

VSFMA 模型在自动化车间虚拟仿真中的应用

王 猛, 韩正功, 许斌杰

(上海大学 上海市机械自动化及机器人重点实验室, 上海 200072)

摘 要:虚拟仿真软件系统验证大型自动化车间的设计方案有很好的效果。但是面对现实车间设计早期的仿真涉及较大的返工工作量,文中以快速、准确、可扩展为目标,提出了模块化的自动化制造车间虚拟仿真方法(VSFMA)模型。通过 Visual Components 软件的二次开发,对多种布局和物流方案进行定性和定量的直观分析评价,并将 Visual Components 的可重构制造单元应用在新建自动化制造车间的布局与物流设计中,完成了一个回转体工件自动加工装配流水线车间的模拟仿真,并取得了显著效果。

关键词:虚拟仿真; Visual Components; 制造自动化车间; 自动化制造车间虚拟仿真方法

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)10-0146-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.10.037

Application of VSFMA Model in Virtual Simulation of Automatic Workshop

WANG Meng, HAN Zheng-gong, XU Bin-jie

(Shanghai Key Laboratory of Manufacturing Automation and Robotics, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Virtual simulation software system to verify the design of large-scale automation workshop, has a good effect. But faced the early simulation of a real plant design involves a large of rework efforts, with the rapid, accurate and can be expanded as target, put forward a new VSFMA model for a modular simulation design. Through Visual Components (VC) software system in the second development, adopt qualitative and quantitative analysis and evaluation for a variety of layout and plan of logistics, and apply the reconfigurable manufacturing unit of VC into the design of layout and logistics in the new automatic manufacturing plant, has completed a simulation of a rotary work piece automatic processing and assembly line workshop, achieving good effects.

Key words: virtual simulation; Visual Components; manufacturing automation workshop; VSFMA

0 引言

现实的制造车间可以通过计算机虚拟仿真工具建立起形象逼真的“虚拟制造车间”,在有关车间设计、施工、运行、改造时起到提高效率、降低成本、规避风险等重要作用^[1-2]。目前国内外已有多种类型的仿真系统可用于制造车间仿真,随着仿真算法的优化,仿真平台对计算机系统硬件要求在逐步降低,计算机性能在不断提高和价格在不断下降,为制造车间仿真系统开发创造了良好条件^[3-4]。但是,通过对国内外的仿真系统研究,文中发现还有以下问题需解决:

(1)一般车间虚拟仿真模型仅针对某个阶段进行开发,制造车间设计、施工、运行、改造各阶段的需求差异较大,目标与约束条件也各不相同,开发的仿真系统

投资高,但利用率较低。

(2)现实车间仿真可以按被仿真对象的状态分为两类:第一类是仿真现实已经存在、正在运行的车间,通过仿真验证可能的改造优化方案^[5];第二类是仿真尚未建成的车间,该车间还处于初步设计或详细设计的某个阶段,该类形象化的仿真系统对于规避新车间技术风险与投资风险具有更高价值^[6]。但第二类仿真面临不定因素较多,如车间面积、布局策略、加工设备选型与数量、物流设备与自动化程度都是待定因素。设计阶段的车间仿真面临较高频率的重复仿真建模,涉及开发工作较大。

(3)受仿真工具的发展水平限制,目前一般仿真系统仅仅满足制造车间整体仿真某一方面的功能。如

收稿日期: 2012-12-22

修回日期: 2013-03-27

网络出版时间: 2013-07-24

基金项目: 上海市科技计划项目(09DZ1120200)

作者简介: 王 猛(1988-),男,硕士研究生,研究方向为 CIMS、计算机仿真、企业信息化。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130724.1003.028.html>

交互式三维虚拟仿真工具系统一般注重外型、材质、渲染、动画等表现效果^[7-8],不具备车间物流统计功能,而一般以车间物流统计为主的工具平台有较完善的连续系统和离散事件系统仿真算法功能,但缺少生动的三维表现,图形显示效果较差^[9]。

