

# 基于演化涌现的复杂信息网络设计优化

赵东杰<sup>1,2</sup>, 何宇<sup>1</sup>, 杨海涛<sup>1</sup>, 王华<sup>3</sup>, 李智<sup>1</sup>, 赵洪利<sup>4</sup>

1. 装备学院重点实验室, 北京 101416
2. 63628 部队, 北京 101601
3. 中国航天员科研训练中心, 北京 100094
4. 总装备部信息化局, 北京 100720

**摘要** 针对复杂信息网络设计优化问题, 分析了复杂信息网络特性, 提出了基于演化涌现的复杂信息网络设计优化方法和拓扑结构演化模型。该设计优化方法以融贯论为指导, 采用系统分析、建模分析和仿真分析相结合技术途径对复杂信息网络设计优化问题进行多尺度研究, 树立基于网络化思维的安全观, 突出网络拓扑结构设计, 强化网络可控性、安全性和健壮性, 体现局域结构演化形成功能整体涌现。拓扑结构演化模型综合选取网络建设成本、时延、健壮性和吞吐量等网络工程特征参数作为网络演化动力, 通过调整参数权重生成优化网络。对实测 ISP 路由器级网络数据的仿真实验表明, 方法模型具有可行性、有效性和扩展性, 可加深对复杂信息网络动力学行为认识, 促进信息网络科学发展。

**关键词** 信息网络; 设计优化; 演化涌现; 复杂网络; 融贯论

**中图分类号** TN915, TP393

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.36.003

## Research on the Design Optimization of Complex Information Network Based on Evolution and Emergence

ZHAO Dongjie<sup>1,2</sup>, HE Yu<sup>1</sup>, YANG Haitao<sup>1</sup>, WANG Hua<sup>3</sup>, LI Zhi<sup>1</sup>, ZHAO Hongli<sup>4</sup>

1. Key Laboratory, Academy of Equipment, Beijing 101416, China
2. NO. 63628 Troop of PLA, Beijing 101601, China
3. China Astronaut Training and Research Center, Beijing 100094, China
4. Information Technology Bureau, PLA General Armament Department, Beijing 100720, China

**Abstract** Aiming at the design and optimization of complex information network, the characteristics of complex information network were analyzed, the design optimization method and topology evolving model of complex information network based on evolution and emergence were introduced. Under the direction of syncretism, the method adopts a technique with a combination of system analysis, modeling analysis, and simulation analysis to study the design and optimization of complex information network from multi-scale perspective, establishes the security view based on networked thought, highlights the design of network topological structure, enhances the controllability, security, and robustness of network, and embodies the wholeness emergence of functions caused by the local structure evolution. The evolution model of topology structure selects network cost, network delay, network robustness, and network throughput as network evolution power and adjusts their weights to generate and optimize network. Experiments based on the router-level network data of internet service provider show that the method and model are feasible, effective, and scalable. The method is able to deepen our understanding of the dynamical behavior of complex information network, and promote the scientific development of information network.

**Keywords** information network; design optimization; evolution and emergence; complex network; syncretism

收稿日期: 2011-12-01; 修回日期: 2011-12-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2008AAX0X0211); 国家自然科学基金项目(69120912, 61035004)

作者简介: 赵东杰, 博士研究生, 研究方向为通信与信息系统、复杂性科学等, 电子邮箱: zhaodj2006@126.com; 李智(通信作者), 教授, 研究方向为系统集成、复杂系统设计优化等, 电子邮箱: zhaodj2016@163.com

## 0 引言

随着计算机技术、网络通信技术的高速发展,信息网络给人类社会带来了前所未有的快捷和方便,有力推动了人类社会的发展和进步。IP网络泛指以IP为网络层协议的计算机网络,无论在民用领域还是军事领域,IP网络都得到了广泛的应用,是信息网络的典型代表。Internet是目前世界上规模最大、影响最大的IP网络,对人类生活影响巨大,已经成为人们生活不可或缺的一部分。同时人类行为的选择性、创造性和不确定性使Internet呈现出自组织特征,Internet变得越来越复杂,网络结构及信息资源分布也在大众交互下不断演化。信息网络也在无限扩张中表现出前所未有的脆弱。如何保障信息网络的高速率、高可靠性以及抗毁能力是保证信息发挥效能,提高网络安全的关键环节。在复杂网络开放、自由的环境下,网络攻击模式和病毒传播方式都在不断转换,安全形势发生了新的变化。“云计算”是继互联网后信息技术领域的又一次划时代革命。面对“云计算”的技术手段和运用机理,人们面临的将从技术到设备、到思想深处的深刻变革。目前,从演化涌现视角研究信息网络设计优化的报道很少,本文对此进行探索,提出复杂信息网络设计优化方法和拓扑结构演化模型,以促进信息网络科学发展。

