

生物网络无线框架的设计及其关键技术^{*}

皋 磊 丁永生 张向锋 任立红

(东华大学信息科学与技术学院 上海 200051)

摘要 无线计算环境将成为未来 Internet 的不可缺少的重要构成部分, 本文在生物网络框架^[1]中对其提供了支持, 并详细给出了实现生物网络平台中: (1) 异步迁移及其策略; (2) 无线环境 QoS 自适应; (3) 无线安全认证这三个无线支持关键技术的方法。通过这些技术, 生物网络平台可实现出安全的、可信的、能自适应于无线计算环境的服务和应用。同时, 这些关键技术的解决也为利用移动对象在分布式环境下实现灵活的服务提供了一种新的解决思路。

关键词 生物网络, 无线计算环境, 异步迁移, 无线 QoS 自适应, 无线安全认证

Design of Biological Network Wireless Framework and its Key Technologies

GAO Lei DING Yong-Sheng ZHANG Xiang-Feng REN Li-Hong

(College of Information Sciences and Technology, Donghua University, Shanghai, 200051)

Abstract Wireless computing environment will become indispensable important component of future Internet. In this paper, we provide the support for wireless computing in our biological network framework^[1], and discuss the implementation of three key wireless supported technologies in details. These technologies are: (1) asynchronous migration and its strategies; (2) wireless QoS adaptation; and (3) wireless security certification. Through these technologies, biological network platform will emerge secure, reliable and adaptive wireless services and applications. Also, the settlement of these key technologies will provide a new solution to utilize mobile objects to implement flexible services in distributed environment.

Keywords Biological network, Wireless computing environment, Asynchronous migration, Wireless QoS adaptation, Wireless security certification

1 引言

未来的 Internet 将是社会信息基础设施的核心, 是计算、通信、娱乐、新媒体和电子商务等应用的共同平台。它将是一个全球性分布的有线网络和无线网络的结合体, 并且大多数具有网络扩展能力的人造对象, 如传感器、便携式电脑、移动电话及常规电脑等都可以成为这个网络的组件。也就是说, 这是一个自扩充的、自适应的、可移动的大规模高度分布式计算环境。并且, 无线网络远非有线网络能比的移动性、易用性、灵活性等特点和当今高速无线接入技术的飞速发展, 使我们有理由相信无线计算环境将成为未来 Internet 的不可缺少的重要构成部分。

另一方面, 像自然界中的蜂群、鸟群以及我们人类社会这样的大规模系统都是由分散的、自治、移动的个体组成, 个体的行为和生存不依赖于某个中心个体。然而, 这些大规模的系统却能够自我调整、适应和生存。在研究这类生物系统中的一些已得到的重要原理和机理的基础上, 我们提出了生物网络计算模型, 设计了一种新颖的具有服务实现和进化能力的生物网络框架体系及其仿真平台^[1,2]。在生物网络的分布式环境中, 大量的生物实体(可以代表数据和应用)可以动态地、共同地进入、离开网络以及在网络中移动。

综合上述两方面的观点, 生物网络计算模型在无线环境下和手持移动设备上能够良好地移植, 必将为实现这种全球

性分布的网络前景提供一个很好的解决思路。本文在生物网络结构中对无线计算环境提供了支持, 详细给出了在生物网络平台中: (1) 异步迁移及其策略; (2) 无线环境 QoS 自适应; (3) 无线安全认证等无线支持关键技术的实现方法, 并将生物网络框架与移动 Agent 框架进行了比较。

2 生物网络结构

2.1 总体框架

生物网络结构是由生物网络平台和生物实体这两个主要部分组成, 其中生物网络平台包括生物网络服务器和生物网络容器, 如图 1 所示。生物网络平台运行在一个分布式网络节点(可以是无线节点)的 Java 虚拟机(JVM)上, 为生物实体提供生存和活动的的环境。

生物网络服务器为一个或者多个生物容器提供运行环境, 它管理底层的网络和系统资源, 如 I/O 端口、消息通信和网络连接管理等, 为生物网络容器分配所需的资源。而生物网络容器则提供一套生物实体经常使用的 Runtime 服务^[2]: 生命周期循环服务、能量管理服务、资源侦听和分配服务、动态实体发现服务、关系管理服务、生物实体迁移服务、信息素发送服务、拓扑结构侦听服务、QoS 自适应服务、持续性管理服务等, 并把到来的消息分配给运行在本地平台上的生物实体。生物网络实体 Context 是生物实体访问生物网络服务的接入点。它检查平台上被生物实体请求的生物网络服务是否可用,