(4)先进制造技术中可重构单元的设计思想可移植到仿真建模领域中来。制造车间复杂性较高,包括自动化、半自动化车间涉及复杂控制问题,在较深入的研究时常建立车间级、单元级、设备级等多层级仿真模型,以降低系统复杂度。如王国新、宁汝新等提出了把专用生产线的仿真建模技术用于可重构制造单元的研究方法,建立车间级、自治的可重构制造单元级、设备级模型,取得较好效果^[10-11]。

文中针对上述问题,提出一种基于规范接口的可重构虚拟仿真模型的自动化制造车间虚拟仿真系统(Virtual Simulation For Manufacturing Automation, VS-FMA)设计方案,并对其可行性进行实例验证。

1 自动化制造车间虚拟仿真模型设计

文中以一家用于回转体工件制造的新建自动化制造车间为例,介绍 VSFMA 系统在制造车间的应用。该车间包括车削、热处理、磨削、抛光、清洗等加工工序,以及部装、总装等装配工序,产品为液压油缸。专用自动生产线一旦建成,物理上一般是不能重构的,但可以借鉴机械专业可重构制造单元的基本思想,解决计算机专业的虚拟仿真建模问题^[12]。在以上研究基础上,针对专用自动流水线为主的机械自动化制造车间(简称自动化车间)仿真设计,提出改进的模块化仿真新方案。

1.1 VSFMA 模型概念定义

制造自动化车间:指包括设计阶段(待建机械自动化车间)的车间设计、施工、运行、改造全生命周期的现实机械自动化车间,是 VSFMA 模型的仿真对象。VSFMA 模型分为 VSFMA 系统与 VSFMA 模块。

制造自动化车间仿真系统:指面向自动化车间设计、施工、运行、改造全生命周期的虚拟仿真(VSFMA)系统,简称 VSFMA 系统。VSFMA 系统为可组装系统,可由多个有规范接口的可重构仿真模块构成,这些模块简称为 VSFMA 模块。

制造自动化车间虚拟仿真模块:VSFMA 模块为具有规范接口的可重构虚拟仿真模块,该模块具有接口层次、实体结构、阶段功能三个维(如图 1 所示)。

文中定义 VSFMA 模块的接口层次为四个层次(如图 2 所示):

(1)物理模型层,用于制造资源物理仿真(形状、尺寸、位置、颜色、组成与结构,基本仿真运行参数);

(2)控制模型层,用于电气控制逻辑仿真(控制信号、控制逻辑、仿真运行状态);

(3)物流统计层,用于制造车间物流统计(利用率、节拍、产能等物流统计模块);

(4)制造信息层,用于车间制造信息显示(名称、编号、描述、主要参数)。

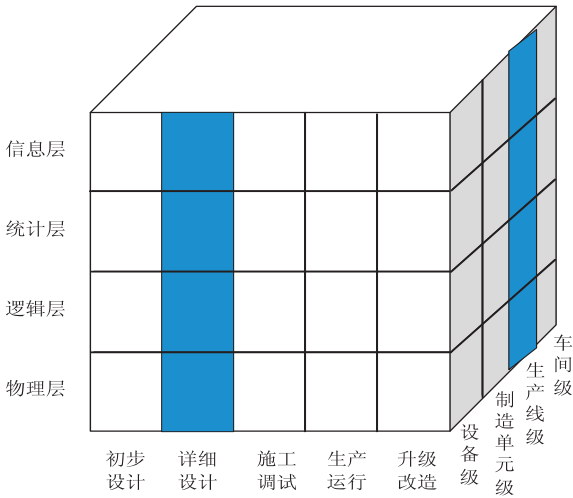


图 1 制造自动化车间虚拟仿真模块

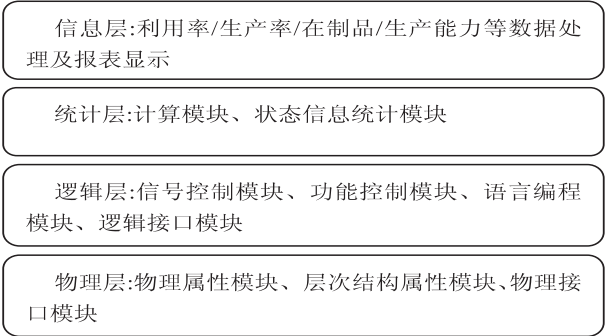


图 2 自动化车间仿真层次模型

1.2 VSFMA 模块的实体结构维度

VSFMA 模块的实体结构分四个级别(每个级别都有以上四个层次):