## 1 复杂信息网络特性分析

复杂信息网络是以组网技术、信息传输技术、信息融合技术、信息安全防护与对抗技术等为支持,把多种不同类型和功能的信息节点结合为一个整体,组成互连网络。它可实现信息资源的高效传输、综合利用和充分共享。复杂信息网络的规模和功能日新月异,具有结构复杂性、连接复杂性、演化复杂性、时空复杂性等,是开放的动态的复杂网络。现实世界中的许多复杂网络并不是随机网络,广泛存在小世界特性、无标度特性、自相似性、高积聚性、以及健壮性和脆弱性并存等特性。复杂信息网络也具有类似特性,存在少量“核心节点”和大量“末梢节点”,发展过程呈现自组织特性并具有生长性和偏好依附性;其节点的重要度存在差异,具有异质性,会表现出无标度性。

技术越发展,智能化程度越高,人的作用越突出。信息网络呈现出的无标度拓扑是人类用户需求行为参与网络发展与演化的必然结果<sup>[1]</sup>。信息网络的最本质特征之一是信息感知、信息传输设施的建设者、管理者和使用者具有智能,能够了解其所处的周围环境,预测环境变化,按照设定的目标行动。因此,信息网络的建设者、管理者和使用者(称为主体)对信息网络设计优化起着决定性作用,是信息网络“适应性、自组织性”的根本来源。1994年约翰·霍兰提出的复杂适应系统(Complex Adaptive System, CAS)理论是研究复杂系统的重要成果,其核心理论“信息涌现理论”成为信息自组织研究的重要理论基础。自组织过程会出现涌现现象,涌现是CAS的重要特征。通常,将涌现用来指称这样的微-宏观效应——“因局部组分之间的交互而产生系统全局行为”<sup>[2]</sup>或“缘起于微观

的宏观效应”<sup>[3]</sup>。Holland<sup>[4]</sup>归纳出了复杂适应系统通用的4个特性(聚集、非线性、流、多样性)和3个机制(标识、内部模型、积木),认为复杂适应系统的其他共性都可以通过这7个基本点的适当组合“派生”出来。周宗放<sup>[5]</sup>指出,通信网具有非线性特性,利用复杂适应系统理论可论证复杂信息网络具有复杂适应性。

## 2 复杂信息网络设计优化

### 2.1 复杂信息网络设计优化方法

在互联网计算环境及云计算模式下,用户不确定的、智能的交互行为参与到信息处理中,人机、机机、机人交互形成了计算节点上持续的输入/输出流,互联网变得越来越智能,更具社会化<sup>[6]</sup>。“云计算”时代,人的作用将会更加放大。李国杰指出:“未来网络一定要建立在对网络的深刻理解上,不仅要理解网络的协议层,而且要理解网络的动力学行为、可控制性、安全性、健壮性和演化规律”;李德毅也指出:“信息资源网络的本质在于信息资源之间的组织形式,而不在于承载信息的图灵机自身”<sup>[7]</sup>。

通过网络演化过程的机制和动力学模型研究复杂信息网络,对探索复杂信息网络所具有的性质、发展趋势、优化方法等具有重要意义。信息网络属于工程技术网络,工程技术网络是为了实现一定的功能和满足一定的性能而设计建造的网络。对工程技术网络而言,其构建发展受限于使用人员的目的以及客观的限制条件<sup>[8]</sup>。当前信息网络发展演化受人类的需求行为、技术条件等主客观因素影响越来越大,具有复杂适应性、演化性和涌现性;应以演化涌现的视角设计优化信息网络,并着重考虑3个方面因素:主体目的和客体限制条件、网络演化机制、网络性质涌现。其中,主体目的和客体限制条件可以理解为网络演化的“动力”;网络演化机制可以理解为在一定条件下要实现一定的目的所选用的“途径”;通过不断演化,最终得到涌现出的网络性质这一“结果”。

