个不同的传感器。将其坐标命名为:

$$\begin{cases} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{cases} = \begin{cases} (x_1, y_1, 0) \\ (x_2, y_2, 0) \\ (x_3, y_3, 0) \end{cases}$$

X 定义为待加工的构件,加工中的感知环节需要判断构件与机械臂的相对位置信息,即需要通过机械臂上的3个传感器获得 X 构件的坐标 $X(x, y, z)$ 。设通过传感器 A_1, A_2, A_3 测量距构件 X 的距离分别为 (α, β, γ) ,则有公式:

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 \end{cases} = \begin{cases} \alpha^2 \\ \beta^2 \\ \gamma^2 \end{cases}$$

根据公式,可计算出 $X(x, y, z)$ 的坐标数据,实现对构件 X 的相对定位信息。

3.4 立体定位的实现

将机械臂上3个传感器 A_1, A_2, A_3 的坐标信息作为初始条件,需要传感器实现对构件 X 之间距离的测量,然后引入RSSI技术对传感器和构件间进行高精度无线测距。

RSSI技术可以利用已知的传感器信号发射强度和反射接收的信号强度来计算出传输路径中信号的损耗情况。根据经验模型进行匹配,将信号的损耗转化为距离。

4 模型的实际应用

4.1 经验模型的建立

经验模型的引入,实际上是对系统初始化的过程,有利于

系统适应各种工作环境,扩大系统的适用范围。经验模型的精度与对比测量精度和样本空间的大小相关。

首先,在待建系统中选取样本测试点(样本空间),记录传感器的信号发射和接收强度,并通过高精度测距仪器测量实际距离,建立测试点距离与信号强度衰减参数之间的对照信息表,该表格存入数据库,作为系统的经验模型。损耗经验模型与距离满足对数形式的正态分布,可以用对数距离路径来描述损耗值,有如下经验模型公式:

$$Loss_{(d_x)} = L_{(d_0)} - \varphi \cdot \log \frac{d_x}{d_0}$$

其中, φ 为经验因子, $L_{(d_0)}$ 为已知距离 d_0 对应的信号衰减值。

系统采集信号的发射功率 $L_{(t)}$ 、接收功率 $L_{(r)}$,计算出损耗值 $L_{(d_x)}$,再参考经验模型数据,利用最小均差法进行计算,得出构件的相对坐标值。

由功率衰减公式:

$$L_{(d_x)} = L_{(t)} - L_{(r)}$$

可得经验模型关系公式:

$$L_{(d_0)} - \varphi \cdot \log \frac{d_x}{d_0} = L_{(t)} - L_{(r)}$$

对公式求解,可得距离计算公式如下:

$$d_x = 10^{\frac{L_{(d_0)} - L_{(t)} + L_{(r)}}{\varphi}}$$

系统得到了构件 X 的距离,下一步就是通过程序算法得到构件 X 的相对坐标值 $X(x, y, z)$ 。因此,坐标计算公式如下:

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 \end{cases} = \begin{cases} \left(10^{\frac{L_{(d_0)} - L_{(t_1)} + L_{(r_1)}}{\varphi}}\right)^2 \\ \left(10^{\frac{L_{(d_0)} - L_{(t_2)} + L_{(r_2)}}{\varphi}}\right)^2 \\ \left(10^{\frac{L_{(d_0)} - L_{(t_3)} + L_{(r_3)}}{\varphi}}\right)^2 \end{cases}$$

4.2 模型的实际应用

在生产线上搭建测试系统对模型进行模拟,被测构件是边长为10cm的铝方,CNC操作臂上3个传感器初始化坐标值为 $A_1(0, 0, 0), A_2(0, 12, 0), A_3(6, \sqrt{108}, 0)$ 。测试数据对比情况如表2所列。

