

文章编号 1004-924X(2002)01-0001-07

分布式网络化测量系统

——面向先进制造的新一代测量系统

罗小川, 车仁生, 崔长彩

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 随着“敏捷制造”、“网络制造”和“全球制造”等制造理念的提出, 现代先进制造系统需要新型的先进测量系统。现代先进制造模式以分布式、柔性化、敏捷性为特征, 决定了新型测量系统的特点。本文总结了先进制造系统和分布式测量系统的研究成果, 然后从系统集成体系、系统数据交换格式、面向网络的测量设备以及系统分析与控制四方面对分布式测量系统的关键技术等进行了研究和探索。

关键词: 测量系统; 网络化制造; 先进制造

中图分类号: TH166 **文献标识码:** A

1 引言

90年代, 我国科学家曾提出了仪器仪表属于信息工业的观点。仪器仪表覆盖了信息的获取、存储、处理、传输和利用全过程, 尤其是信息的获取, 更是离不开仪器仪表技术的支持。测量技术的物化和实质就是仪器仪表技术。从仪器仪表信息论的观点来看, 制造企业的测量系统是工厂现场级的信息采集系统, 向制造系统提供产品的数据信息。

全球化大市场的形成和网络经济的产生^[1], 使原本就激烈的市场竞争更加剧烈。传统制造企业的经营组织模式面临着严峻的挑战。信息技术的飞速发展促使人类进入到信息社会, 制造企业纷纷采用诸如“敏捷制造”、“全球制造”和“网络制造”等新的企业经营制造模式^[2], 成为信息社会中的现代企业^[3]。信息获取成为企业能否在激烈竞争中生存的关键因素之一^[4]。

测量系统作为企业的重要数据信息来源, 是信息流和物料流的重要转换场所, 需要与新的企业制造模式相适应, 从集中的孤立组织结构形式演变为分布式的甚至是全球化的集成组织结构形式^[5]。

2 先进制造需要分布式测量系统

2.1 现代企业制造模式的发展历程

计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing)的概念最早由约瑟夫·哈林顿(J. Harrington)于1973年提出, 其目的就是将企业生产全过程中有关人、技术、经营管理三要素, 及其信息流与物流有机的集成, 并优化运行, 实现产品质量高、损耗低、上市快, 从而使企业赢得竞争^[6]。随着企业集成研究的逐步深入, 制造系统的集成逐渐由企业大系统的建模发展到在大系统模型下各个子系统的建模与应用性开发^[7]。

90年代以来, 众多现代制造模式, 如及时生产(just in time)、并行工程(Concurrent Engineering)、精良生产(Lean Production)、敏捷制造(Agile Manufacturing)等, 将产品设计、制造、销售乃至消亡的整个生命周期加以全面考虑, 利用网络技术实现全面的信息集成和过程集成。这期间出现了众多的工程应用:

1994年美国能源部提出“敏捷制造的使能技术(TEAM)”, 用于集成产品的设计和制造过程, 建立“产品实现过程模型”。“全美工厂网络(FAN)”建立于1995年, 属国家工业数据库, 它能

提供包括生产能力、各种工程服务项目、产品及其价格和性能数据、销售等在内的各种用户服务和专门服务; 1995 年洛克希德- 马丁航空公司建立“制造系统的敏捷基础设施网络 (AIM Snet)”, 利用国际互联网支持和管理敏捷企业的供应链; 美国通用电器研究和开发部于 1996 年建立了“计算机辅助制造网络 (CAMnet)”, 它通过 Internet 网提供多种制造支撑服务, 使得集成企业的成员能够快速连接和共享制造信息^[8-11]。

计算机网络技术令制造企业进一步面临全球性的市场、资源、技术和人员的竞争。网络化制造系统是一种由多种、异构、分布式的制造资源, 以一定互联方式, 利用计算机网络组成的、开放式的、多平台的、相互协作的、能及时灵活地响应客户需求变化的制造系统, 是一种面向群体协同工作并支持开放集成性的系统^[12]。