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金青年基金(60004006); 上海市青年科技启明星计划(00QD14038); 上海市青年教师基金(01QN33)。皋 磊 博士研究生, 从事网络智能自动化与网络智能计算等研究; 丁永生 博士, 教授, 博士生导师, 从事网络智能计算、计算智能、生物网络结构、DNA 软计算、人工免疫系统研究; 张向锋 硕士研究生, 从事网络智能自动化与网络智能计算等研究; 任立红 博士, 副教授, 从事网络智能自动化、DNA 软计算等研究。

如果可用,它会得到一个所请求的生物网络服务的参考(Reference)。当一个生物实体被创造、复制、重组或者从别的节点迁移过来时,生物实体 Context 被创造并隐含地与该生物实体有关。当生物实体从一个网络平台迁移到另一个平台时,生物网络服务器中的类载入器动态地将它们的类定义载入到 JVM 中。

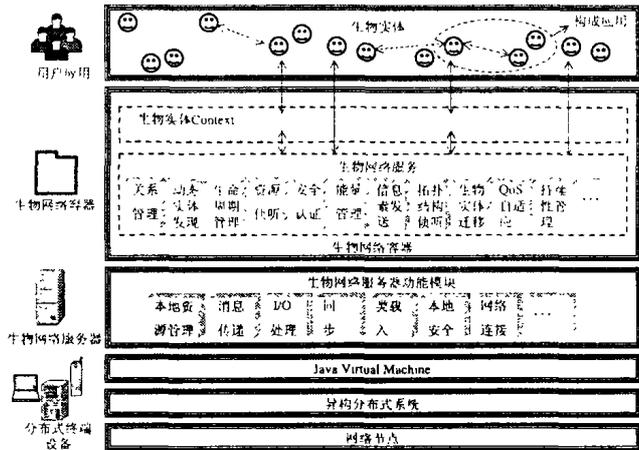


图 1 生物网络结构

生物实体运行在生物网络平台上,使用平台提供的服务来调用它们的行为(如发现、迁移等),构成网络应用服务。它是生物网络环境中组件的最小组成单位,同生物世界的个体相似,具有自治性和自组织性。一个生物实体可以看作是一个带有自治行为的移动 Agent,除了具备与自身个性服务和应用相关的功能外,都遵循着生物激励和简单的行为法则(如迁移、遗传、交叉、分裂、突变和死亡等),且可以通过生物网络结构的变异和自然选择机理进化到期望的行为,能自治地适应异构和动态变化的环境条件。

通过这种方式来构建 Internet 网络服务和应用比较简单,因为仅需要设计生物实体层次上的相对简单的行为。而其它要求,如适应性、安全性和自救能力是多个生物实体共同作用的突现行为。通过生物组件的基本服务功能,来构造各种复杂的网络服务和应用^[1,2]。

2.2 框架的无线环境支持

相对于有线网络而言,无线环境主要具有以下一些特点:网络终端和用户的移动性、用户移动时变化的连接质量、终端设备上资源有限(处理能力低,存储介质容量小,显示界面较小,图像缺少色彩等)、网络环境存在突变性、数据传输速率及安全性不够理想。针对这些特点,生物网络服务中提供了迁移服务、持续性管理、QoS 自适应和无线安全认证来支持无线计算环境。

生物网络平台借用了移动 Agent 架构中的迁移机制^[3],来减少任务处理所需的网络通讯量,同时增加处理的并行程度,增强系统的灵活性、可扩展及容错性。在生物网络结构中,是以能量来控制着生物网络模型中各种行为的突现的^[4],迁移行为的发生也是通过能量来控制的。通过迁移行为,生物实体可以:(1)接近能量源或服务请求者,付出较少的能量使用节点上的资源,降低延迟时间,并更有效地向用户或其它生物实体提供服务,获得更多的能量;(2)利用迁移服务可以建立新的关系,在它所迁移到的节点上,遇到新的实体,可能会建立新的关系,并创建新的服务。生物网络容器中的迁移服务采用了同步和异步两种迁移模式。对于无线这种特殊的计算环境,迁移有着更为重要的作用:由于终端设备资源的受限性,