表2 样本坐标对应关系表

| 序号 | 实际坐标(cm) | 测量坐标(cm) |
|----|------------|------------------|
| 1 | (0,0,15) | (0.2,0.1,14.8) |
| 2 | (10,0,15) | (10.1,0.1,14.8) |
| 3 | (0,10,15) | (0.2,10.1,14.8) |
| 4 | (0,0,20) | (0.2,0.1,19.9) |
| 5 | (10,0,20) | (10.1,0.1,19.9) |
| 6 | (0,10,20) | (0.2,10.1,20) |
| 7 | (5,0,15) | (5.0,0.1,14.8) |
| 8 | (10,5,15) | (10.1,4.9,14.8) |
| 9 | (5,5,15) | (5.4,9,14.8) |
| 10 | (10,10,15) | (10.1,10.1,14.8) |
| 11 | (5,0,20) | (5.0,0.1,20) |
| 12 | (10,5,20) | (10.1,4.9,19.9) |
| 13 | (5,5,20) | (5.4,9,19.9) |
| 14 | (10,10,20) | (10.1,10.1,19.9) |

实际与测量的数据对比表明,测量误差不超过0.3cm,误差已经控制在毫米级别。误差曲线如图6所示。

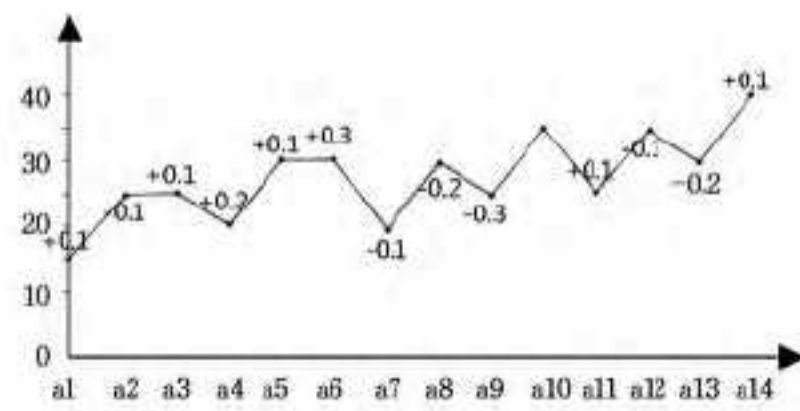


图6 模型误差关系曲线

对于一般产品的自动化生产,模型的误差情况已经足够胜任,但是对于精密加工,该误差值无法满足要求。对实际坐标和测量坐标的数据进行差异分析,发现误差呈规律性的重复出现,如表3所列。

表3 测量数据分析表

| 序号 | X 实际值 | X 测量值 | Y 实际值 | Y 测量值 | Z 实际值 | Z 测量值 |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0 | 0.2 | 0 | 0.1 | 15 | 14.8 |
| 2 | 10 | 10.1 | 0 | 0 | 15 | 14.8 |
| 3 | 0 | 0.2 | 10 | 10.1 | 15 | 14.8 |
| 4 | 0 | 0.2 | 0 | 0.1 | 20 | 19.9 |
| 5 | 10 | 10.1 | 0 | 0.1 | 20 | 19.9 |
| 6 | 0 | 0.2 | 10 | 10.1 | 20 | 20 |
| 7 | 5 | 5 | 0 | 0.1 | 15 | 14.8 |
| 8 | 10 | 10.1 | 5 | 4.9 | 15 | 14.8 |
| 9 | 5 | 5 | 5 | 4.9 | 15 | 14.8 |
| 10 | 10 | 10.1 | 10 | 10.1 | 15 | 14.8 |
| 11 | 5 | 5 | 0 | 0.1 | 20 | 20 |
| 12 | 10 | 10.1 | 5 | 4.9 | 20 | 19.9 |
| 13 | 5 | 5 | 5 | 4.9 | 20 | 19.9 |
| 14 | 10 | 0 | 10 | 10.1 | 20 | 19.9 |

对数据进行透视分析后,可以得到如表4所列的规律。

表4 样本分析透视表

| 坐标轴 | X 实际值 | 误差值 | 出现频率 |
|-----|----------|------|------|
| X | 0 | 0.2 | 4 |
| | 5 | 0 | 4 |
| | 10 | 0.1 | 5 |
| | 10 | 0 | 1 |
| Y | 0 | 0.1 | 5 |
| | 0 | 0 | 1 |
| | 5 | -0.1 | 4 |
| Z | 10 | 0.1 | 4 |
| | 15 | -0.2 | 7 |
| | 20 | 0 | 2 |
| | 20 | -0.1 | 5 |