网络化制造的基本目标是将现有的各种在地理位置上或逻辑上分布的异构制造系统/ 企业, 通过计算机网络互联, 进行各个制造系统/ 企业间的信息交流与合作, 进而实现制造资源的共享, 为寻求市场机遇, 及时而快速地响应和适应市场需求变化, 赢得竞争优势, 求得生存与发展, 奠定坚实的基础, 从而也为真正实现制造企业研究与开发、生产、营销、组织管理及服务的全球化开辟了道路^[13]。网络化制造系统以数字化、柔性化、敏捷化为基本特征。柔性化与敏捷化是快速响应客户需求的前提, 表现为结构上的快速重组、性能上的快速响应、过程中的并行性与分布式决策。

我国在网络化制造方面做了大量的工作。1998 年, 上海交通大学先进制造技术中心开始提供快速原形制造中的上网服务。同济大学与香港某些中小型企业进行了联网合作制造模具的试验^[14-15]。2001 年 3 月 23 日, 南京理工大学建立了一个 CSCW 和网络化制造的实验环境, 并与香港生产力促进中心、香港科技学院 (青衣分校) 联合, 成功地进行了网络化异地设计、制造的演示实验。

综上所述, 网络化制造已成为现代制造企业发展的新方向。大量事实说明, 网络化制造系统已经进入试验阶段, 并向着具体实施阶段进发。

2.2 新制造模式下新测量系统的研究现状

网络化制造系统对测量系统提出了很高的要求。最初, 测量系统是作为质量系统的一部分出

现在集成制造系统当中。1985 年, Uirich Rembold 等人首先在《计算机集成制造系统技术与系统》一书中提出了质量控制的系统观和计算机支持的质量控制系统的递阶结构和功能, 其底层就是测量系统^[16]。1987 年, Tuttle 总结了计算机辅助质量系统 (Computer Aided Quality System-CAQ 系统) 的概念。CAQ 系统运用计算机实现质量数据采集、分析、处理、传递的自动化, 实现质量控制、质量保证、质量管理的自动化。在同一年, 美国 Kapoor 等人提出了集成质量系统 (Integrated Quality System- IQS 系统) 的概念^[17]。无疑, CAQ 和 IQS 都对其所依托的测量系统提出了信息集成的要求。

由于制造系统对测量系统的自动化要求不高, 长期以来, CAQ/IQS 的研究兴趣集中在质量信息的管理和质量保证规范的建立等方面。

随着制造过程质量全面控制的提出, 无论是 CAQ 还是 IQS, 都需要从测量设备的自动控制和信息集成方面着手, 通过对质量数据的自动采集和反馈控制, 达到保证或提高产品质量的目的。在这样的背景下, 测量系统的自动化、信息化和集成化成为研究的热点。

德国 CDE 软件和系统公司开发的 CAQ 系统“QUIPSY”运行在 WINDOWS 下, 与该公司开发的各类检测装置通过接口实现数据通讯, 并通过接口与 CAD 系统、生产计划与调度等系统实现集成^[18]。

日本学者 Stalshi Kanai 等人开发了集成的测量与诊断系统, 从而实现了计算机辅助检测 (CAT)、加工过程诊断和 CAD/CAM 的集成^[19]。

在网络化制造环境中, 测量目的从仅判断产品合格与否向判断生产系统的优劣和掌握工艺能力方面转变。传统的测量系统难以及时快速地采集和处理如此巨大的信息量。新的制造模式呼唤新型的测量系统, 它必须满足快速、自动、智能、协作、开放和集成的要求。

面向网络化制造理念的测量检测系统正逐渐受到世界各国研究人员的注意。网络化制造的特征决定了测量系统的异构性、敏捷性和分布性。目前, 对面向网络化制造的分布式测量系统的研究主要集中在测量系统集成框架理论、自动化测量设备、测量信息交换标准等方面^[20-23]。