- (1)车间级(车间整体仿真模型);
- (2)流水线条级(指定工件类的制造工艺过程,包括加工线、装配线仿真模型);
- (3)制造单元级(指定工件类的制造工艺过程中某制造工序仿真模型);
- (4)设备级(包括加工设备、物流设备、辅助设备等仿真模型)。

以上四个级别的仿真模型建成后分别存储在企业基本设备模型库与成套设备模型库中备用。

1.2.1 设备层仿真模型

设备物理仿真模型:包括设备内部零部件基本几何参数模块,各部件物理设备包括静态机械部件与运动部件模块,内部各机械部件之间定义机械学的装配关系映射模块、开放的该设备与周边配套设备的装配

关系映射模块。

设备逻辑仿真模型:包括各运动部件在物理模型上的运动学的运行轨迹模块、起止信号模块,部件间运动逻辑控制模块,动态部件运行位置与状态处理模块,部件基本运动示教模块,设备内部控制逻辑模块,还有该设备与外部设备的开放控制信号接口。

设备统计仿真模型:包括以设备逻辑层各运动部件状态数据为基础,计算设备运行时间的时间计算模块;以运行时间为参数,按连续系统与离散系统分别计算该设备利用率、节拍、产能等结果的物流算法模块。

设备信息层:包括来源基础三层信息的汇总,用于人机界面显示的设备静态、动态信息,以文本、表格、图表、卡片等多种仿真显示。

1.2.2 单元层仿真模型

单元物理仿真模型:包括仿真单元工艺区域基座,加工设备类(一台或多台不同设备),输入缓存设备,输出缓存设备,物流设备(操作工或机器人),辅助设备(各类无运动工装、夹具、检测设备或人员)五类制造资源组成。模型还包括单元内部各资源之间定义机械学的装配关系映射模块,开放、规范的该单元与周边配套单元的资源间机械装配关系映射模块,向用户提供资源之间所见即所得的自动装配功能。

单元逻辑仿真模型:包括单元内各制造资源间基础运动逻辑控制模块;开放、规范的该单元与周边配套单元的控制信号协议;向物流统计层提供规范数据接口。

单元统计仿真模型:包括以单元逻辑层各运动部件状态数据为基础,计算单元运行时间的时间计算模块;以运行时间为参数,按连续系统与离散系统分别计算该单元利用率、节拍、产能等结果的物流算法模块。

单元信息层:包括来源基础三层信息的汇总,用于人机界面显示的单元静态、动态信息,以文本、表格、图表、卡片等多种仿真显示。

1.2.3 流水线层仿真模型

流水线物理仿真模型:包括仿真流水线工艺区域基座和制造仿真单元(一种或多种不同单元),模型还包括流水线内部各单元之间定义机械学的装配关系映射模块,开放、规范的该流水线与周边配套流水线间机械装配关系映射模块,向用户提供加工、装配流水线之间所见即所得的自动装配功能。

流水线逻辑仿真模型:包括流水线内各单元间运动逻辑控制信号映射模块;流水线运行逻辑组合模块(流水线运行仿真可以按不同目标、不同约束条件、不同优先级,选择不同运行逻辑模块组合);开放、规范的该流水线与周边配套流水线的控制信号映射协议;向物流统计层提供规范数据接口。

流水线统计仿真模型:包括以流水线逻辑层各单元状态数据为基础,计算流水线运行时间的时间计算模块;以运行时间为参数,按连续系统与离散系统分别计算该流水线利用率、节拍、产能等结果的物流算法模块。

流水线信息层:包括来源基础三层信息的汇总,用于人机界面显示的流水线静态、动态信息,以文本、表格、图表、卡片等多种仿真显示。

1.2.4 车间层仿真模型

车间物理仿真模型:包括仿真车间工艺区域基座和制造仿真流水线(一条或多条不同流水线),模型还包括车间内部各流水线之间定义机械学的装配关系映射模块,向用户提供加工、装配流水线之间所见即所得的自动装配功能。另外,除了该仿真系统内部数据外,系统定义了通过关系数据库与外部其他仿真系统、MES 车间管理系统的接口规范。便于重用企业已有数据资源,便于该仿真平台更好融入企业信息化大环境中,实现面向自动化车间全生命周期仿真的整体目标。

