

文章编号: 1006- 5911(2000) 06- 0001- 06

可集成的制造执行系统¹

于海斌, 朱云龙

(中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110015)

摘要: 制造执行系统作为企业上层事务处理和低层设备控制系统之间的中间桥梁, 在生产计划的优化调度、生产过程的改进等方面起着越来越重要的作用, 并得到工业界广泛的认可和应用。本文总结了制造执行系统的发展历程和存在的问题, 简要介绍了制造执行系统的功能、信息交互关系, 以及信息技术对制造执行系统的冲击, 进而引入 workflow 管理技术、智能 Agent 和面向对象技术, 提出了可集成制造执行系统的体系结构、运行机制和开发方法, 并对该系统的市场进行了分析与预测。

关键词: 制造执行系统; workflow; CORBA

中图分类号: TH166 **文献标识码:** A

0 引言

工业综合自动化工程是指产品设计、生产制造和生产管理等的全面自动化, 其中产品设计和生产管理是软科学的范畴, 而生产制造自动化则是技术装备的范畴。以计算机应用为代表的信息技术, 是实现工业综合自动化的主要技术驱动力。多年来, 工业综合自动化系统始终在试图建立一种能够覆盖整个企业全部经营、生产、设计活动范围内的集成化体系结构。

目前, 在国际市场上, 支持工厂综合自动化的软件厂商分为两大类, 分别面向企业的生产管理和面向低层设备的生产过程控制。但在工厂管理和制造活动中, 留下了几乎没有产品软件覆盖的真空地带——操作执行过程的自动化(manufacturing execution system)^[1]。在上层计划的执行受到实际生产环境影响比较大的企业, 如装配企业, 这一现象尤为突出。由于这一领域的应用系统与行业关系密切,

在当时的软件技术条件下, 难以形成通用的支持软件产品。为此, 企业为实现真正的工厂综合自动化系统, 往往需要依赖于经验丰富的系统集成商来完成特定的应用集成系统开发任务。

80 年代后期, 全球市场竞争日趋激烈, 上层生产计划管理(ERP) 受市场影响越来越大, 计划的适应性问题日渐显露出来, 与低层生产过程之间脱节的矛盾也日益突出。如何有效地解决两者之间的矛盾, 充分利用上下两层之间的数据, 提高计划的实时性和灵活性, 同时又能改善生产线的运行效率, 已成为一个重要的研究课题。一些有识之士开始意识到: 制造执行系统是解决这一问题的有效途径, 发起并成立了国际性组织——制造执行系统协会(Manufacturing Execution System Association, MESA)。国际著名的软件厂商和企业界纷纷响应并加入这一非赢利性组织。进入 90 年代, 制造业普遍认识到制造自动化软件应由以 ERP/MRPII 为代表的企业管理软件, 以 SCADA (Supervisory Control and Data

¹ 收稿日期: 1999- 12- 27; 修订日期: 2000- 03- 30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69974039, 59990470, 69884005)

作者简介: 于海斌(1964. 10-), 男, 中科院沈阳自动化所研究员、博士生导师, 主要从事工业综合自动化、智能控制系统和先进制造技术等研究。

Acquisition)、HMI 为代表的生产过程监控软件和以实现操作过程自动化,支持企业全面集成的制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)软件群组成^[2,3]。

尽管 MES 软件的研究和开发取得了明显的进展,但在技术规范性和成熟程度方面还有较大的差距。如何解决 MES 软件的行业适应性问题,一直没能得到很好地解决,从而阻碍了 MES 软件产品市场的形成。软构件技术的发展,为 MES 软件产品化带来了新的契机,可集成 MES 软件的需求呼之欲出。

本文是在对这一技术领域发展进行全面评述的基础上,根据软构件的特点,对开发可集成 MES 软件的技术途径进行了初步地探讨,提出了采用工作流、面向对象和多 Agent 技术进行可集成的制造执行系统(Integratable Manufacturing Execution System, IMES)的构建和软件系统的开发。

