

面向复杂产品的多层智能推理框架

冯珊¹, 郭四海²

(1. 华中科技大学 控制科学与工程系, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉理工大学 自动化学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 案例推理是基于知识的问题求解方法。克服复杂产品进行单层案例推理所面临的粗粒度问题, 考虑到复杂产品案例表达多层次的特点, 根据领域知识和部件功能相似性, 基于 XML 描述的部件层次互换约束规则, 实现深层次的案例细节调整和修改, 从而建立了多层智能推理方法框架, 为多层次复杂产品案例推理问题提供可行的解决方案。并以某类复杂产品采办全生命周期中的概念设计为例说明多层智能推理框架问题求解的有效性和面向用户服务的支持效率。

关键词: 多层案例推理; 互换规则; 基于仿真的采办; XML

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2011)03-0283-06

Research on the architecture of a multi-level intelligent case-based reasoning-oriented complex equipment system

FENG Shan¹, GUO Sihai²

(1. Institute of Systems Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Case-based reasoning is a knowledge-based problem solving method. To overcome the coarse-grained problem in the single-level case-based reasoning of complex equipment systems; Based on the characteristics of the multi-level of complex equipment systems, the domain knowledge and the similarity of the components' functions were considered, and the framework of multi-level intelligent case-based reasoning was proposed. In the framework, XML was used for describing the language of component replacement rules in order to realize the adjustment and modification of deep-level details of the case. The improvement and application of the framework are feasible solutions for case-based reasoning of a multi-level complex product system. Finally, an illustrative example for conceptual design of complex equipment systems was given to clarify the feasibility and effectiveness of the multi-level intelligent CBR framework.

Keywords: multi-level case-based reasoning; replacement rules; simulation based acquisition; extensible markup language

案例推理(case-based reasoning, CBR)是人工智能领域新出现的一种基于知识的问题求解方法。CBR 解题过程可简单描述为首先从记忆库(案例库)中找到与当前问题最相似的案例,再结合当前问题的特点对该案例作必要的修改以适应当前问题的求解。基于案例推理方法的概念设计,通过将历史设计方案描述为“案例”,克服了传统专家系统中规则获取的瓶颈问题,极大地丰富了领域知识的知识

表示方法,并简化了知识库的维护工作^[1-2]。并且通过对历史案例解决方案的调整,使得案例推理系统具有相当的创新性和解决新问题的能力,能够符合概念设计活动的创新性要求。另外, CBR 可根据过去实际发生的经验和案例得出结论,符合人类的思维习惯,因此推理出的结论容易被用户所接受^[3-4]。

CBR 在知识获取和维护、提高问题求解效率、改进问题求解质量和提高用户接受度等方面都优于传统的基于规则的推理方法。其优势还在于对尚未完全了解的领域,可根据以往的经验预先拟定某些假设和推测,据以导出关键性因果关系,从而支持对所面临的待求解问题提出可行解决方案集,经过对可行解集的评估和优化后,再从中确定一个满意解。

收稿日期: 2010-12-15.

基金项目: “十一五”国家部委资助项目(513040501); 国家部委重点基金资助项目(9140A04050707); 国家自然科学基金重大资助项目(79990580).

通信作者: 冯珊. E-mail: sfeng@mail.hust.edu.cn.

这种问题求解方法特别有助于因问题描述不确切,建模困难又没有相应有效算法的虚拟采办(simulation based acquisition, SBA)复杂问题求解,特别对于SBA概念设计,由于其处于采办全寿命周期早期阶段,采办者尚无法获得确切和详实的采办信息,CBR方法至少可以支持采办者勾画出采办新装备的雏形,作为SBA全生命周期演化过程的起点,因此,CBR问题求解方法在SBA概念设计中的应用是一种有效和务实的求解策略^[5-6]。

文献[7]介绍了已经实现的基于案例推理的概念设计工具ICACDT,该工具基于CBR-Solver的4R流程进行了面向应用的扩展和性能提高。设计者在该工具支持下通过人机交互可完成自任务新产品需求的形式化表达(系统输入)到概念设计(系统输出)完成的任务产品概念设计全过程^[7]。本文在上述已经实现的基于单层案例推理的概念设计工具基础上,鉴于SBA复杂系统进行案例表达具有丰富层次性特点,将多层案例推理机制引入SBA概念设计中。重点阐述了多层智能案例推理框架的构成与设计原理,并以某类复杂装备系统实例验证了多层智能推理方法的有效性和可行性。