欧共体从 80 年代起开始推行的 RTD (Re-

search and Technological Development) 计划, 在 1994~1998 年资助了 SMT 项目 (Standards, Measurements Testing Program)。该项目的目标是通过信息技术集成方案与先进测量技术和测量数据解释技术的结合, 快速获得尽可能多的关于制造系统的信息, 实现既控制制造过程的技术过程, 又控制制造零件质量的目的, 显著改善面向整个制造过程的全面质量控制的性能, 使其真正确保零缺陷和最低成本^[24]。

NIST“下一代检测系统(NGIS)”研究项目致力于建立基于坐标测量机 CMs (Coordinate Measuring Machine) 的检测系统, 用于开发和测试开放测量体系控制器、测量系统接口标准和多重传感器网络等技术。其目标是针对无论简单还是复杂的几何零件, 获得快速、准确、柔性的坐标测量系统。“下一代检测系统”将能够实现零件快速检测, 允许基于计算机的检测系统与工厂制造系统更好的集成。同时, NGIS 所遵循的开放体系标准将使“下一代检测系统”具有更低廉的价格和更灵活的组织方式^[25]。

可以看出, 新一代测量系统将是遵循开放体系标准, 具有标准数据通讯接口, 依托网络技术实现分布的测量设备协同工作, 系统动态配置, 测量信息和资源共享的快速、智能、柔性的自动化测量系统。

3 分布式测量系统的基础技术

分布式测量系统的概念一出现就吸收了当时以来的各种先进技术, 并随着这些技术的发展而逐步成熟。

分布式测量系统通过工业局域网和 Internet, 把分布于各制造单元、独立完成特定功能的测量设备和测量用计算机联接起来, 以达到测量资源共享、协同工作、分散操作、集中管理、测量过程监控和设备诊断等目的的工业计算机测量网络系统。它以软件技术为基础, 智能仪器为核心, 是计算机技术、网络通讯技术、测量技术全面发展并紧密结合的产物(表 1)^[5]。

分布式测量系统的出现满足了现代制造企业信息和集成的需求, 为“敏捷制造”、“全球制造”和“网络制造”提供相应的测量系统解决方案。由于机械制造系统的检测过程相当复杂且过程难以

表 1 分布式测量系统与传统测量系统的对比
Table 1 Comparison between a traditional measuring system and a distributed measuring system

Traditional measuring system	Distributed measuring system
Keys are hardware	Keys are software
Not share measuring resources	Share measuring resources
Fixed functions of measuring equipment	Dynamic deploy functions of measuring equipment
Low information, transfer in short distance at low speed	High digitized information, transfer in long distance quickly
Hardware decided system functions	Software decided system functions
Local system monitor	System monitor without region limitations
Closed, fixed architectures	Open, agile architectures

描述, 面向机械制造的分布式测量系统并未得到广泛深入的研究, 大量的分布式测量系统研究成果集中在电子测量和流程工业中^[20-23]。面向机械制造的分布式测量系统的研究成为亟需加强的研究领域。分布式测量系统需要下面的关键技术作为其基础。

3.1 系统集成框架体系

作为基于网络制造系统的子系统, 分布式测量系统集成框架的研究源于制造系统集成体系的研究。目前, 制造系统各分系统之间的集成通常采用集成平台所支持的分布式软件组件方式来进行。这种方式可以实现应用对数据的透明访问, 解决应用对于操作系统和数据存储方式的依赖性问题, 是当今最先进的应用系统集成方式。当今国际上三大分布式软件组件对象标准: CORBA (Common Object Request Broker Architecture), 即公共对象请求代理结构; DCOM (Distributed Component Object Model), 即分布式组件对象模型; RMI (Remote Method Invocation)。其中, 以 CORBA 在制造领域的应用最为广泛和深入。先后有基于 CORBA 的质量信息系统、制造过程控制、供应链管理、 workflow 管理等研究成果在许多文献上发表^[26-27]。以 CORBA 作为集成平台的分布式测量系统的研究在国外首先展开, Giancarlo Fortino 等人在 1998 年首先提出的基于 CORBA 和移动代理的信号测量系统^[28], 其系统模块之间的物理连接由现场总线或高速局域网实现。