生物实体可以移动到资源丰富的设备上去做一些资源要求高的应用和服务,然后将结果带回;异步迁移模式不需要无线用户进行持续的网络连接,它只需持续很短的时间让终端将生物实体释放到 Internet 上就可以了,这样即使终端在大部分时间的低质量连接或者非连接状态下,用户也可以很好地访问服务。

生物实体迁移时,如果要获得正在操作的实体的状态,需要使用对象序列化(Object Serialization),将一个生物实体转化为一个描述该实体的位块(Bit-block),然后可以发送到任何地方。准备再使用该实体时,必须将位块解序列化,就可以得到原来的生物实体。持续性管理服务允许应用程序设计者通过将生物实体的状态储存在存储设备上延缓生物实体的执行。它负责将已经序列化的生物实体代码和状态保存在持续介质如硬盘,以便支持无线用户非持续性的网络连接。当生物实体在等待一个非连接的资源时,持续性管理服务使系统资源的花费达到最小化。此外,持续性服务在进行操作前可以通过复制和储存生物实体的副本来提供容错能力。持续性管理服务在用户终端非连接(或再次连接时)冻结(或唤醒)生物实体及其消息。

生物网络平台允许 Internet 不考虑无线终端的特殊限制(例如显示能力)来传输服务内容,而由生物网络 QoS 自适应服务将规格化后的内容显示于终端。并且,这项服务还可以根据网络连接状况进行自适应调节。例如,在使用无线终端进行网页浏览时,如果连接质量变差,网页上图像质量将自动削减;也可以根据用户兴趣模型忽略不需要的信息;也可以仅发送大信息的前几行。

此外,随着便携式信息设备(如 PDA)的流行和广泛使用。这些具有先进的特点(如无线通讯能力和运行 JVM 能力)的终端设备,使得用户可以方便地从网上接受移动服务,这就不可避免地带来了更多的安全隐患。恶意的应用程序会侵犯信息终端设备上用户的私有信息,破坏设备中的数据。显然,生物网络平台的无线安全认证是生物网络无线架构不可缺少的重要部分。

3 生物网络无线框架的关键技术

3.1 异步迁移及其策略

生物网络中的生物实体具有自治性,它们分布在网络中的各个节点上,运行时不直接受到网络用户或其它个体的控制,而是自治地进行迁移。实体的迁移行为包含向何处迁移,何时迁移,并要考虑向目的节点迁移时的花费和收益问题。由于生物实体具有生物个体的进化特性,它不能任意地迁移,迁移需要拥有较高的能量。如果它所存储的能量不足以让它从一个节点向另一个节点迁移时,那么它会因该迁移行为导致其不能在网络中生存而死亡。这说明了能量制约着生物实体的迁移行为。

生物网络迁移服务采用同步和异步两种迁移机制。需要迁移的生物实体调用服务,并指定所希望的同步或者异步要求。对于同步迁移的情况,生物实体的迁移请求将被立即处理,如果生物网络平台发现目标节点暂时不可达,这时它将向生物实体返回错误信息,由生物实体来决定下一步的行动。对异步迁移的情况,生物实体的迁移请求并不会立即被处理,而是首先被插入队列中。同步迁移和异步迁移的能量花费是不同的。在无线计算环境中出现以下情况就需要采用异步迁移机制:(1)选择的节点暂时不可达;(2)离线移动用户的生

物实体;(3)在某个具有永久连接的节点上等待返回离线用户的生物实体。下面就以异步迁移为例来讨论基于能量控制的迁移策略。

如图2异步迁移流程所示,进入异步迁移请求处理队列(使用计时器驱动,具有优先级的多级队列)的生物实体迁移请求得到处理时,生物网络迁移服务会根据源节点提供的有关该生物实体的能量信息以及迁移控制算法,来判断实体能否迁移;接着判断目的节点是否接受该生物实体的迁移(这关系到安全方面一些检查,3.3节将对此进行介绍),并根据判断结果,同意或拒绝生物实体的迁移请求;如果迁移获得允许,需要对目的节点判断是否可达,然而这样需要花费较多的能量来支付消耗较多的系统资源,并且会造成时延而使服务质量降低,从而只能获得较少的能量收益,这样就形成了控制机制。生物实体如果频繁地迁移将受到惩罚,生物实体将在迁移代价(如花费网络和目的节点资源)和迁移得到的利益(如需要的服务和较少的网络阻塞)之间寻求平衡;如果目的节点可达,生物实体副本进行迁移;迁移一旦成功,目的节点上的副本就被执行,同时源节点上的该生物实体的信息将被删除。