1 多层智能推理工具设计

CBR的多层案例推理,在认知科学、知识工程和智能计算技术方面有其特殊的意义。复杂系统问题求解依靠各层次、各类型推理的综合集成过程。特别是在SBA系统工程中需要用基于仿真的最优化技术(simulation based optimization)时,最适合可整体处理的复杂对象系统仿真模型的非案例模型莫属,这是近10年来仿真界的一个研究重点^[8]。多层

案例推理的理论基础是由案例库提供蕴涵可行解的解空间,运用类比推理,按有效算法找出一个最接近目标解的备选案例集合,并加以筛选和修正,作为已知的知识即事实,对应新需求的解决方案集。从中优选最佳方案时,用多层推理可根据领域知识(部件案例)选择更换部件级,或更细的层次,从而支持用户完成复杂装备虚拟采办任务概念设计全过程^[9-10]。

1.1 多层智能推理框架

在文献[7]中介绍的单层案例推理过程中,按任务书要求通过适用算法对案例总体参数检索得到的相似案例,通常与任务书要求的任务案例在功能与结构参数方面比较相近,但不完全符合,这样就必须对案例进行深层次的调整和修改。

由于案例表达具有层次性,即案例库中的案例可以按照“自上而下”的组织方式,以整体表达→部件表达→零件表达的多层次划分进行表达,所以可以通过多层次推理模型解决案例匹配与案例调整中的参数选择问题。从而将设计任务案例分解为层次性的子任务分别求解,能够更有效地利用相似案例,扩大问题求解空间,这一点对于案例库中案例数量很少的情况特别适用。

在多层案例推理过程中,对案例总体进行第一次推理得到的可用案例集合可以作为设计任务书问题的初始解。在得到初始解之后,根据案例总体的设计约束和规则约束在下一层部件中寻找相关的属性,这样便可以从总体层次依次向下进行逐层推理,最终得到满足设计要求的案例总体及部件参数。图1虚线框所示部分为案例调整部分,同时也是一个完整的多层案例推理流程。

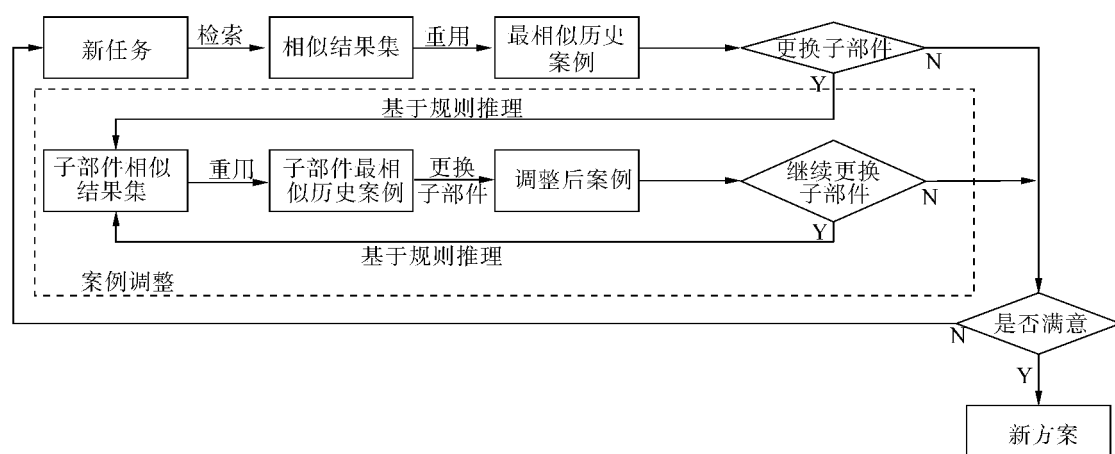


图1 多级案例推理机制

Fig.1 Multilevel case-based reasoning mechanism

整个案例推理流程以设计任务书为起点,通过初步的检索和重用以往的设计得到基本上符合设计

要求的设计。在调整阶段,以替换规则为基础,对案例子部件进行替换最后得到新的设计方案。整个过

程包含了2个案例推理流程;1)以设计任务书整体指标为参考的整体推理;2)基于约束规则的方法替换子系统,并对子系统的相似性质进行计算得到最相似结果,并在更换子系统后,对系统重新进行评价。

1.2 多层智能推理流程

多层案例推理与以往案例推理的不同之处在于不仅对案例整体进行推理,而且在案例的调整阶段对部件也同样进行推理。在方法论上属于同一方法的自我调用和重复。具体案例推理流程如图2。多层智能案例推理具体实现流程可以按照以下步骤来进行。