分布式测量系统的发展初期出现了这样几种系统框架: 分布式测量实验室系统、虚拟仪器总线

系统、基于局域网的测量系统、异构环境下全球网上的测量系统等^[20-23]。这些框架系统具有很强的封闭性,不能与其他系统通讯。而基于 CORBA 的集成框架系统正好能弥补这些不足,因此分布式测量系统集成框架体系的研究将以 CORBA 为基础展开。

3.2 系统数据交换标准

产品数据格式的标准化以及相互之间数据的可交换性与共享是信息得以集成的关键。集成制造系统中测量数据交换标准格式当首推 DMIS 标准。DMIS 是从 1985 年 2 月开始的,由国际计算机辅助制造公司(CAM_I)质量保证计划资助开发的尺寸测量接口规范课题。DMIS 的目标是提供一种数据格式,形成各类分系统之间进行数据交换的中性文件。DMIS 的出现为 CMM 等测量设备进入自动化系统提供了更为有利的条件。DMIS 作为美国国家标准,现已呈交给国际标准化组织,以期在不久的将来认证为国际标准^[47]。事实上,DMIS 标准已得到国际工业界的广泛认可,目前已被北美和欧洲 50 多家公司所采用。现在,Tempress、BMW、Lockheed 和 NASA 的 DMIS 软件均能够精确地检测 CAD 零件,如 Lockheed 的 F-22 喷气式战斗机就是采用基于 DMIS 的检测软件 CAMIO 来检测其各组件的^[29]。DMIS 标准实现了检测系统的不同部件之间的静态通讯,但是它不支持检测软硬件间的实时、交互式通讯,包括数据传输和事件通知等。目前,供应商不得不提供专门方案来解决这些问题,这不仅提高了供应商的开发费用,也限制了用户对供应商的选择。

为此,OW 公司开发了 DMIS 对象技术(DMIS Object Technology, DOT)——基于 DMIS 的开放式结构(图 1)。DOT 定义了一种 CMMs、DMIS 语言和检测应用程序(如 CAD 系统接口、SPC、图形分析、零件程序编辑和 DMIS 程序生成

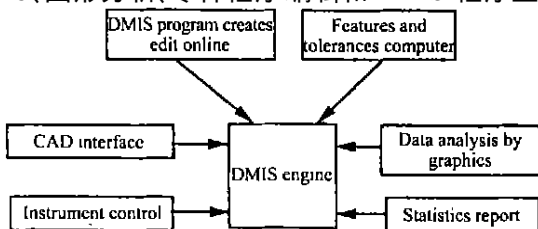


图 1 DOT 系统体系

Fig. 1 Architecture of DOT.

器)之间的通讯格式。DOT 采用通用的 DMIS 标准,增加即插即用(PNP)、网络通讯和工厂集成等功能^[30]。

3.3 面向网络的测量设备

在自动化制造系统,最常用的检测设备是坐标测量机。坐标测量机 CMMs 是一种柔性化很强的坐标测量设备,它是集机械、光学、电子、数控技术和计算机技术为一体的大型精密智能化仪器,因而广泛应用于自动化生产性和柔性制造单元内^[31-32]。它的出现是自动化检测的一大突破。到目前为止,数控三坐标测量机技术日趋成熟,并开始走出恒温测量间,进入生产线,从单机离线应用发展到在线测量。然而,与网络化制造相适应的测量控制软件并没有跟上,与此相类似,绝大多数测量设备制造商没有在他们的设备控制软件中直接支持符合某种工业标准的计算机网络通讯技术,而是通过各自专有技术,如采用专有硬件和软件,完成测量设备与其他系统之间的数据传递。这种情况往往造成自动化检测过程的中断和测量设备控制程序、数据传输软件的多次启动、转换和关闭,这既不方便,又浪费检测时间。比较理想的方法是:各测量设备制造商在其测量设备控制软件中直接支持符合某种工业标准的计算机网络通讯技术,从而可以在不同厂商的测量设备执行检测的同时,和其他系统进行数据传递。