车间逻辑仿真模型:包括车间内各流水线间运动逻辑控制信号映射模块;向物流统计层提供规范数据接口,实现按真实时间、仿真时间进行统计的实时物流自动统计计算功能。

车间统计仿真模型:包括以车间逻辑层各流水线状态数据为基础,计算指定被加工工件在该车间工况下总体加工、装配时间的时间计算模块;以运行时间为参数,按连续系统与离散系统分别计算该车间设备利用率、整体仿真节拍、仿真节拍与设计节拍的差距、车间产能及差距等多种物流算法模块。

车间信息层:包括来源基础三层信息的汇总,用于人机界面显示的车间静态、动态信息,以文本、表格、图表、卡片等多种仿真显示(如图 3 所示)。

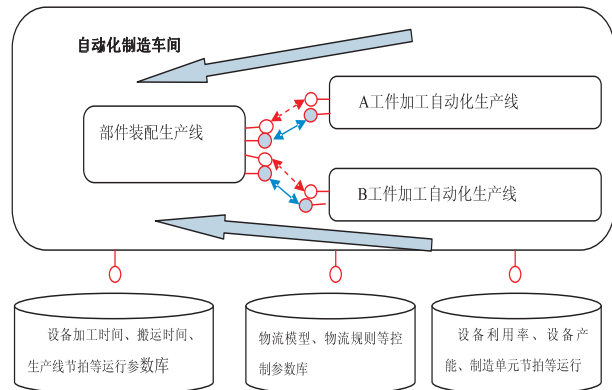


图 3 自动化车间层控制模型

1.3 VSFMA 模块的阶段功能维度构建策略

针对包括现实车间早期设计阶段的全生命周期仿真系统,将涉及较大的重建、返工工作量,文中以快速、

准确、可扩展为目标,在前述技术层模块化基础上,建立有运动功能模型的基本设备库、成套设备库以供调用,提出从应用阶段角度进行上层功能设计新构思。自动化车间仿真系统顶层功能划分为自动化车间初步设计仿真功能、详细设计仿真功能、施工验收仿真功能、上线运行仿真功能、系统维护仿真功能,以及设备改造方案功能。企业可以根据需要逐步自行扩展、细化顶层功能。

2 VSFMA 模型实现的关键技术

VSFMA 系统的开发工具采用 Visual Components (VC)虚拟仿真软件以及 python 语言。开发过程包括:

- a 设备、单元、流水线、车间建模与布局;
- b 模型物理接口设计;
- c 模型控制接口设计;
- d 运动学动作基本逻辑设计;
- e 运动学动作组合逻辑设计;
- f 前台用户功能设计。

建模系统大量基本设备模型库与成套设备模型库中的仿真模型,如要实现快速半自动装配与控制的话,关键问题是规划统一的物理接口、控制接口、信息接口。文中依据 VC 工具软件原理,以一个实际车间设计阶段为例,完成 VSFMA 模型设计与可行性验证。

2.1 Visual Components 虚拟仿真工具介绍

新一代 3D 数字工厂软件 Visual Components(简称 VC),是来自芬兰 Visual Components 公司的一款新型的虚拟仿真软件,具有一定的布局仿真功能,同时也有物流仿真功能。其中 VC 的 3Dcreate 模块自带一个广泛的自动化生产所需的设备资料库,利用丰富的现成的 3D 模型资源,在软件中已实现了 3D 设备资源的模组化和智能化,使用者只需用“拖拽”就可以在数分钟创建一条生产线,多快好省地完成虚拟车间布局和仿真分析。3Dcreate 具有强大的图形编辑创作环境,可快速创建、发布 3D 组件的设备模型,能真实呈现现实设备的外观及其功能行为。

VC 仿真模拟可以分析生产流程、时间节拍、产能、碰撞检查等,并以图表形成报告。同时 VC 可与外部的 PLC(自动化生产编程控制器)连接,检查 PLC 信号的稳定性以及程序错误。数字工厂可提高企业内部的沟通效率,改进原有生产线,加速新项目进程,降低不必要的投资风险和试产浪费。