1)以整体性能指标为基础,采用相应匹配算法获得整体指标上最相似的历史案例。

2)按照相应的评价方法对经过上次案例推理得到的案例集合进行分析,得到其案例与设计任务

案例的差异。

3)按照两者的具体差异参数从规则库中得到相应的约束关系,根据约束关系确定应该对案例部件中的哪些部件进行调整、修改。而根据实际产品归纳、整理出一个全面、完整的规则库以适应设计中各种可能的设计参数约束需求是本步骤成功的关键。

4)依靠案例总体与部件调整规则从案例库与部件库中检索出的相似案例总体及部件,调用计算模型方法计算更换子部件后案例的属性值并进行校验,从而得到相应的调整策略、过程。

5)按照案例推理规则对这些选择的部件进行推理,并对更换、修改部件结果进行评价,更换子部件后案例的相似度,若该结果满足设计要求,得到一个与设计任务最相似的改造案例,则案例调整成功,结束所有推理过程;否则需要进行更多部件的更换和调整,返回2)进行下一轮的推理。

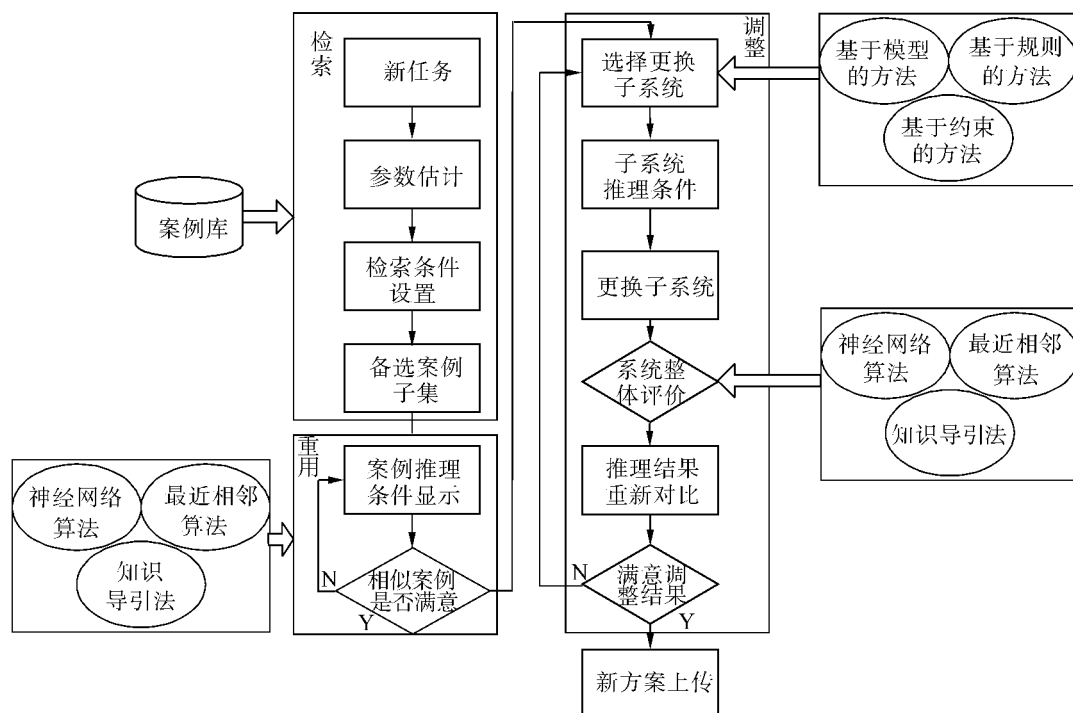


图2 多层案例推理流程结构

Fig.2 Multilevel CBR process structure

2 多层智能推理实例

通过对某类复杂武器系统单层指标案例推理模块进行改进和扩展实现的多层智能推理实例,说明基于案例的多层智能推理工作流程。在该案例进行第一次总体性能指标推理得到可用案例集合作为初始解的基础上,根据案例总体的设计约束和规则

约束调用子部件互换计算模型,在下一层部件中寻找合适属性的部件,对更换部件的案例重新进行相似度匹配计算,根据结果得出保留该次互换结果或重新进行更换的判断依据,从而实现从总体向下进行逐层推理并返回总体进行匹配计算的循环过程,最终得到满足设计要求的案例总体及部件参数。