由透视分析表发现,样本空间内测量的结果对同一测量值的误差呈高度重复性和一致性,这就为建立经验模型提供了数据依据。

再次扩大样本空间,采集更多的数据之后可以绘制出经验模型中的补偿曲线,如图7所示。

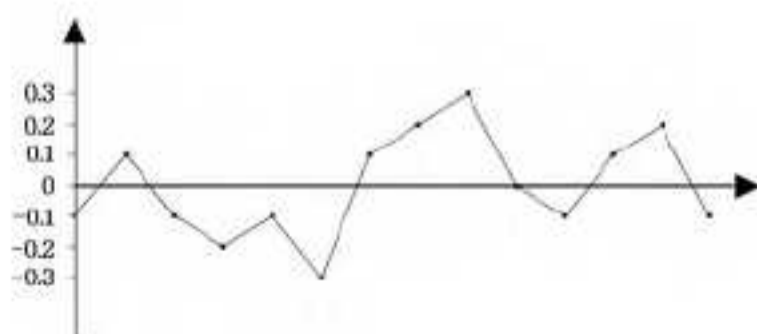


图7 模型误差补偿曲线

将补偿曲线加入系统后,再次对模型进行上述测试,可以得到如表5所列的测试结果。

表5 补偿后的样本坐标对照表

| 序号 | 实际坐标(cm) | 测量坐标(cm) |
|----|------------|-------------|
| 1 | (0,0,15) | (0,0,15) |
| 2 | (10,0,15) | (10,0,15) |
| 3 | (0,10,15) | (0,10,15) |
| 4 | (0,0,20) | (0,0,20) |
| 5 | (10,0,20) | (10,0,20) |
| 6 | (0,10,20) | (0,10,20.1) |
| 7 | (5,0,15) | (5,0,15) |
| 8 | (10,5,15) | (10,5,15) |
| 9 | (5,5,15) | (5,5,15) |
| 10 | (10,10,15) | (10,10,15) |
| 11 | (5,0,20) | (5,0,20.1) |
| 12 | (10,5,20) | (10,5,20) |
| 13 | (5,5,20) | (5,5,20) |
| 14 | (10,10,20) | (10,10,20) |

将补偿曲线加入测量过程中后,目标定位的精度已经提升到丝米(dmm)级,足以应对绝大多数的精密仪器加工。通过提高传感器探测精度和不断改进算法,定位系统的精度可不断提升。目前传感器的性能已经可实现微米级的定位。

结束语 本文利用测距技术,结合相对位置测距的方案,将立体感知算法应用于精密加工的工位中。通过无线测距的手段,结合传感器主动感知技术,使加工机械臂与加工构件间实现了精确定位,为自动化生产过程中的感知环节提供了量化的基础,提出了提高加工感知精度和品质的可行性方案。

在实际的生产过程中,针对不同环境对无线传感器精度影响的变化特性,引入了经验模型的设计。通过经验模型进行的数据补偿对系统再次进行初始化,重新修正定位测量的惯性误差,保证了定位的高精确性,并成功地将加工模拟过程中的精度提升转化为计算机算法的数字过程中的精度提升,极大地扩展了未来加工精度的提升空间。