我国柔性制造技术国防科技重点实验室首次成功地实现了现有柔性制造实验系统(FMES)与美国 Brown & Sharpe 公司的 Xce17107 型 CMM 的完整集成,实现了物流和信息流的集成^[33]。但这种集成是一对一实现的,无法广泛应用。

在分布式测量系统中,测量设备与普通测量设备相比有两点不同:1)测量设备可以通过网络得到执行测量所需的标准数据和程序;2)测量设备可以将检测结果和自身状态等信息通过网络直接发送到各子系统和网络数据库中,供其他子系统对制造过程、测量系统及零件质量进行诊断和监控。1998 年,OMG 制定了通过 CORBA 对机器进行控制的标准,说明测量系统通过网络实现测量设备控制进入标准化实施和开发阶段^[34]。

3.4 测量系统的分析与控制方法

随着测量系统日益复杂,对测量系统的分析越来越困难。通常,一个分布式的测量系统可以描述为多种测量服务区域的集合,每个工作区具

有不同的服务时间和服务速率。由于测量系统的随机性, 研究人员往往提出随机模型(最常用的是排队网络模型)来对其进行分析。排队网络是对不确定特性的大系统建模的有效工具。排队网络理论对制造系统的分析由来已久^[35-40]。排队网络不仅可以用在制造系统各子系统的性能分析和描述上, 而且, 利用排队网络表述的系统性能数学描述, 可以进一步对测量系统的设计、配置和监控, 提供快速、准确的信息, 为实现系统的有效控制奠定良好的数学基础。

一定的生产组织方式和组织结构对应于相应的控制结构。离散型生产活动控制是一种以预防性规划为主, 现场实时调节为辅的控制。

现代制造系统根据其控制方式, 通常可分为集中(centralized)控制、递阶(hierarchical)控制、分布(distributed)控制等方式(图 2)。

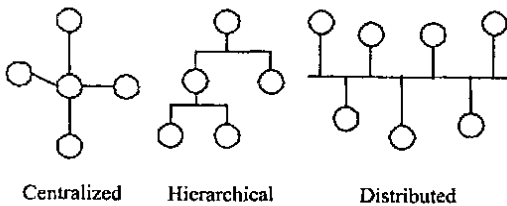


图 2 制造系统典型的控制结构

Fig. 2 Typical control structures of manufacturing systems.

集中式控制随着制造系统的进一步扩大和分工的细化, 使中心控制器对系统所有部件进行控制变得很难, 容易形成制造系统的瓶颈。递阶控制方式由于其固有的主/从关系, 使得系统间的层次较多, 特别是当系统变得非常大的时候, 它的反映速度比较慢, 系统的容错性、可扩展性、可维护性等性能显著下降^[41]。

参考文献:

- [1] 陶德言. 知识经济浪潮[M]. 北京: 中国城市出版社, 1998. 33-138.
- [2] 袁清珂, 赵汝嘉. 虚拟制造系统[J]. 中国机械工程, 1995, 6(4): 10-12.
- [3] 张曙, 林德生. 可持续发展的生产模式——分布式网络化生产系统[J]. 中国机械工程, 1998, 9(2): 68-71.
- [4] Davies B J. CIM software and interface [J]. *Computer in Industry*. 1997, 33: 91-99.
- [5] 罗小川, 刘得军, 黄庆成, 等. 基于 CORBA 的测量系统软集成[J]. 中国机械工程(录用).
- [6] Joseph H. *Computer Integrated Manufacturing* [M]. Malabar, Fla: Frieger Publishing, 1973.
- [7] 现代集成制造系统网络. 企业建模国内外研究动态[EB/OL]. <http://www.cims.edu.cn>.
- [8] Dove R, 张申生. 敏捷企业[J]. 中国机械工程, 1996, 7(3): 22-27.
- [9] Dove R, 张申生. 敏捷企业[J]. 中国机械工程, 1996, 7(4): 23-26.