表1 总体性能推理结果
Table 1 Overall performance results based CBR

案例名称	毁伤概率	速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	射程/ ($\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$)	弹径/mm	弹长/m	射高/km	相似度
任务案例	0.75	782	8.4	130	2.24	3.1	—
备选案例1	0.70	3 400	640	2 040	15.5	320	0.564 5
备选案例2	0.75	850	8.4	130	2.24	3.0	0.821 3
备选案例3	0.65	1 190	11.0	165	2.29	6.0	0.623 6
备选案例4	0.75	680	8.0	130	2.24	3.0	0.915 7
备选案例5	0.75	680	6.2	133	2.26	3.2	0.901 8
备选案例6	0.68	1 360	7.0	127	1.4	5.0	0.872 7
备选案例7	0.70	1 224	50	400	5.5	12.0	0.723 1
权重分布	0.15	51	0.15	0.15	0.2	0.2	—

表1 是进行总体性能案例推理的数据,这里仅列出任务案例与7个备选案例的部分总体性能指标,按照最近相邻法计算得出备选方案4与任务案例的相似度为0.915,较其他备选案例更接近任务案例的要求,但仍有相当的差距,为了提高案例推理结果的符合度,在约束规则指导下对子部件进行尝试性更换,寻求更符合任务案例的结果。

本实例中使用的最近相邻法是用属性相似度的加权 and 表征任务案例与待评价案例间的相似度。因为两案例的多属性描述(属性个数、度量等)完全一致,且两案例的属性权重取值完全相同,则其相似度计算公式为

$$S_{IR} = \sum_{i=1}^n \omega_i \times \text{sim}(f_i^I, f_i^R) / \sum_{i=1}^n \omega_i.$$

式中: S_{IR} 表示案例I和案例R的相似度; ω_i 表示第i个属性在整个案例属性集合中所占的权重,sim为属性相似度计算公式; f_i^I 和 f_i^R 分别表示案例I和案例R的第i个属性的属性值。案例相似度 S_{IR} 计算结果为[0,1]区间的实数,0表示2个案例完全不相似,1表示完全吻合。

最近相邻法计算案例间相似度的公式中并未明确其所用各属性相似度的具体计算方法,通常在将案例多属性描述为多维空间的位置时,选用几何空间距离计算案例之间的各个维度上的距离相似度。若2点间的空间距离相对很小,则谓相似度高。常用的计算案例属性间的空间距离方法有海明距离和欧几里德距离2种,下面给出具体计算公式和简要说明。海明距离计算公式为

$$\text{dist}(f_i^I, f_i^R) = |f_i^I - f_i^R| / |\max f_i - \min f_i|.$$

式中: $\max f_i$ 和 $\min f_i$ 分别代表案例第i个属性的最大值和最小值。

单个属性的属性相似度计算公式为

$$\text{sim}(f_i^I, f_i^R) = 1 - \text{dist}(f_i^I, f_i^R).$$

基于欧几里德(Euclidean)距离计算案例之间相似度公式为

$$\text{sim}(f^I, f^R) = 1 - \text{dist}(f^I, f^R) = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n \omega_i \times (f_i^I - f_i^R)^2}.$$

应用欧几里德距离计算案例之间相似度公式前,需要对每个属性做归一化处理。归一化计算公式多采用公式:

$$F_s = (F_o - F_{\min}) / (F_{\max} - F_{\min}).$$

式中: F_{\max} 、 F_{\min} 分别是属性的最大值和最小值, F_o 是属性的原始数值, F_s 是归一化处理后的数值。

图3所示的是对动力系统子部件按规则进行互换的前后案例对比图。因为进行动力子部件互换必定会直接影响案例顶层属性指标量值,所以案例顶层相应属性指标量值的变化依据需要从动力子部件库中相应知识得出,例如图3中更换动力子部件后预计飞行速度会达到850 m/s,射程会达到8.4 km等,由于是示例,暂时不考虑更换动力系统子部件对其他总体性能指标的影响。再依据上述的最近相邻法计算更换部件前后的案例与任务案例之间的相似度,结果如表2所示。

根据前面给出的最近相邻法计算公式可知,在进行计算方案相似度需要待检索的案例集中的属性最大值和最小值作为标准化的重要依据,所以包括不同数量案例的待检索案例集计算结果仅具有相对性,而在绝对数值上会有所差别。如表2中只有更换动力子部件前后2个待比较方案时,得出的结论是更换后案例相似度0.927要比更换前0.739大,更换子部件后更符合任务案例的要求。实例结果表明更换子部件后的案例方案总体性能指标与任务案例方案更接近。