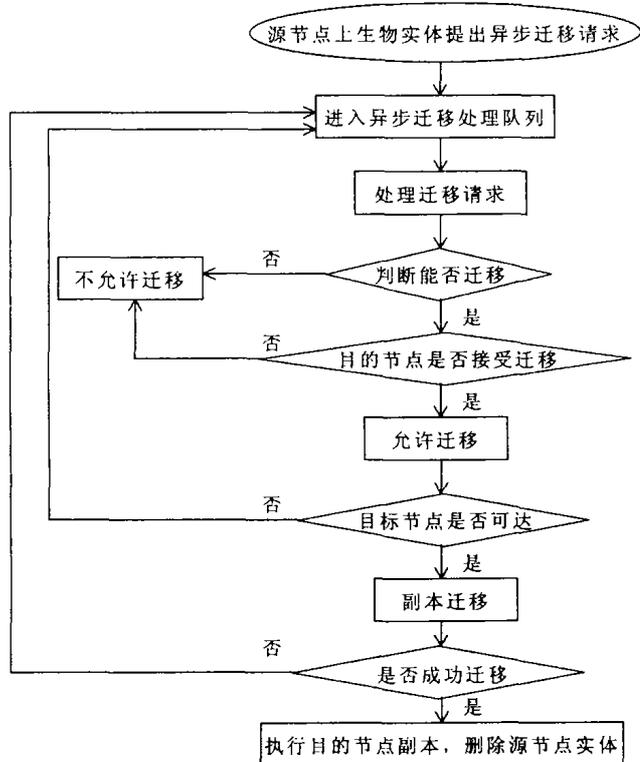


图2 生物实体异步迁移流程

3.2 无线环境 QoS 自适应

生物网络平台无线 QoS 自适应服务主要体现在两个方面:(1)能自适应于变化的网络环境和受限的资源(如电力、处理器负载);(2)能自适应于用户的行为和需要。当无线网络环境或者受限资源变化时,正在服务的生物实体需要进行自适应调节,以保证 QoS。如 2.1 节所述,每个生物实体具备着与自身个性服务和应用相关的知识(指包括且不只限于数据的可用信息),且可以通过遗传、交叉、分裂、突变等生物操作进化到期望的行为,能自治地适应异构和动态变化的外界条件。

需要指出的是:即使是提供相同服务的生物实体,它的知识视野仍然是局部的。也就是说每个生物实体都没有足够的知识,无线环境中存在着大量的知识,生物实体只可能拥有本地服务知识。所以为了获得更多的能量,它们需要提供更好的服务,也就要求这些具有相关服务功能的生物实体进行知识

共享和学习。

可是,在无线计算环境中很可能出现这种情况:一个生物实体因为数据量太大而不能在无线连接上移动。对此,生物网络利用生物操作来:(1)丢弃不需要的知识;(2)分离不同类的知识;(3)结合互补或者相似服务的知识以实现自适应调节,更好地完成服务。

首先,需要对知识进行分类。根据网络连接的性质、受限端的资源情况以及对用户信息需要、兴趣爱好和访问历史的收集分析所建立的用户模型来将生物实体的知识进行分类。如针对某项服务,可将生物实体的知识分为重要、相关、无用三种。

其次,利用能量机制控制生物实体进行遗传、交叉、分裂、突变等生物操作来达到知识的自适应。如图3即为生物实体对知识的遗传、分裂和交叉操作。很明显,通过这些操作实现了生物实体 a、b、c 三种知识的丢弃、分离和结合。

