

一种基于位置信息的 MANET 网络多路径路由方法

王庆辉 孙俊锁 王光兴

(东北大学信息科学与技术学院 沈阳 110004)¹ (沈阳化工学院信息工程学院 沈阳 110000)²

摘要 本文提出的方法在目的端利用获得的中间节点位置信息来生成无向图,再利用广度优先遍历算法 BFS 计算出另外一条不相交路径。使用每包分配方案把业务分配到两个完全不相交路径中,模拟结果表明该路由方法能够实现较高的投递率、较低的控制开销和较低的端到端延迟。

关键词 MANET 网络, BFS, 多路径路由

A Location-Based Multi-Path Routing Scheme in MANET Networks

WANG Qing-Hui SUN Jun-Suo WANG Guang-Xing

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004)¹

(School of Information & Engineering, Shenyang Institute of Chemical Technology, Shenyang 110000)²

Abstract This method uses intermediate nodes' location information to create undirected graph at destination node, and uses Breath-First Search (BFS) algorithm to find another disjoint path. A per-packet allocation scheme is arranged to distribute data packets into two paths of active sessions. The results of simulation show that this routing method has good network performance with high packet delivery ratio, low control overhead and low average end-to-end delay.

Keywords MANET networks, BFS algorithm, Multi-path routing

1 引言

无线 Ad-Hoc(即 MANET)网络由许多地理上分散的节点主机组成,这些节点通过无线介质进行通信,但是没有固定的基础设施作为支持。由于节点无线传输范围有限而且没有集中式控制,需要其它节点作为中继转发才能使数据包通过网络以多跳路径的方式实现相互对等通信。到目前为止,已经提出了许多路由协议来解决 MANET 网络中的路由问题,比较流行的路由方法基本上都是按需式路由,如 AODV^[1]、DSR^[2]、LAR^[3]等。按需式路由方法仅当节点需要发送数据给目的节点时才构建路由,源端节点广播路由请求包来搜寻目的节点和发现路由,然而由于节点的移动性和有限的通信资源使在 MANET 网络中的有效路由问题变得非常困难,一个比较自然的解决方法是采用多路径路由,即把业务分配到不同的路径中来实现负载均衡。相对拥塞和突发业务,多路径路由方法可以有效提高通信对之间的有效带宽,提供负载均衡和通信网络的鲁棒性。在有线网络的 QoS 路由中,已开发出了许多多路径路由方法,针对 Ad-Hoc 无线移动网络也已提出了一些多路径路由方法如文[4~6]。这些方法中有的按需构建多个路由,但业务没有分配到多个路径中,只有主路径失效时才启用备用路径;有的通过改变路由请求转发规则来获得更多的不相交路径(node-disjoint paths),即在获得的多个路径中,除了源端和目的端节点,其他中间节点都有完全不同的路径。但这种方式获得的不相交路径的条数是有限的,有时候只能在得到的路径中选择有最大不相交程度的路径(共用节点最少的路径),然而路径间越不相交,相互干扰及某段链路断开对两条路径带来的影响就越小。

LAR 路由协议(Location-aided routing,位置辅助路由协议)作为一种按需式路由协议,与其它的协议不同在于它充

分利用了目的节点的物理位置信息,在路由发现阶段,通过确定的请求区域来限制包的广播转发范围,具有较低的路由请求开销。本文参照 LAR 路由协议的实现方式,在目的节点利用收集到的中间节点的位置信息,采用最短路径搜寻算法 BFS,来得到不相交路径,通过把业务平均分配到不同路径中,以期实现 MANET 网络的负载均衡和提高网络的鲁棒性。