实验结果表明,基于立体定位技术的自动化加工系统有着精度高、可持续提高的特点,未来应用前景广阔,具有普遍的适用性。

参考文献

- [1] Wang Huan-huan, Wan Jian-chen, Liu Ru-you. A Novel Ranging Method Based on RSSI [J]. Energy Procedia, 2011(12): 230-235
- [2] Maruya K, Nishida S. Long-range relationship between separated local motion signals is rapidly encoded in a point-to-point manner[J]. Journal of Vision, 2012(9): 250
- [3] Zhang Yuan-yuan, Wang Cheng-long, Lang Feng-gao, et al. Distance Measurement Model Based on RSSI in WSN [J]. Wireless Sensor Network, 2010(8): 606-611
- [4] Zheng Jun-gang, Wu Cheng-dong, Chu Hao, et al. An Improved RSSI Measurement in Wireless Sensor Networks [J]. Procedia Engineering, 2011(15): 876-880
- [5] Wang Xin-wei, Yuan Shao-ping, Laur R, et al. Dynamic localization based on spatial reasoning with RSSI in wireless sensor networks for transport logistics [J]. Sensors & Actuators: A. Physical, 2011(171): 421-428
- [6] Awang A, Agarwal S. Data Aggregation Using Dynamic Selection of Aggregation Points Based on RSSI for Wireless Sensor Networks [J]. Wireless Personal Communications, 2015, 80(2): 611-633
- [7] Wang Xin-wei, Bischoff O, Laur R, et al. Localization in Wireless Ad-hoc Sensor Networks using Multilateration with RSSI for Logistic Applications [J]. Procedia Chemistry, 2009, 1(1): 461-464
- [8] Zhao Hu, Wang San-gen. Home Robot Localization Based on

- RSSI Technology [J]. Energy Procedia, 2011(11):1070-1073
- [9] Luo Xiao-wei, O'Brien W J, Julien C L. Comparative evaluation of Received Signal-Strength Index (RSSI) based indoor localization techniques for construction jobsites [J]. Advanced Engineering Informatics, 2010, 25(2): 355-363
- [10] Chung Wan-young, Lee B G, Yang C S. 3D virtual viewer on mobile device for wireless sensor network-based RSSI indoor tracking system [J]. Sensors & Actuators: B. Chemical, 2009, 140(1): 35-42
- [11] Li Xiao-feng, Chen Liang-feng, Wang Jian-ping, et al. A Novel Method to Improve the Accuracy of the RSSI Techniques Based on RSSI-D [J]. Journal of Networks, 2014, 9(12): 3400-3406
- [12] Huang Bo-wei, Liu Hong-li, Zhan Jie. A New Algorithm of Mobile Node Localization Based on RSSI [J]. Wireless Engineering and Technology, 2011, 2(2): 112-117
- [13] Wu Duan-po, Jin Xin-yu, Jiang Lu-rong. Analysis of handoff algorithm-based on Doppler Effect and RSSI measurements in GSM-R network [J]. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2014, 37(3): 325-331
- [14] Abou-El-Hossein K, Olufayo O, Mkoko Z. Diamond tool wear during ultra-high precision machining of rapidly solidified aluminium RSA 905 [J]. Wear, 2013, 302 (1/2): 1105-1112
- [15] Toyoda N, Houzumi S, Mashita T, et al. Novel precision machining using gas cluster ion beams [J]. Surface & Coatings Technology, 2007, 201(19): 8624-8627
- [16] Fang Su-ping, Liu Yong-sheng, Otsubo H, et al. An automatic leveling method for the stage of precision machining center [J]. the International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, 61(1): 303-309
- [17] Saied Y B, Olivereau A, Zeghlache D, et al. Trust management system design for the Internet of Things: A context-aware and multi-service approach [J]. Computers & Security, 2013(39): 351-365
- [18] Ondemir O, Gupta S M. Quality management in product recovery using the Internet of Things: An optimization approach [J]. Computers in Industry, 2013, 63(3): 491-504
- [19] Kyriazis D, Smart T V. Autonomous and Reliable Internet of Things [J]. Procedia Computer Science, 2013(21): 442-448
- [20] Hernandez-Bravo A, Carretero J. Approach to Manage Complexity in Internet of Things [J]. Procedia Computer Science, 2014(36): 210-217
- [21] Sheng Q Z, Zeadally S, Luo Zong-wei, et al. Ubiquitous RFID: Where are we? [J]. Information Systems Frontiers, 2010, 12(5): 485-490
- [22] Wu Tin-yu, Liaw G H, Huang S W, et al. A GA-based mobile RFID localization scheme for internet of things [J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2012, 16(3): 245-258
- [23] King R. Planning and managing disruptive business models for RFID-startups-The disruptor's arrow of time [J]. Communications in Mobile Computing, 2012, 1(1): 1-5
- [24] Chu He-qun, Wu Guang-min, Chen Jian-ming, et al. Design and simulation of self-powered radio frequency identification (RFID) tags for mobile temperature monitoring [J]. Science China Technological Sciences, 2013, 56(1): 1-7
- [25] 袁巨龙, 张飞虎, 戴一帆. 超精密加工领域科学技术发展研究 [J]. 机械工程学报, 2010(15): 161-177
- [26] 石欣, 印爱民, 陈曦. 基于 RSSI 的多维标度室内定位算法 [J]. 仪器仪表学报, 2014(2): 261-268
- [27] 詹杰, 刘宏立, 刘述钢. 基于 RSSI 的动态权重定位算法研究 [J]. 电子学报, 2011(01): 82-89
- [28] 曾孝平, 王峰, 熊东. 基于 UHF RFID 的三维位置感知算法设计 [J]. 世界科技研究与发展, 2013(02): 196-200
- [29] 吴桂平, 虞慧群, 范贵生. 一种基于 RSSI 距离比的传感器节点定位算法 [J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2013(05): 596-600
- [30] 姚锡凡, 练肇通, 杨屹. 智慧制造——面向未来互联网的人机物协同制造新模式 [J]. 计算机集成制造系统, 2014(06): 1490-1498