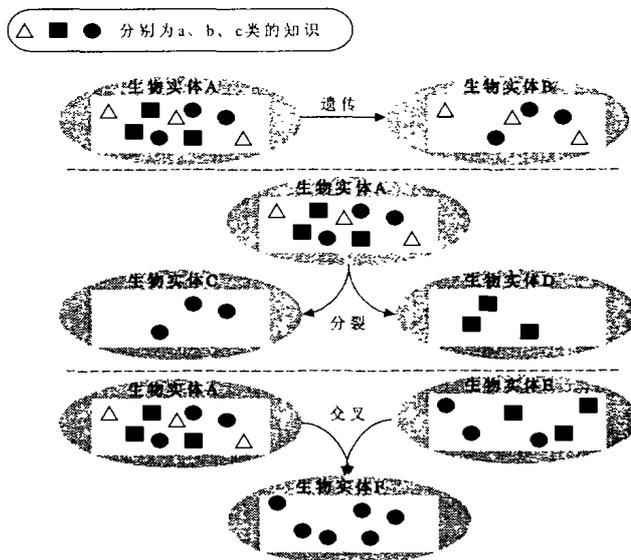


图3 生物实体知识的遗传、分裂、交叉操作

最后,生物实体利用经过生物操作调节的知识进行更好的学习和服务,从而保证在变化的网络环境和受限资源的条件下,提供令用户满意的应用。并且通过学习,可以进一步地给出网络连接质量的变化情况、用户终端的未来定位等预测,构建出更为有用的服务。

3.3 无线安全认证

生物网络无线计算环境中的安全认证机制,包括生物实体迁移认证和迁移后的对本地资源访问的认证和监测。现存的一些移动 Agent 系统是利用注册在外部目录服务里的用户信息来进行访问认证控制的。然而,无线终端资源的有限性使得它们不能有效地与外部目录服务通讯并及时地完成认证。所以,无线安全认证机制不能包括外部目录服务,而只能在本地完成。我们结合了 JVM 本身的安全机制来设计生物网络所需的无线安全认证。

图4表明了生物网络平台无线安全认证机制,在生物实体迁移认证过程中需要经过数字签名检查、可信节点检查和用户认证。对于迁移成功的生物实体,本地安全服务还要对其资源访问进行认证、监测。

数字签名检查确认生物实体(移动代码)在传送过程中有没有变化。程序发送者创建代码的消息摘要并给摘要签名,签名是加密的数字数据。JVM 计算移动代码的消息摘要,与发送者的公共密钥抽取的摘要比较。如果匹配,移动代码没有改

变。这种技术中,本地机收到远端代码前,要求节点管理者注册公钥到本地数据库。需要注意的是即使移动代码是可信的,并不意味着远端代码是无害的。

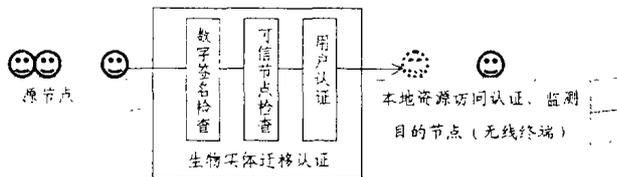


图4 无线安全认证

JVM 为程序执行创建了保护域,这限制了远端代码权利。一个生物实体迁向新的节点时,节点上的 Java 类载入器检查移动代码的创建者。如果创建者不在本地列表中,JVM 用最少的权利执行代码。JVM 检查到代码的来源前,应在本地机上注册可信的节点。

生物网络平台系统初始化时,要求注册一个可信的服务列表,功能是管理生物实体对于本地资源的访问控制。实体属性和用户认证与安全信息比较来形成访问控制列表。生物网络容器安全认证服务完成这些认证,包括完成生物实体向本地资源的访问控制。生物实体属性和用户认证与本地安全信息比较来形成请求迁移的生物实体的访问控制列表(列表不针对已经在本地节点上的生物实体)。当终端生物网络平台收到未知节点上实体的迁移请求,或收到一个无标记的生物实体时,安全认证服务会向用户发出信号,然后由终端用户决定是否接受这个迁移请求。如果得到用户的允许,生物实体向终端迁移。基于用户的决定,安全认证服务向不同的生物实体提供不同的访问权利。

生物网络服务器中的本地安全服务则创建了内部列表,它包含资源名称和允许的操作。资源列表与每个保护域相关,一个生物实体访问本地资源时,本地安全服务将检查内部列

表中是否有请求的资源。它还提供了监测资源访问的功能,一旦生物实体迁移到用户的终端设备中,本地安全服务就监测资源访问,保护事先定义的访问控制列表。如有生物实体非法访问资源时,用户或者拒绝这个访问,或者修改访问控制列表,让这些资源能被访问。本地安全服务包含本地资源访问认证的密码,密码存储在终端设备中,认证也在设备中完成。它扩展了 Java 默认安全机制,利用 Java 内在机制实现密码认证。如果终端用户想禁止从某个节点迁移来的生物实体,它可以拒绝所注册的该节点的请求。