2 LAR 路由协议简述

LAR 路由协议通过使用节点位置信息来降低路由请求开销以改善 MANET 网络路由协议的性能,位置信息可由全球定位系统(GPS)来提供。GPS 提供的位置坐标可能和节点真实坐标间有些误差,但假定是精确的^[3]。如果节点 S 需要寻找一条到节点 D 的路由,假设节点 S 知道节点 D 在 t_0 时刻的位置 L ,及平均移动速度 v ,当前时刻为 t_1 ,那么从节点 S 的角度来看,在 t_1 时刻节点 D 的位置应该是位于以 L 为圆心,半径为 $v(t_1 - t_0)$ 的圆内,并称这个圆为 D 的期望区域。如果 D 的实际运动速度大于平均速度,那么在 t_1 时刻它的实际位置可能在期望区域外。实际上,期望区域就是一个在 t_1 时刻节点 D 的位置估计区域。如果节点 S 并不知道节点 D 的以前位置,那么 S 就不可能确定节点 D 的期望区域,期望区域就是整个网络范围。如果 S 知道节点 D 的位置,但时间过久,期望区域也会很大。在 S 发出路由请求前,并不像广播式路由发现算法如 DSR^[2]那样,在整个网络范围内进行广播和转发,而是选择一个请求区域,请求区域为包含节点 S 及节点 D 期望区域的一个最小矩形范围。只有位置落在请求区域内的节点才能广播和转发,这样就降低了网络广播包的开销。在节点 S 事先并不知道节点 D 位置的情况下,或第一次路由请求不成功,请求区域为整个网络范围。如果源端节点 S 收到节点 D 发回的路由回复包,从回复包中得到节点 D 的位置信

息,这样下次对节点 D 的路由请求就能利用这个信息来确定对 D 的请求区域,通过采用限定广播区域来提高协议性能。

3 基于位置信息的 MANET 网络多路径路由方法

本文提出的方法基本工作过程与 LAR 相似,在发送数据包前,源端节点首先要得到到目的节点的路由,如果没有,根据有无目的节点的位置信息来确定请求区域的范围,但与 LAR 协议有三个方面的不同。

1. 如果有确定的请求区域,请求区域为圆形而不是矩形区域。

2. 路由转发规则不是在收到同一个路由请求包后简单把它丢弃掉,而是如果此包的跳数比第一次转发的包的跳数少则把自己当前的位置、平均移动速度信息增添到包内列表并转发。

3. 目的节点收到第一个路由请求包后即发回路由回复包,在延迟 τ 秒后,先剔除掉第一次路由获得的中间节点,再利用陆续收到的请求包内包含的其他节点位置、速度信息生成无向图,最后用 BFS 算法在无向图基础上计算另外不交路径,如成功,则再对源端初始化一个路由回复包,源端收到后,以后的业务交替平均分配到这两个路径上同时进行传输,在本文中 τ 取 0.2 秒。获得的每个节点位置信息都分配一个生命期,在本文内取 10 秒,超过生命期后,信息无效并被删除,以适应网络拓扑结构的动态变化。

多个路径确实能改善路由协议性能,但由于无线传输的广播特点,不同的路径可能相互干扰,路径过多对性能不仅没有改善,可能还会引起下降^[7],所以本文最多同时只选两个路径。如果其中一个路径链路断开,采取文[6]的策略,并不马上发起新的路由请求过程,而把全部业务都分摊到剩下的路径中,只有剩下的路径也不可用了,才发起新的路由请求。下面对基于位置信息的 MANET 网络多路径路由协议加以详细说明。

3.1 请求区域的确定

LAR 协议通过目的节点的位置信息确定请求区域以降低路由请求开销,当不知道目的节点位置时,则在整个网络范围内广播转发,请求区域为包含节点 S 及节点 D 期望区域的一个最小矩形范围。这种方式的缺点在于由于结果依赖于两节点的位置分布,得到的请求区域可能是一个狭窄的矩形带,在这样的矩形带内成功获得路由的概率很低。本文则采用圆形来代替矩形,这样,区域的确定就仅与两节点的距离有关。如源端节点在目的节点的期望区域内,则请求区域即为期望区域,对于源端节点位于期望区域外的情况如图 1 所示。

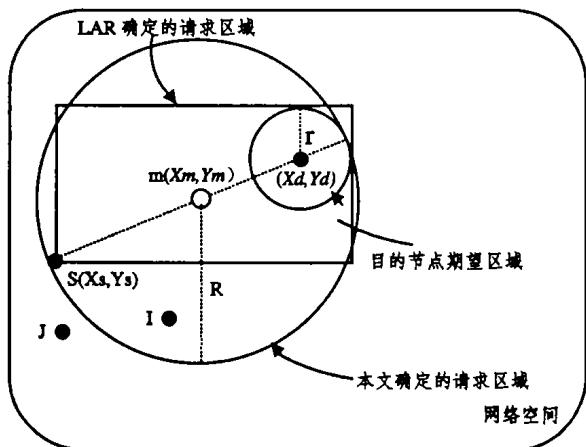


图 1 请求区域的确定

图 1 中以 (X_m, Y_m) 为圆心、半径为 R 的圆便是本文所确定的请求区域范围。设源端节点 S 的当前坐标为 $s(X_s, Y_s)$; 目的节点 D 平均移动速度为 v , 已知目的节点的历史坐标为 $d(X_d, Y_d)$, 当前坐标为 $d(X, Y)$, 当前时刻与历史时刻的时间为 Δt , 则:

$$r = v\Delta t$$

$$X = X_d + \frac{r}{R}(X_d - X_s)$$

$$Y = Y_d + \frac{r}{R}(Y_d - Y_s)$$

$$X_m = \frac{X_s + X}{2}$$

$$Y_m = \frac{Y_s + Y}{2} \quad (1)$$

源端节点 S 发起路由请求包时,把计算后的 (X_m, Y_m) 及 R 值置于请求包内相应位置,中间节点 v_i 收到这个请求包后,需根据这些信息按式(2)进行计算,以判断自己是否位于这个请求区域,若表达式为真,可按转发规则作进一步处理,否则丢弃。图 1 中节点 I 位于请求区域内,节点 J 则位于区域外。

$$D(v_i, m) \leq R \quad (2)$$

其中, $D(v_i, m)$ 示中间节点 v_i 与 m 的距离。

由于每个路由请求包内都包含了一些中间节点的位置信息,任何转发节点都要把获得的其他节点位置、速度信息存于本地缓存中,并分配相应的生命期。这样某节点作为源端初始化路由请求时,在本地成功得到目的节点位置的概率就会增加,而且假设本地已经存储了某个节点的位置信息,如果新的路由请求包内含有同一个节点的当前位置信息,则可对本地存储的信息进行更新。信息越新,由它确定的请求区域就越准确,范围就越小。这样就会降低整个网络内广播包的数量,降低了网络的通信负载,网络性能得到相应提高。

3.2 路由请求转发规则

在广播式的路由发现算法中,为了防止形成广播风暴,要采取一些措施。如在 DSR 等协议中,源端每发出一个新的路由请求包,都会对其分配一个按递增顺序进行的序列号,源地址与序列号组合在一起,就可以保证全局唯一。每个中间转发节点收到后对其进行记录,一旦再收到同样组合的请求包,丢弃不转发,但这种机制在多路径的路由发现过程中,却大大限制了得到其他不相交路径的机会^[6]。为了便于目的节点收集更多的节点信息计算第二个不相交路径,同时避免重迭路由问题和降低广播包,本文采取这样的路由转发规则:代替丢弃每个重复路由请求包,如果其跳数小于第一次接收的请求包,把本节点相关信息增加进去并转发此请求包。

3.3 最短路径搜寻算法

MANET 网络可以表示成为一个加权无向图 $G=(V, E)$, 其中 $V=\{v_1, \dots, v_n\}$ 是节点的集合, $E=\{e_1, \dots, e_m\}$ 是边的集合。一个边 $e_k=(v_i, v_j)$ 表示为 V 中节点 v_i 和 v_j 的连接,即双方互在对方的有效通信范围内; $c(v_i, v_j)$ 为 e_k 的边权,可以是跳数、距离等。基于加权无向图,有三种主要的最短路径问题,即单点对最短路径(single path)、单源最短路径(single source)、全节点对最短路径(all pairs)。单点对最短路径是指给出源端节点 s 及目的节点 t , 找出从 s 到 t 的最短路径;单源最短路径指给出源端节点 s , 找出到所有其他节点的最短路径;而全节点对最短路径则找出全部节点对 (s, t) 之间的最短路径。比较典型的算法包括广度优先遍历(BFS, Breath-First Search)、深度优先遍历(DFS, Depth-First Search)、Di-

jkstra 算法等,对算法的有关分析和比较见文[8],本文选择 BFS 作为最短路径搜寻算法。

本文首先须按照图的邻接矩阵表示法利用节点的位置信息生成邻接矩阵后,才能采用 BFS 算法搜寻完全不相交最短路径。设 $G=(V, E)$ 是具有 n 个顶点的图,则 G 的邻接矩阵是具有如下性质的 n 阶方阵,且 $A=A^T$:

$$A[i, j]=\begin{cases} 1 & \text{若 } d(v_i, v_j) \leq D_a - (u_i + u_j)\Delta t \\ 0 & \text{若 } d(v_i, v_j) > D_a - (u_i + u_j)\Delta t \end{cases} \quad (3)$$