1 制造执行系统

1.1 制造执行系统的地位与作用

根据国际 MES 协会的定义,制造执行系统是指在开放的体系结构中,实现过程运行的管理和企业级的信息系统与低层生产数据的集成,是连接上层计划与低层设备的桥梁^[4]。其目标是降低在制品,缩短产品制造周期,分析并找出生产中的瓶颈,改进生产线运行,提高生产效率并控制生产成本^[6]。COMMS^[1](Customer-Oriented Manufacturing Management Systems)模型(如图1)是一个研究小组在调研不同行业的基础上,向美国国家标准技术研究所提供的先进制造研究咨询报告(AMRC)中提出的,它直观地体现了 MES 在整个工厂综合自动化系统中的地位。

系统	功能	重点	控制方式	层次
ERP	Planning	Overall Business	Information Technology	第一层
MES	Execution	Plant Operation	Plant Information System	第二层
Control System	Control	Production Operation	Real-time Instrumentation Process Control	第三层

图1 COMMS 模型

从图1可以清晰地反映出, MES 起到了 ERP/MRPII 和车间自动化系统间承上启下的作用,其主

要表现在: 1 为 ERP/MRPII 系统及时、准确地提供数据和信息; 2 提高系统的运行能力,维持计划与运行能力的平衡; 3 解决实际生产过程中的计划运行波动对制定生产计划的影响,提高 MRPII/ERP 系统适应性。同时,通过低层数据的采集和分析,为改进生产线的运行提供依据和保证,适应敏捷制造模式对生产敏捷性的要求。

1.2 MES 功能以及与其它信息系统的信息交互关系

MES 在工厂综合自动化系统中起着中间层的作用,因而,它在 ERP 产生的长期计划的指导下,根据低层控制系统中采集的与生产有关的实时数据,进行短期生产作业的计划调度、监控、资源配置和生产过程的优化等工作。具体包括以下一些功能(如图2虚线框中的内容):过程管理、人力资源管理、维护管理、质量管理、文档控制、产品跟踪和产品谱系管理、资源分配和状态管理、工序详细调度、生产单元分配、性能分析和数据采集等功能模块。

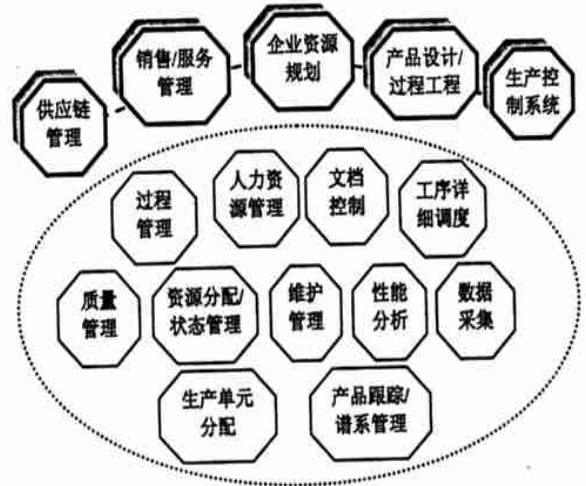


图2 MES 功能模型

在 MES 上层,主要有供应链管理、销售和服务管理、企业资源规划和产品设计/过程工程。其中供应链管理包括预测、分销、后勤管理、运输管理、电子商务和企业间的供应计划系统;销售和服务管理包括网络营销、产品配置设计、产品报价、货款回收、质量反馈与跟踪等功能;产品和过程工程包括计算机辅助设计和计算机辅助制造、过程建模和产品数据管理;在 MES 下层,则是低层生产控制系统,包括 DCS、PLC、DNC/NC 和 SCADA,或这几种类型的组合。