(上接第 537 页)

然而,该平台能否满足所有的用户需求,能否使大量用户使用,还需要进行验证,云推送平台本身的性能提升以及各种演化方式也将是下一步的研究内容。相信随着这些关键问题的攻破,面向多源异构数据的云推送平台将为用户带来更好的推送体验。

参 考 文 献

- [1] Hu Meng-lan, Yang Wang, Bharadwaj V, et al. Practical Resource Provisioning and Caching with Dynamic Resilience for Cloud-Based Content Distribution Networks [J]. IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems, 2013, 25(8): 2169-2179
- [2] 许富龙, 刘明, 龚海刚, 等. 延迟容忍传感器网络基于相对距离的数据传输 [J]. 软件学报, 2010, 21(3): 490-504
- [3] Zhen L I, Yang F C, Sen S U. Fuzzy Multi-Attribute Decision Making-Based Algorithm for Semantic Web Service Composition [J]. Journal of Software, 2009, 20(3): 583-596
- [4] 蒋乾悦, 张亚英. 基于模糊综合决策的服务器推送方法 [J]. 计算机科学, 2014, 41(5): 86-90
- [5] 刘鑫, 陈伟. 基于 AJAX 和 Server Push 的 Web 树组件设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(3): 679-682
- [6] Tan Zhi-peng, Zhou Wei, Sun Jian-liang, et al. An improvement of static subtree partitioning in metadata server cluster [J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2012, 2012(1550-1329): 1129-1132
- [7] Armbrust M, Fox A, Griffith R, et al. A view of cloud computing [J]. Commun. ACM(CACM), 2010, 53(4): 50-58
- [8] 叶可江, 吴朝晖, 姜晓红, 等. 虚拟化云计算平台的能耗管理 [J]. 计算机学报, 2012, 35(6): 1262-1285
- [9] 陈阳, 怀进鹏, 胡春明. 基于内存混合复制方式的虚拟机在线迁移机制 [J]. 计算机学报, 2011, 34(12): 2278-2291
- [10] 冯朝胜, 秦志光, 袁丁. 云数据安全存储技术 [J]. 计算机学报, 2015, 38(1): 150-163
- [11] 郝帅, 张宏科, 徐怀松. Sink 轨迹固定传感器网络的高效数据采集机制 [J]. 软件学报, 2010, 21(1): 147-162
- [12] 丁滢, 王怀民, 史佩昌, 等. 可信云服务 [J]. 计算机学报, 2015, 38(1): 133-149
- [13] 胡宁, 朱培栋, 邹鹏. 域间路由协同监测中的信息共享机制 [J]. 软件学报, 2011, 22(3): 481-494
- [14] 谷峪, 于戈, 李晓静, 等. 基于动态概率路径事件模型的 RFID 数据填补算法 [J]. 软件学报, 2010, 21(3): 438-451
- [15] 黎玲利, 王宏志, 高宏, 等. XML 数据流上 Top-K 关键字查询处理 [J]. 软件学报, 2012, 23(6): 1561-1577
- [16] MQTT[EB/OL]. <http://mqtt.org>, 2015