表 2 重新推理结果
Table 2 New reasoning results

案例名称	毁伤概率	速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	射程/ ($\text{k} \cdot \text{m}^{-1}$)	弹径/mm	弹长/m	射高/km	相似度
任务案例	0.75	782	8.4	130	2.24	3.1	—
更换前案例	0.75	680	8.0	130	2.24	3.0	0.739 7
更换后案例	0.75	850	8.4	130	2.24	3.0	0.926 9
权重分布	0.15	51	0.15	0.15	0.2	0.2	—

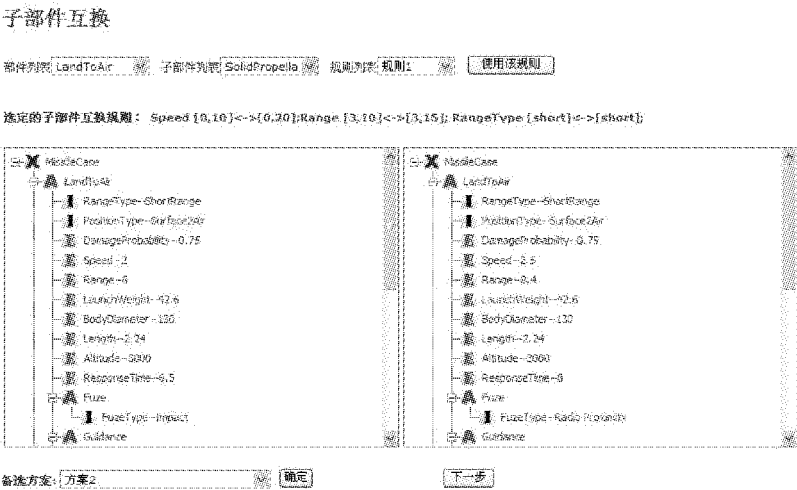


图 3 按规则进行子部件互换
Fig.3 Exchange sub-components based rules

若推理不再继续进行,决策者认为更换部件后的案例方案为现有条件下最满意的一种方案时,即可使用本智能案例推理系统的报告自动生成工具,发布方案选择报告.

3 结束语

探讨了多层智能推理方法框架和设计原理.在此基础上阐述了根据领域知识(具有多层结构的复杂产品),按照约束规则选择更换部件级甚至更细层次进行案例匹配的推理过程.从而有效支持采办用户完成复杂武器装备采办任务概念设计全过程.

后续的研究关注应用 CBR 方法进行装备技术方案决策的核心思想是基于整体形式化描述(案例库中的各案例)的知识重用和按新的需求对经验知识进行修正和完善.由于重用建立在共性的需求和类似的解决方案技术结构上.因此,这一推理方法可扩展到 SBA 过程中的模型重用和仿真重用以及设计模式乃至用户界面模型及软件测试计划等的选择与运用上,成功的关键在于按事物的相关特征建立案例库并确定合适的评估算法.

参考文献:

[1] GULFEM I. An integrated case-based reasoning and MCDM system for Web based tourism destination planning[J]. Ex-

pert Systems with Applications, 2010, 38(3): 125-132.
[2] AMODET A. Knowledge-intensive case-based reasoning in CREEK[C]//Proc of the 7th European Conference on Case-based Reasoning. Berlin: Springer Verlag, 2004: 291-305.
[3] 张荣梅,涂序彦. 基于 CBR 的交通事故处理智能决策支持系统[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(2): 247-249. ZHANG Rongmei, TU Xuyan. CBR-cased intelligent decision support system for traffic accident disposing[J]. Computer Engineering and Applications, 2002, 38(2): 247-249.
[4] SHEN W, WEN L. Research on integrating different methods of neural networks with case-based reasoning and rule-based system to infer causes of notebook computer breakdown[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(6): 4544-4555.
[5] 李伯虎,柴旭东. SBA 支撑环境技术的研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(2): 181-185. ZHANG Rongmei, TU Xuyan. CBR-cased intelligent decision support system for traffic accident disposing[J]. Computer Engineering and Applications, 2002, 38(2): 247-249.
[6] CHAI Xudong, LI Bohu. Research and application on service oriented infrastructure for networkitized M&S[C]//Proceedings of 2006 International Workshop on Distributed Simulation on the Grid. Washington, DC, USA, 2006: 113-

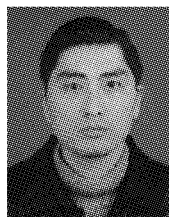
125.