在复杂性科学研究中应坚持整体着眼和细处分析相结合的原则。融贯论<sup>[9]</sup>是在整体观的指导下,把向下和向上两条路径结合融贯起来,形成还原论和整体论有机结合的方法论,这是复杂性科学的新方法论。复杂信息网络设计优化应基于中国国情,以科学发展观为统领,在融贯论的指导下基于演化涌现视角,采用系统分析、建模分析和仿真分析相结合技术途径对信息网络设计优化问题进行多尺度研究,做到思维创新,需求牵引,技术推动,绿色节能。应充分考虑当前技术条件及发展方向(尤其是云计算、物联网等前沿技术)、网络建设成本、网络性能(网络传输效率、网络吞吐量、网络可靠性和网络健壮性等)等工程技术参数之间的关系,树立基于网络化思维的安全观,突出网络拓扑结构设计,强化网络可控性、安全性和健壮性。

(1) 系统分析法:以系统论为指导,针对信息网络特性、当前技术及发展方向和应用需求对网络设计影响因素、整体结构组成进行系统、多粒度地分析,获得满足应用需求的网

络结构组成。

(2) 建模分析法:通过分析模型的解或研究模型的解的形态,可以比较准确地获得网络状态变化信息。

(3) 仿真分析法:使用抽象的数学模型或过程仿真模型进行试验,建立实际网络的模型,仿真模拟网络运行,分析各种相关变量,获得网络特性的变化。

信息网络设计方法包括研究内容、研究尺度不同的3个层次,如图1所示。基于图1的研究内容,提出复杂信息网络设计优化应着重考虑的因素,如表1所示。针对信息网络设计因素,可采用多学科交叉的理论方法分别对其进行研究、设计优化,突出各层次特色,着重提升用户体验,重视网络安全设计,确保网络安全可靠、高效便捷、精准智能地提供服务。

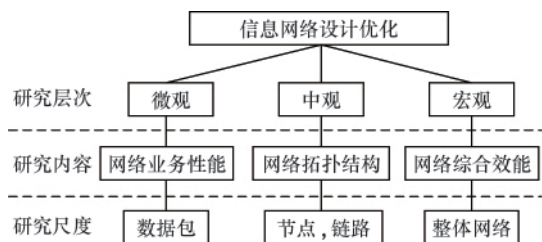


图1 信息网络设计优化方法框架

Fig. 1 Framework of information network design and optimization

表1 信息网络设计优化考虑因素

Table 1 Consideration factors of information network design and optimization

因素分类	因素描述	主要理论技术基础
业务性能	网络时延,吞吐量,可靠性等	信息处理传输,计算机网络,网络安全防护等
拓扑结构	网络健壮性,可控性,演化性等	复杂网络,协同控制论,演化博弈等
综合效能	网络整体涌现性,用户体验等	复杂性科学,效能评估,综合集成等

“结构决定功能”是系统科学基本观点。中观是联系微观和宏观的桥梁。该方法充分重视中观层次的网络拓扑结构设计优化,从信息网络的拓扑结构和内在特征分析入手,利用不确定性人工智能<sup>[10]</sup>、网络化数据挖掘方法<sup>[11]</sup>寻找复杂网络内部蕴含的功能特性和运行机制,挖掘隐藏在网络拓扑中不同集团间的安全边界;利用网络拓扑的结构和性质,在动态演化的信息网络中,寻找重点保护对象,提供有选择的保护模式;同时发现病毒的传播规律,抑制其大范围扩散,提升网络可控性、安全性和健壮性。通过对正常情况和异常情况下信息网络微观与宏观属性、静态与动态行为的定性、定量刻画,分析这些属性与行为之间的相互关系,研究信息网络各

种属性与行为对网络效能影响,发现异常情况下网络脆弱性,明确安全性强的网络应该具有的要素,为信息网络设计、优化、控制提供理论依据。

## 2.2 复杂信息网络拓扑结构演化模型

信息网络拓扑结构设计是信息网络设计的基础。基于第2.1节所述方法,以演化涌现的视角建立复杂信息网络拓扑结构演化模型,对信息网络拓扑结构进行设计优化。IP网络是信息网络的典型代表,本文以IP网络为研究对象,对信息网络拓扑结构设计优化进行建模。IP网络设计所考虑的某些因素是属于应用层的,因此IP网络的拓扑结构(此处专指路由器级拓扑结构,节点代表路由器,边代表路由器之间的连接关系)设计并不会对这些因素考虑过多。参考文献[12],并经过系统分析,选取网络建设成本、时延、健壮性和吞吐量作为IP网络拓扑结构设计考虑的主要工程因素。对各种工程因素进行折衷考虑是IP网络拓扑结构设计优化的必然过程。IP网络拓扑结构演化模型构建如下。