结束语 生物网络架构和移动 Agent 框架^[3]中的实体都具有移动性。移动 Agent 框架允许 Agent 从一个网络节点迁移到另一个网络节点,搜索并与服务交互。移动 Agent 是自治的,它们可以根据当前状态进行自主迁移,但这种自治性仅限于迁移行为,仅仅通过对象迁移所提供的适应性是非常有限的。而能自治地完成许多行为的生物实体可以获得很强的自适应能力去迎接未来 Internet 高度异构和动态的网络计算环境所带来的挑战。另外,移动 Agent 框架中一些实现定义了对应的最大消耗资源量,而生物网络架构以能量为主线的控制策略允许生物实体对其自身的行为负责,可以突现出更多种类、更能满足用户需要的服务。

参考文献

(上接第 25 页)

直线。也就是说,节点的度符合幂次率的分布。直观地说,也就是图中,度较小的节点出现的频率相对较大,而度较大的节点出现的频率相对较小。(b)中,为另外一个图 miles1000.col 中节点度的分布,其中,横坐标为节点的度,纵坐标为节点度出现的频率。从分布图可以看出,节点度的分布是相对均匀的。度较高的节点出现频率也有很高的,而度较低的节点出现频率也有很低的。也就是说,节点分布较为均匀。

结论 对于包含多个约束变量的约束满足问题,可以利用网络来表示变量之间相互约束的关系。同时系统求解的可行性以及求解的效率无疑会受到网络性质的重大影响。通过对实际染色问题所对应网络的研究,发现大部分的系统都体现出“小世界”的特性,即短路径、高聚集度和节点度的规则分布等性质。并且,计算表明染色问题所需要的归一化的最小染色数与聚集度的大小呈指数关系。这些性质的发现表明,传统的通常采用随机图的方式产生测试集的方法是不完善的。并且,许多传统的搜索算法都是基于随机图的,因此这些搜索求解算法对于这些实际的具有“小世界”特性的例子求解的效果可能并不十分令人满意。

参考文献

- 1 Strogatz S H. Exploring complex networks. *Nature*, 2001, 410: 268~276
- 2 Walsh T. Search in a small world. In: Proc. of IJCAI-99, 1999
- 3 Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of 'small-world'

- 1 丁永生,任立红.一种基于免疫实现计算的生物网络结构的设计. *控制与决策*, 2003, 18(2): 185~189
- 2 任立红,丁永生.一种新颖的基于生态网络计算的网路仿真平台. *系统仿真学报*, 2002, 14(11): 1497~1499, 1503
- 3 David K, et al. *Agent Systems, Mobile Agents, and Applications. Lecture Notes in Computer Science*, 1882, Berlin: Springer-Verlag, 2000
- 4 皋磊,任立红,张向锋,丁永生.生态网络仿真平台的能量服务管理. *计算机工程与应用*, 录用
- networks. *Nature*, 1998, 393: 440~442
- 4 Kumar V. Algorithm for Constraint Satisfaction Problem: A Survey. *AI Magazine*, 1992, 13(1): 32~44
- 5 Broder A, Kumar R, Maghoul F, et al. Graph structure in the web. *Computer Networks*, 2000, 33: 309~320
- 6 White J G, Southgate E, Thompson J N, Brenner S. The structure of the nervous system of the nematode *C. elegans*. *Phil. Trans. R. Soc*, 1986, 314: 1~340
- 7 Amaral L A N, Scala A, Barthelemy M, Stanley H E. Classes of small-world networks. In: Proc. Natl. Acad. Sci. 97, 2000, 11149~11152
- 8 West G B, Brown J H, Enquist B J. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science*, 1997, 276: 122~126
- 9 Banavar J R, Maritan A, Rinaldo A. Size and form in efficient transportation networks. *Nature*, 1999, 399: 130~132
- 10 Powell W W, Koput K W, Smith-Doerr L. Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology. *Administrative Science Quarterly*, 1996, 41: 116~145
- 11 Davis A, Gardner B B, Gardner M R. Deep South. University of Chicago Press, Chicago, 1941
- 12 Newman M E J, Strogatz S H, Watts K J. Random graphs with arbitrary degree distributions and their applications. *Phys. Rev. E* 64, 026118, 2001
- 13 Newman M E J. Models of the Small world. Available as condmat/0001118
- 14 Newman M E J. The structure and function of networks. on press by Computer Physics Communications
- 15 Dorigo M, et al. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B*, 1996, 26(1): 1~13
- 16 韩婧,蔡庆生. AER 模型中的涌现智能. *模式识别与人工智能*, 2002, 15 (2): 134~142