在信息交互关系上, MES 向上层 ERP/供应链提交周期盘点次数、生产能力、材料消耗、劳动力和

生产线运行性能、在制品(WIP)的存放位置和状态、实际订单执行等涉及生产运行的数据;向底层控制系统发布生产指令控制及有关的生产线运行的各种参数等。同时分别接受上层的中长期计划和底层的

数据采集、设备实际运行状态等(如图3)。

总之,MES接收企业管理系统的各种信息,以便充分利用各种信息资源实现优化调度和合理的资源配置。

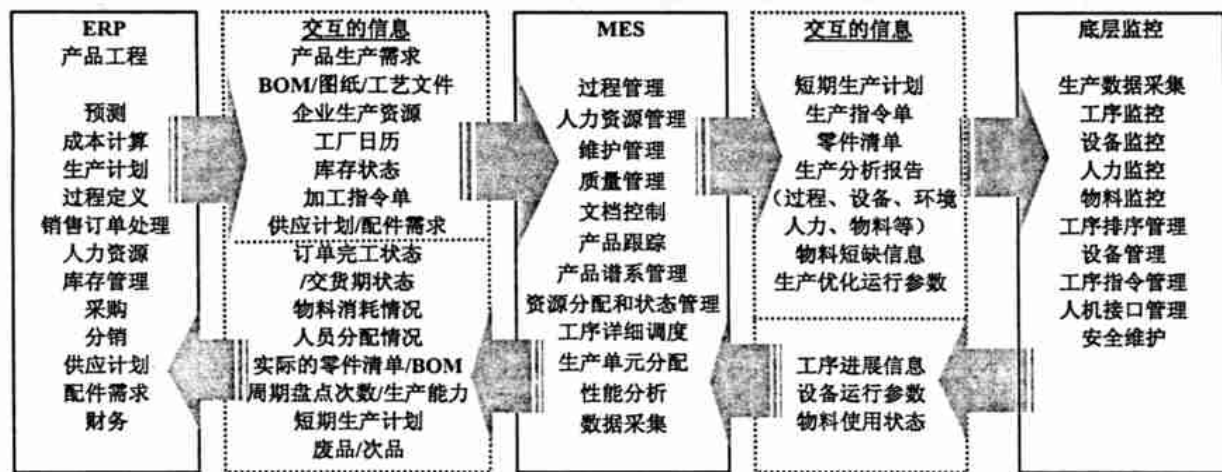


图3 MES与ERP及底层控制系统信息交互

2 可集成制造执行系统

2.1 传统MES的发展历程及存在的问题

信息控制技术(ICT)的发展可分为三个阶段:

¹ 传统的层次管理结构,过程是预先设定的,并自上而下基于程式的信息控制;[°] 扁平化的(或虚拟的)组织结构,过程是随机的,在模块应用组件环境(Module Application Component Environment, MACE)下的信息控制;[»] 组织结构和过程,具有自组织、自适应的自治Agent信息控制^[1,5]。目前,信息技术处于第二阶段的成长、发展期,技术已相对成熟,并逐步得到应用,第三阶段还处于研究期。

传统的MES(Traditional MES, T-MES)是指在第一阶段上发展起来的信息系统。T-MES从70年代的零星车间级应用发展到复杂的具有一定集成能力的大系统,并占据了一定的市场份额。可以简单地将T-MES分为两大类:¹ 专用的MES系统(Point MES)。这类系统是自成一体的应用系统,它只解决某个特定的领域问题,如车间维护、生产监控、有限能力调度或是SCADA等;[°] 集成的MES系统(Integrated MES)。该类系统起初是针对一个特定的、规范化的环境而设计的,如航空、装配、半导体、食品和卫生等行业,目前已拓展到整个工业领域。在功能上它已实现了与上层事务处理和下层实时控制系统的集成,但此类系统依然是针对一个特定的行业,缺少通用性和广泛的集成能力。