考虑二维区域 $L_x \times L_y$ ,初始网络有 $m_0$ 个节点(节点具有位置属性)和 $e_0$ 条边。每一时间步产生1个具有位置属性 $(x_i, y_i)$ 的新节点 $i$ ,节点 $i$ 按照约定规则与 $k$ 个已有节点建立连接,直至演化的网络达到指定规模。每一时间步的网络演化规则如下。

### (1) $k$ 值的确定

实际工程中,一个新加入的路由器节点与多少个已有的路由器节点建立连接,是由当前的需求分布和技术水平等因素决定的。为了加强模型的可操作性,从统计意义上采用给定平均度的连接模型<sup>[13]</sup>。

当一个新节点加入网络时,需要确定其与网络中的几个已有节点建立连接。设所生成最终网络的平均度为 $\bar{k}$ ,每个新节点加入网络时可以与 $k \in \{1, 2, \dots, \max k\}$ 个网络中已有节点建立连接,其中 $\max k$ 为正整数。设 $k=i$ 的概率为 $p_i$ ,其中 $i \in \{1, 2, \dots, \max k\}$ ,则 $p_i$ 需满足关系

$$p_1 + 2p_2 + \dots + \max k \cdot p_{\max k} = \frac{\bar{k}}{2} \quad (1)$$

### (2) 新加入节点的连接策略

设新节点 $node_{m+1}$ 加入网络后,需要与网络中已有的 $k$ 个节点建立连接。首先,根据网络建设成本、时延、健壮性和吞吐量4个重要工程因素,计算新节点 $node_{m+1}$ 和网络中已有的所有节点(共 $m$ 个节点)分别建立连接后的网络属性。

#### ① 网络成本归一化度量 $m_{Dx}$

选用节点间的距离作为网络成本的度量。设节点 $node_{m+1}$ 与节点 $node_i$ 建立连接,其中 $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ 。节点 $node_{m+1}$ 与节点 $node_i$ 的距离为 $d_{mi}$ ,节点 $node_{m+1}$ 与节点 $node_i$ 建立连接的成本归一化度量为 $m_{Dx}$ 。

成本归一化度量 $m_{Dx}$ 越大,建立链路所花费的成本越小。

#### ② 网络时延归一化度量 $m_{Df}$

选用平均最短路径长度作为网络时延的度量。设节点

$node_{m+1}$  与  $node_i$  建立连接, 其中  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ 。  $node_{m+1}$  与  $node_i$  建立连接后, 网络的时延为  $h_i$ , 节点  $node_{m+1}$  与节点  $node_i$  建立连接的网络时延归一化度量为  $m_{hi}$ 。网络时延归一化度量  $m_{hi}$  越大, 则网络时延越小。

③ 网络健壮性归一化度量  $m_{Ri}$

采用网络受到一定破坏后仍能够正常传输的流量作为网络健壮性的度量。考虑到计算效率, 本文采用网络受到一定破坏后仍能够连接通信的节点对数的比例作为网络健壮性的度量。设节点  $node_{m+1}$  与  $node_i$  建立连接, 其中  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ 。  $node_{m+1}$  与  $node_i$  建立连接后, 网络受到一定程度(一定比例的节点被攻击)的破坏(随机攻击或恶意攻击)后仍能够进行通信的节点对数比例为  $r_i$ , 节点  $node_{m+1}$  与节点  $node_i$  建立连接的网络健壮性归一化度量为  $m_{Ri}$ , 网络健壮性归一化度量  $m_{Ri}$  越大, 则网络健壮性越强。

④ 网络吞吐量归一化度量  $m_{Ti}$

选用网络的临界信息产生率作为网络吞吐量的度量。设节点  $node_{m+1}$  与  $node_i$  建立连接, 其中  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ 。  $node_{m+1}$  与  $node_i$  建立连接后, 网络的吞吐量为  $t_i$ , 节点  $node_{m+1}$  与节点  $node_i$  建立连接的网络吞吐量归一化度量为  $m_{Ti}$ , 网络健壮性归一化度量  $m_{Ti}$  越大, 则网络健壮性越强。