现代制造系统各单元的自动化水平提高, 各环节之间的信息传递和转换制约了制造系统效率和柔性的进一步提高。因此减少系统的层次及其层次间的信息传递量、提高子系统的独立自主性, 已成为现代制造系统的发展趋势。应运而生的生产系统的分布式控制结构是一种以自主性控制单元的协作决策为基础的制造系统控制结构, 它能使系统的控制更加灵活。由于没有主从式结构, 整个系统易于模块化, 使软件的复杂性降低。因此, 系统更具柔性, 易于扩展^[42-43]。与传统的控制结构相比, 分布式控制结构具有无法比拟的优点, 引起了广泛的研究兴趣。从上面的论述可以看出, 无论从系统结构上, 还是从系统需求上, 都决定了分布式控制结构是分布式测量系统所能采用的最佳方案。

总之, 分布式测量系统采用排队网络来描述系统的状态空间, 用分布式控制结构对系统参数进行调整, 使系统工作于最佳状态。其基本步骤为: 首先, 确定分布式测量系统的控制采用的结构形式; 其次, 使用排队网络工具建立分布式测量系统的数学模型; 最后, 利用控制论的观点和神经网络、模糊逻辑等技术对该控制模型参数进行设置和调整, 以达到指定目标的最优化。

4 结 论

本文从现代先进制造系统的进化演变角度, 论述了分布式网络化测量系统出现的必然性和紧迫性, 并进一步阐述了分布式网络化测量系统的特点和关键技术等。随着网络化制造和全球化制造哲理的广泛传播, 分布式网络化测量系统正在成为新一代的先进测量系统的研究热点。