由于T-MES系统是基于预先设定的程式进行系统开发的,因此,开发此类系统成本高、效率低,并隐含着较大的风险,如过程有微小变化,就可能导致系统不能正常运转,系统的稳定性差。具体表现在以下几方面:

(1)通用性差。目前市场上的T-MES系统,无论其功能多么复杂,均是针对特定的行业、特定的领域问题开发的^[1]。由于没有一定的技术规范指导,针对不同行业的MES功能基本上无法借鉴和使用,因而使得系统的开发周期长、投资大,限制了MES市场的快速发展。

(2)可集成性弱。从技术发展角度和用户需求来看,软件结构本身应能与其它应用系统集成,做到相辅相成,相得益彰。不仅提高了企业遗产系统(legacy system)的生命周期,降低对信息系统的投入,同时,也为用户选择较为合适的各种软件提供了更大的空间。目前,某些具有集成功能的MES,虽能实现与上层事务处理和下层控制系统的集成,但也仅仅局限于某个特定的系统或功能,使得用户在选择MES产品时受到很大的制约,限制了MES软件产品的推广。

(3)缺乏互操作性。互操作性是系统敏捷性的一个重要标志。企业采用的数据库、操作系统是异构的,在分布式生产环境下,需要从不同的MES系统中裁剪不同的功能,以满足某个特定任务的需要,实现互操作。目前T-MES基本上没有此类功能。

(4) 重构能力差。重构能力是指系统具有随业务过程的变化进行功能配置和动态改变的能力。不同的行业、不同的企业其生产组织模式不尽相同, 信息系统必须具有可重构能力, 即根据不同的需求搭建相应的系统。

(5) 敏捷性差。敏捷性是所有先进制造模式的核心。在生产中表现为对市场的快速响应和对实际生产环境的应变能力, 在信息系统中表现为系统的可重构、可重用和可扩展(3R 特性)。对于 T-MES, 由于系统结构本身和采用的开发技术, 一个微小的过程改变, 系统就会无所适从, 甚至不能正常运转。尽管如此, T-MES 在市场占有率 1995 年达到 10 亿美元, 预计 1999 年达到 35 亿美元。

随着信息技术的发展和市场竞争的加剧, 具有高度敏捷性的制造执行系统日益成为市场的热点, 国际 MES 协会的成立为可集成 MES 系统的研究与开发提供了技术保证。

2.2 可集成 MES 技术体系

可集成 MES(Integratable MES, I-MES) 这一概念是由 AMRC 研究小组在分析信息技术的发展和 MES 应用前景的基础上提出来的。它将模块化应用组件技术应用到 MES 的系统开发中, 是两类 T-MES 系统的结合。从表现形式上看, 具有专用的 MES 系统的特点, 即 I-MES 中的部分功能作为可重用组件单独销售; 同时, 又具有集成的 MES 的特点, 即能实现上下两层之间的集成。此外, I-MES 还能实现客户化、可重构、可扩展和互操作等特性, 能方便地实现不同厂商之间的集成和遗产系统的保护, 以及即插即用等功能。

2.2.1 I-MES 体系结构

从严格意义上来讲, 可集成 MES 结构分为以下三个层次: 领域层(domain-specific layer)、对象层(object layer)和基础架构层(low-level infrastructure layer)。三层之间相互独立, 从而为可集成的 MES 的实现提供了技术保证。

图 4 为一种典型的可集成 MES(Workflow Engine) 体系结构。在该体系结构中, 基础架构层包括 CORBA 服务、OMG-Jflow 接口、工作流引擎(workflow engine)、ERP-MES 接口和 STEP 标准等,

它们为实现软件提供了底层基础设施。由于该层是基于 CORBA、RMI(Remote Method Interface) 和 DCOM 等公共标准规范而建立的, 是一种理想的软总线, 尤其 CORBA 的分布对象技术, 可以通过装配或扩展对象实现一个特定的应用软件系统, 对象可以在不影响系统中的其它对象交互关系的前提下被修改, 真正实现软件构件的即插即用。有关遗产系统可以通过封装成一个对象, 而有效地实现与其它系统的交互。