⑤ 连接判断度量 measure

设网络构建过程中侧重于成本的权重为  $w_D$ , 侧重于时延的权重为  $w_H$ , 侧重于健壮性的权重为  $w_R$ , 侧重于吞吐量的权重为  $w_T$ , 则新加入节点  $node_{m+1}$  与具有最大连接判断度量 measure 且没有与之建立链路的节点  $i$  建立链路。如果有多个备选节点符合此条件, 则随机选取 1 个备选节点与新节点建立连接。其中,

$$\begin{aligned} \text{measure} &= w_D m_{Di} + w_H m_{Hi} + w_R m_{Ri} + w_T m_{Ti} \\ \text{st } & w_D + w_H + w_R + w_T = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$w_D \in [0, 1], w_H \in [0, 1], w_R \in [0, 1], w_T \in [0, 1]$$

2.3 仿真实验

选择实测 ISP (Internet Service Provider) 路由器级网络 AS3967 作为研究对象, 采用仿真方法分别从网络结构特征参数和网络工程特征参数两方面验证模型的合理性。网络的模型参数如下: 节点数为 353, 平均度为 4.65, 攻击方式为按照介数中心性从大到小的顺序攻击, 攻击节点比例为 20%,  $w_D$  为 0.20,  $w_H$  为 0.37,  $w_T$  为 0.34,  $w_R$  为 0.09。基于以上模型参数, 利用拓扑结构演化模型生成网络, 取  $N$  次模型计算所得网络特征参数平均值作为所获得的网络特征参数。本文  $N=60$ , 生成网络的特征参数如表 2 所示。图 2 为实测网络 AS3967 与生成相对优化网络的拓扑结构图。总体上两者结构相似, 但生成网络的某些局部结构出现微调, 从而使生成网络的网络工程特征参数更优, 网络效能更好。

由以上验证分析可知, 通过设置合适的模型参数, 模型所生成的网络从统计平均的角度能取得与实测网络较为相近的网络特征参数(包括网络结构特征参数和网络工程特征

表 2 实测网络与演化生成网络的特征参数

Table 2 Parameters of real network and generated network

网络特征参数	AS3967	
	实测网络值	生成网络平均值
平均度	4.65	4.57
度分布指数	1.83	1.85
网络结构 ACC	0.87	0.95
特征参数 平均最短路径长度	5.73	5.14
集聚系数	0.31	0.39
度相关系数	-0.05	-0.07
建设工程 建设成本	347.78	289.57
网络工程 时延	5.73	5.14
特征参数 健壮性	0.03	0.12
最大吞吐量	5.12	5.06

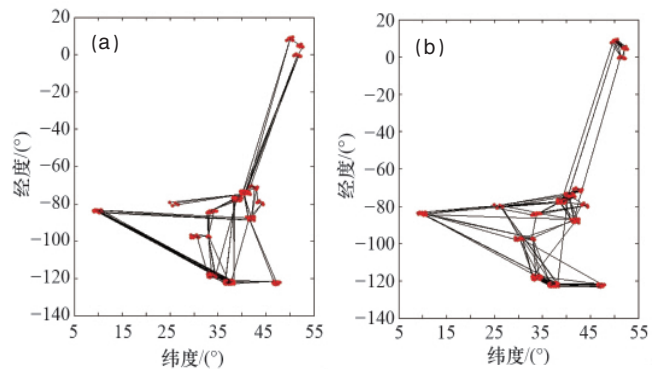


图 2 实测网络 (a) 与生成优化网络 (b) 的拓扑结构图 (AS3967)

Fig. 2 Topologies of real network (a) and generated network (b) (AS3967)

参数), 某些参数甚至明显优于真实网络(如网络健壮性、网络建设成本等)。模型能从网络结构特征和网络工程特征两方面较为准确地再现真实网络。网络健壮性  $w_R$  权重较小, ISP 路由器级网络建设对网络健壮性考虑相对不足, 可通过增大  $w_R$  提高网络健壮性。随着科学技术发展进步、人类应用需求增长和网络安全形势日益严峻, 通信设备、网络建设等费用会逐渐降低, ISP 对网络建设成本的权重会逐渐降低, 对网络时延、吞吐量和健壮性的权重会逐渐提高, 未来 ISP 路由器级网络将会朝着更加高效、可靠和安全方向发展, 为网络用户提供更加方便快捷安全的服务, 其中健壮性设计需重点考虑。通过调整模型参数实现网络拓扑结构局部调整, 模型能够生成满足不同应用需求的信息网络, 模型具有较好的有效性、适用性和扩展性。除了 ISP 路由器级网络, 针对其他不同类型的信息网络也可选用不同的指标度量网络工程特征参数, 探索影响制约信息网络的成本、性能、可靠性等方面的因素及其相互关系, 并从相关因素出发对不同类型的信息网络的设计优化提出参考建议; 同时, 分析未来一段时间内相关