- [10] 曾国屏. 敏捷制造[M]. 济南: 山东教育出版社, 1996: 96-102.
- [11] Lau H. The new role of intranet/internet technology for manufacturing [J], *Engineering with Computers*, 1998, 14: 150-155.
- [12] 杨叔子, 吴波, 胡春华, 等. 网络化制造与企业集成[J]. 中国机械工程, 2000, 19(1-2): 45-48.
- [13] 程涛, 胡春华, 吴波, 等. 分布式网络化制造系统构想[J]. 中国机械工程, 1999, 10(11): 1234-1238.
- [14] 李荣彬, 林发荣, 马永军. 分散网络化制造—香港制造业再发展的模式[J]. 机械工程学报, 1998, 34(6): 102-107.
- [15] 张曙, 林德生. 可持续发展的生产模式—分散网络化生产系统[J]. 中国机械工程, 1998, 9(2): 68-71.
- [16] Ulrich R B. 计算机集成制造技术与系统[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1998.
- [17] Dessouky M I, Kapoor S G. A methodology for integrated quality systems. *Journal of Engineering for Industry*[J]. *A. S. M. E.*, (109): 241-247.
- [18] CDE Software System GmbH. 1995 Ausgabe. *QUIPSY: Produkt_Ubersicht*[EB/OL]. www.quipsy.de.
- [19] Staochi Kanai. The CAT and diagnosis system of the manufacturing process by using coordinate measuring machine[C]. *Proc. JSPE Auto. Conf*, 1991.
- [20] Arpaia P, Cennamo F, Daponte P, et al. A distributed laboratory based on object_oriented measurement systems[J]. *Measurement*, 1996, 19(3): 207.
- [21] Rawnsley D J, Hummels D M, Segee B E. A virtual instrument bus using network programming[A]. *Proc. IMTC/97, Ottawa*[C]. 1997: 694-697.
- [22] Grimaldi D, Nigro L, Pupo F. Java based distributed measurement system[A]. *Proc. IMTC/97, Ottawa*[C]. 1997: 686.
- [23] Bertocco M, Ferraris F, Offelli C, et al. A client_server architecture for distributed measurements[J]. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1998, 47: 1143.
- [24] European Commission. *Standards, Measurements and Testing*[M]. Project Synopses, 1999.
- [25] Rippey W G, Herman J L, et al. *NGIS SIM Specification, National Institute of Standards and Technology*[M]. Gaithersbury, MD, 1998.
- [26] 周炳海, 音劲松, 蔡建国. 基于 CORBA 面向对象的 FMS 控制系统模型[J]. 组合机床与自动化加工技术, 1999, 9: 39-44.
- [27] 沈军营, 黄进, 严隽琪. 基于 CORBA 的异地协同 workflow 模式[J]. 计算机应用, 1999, 19(9): 19-22.
- [28] Fortino G, Grimaldi D, Nigro L. Multicast control of mobile, measurement systems[J]. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1998, 47: 1149.
- [29] 崔长彩, 车仁生, 罗小川, 等. 尺寸检测设备的通讯标准 DMIS 及其实现技术[J]. 宇航计测技术, 2001, 21(2): 25-31.
- [30] Object Workshop, Inc. *DMIS Object Technology™ - The Open Object Interface to DMIS*[M]. DMIS Object Technology™, 1997.
- [31] Bosch J A. *Coordinate Measuring Machines and Systems*[M]. New York: Marcel Dekker Inc. 1995.
- [32] 刘得军, 车仁生, 罗小川, 等. 坐标测量机的新发展[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(5): 497-502.
- [33] 郝堤, 张芳霖, 于骏一, 等. 三坐标测量机与柔性制造系统的集成[J]. 吉林工业大学学报, 1997, 27(1): 33-38.
- [34] Object Management Group. *CORBA based Machine Control White Version 0.14*[M], OMG Document: mfg, 1998.
- [35] Ayse K, Surendra M G. Manufacturing systems with machine vacations, arbitrary topology and finite buffers[J]. *Int. J. Production Economics*, 1999, 58: 1-15.
- [36] Xiaobo Z. On optimal local buffer in flexible manufacturing systems[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 1998, 11: 312-318.
- [37] Suri R, Hildebrant R. Modeling flexible manufacturing systems using mean_value analysis[J]. *Journal of Manufacturing Systems*, 1984, 3: 27-38.
- [38] Yao D D. Models of flexible manufacturing systems with limited local buffers[J]. *International Journal of Production Research*, 1986, 24: 188-197.
- [39] Yao D D. The exponentialization approach to flexible manufacturing system models with general processing times[J]. *European Journal of Operational Research*, 1986, 24: 401-416.
- [40] Li Z, Hindi K S. Mean value analysis for multiclass closed queueing network models of FMD with limited buffers[J]. *Eu-*

ropean Journal of Operational Research, 1990, 46: 366– 376.

[41] 熊光楞, 刘青, 罗彤. 集成化离散生产控制——分析与综合[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.

[42] Duffie D A, Prabhu V V. Hierarchical control of highly distributed manufacturing system[J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1996, 9(4): 270– 281.

[43] 崔长彩, 车仁生, 叶东. 基于遗传算法的圆度误差评估[J]. *光学 精密工程*, 2001, 9(6): 499– 505.

Distributed network measuring system

——new oriented advanced manufacturing measurement system

LUO Xiao_chuan, CHE Ren_sheng, CUI Chang_cai

(*Department of Automatic Measurement and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China*)

Abstract: With appearance of “agile manufacturing”, “network manufacturing” and “global manufacturing”, a modern manufacturing system needs a new advanced measuring system. An advanced manufacturing mode is characterized by distribution, flexibility and agility, which decide the features of the distributed measuring system(DMS). Beginning with the summary of the fruitful results in advanced manufacturing and distributed measuring system, the paper discusses the key technologies of DMS such as architectures of integration systems, data transfer format, measuring equipment oriented network, analyses and control of systems.

Key words: measuring systems; network manufacturing; advanced manufacturing

作者简介: 罗小川(1974–), 男, 四川省西充县人, 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系博士研究生, 研究方向为智能量仪, 网络化测试, 测量系统集成, 已发表论文 7 篇。