式中 D_a 为节点的最大有效通信距离,假设所有节点 D_a 都相等,两个节点距离小于 D_a 即表示它们之间存在一个通信链路。 u_i 和 u_j 分别为 v_i 和 v_j 的平均移动速度, Δt 为两个节点距现在的最大运动时间。

设图 G 的初态是所有顶点均未访问过。 v_s 为源端节点, v_d 为目的节点,则本文中的 BFS 算法过程可以描述为:首先访问目的节点 v_d ,接着依次访问 v_d 的所有邻接点 v_1, v_2, \dots, v_i ,然后再依次访问与 v_1, v_2, \dots, v_i 邻接的所有未曾访问过的顶点,并在每个中间节点中记录它们的父顶点,依此类推,直至访问到源端节点 v_s 。若 G 是连通图,则搜索不相交路径成功,并按序导出从 v_s 到 v_d 的完整路径。

对于具有 n 个节点的 MANET 网络,本文中 BFS 算法的总的时间复杂度最大为 $O(n^2) + O(\frac{n^2-n}{2})$,其中 $O(\frac{n^2-n}{2})$ 为生成邻接矩阵的时间复杂度。

4 仿真分析

4.1 性能指标

本文在不同的移动速度下对 LAR 和本方法进行性能比较,并按下述指标进行仿真评估:

(1) 规格化控制开销(Normalized Control overhead):其定义为网络内每个节点平均发出的和转发的控制包总和与目的节点接收到的全部数据包的比值,此指标能代表协议的有效性。

(2) 平均端到端延迟(Average end-to-end delay):其指所有从源端成功到达目的端的数据包所经历时间的平均值。

(3) 包投递率(Packet delivery ratio):其指网络内所有目的节点成功接收到的数据包总和与所有源端节点发送出的数据包总和的比值。

4.2 仿真环境

仿真系统以 Global Mobile Simulation(GloMoSim)为平台,对 LAR 协议和本文提出的方法进行比较。GloMoSim^[9]系统是专门针对无线移动网络环境的可扩展的仿真工具,并利用了 PARSEC^[10]库并行的离散事件仿真能力。仿真参数设置如下:节点主机数 50,随机分布在 $2000m \times 2000m$ 的方形地理范围内,并按 Waypoint 模型移动,最大移动速度 $25m/s$,最小移动速度为 $0m/s$ 。暂停时间分别取为 $0s, 100s, 200s, 300s$ 。仿真时间 5 分钟,MAC 协议为 IEEE802.11。信号衰减服从 Free Space 模型,包接收模型为 SNR-BOUNDED, RADIO-RX-SNR-THRESHOLD 为 $10dB$ 。节点有效无线传输范围为 $250m$ 。应用层业务为 CBR,每包 512 字节,发送起始时间随机选择,发送速度 10 包/s,10 个节点为客户端,10 个节点为服务器端。

4.3 仿真结果分析

图 2 说明了平均端到端延迟仿真的结果。端到端的延迟主要包括在每个节点内的排队延迟和从源端到目的端的传播延迟。在多路径方法中,由于业务分配到不同路径中,降低了

排队延迟。从图中可以看出,本文方法比 LAR 有更低的平均端到端延迟。随着暂停时间的减少,即网络拓扑变化加快,两种方法的平均端到端延迟都开始上升,这是因为网络链路断开频繁,路由请求增多,传播延迟增加了的缘故。