2.2 VSFMA 模块的物理接口

VSFMA 模块的物理接口采用统一规范的接口,单元内的所有资源都隶属于接口设备,接口设备的移动可以带动整个单元内部所有设备。单元与单元之间的物理接口主要实现两个单元加工顺序的衔接,它们之间不存在隶属关系。

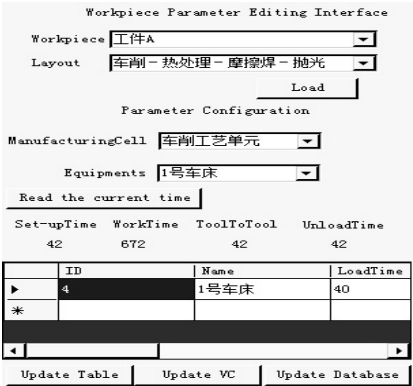
2.3 VSFMA 模块的控制接口与信息接口

VSFMA 模块具有规范逻辑控制接口,完成不同实体运动学控制逻辑功能。VSFMA 模块的运行机制采用事件触发机制,传送带运动路径将确定在传送带上的组件的运动起始位置和最终位置。传送带将包含一个传感器告知抵达组件的路径上的其他组件,通过采用这种开放、规范的控制信号映射协议,实现信号的传递;传送带也可从其他组件通过端口映射使用一个信号实现对传送带的停止/启动控制。

文中设计通过双桁架物流设备与上料缓冲台,加工设备,下料缓冲台建立规范接口,通过端口映射实现信号互通,双桁架物流设备根据信号触发运行相应动作模块。底层动作模块与逻辑控制层分离,便于维护和扩展。

2.4 VSFMA 二次开发功能模块

文中利用两次开发语言进行 VC 二次开发,将开发的插件(工件加工参数的配置界面)嵌入到 VC 标签页中;在工件加工参数的配置界面,选择不同规格的工件和相应的工艺路线,程序根据事先规范的接口,将制造单元自动导入,两次开发语言启动 VC 对象应用实例,VC 实例调入相应制造单元,根据规范的接口和工艺路线和布局的要求,进行不同工艺路线及不同布局类型自动布局组合成流水线(如图 4 所示)。



```
private void button1_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    if (comboBox2.Text.ToString() == "车削-热处理-摩擦焊-抛光")
    {
        m_application = (IvcApplication)new vc3DCreate.vcc3DCreate();
        m_application.clear();
        //导入模型文件

        m_application.load("D:\\vc_test\\lathe_group.vcm");
        m_application.load("D:\\vc_test\\heat_process_group.vcm");
        m_application.load("D:\\vc_test\\weld_group.vcm");
        m_application.load("D:\\vc_test\\polish_group1.vcm");
        m_application.load("D:\\vc_test\\statistics.vcm");
    }
}
```

图 4 VSFMA 界面配置

利用两次开发语言开发的 VC 插件,实现了 VC 与数据库 SQL2005 的连通,VC 场景中选择相应的加工设备,实现自动获取当前设备的时间配置和数据库中该设备的时间配置,可以根据实际需求更改仿真参数的配置,将数据库仿真数据更新到当前场景中选中的加工设备,也可以将新配置的数据更新到数据库。通过虚拟仿真系统进行物流统计分析,产生科学统计的报表,验证前期的设计方案,为进一步优化提供参考,通过选择不同布局类型,验证不同方案下流水线性能。

3 结束语

通过 VSFMA 系统实现了多阶段仿真,可以对比同一现实系统的多种不同策略、方案,在系统多个性能参数方面的异同和差别的验证,定性和定量地对多个方案进行直观分析评价,为决策者提供全面、可信的参考依据。尤其针对尚未建成的车间,车间设计方案未最终确定的情况,借助基于 VC 的物流仿真系统,实现快速建模、仿真,从根本上解决现实车间设计早期的仿真涉及较大的返工作量的问题。同时也为后续一系列施工、验收、生产运行等各环节仿真打好基础。VS-FMA 系统已在一家用于回转体工件加工的新建自动化制造车间的布局与物流设计中,取得初步效果。

(上接第 145 页)