在基础架构层之上的对象层和领域层, 则是采用构件技术进行的具体业务描述。其中, 领域层是对特定领域事务对象的抽象描述, 解决了特定行业对 MES 功能的需求。同时, 由于整个领域设计是在公共的基础结构上进行的, 因而, 领域与领域之间的通讯、交互极为容易。在对象层, 建立分布式 MES 业务对象模型, 支持不同开发工具建立的业务对象和应用对象。

2.2.2 分布式对象结构(如图 5)及对象层次的划分

可集成 MES 应能支持不同开发工具建立的业务对象和应用对象。因而, 在 MES 业务对象模型池中应具有分布式功能的结构, 用以支持目前市场上流行的主要开发工具(Java、C++) 建立的对象。

在对象模型中, 又分别从客户端、服务器和遗产系统三方面将对象分为三个层次, 如图 6 所示。

(1) 客户端由视图对象、模型对象和控制对象组成。视图对象为操作者提供可视化的模型对象接口界面; 控制对象在视图对象与操作者之间起解释作用; 模型对象则是业务对象和应用对象在客户端的一个代理。

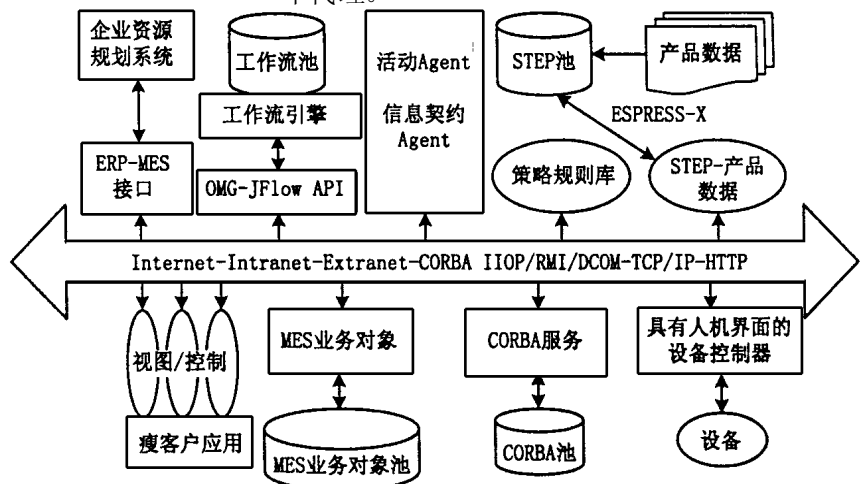


图4 可集成MES体系结构

(2) 服务器端由业务对象、应用对象和数据对象组成。其中业务对象是对业务活动应用的抽象描述,是与数据无关的应用操作;应用对象则是特定的事务处理;数据对象则是数据一致性定义接口存贮的代理机制。

(3) 遗产系统由遗产数据和遗产应用组成。遗产数据通常存贮在数据库管理系统中,遗产应用是一个业已存在的应用系统或应用模块。

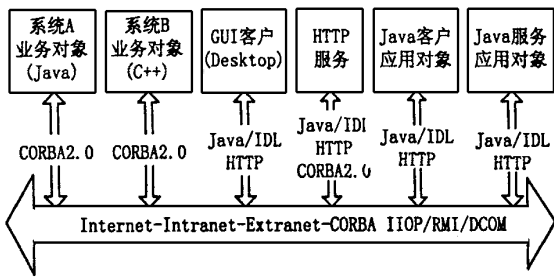


图5 分布式对象结构

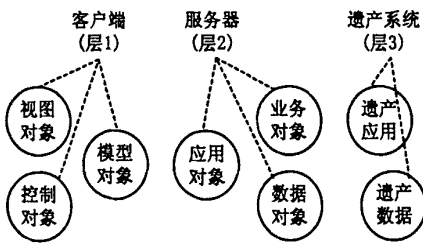


图6 对象模型的三层结构

2.2.3 Agent 运行机制

在I-MES体系结构中存在两类Agent:一类是活动Agent,另一类是信息契约Agent。这两类Agent在系统中具有创建事件、消息发送和任务/活动管理等功能,其主要运作过程如图7所示。其中:

(1) 活动Agent。检查工作流活动的运行操作关系,并根据机器/设备的运转情况、资源池(resource repository)中资源的分配,将相关的工作项(workItem)分配到相应的设备上。同时,实时监控任务的执行和设备的状态,监督工作项的运行。

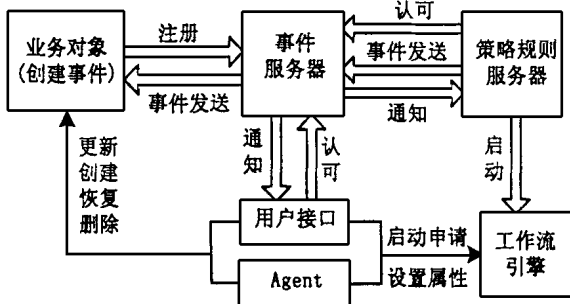


图7 活动/信息契约Agent运行机制

(2) 信息契约Agent。建立协作团体之间的信息契约关系,监控、分析相关指标的完成和事件状态的改变。同时,根据信息契约,自动地将信息传送到信息接受器中。

2.3 可集成MES的开发方法

由于采用了公共的协议规范,屏蔽了底层细节,使开发基于对象的大型应用系统的过程得到较大的简化。无论具体系统采用哪一类ORB(Object Request Broker),其基本开发过程是相似的。

2.3.1 基本开发过程

(1) 定义IDL。对于系统中需要利用ORB进行交互的对象,首先应定义对外的接口。

(2) 将IDL映射为具体语言的残余/框架(stub/skeleton)。IDL独立于具体编程语言,而应用程序则一定由具体语言完成。因此,必须将IDL进行映射,产生由具体语言表示的接口,以供调用。

(3) 编写实现具体服务功能的代码。ORB提供的仅是对象间互操作的支持,至于对象的功能,则必须由编程人员实现。

(4) 编译、链接,产生服务器程序。

(5) 编写调用具体服务功能的客户端代码。

(6) 编译、链接,产生客户程序。

2.3.2 基于构件的开发过程

(1) 构件的设计。在抽象层描述系统中,构件包括接口、属性及其关联等信息。

(2) 构件的部署。根据实际运行环境,决定构件的分布和构件的实现等细节。

(3) 具体化构件。将逻辑建立转化为物理连接,将构件间的连接以代码的形式表示出来。

(4) 产生代码。包括对象的初始化、对象实例间的链接,链接库指定,以及编译开关的设置等。

(5) 编译、链接,产生最终代码。

3 可集成制造执行系统市场分析与预测

MES市场销售额指的是产品和服务两部分。从80年代后期至1994年,T-MES市场销售以23%的比例递增,达到13亿美元,集成的MES比专用的MES年增幅大10个百分点;1995年MES市场迅速放大,比上一年增长50%,并出现集成的MES产品销售增幅,不如专用的MES的势头。究其原因,在1994年中期,模块化的组件开发环境已基本成熟,许多企业希望在它们现有的事务处理系统基础上裁剪MES的部分功能(即专用的MES),

满足业务的需要。而集成的MES由于其功能复杂、实施周期长等原因逐渐萎缩。在这一背景下,I-MES则成为市场的热点。对整个北美MES市场的调查、分析认为:I-MES市场在下一个世纪初,将出现年增长率达35%~40%的幅度^[1]。