- [7] 冯珊, 郭四海, 周凯波, 等. 虚拟样机概念设计工具中的智能技术[J]. 华中科技大学学报, 2007, 35(8): 48-51.
FENG Shan, GUO Sihai, ZHOU Kaibo, et al. Intelligent technology used in the tools for the conceptual design of virtual prototypes and its evolution[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2007, 35(8): 48-51.
- [8] RICHARD P, EKARTA A. Hierarchical case-based reasoning to support knitwear design[J]. Manufacturing Science and Technology, 2010, 4(2): 299-309.
- [9] SERINA I. Kernel functions for case-based planning[J]. Artificial Intelligence, 2010, 174(16): 1369-1406.
- [10] TSATSOU LIS C, CHENG Q, WEI H Y. Integrating case-based reasoning and decision theory[J]. IEEE Transactions on Intelligent Systems, 2001, 12(4): 46-55.

作者简介:



冯珊, 女, 1935年生, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为复杂系统建模与仿真、人工智能与计算智能的工程应用及多 Agent 系统等. 多年来主持智能集成系统工程研究室工作, 承担多项国家级自然科学基金及国防预研基金重点科研项目并多次获国家及省部级科技进步奖. 发表学术论文 160 余篇, 其中有 66 篇被 SCI、EI、ISTP 及 INSPEC 等检索.



郭四海, 男, 1976年生, 博士研究生, 主要研究方向为建模与仿真、人工智能技术及虚拟采办决策支持系统等.

2011 年全国电子信息技术与应用学术会议

2011 National Conference on Electronic Information Technology and Application (EITA 2011)

2011 年全国电子信息技术与应用学术会议将于 2011 年 12 月 16 ~ 18 日在上海召开, 本届会议将围绕电子商务等领域的最新动态和前沿热点进行深入探讨, 交流最新的研究成果及应用进展. 会议旨在加强交流、促进合作, 为本领域内专家和学者提供一个学术交流与建立友谊的平台, 以便开展广泛密切的国际学术交流与合作, 更好地激发创新思维与系统思考, 不断开创学科交叉、多点支撑、多赢互助的学术局面会议论文集将由美国科研出版社出版, 中英文投稿均可, 所有录用的论文将被 ISTP (CPCI-S) 检索.

一、大会主题

大会主题: 围绕电子商务等领域的最新动态和前沿热点进行深入探讨, 交流最新的研究成果及应用进展.

会议旨在加强交流、促进合作, 为本领域内专家和学者提供一个学术交流与建立友谊的平台, 以便开展广泛密切的国际学术交流与合作, 更好地激发创新思维与系统思考, 不断开创学科交叉、多点支撑、多赢互助的学术局面会议论文集将由美国科研出版社出版, 中英文投稿均可, 所有录用的论文将被 ISTP (CPCI-S) 检索.

会议主题:

电子商务 E-Commerce
电子政务 E-Government
物流管理 Logistics Management
服务科学 Service Science
知识管理 Knowledge Management
信息管理 Information Management
投资分析 Investment Analysis
质量控制 Quality Control
企业管理 Enterprise Management
项目管理 Project Management
地理信息 Geographic Information System
能源管理 Energy Management
需求分析 Requirement Analysis
金融分析 Financial Analysis
人力资源 Human Resource Management
过程管理 Process Improvement
市场营销 Sales and Marketing

决策系统 Decision Making Process
风险管理 Risk Management,
信息安全 Information Security
系统分析 System Analysis
数字城市 Digital City
交通管理 Transportation Management
数据挖掘 Data Mining
临床工程技术 Clinical Engineering
检测技术 Testing Technology
卫生信息管理 Health Information Management
远程医疗 Telemedicine
酒店管理 Hotel management
连锁经营管理 Chain Business Management
数控技术 Digit Control Technology
汽车电子 Automotive Electronic
汽车检测 Vehicle Detection

二、征文要求及注意事项

- 稿件须符合大会主题, 且未曾发表;
- 论文摘要将印刷成册. 2011 年 8 月 28 日前提交论文全文含中英文摘要、作者简介、联系方式等, 格式见“会议官方网站 <http://eita.mokhill.com>”论文中文模板及“论文英文模板”;
- 会务组将于 2011 年 10 月 15 日向论文审核通过者发出正式邀请函;
- 审稿如未通过, 限于人力、物力不退稿, 请自留底稿.

三、会务组联系方式

电话: 15900420377 陈老师 邮箱: eita2011@126.com