图 4 为系统测试结构及数据流向图。

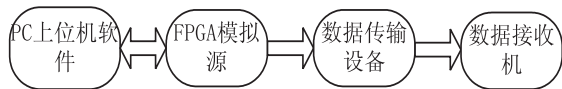


图 4 系统测试结构及数据流向图

5 结束语

文中将 PEX8311 芯片应用到图像模拟源,编写了 FPGA 的逻辑控制程序,并开发了上位机应用程序,经测试运行状态正常,稳定性强。成功实现了通过 PC 上位机软件对模拟源发送数据的灵活控制,能够更好地测试数据传输设备功能并及时发现漏洞。

参考文献:

- [1] 刘 铎. 基于 FPGA 的 PEX8311 的 LBS 控制器的实现[J]. 现代电子技术, 2011, 34(19): 97-99.
- [2] Cartigny J, Ingelrest F, Simplot-Ryl D. Localized LMST and RNG based minimum-energy broadcast protocols in ad hoc networks[J]. Ad Hoc Networks, 2005, 3(1): 1-16.
- [3] 李 政, 李德英. 无线自组织网络中能量有效的广播与组播[J]. 软件学报, 2010, 21(8): 2023-2036.

参考文献:

- [1] 潘 磊. 变速箱装配线车间虚拟规划仿真[D]. 南昌: 华东交通大学, 2006.
- [2] 陈 奎. 虚拟工厂规划仿真系统的研究与实现[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2009.
- [3] 张 庆. 虚拟制造技术在车间设计中的应用[J]. 制造业自动化, 2011, 33(11): 100-102.
- [4] 熊光楞, 徐晓萍. 计算机仿真在制造车间设计中的应用[J]. 计算机仿真, 1996, 13(2): 41-48.
- [5] 王雪兰. 基于 Flexsim 的凸轮轴生产物流系统仿真[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2008.
- [6] 杨 堃. 流水线型制造企业生产物流系统仿真与应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [7] 黄辉祥. 制造单元的三维可视化重构及其仿真技术的研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2010.
- [8] 何 迪. 基于 DELMIA 的船厂生产三维仿真[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [9] 祁宏赞. Flexsim 在连接器制造单元仿真中的应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [10] 朋学琴. 可重构制造系统的设施布局优化方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [11] 王国新, 宁汝新, 王爱民. 面向可重构制造单元的仿真建模技术的研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(17): 3894-3898.
- [12] 黄辉祥. 可重构制造系统的关键技术研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2010.

- [4] Ramanathan R. On the performance of ad hoc networks with beam forming antennas[DB/OL]. 2001. <http://www.ir.bbn.com/~ramanath/pdf/mobihoc01-beamform.pdf>.
- [5] Budruk R, Anderson D, Shanley T. PCI Express 系统体系结构标准教材[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [6] 马鸣锦, 朱剑冰, 何红旗, 等. PCI、PCI-X 和 PCI Express 的原理及体系结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [7] 许 军, 李玉山, 贺占庄, 等. PCI-Express 总线技术研究[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(5): 141-143.
- [8] 刘 娟, 田 泽, 黎小玉. PCI-E 接口驱动软件设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(8): 53-55.
- [9] Datasheet: PLX. ExpressLane PEX8311 AA PCI Express-to-Generic Local Bus Bridge Data Book, Rev 1.0[M]. [s. l.]: [s. n.], 2009.
- [10] PLX Technology Inc. PCI express hardware development kit version 1.0 alpha[EB/OL]. 2005. <http://www.Plxtech.com>.
- [11] 黄小红, 李 峰, 倪卫芳. PEX8311 芯片数据传输研究[J]. 电子工程师, 2007, 33(10): 64-67.
- [12] PLX Technology Inc. PCI SDK Software Development Kit Programmer's Reference Manual version 4.40[M]. [s. l.]: [s. n.], 2006.

VSFMA模型在自动化车间虚拟仿真中的应用

作者：[王猛](#)，[韩正功](#)，[许斌杰](#)，[WANG Meng](#)，[HAN Zheng-gong](#)，[XU Bin-jie](#)

作者单位：[上海大学 上海市机械自动化及机器人重点实验室, 上海, 200072](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

ISTIC

年，卷(期)：2013(10)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201310037.aspx