因素的变化趋势,对信息网络的未来状态进行合理预测,强化网络可控性、安全性和健壮性。

### 3 结论

本文从演化涌现视角对复杂信息网络设计优化问题进行了研究,提出了复杂信息网络设计优化方法和拓扑结构演化模型,具有可行性、有效性和扩展性,为信息网络的建设和演化预测提供技术手段,增强了信息网络的可控性、安全性和健壮性。

#### 参考文献 (References)

- [1] 马卫东,李幼平,马建国,等.面向Web网页的区域用户行为实证研究[J].计算机学报,2008,31(6):960-967.  
Ma Weidong, Li Youping, Ma Jianguo, et al. Chinese Journal of Computers, 2008, 31(6): 960-967.
- [2] De Wolf T, Holvoet T. Emergence versus self-organization: Different concepts but promising when combined [M]//Brueckner S, Di Marzo Serugendo G, Karageorgos A, et al. Engineering self organising systems: methodologies and applications. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 1-15.
- [3] Russ A. Emergence explained: Abstractions: Getting epiphenomena to do real work[J]. Complexity, 2006, 12(1): 13-26.
- [4] Holland J H. Hidden order: How adaptation builds complexity [M]. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company Inc, 1995.
- [5] 周宗放. 通信网系统的非线性特性[J]. 大自然探索, 1997, 16(1): 76-78.  
Zhou Zongfang. Exploration of Nature, 1997, 16(1): 76-78.
- [6] Zhao D J, Jiang J, Zhang H S, et al. Research on internet evolution mode

- based on user behavior [C]//Yang Y X. Proc of 2010 Asia-Pacific Youth Conference on Communication Technology. Irvine: Scientific Research Publishing, 2010.: 835-839.
- [7] 赵东杰,张海粟,江健,等.基于网络交互演化的智能涌现研究[J].计算机科学,2010,37(10A):112-116.  
Zhao Dongjie, Zhang Haisu, Jiang Jian, et al. Computer Science, 2010, 37(10A): 112-116.
  - [8] 何宇,赵洪利,杨海涛,等.复杂网络演化综述[J].装备指挥技术学院学报,2011,22(1):120-125.  
He Yu, Zhao Hongli, Yang Haitao, et al. Journal of the Academy of Equipment Command and Technology, 2011, 22(1): 120-125.
  - [9] 黄欣荣.复杂性科学的方法论研究[M].重庆:重庆大学出版社,2006.  
Huang Xinrong. Methodology research of the complexity science [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2006.
  - [10] 李德毅,杜鹂.不确定性人工智能[M].北京:国防工业出版社,2005.  
Li Deyi, Du Ci. Artificial intelligence with uncertainty [M]. Beijing: Defense Industry Press, 2005.
  - [11] Li D Y, Chen G S, Cao B H. Complex networks and networked data mining [C]//Li X, Wang S, Dong Z Y. Advanced Data Mining and Applications. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 10-12.
  - [12] Ma Xuezhou, Kim Sangmin, Harfoush Khaled. Towards realistic physical topology models for internet backbone networks [C]//Proc of 2009 6th International Symposium on High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies. Alexandria, Egypt: Pharos University (PUA) & Alexandria Higher Institute of Eng, 2009.
  - [13] 何凯,杨学刚,杨愚鲁.给定平均连接度的无标度网络演化模型[J].计算机工程,2006,32(17):181-183.  
He Kai, Yang Xuegang, Yang Yulu. Computer Engineering, 2006, 32 (17): 181-183.

(责任编辑 安莹,刘志远)

·学术动态·



## “第8届全国计算机支持的协同工作学术会议 (CCSCW2012)学术会议、第23届计算机技术与应用(CACIS·2012)学术会议”征文

“第8届全国计算机支持的协同工作学术会议(CCSCW2012)学术会议、第23届计算机技术与应用(CACIS·2012)学术会议”计划于2012年7月20日在山东省威海市召开。会议由中国计算机学会协同计算专业委员会、中国仪器仪表学会微型计算机应用分会主办。

论文征文范围:物联网技术与应用;安全关键与测控技术;图形图像技术与应用;社会计算下的协同;协同设计与工程;以人为本的协同计算。

论文全文截稿日期:2012年3月30日。

联系电话:0551-2901375, 2901377, 2901701。

通信地址:合肥工业大学 52 信箱 微型计算机应用学会 (230009)。

电子信箱:cacis\_hfut@163.com。

会议网站: <http://cacis.hfut.edu.cn/>。