4 结论

可集成制造执行系统作为连接企业上层事务处

理和低层设备控制的中间层,在保护企业现有信息资源,充分拓展信息技术在工业领域中的应用,将发挥重要的桥梁作用,是未来工厂综合自动化过程必不可少的组成部分。本文采用 workflow 管理技术、智能 Agent 和面向对象技术,提出了可集成制造执行系统的体系结构、运行机制和开发方法,为开发可集成制造执行系统进行了初步地探讨。

参考文献:

- [1] Amber Computer System Inc. Integratable MES the challenge and the opportunity, advanced manufacturing research consulting[EB/OL]. <http://www.amrc.com>, 1995. 4. 25.
- [2] Amber Computer System Inc. Manufacturing execution systems: their place in the enterprise system[EB/OL]. Amber Computer Systems Inc., <http://www.amrc.com>, 1998. 6. 19.
- [3] Heaton J. Next generation plant systems: the key competitive plant operation[EB/OL]. <http://www.amrc.com>, 1998.
- [4] Orfal R,Harkey D, et al. Instant CORBA[M]. Prentice Hall PTR, 1997.
- [5] Microsoft Corp. Microsoft windows DNA for manufacturing, white paper[EB/OL]. <http://www.microsoft.com>, 1999. 2.

Integratable Manufacturing Execution System

YU Hai-bin, ZH U Yun-long

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015, China)

Abstract: MES(Manufacturing Execution System) supports manufacturing across a wide range of functions, including plant management and engineering, quality management, and real-time supervisory control and monitoring. It is a bridge between top-level transaction and low-level control system of facilities. This paper summarizes the state of art in MES research. Some related functions and its typologies are described. On the basis of it, the architecture of integratable MES is presented to which workflow, agent and object-oriented technology are applied, and the mechanism of it is introduced. Finally, the trend of IMES market is simply forecasted.

Key words: manufacturing execution system; workflow; CORBA

欢迎订阅 2001 年《高技术通讯》 (中文版) (英文版)

《高技术通讯》(中文版、英文版)是经国家科学技术部批准,由科技部高技术研究发展计划(863计划)联合办公室与中国科学技术信息研究所共同主办的综合性学术刊物,是供我国高技术研究人员及时发表其研究成果和进行国内、国际学术交流的园地,旨在促进我国高技术研究的发展和扩大其在国内外的影响。中文版(月刊,大16开本,112页,刊号ISSN1002-0470, CN11-2770/N)设有“研究通讯”、“综述”、“专家特稿”、“研究论坛”、“前沿动态”等栏目;英文版(季刊,大16开本,96页,刊号ISSN1006-6748, CN11-3683/N)仅设以简短学术论文形式报导我国高水平研究成果的“研究通讯”栏目,两刊内容涉及生物技术、智能计算机、电子与光电子技术、信息技术、自动化、机器人、能源、新材料、海洋技术、航天技术及其它高技术领域,主要读者对象是科研院所研究人员、科技管理人员、大专院校师生及大中型企业科研人员。两刊的主要特点是内容新,报导快。“研究通讯”文章所报导的一般是近几个月推出的具有创新性的高水平高技术研究成果,有的属国内首创,有的具有世界先进水平。文章注重突出研究的新思想、新理论、新方法和新技术,具有学术性、实用性、可读性、资料性。

中文版每期定价 15.00 元,全年 180.00 元(含邮资);英文版每期定价 25.00 元,全年 100.00 元(含邮资)。

汇款方式: 邮汇或信汇 邮汇地址: (100038)北京市复兴路 15 号《高技术通讯》编辑部

联系人: 罗红红 信汇银行: 工商银行北京市海淀区办事处翠微路分理处 帐号: 144630-22

户名: 科学技术文献出版社(请注明《高技术通讯》订刊费) 编辑部电话: (010)68515544-2960,2962

传真: (010)68514027 E-mail: hitech@istic.ac.cn