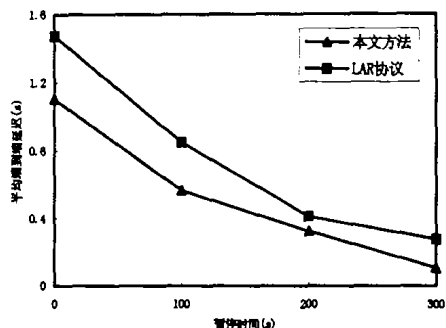


图 2 平均端到端延迟

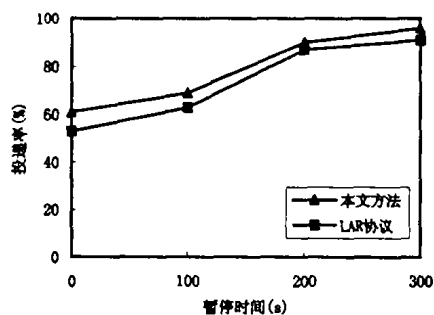


图 3 包投递率

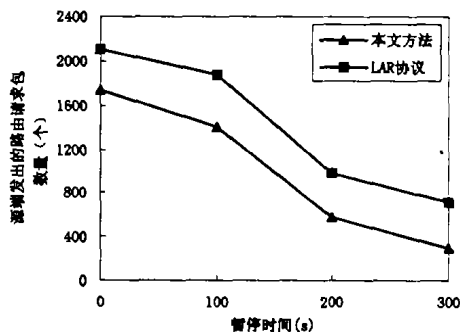


图 4 源端发出的路由请求包数量

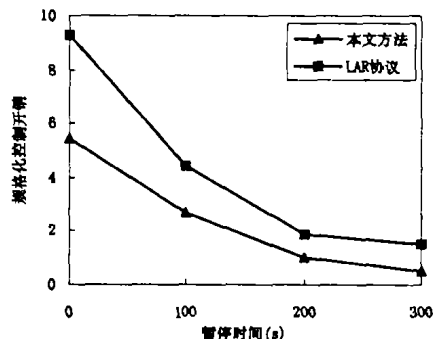


图 5 规格化控制开销

在单路径的 LAR 协议中,在当前路径断开的情况下,源端需要重新启动路由由发现过程来得到新的可用路径,很多数据包在这个过程中被丢弃掉,同时发现新的路径也同样要引入一些延迟,另外单路径中包的排队延迟也增加了,这些因素都直接影响到包的投递率。作为本文的多路径方法,通过把业务分配到两个不同的路径上进行发送,当其中一个路径失效

时,并不马上启动路由发现过程,而是把业务都转到剩下的路径上进行,而且两个路径间越互不相交,相互干扰及某段链路断开对两条路径带来的影响就越小。通过这种方式,限制了路由请求包的数量,同时降低了网络中冲突和与数据包竞争的次数,导致网络具有较好的吞吐性能和鲁棒性。从图3中可以看出,本方法较LAR协议在不同的暂停时间上包投递率都有一定的提高,尤其是在网络节点高速移动的情况下更明显。这是因为网络拓扑变化越频繁,链路越容易断开,本文提出的方法作用就越明显。

图4给出了在相同的移动情况下源端发出的路由请求包的数量。由于本文方法一次路由请求可能会得到两条不同路径,并且只在两个路径全部失效后才重新启动路由发现过程,因此源端总的路由请求的次数比单路径LAR少。而图5则表明,在路由控制开销指标的比较上,本文方法大大优于LAR。这是因为,一方面源端发出的路由请求包的数量降低了,大大减少了网络内各中间节点的转发数量。另一方面,尽管改变了转发规则,局部提高了转发包的数量,但由于采用了在请求包内携带转发节点地址信息的方式,提高了源端节点获知目的节点地址的概率,请求区域缩小,参与转发的节点数目降低了。同时,请求区域变为圆形区域,使路由由发现成功的次数增加了,也大大降低了二次广播的次数。

结论 本文提出了一种基于位置信息的Ad-Hoc网络(即MANET)多路径路由方法。在LAR路由协议的基础上通过改变路由请求包的转发规则,并在请求包内携带每个中间转发节点的位置信息,使目的节点采用BFS算法利用获得的中间节点位置信息来计算出另外一条不相交路径,通过把业务分配到两个完全不相交路径中,来实现负载均衡和增强网

络的鲁棒性。但本文只是把业务平均分配到两个路径中对方法进行验证,并没有充分讨论两个路径的QoS及安全情况,如何设计较好的业务分配算法以更好提高Ad-Hoc网络的性能将有待进一步研究。

参考文献

- 1 Perkins C E, Royer E M, Das S R. Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing. IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-13.txt, Feb. 2003
- 2 Broch J, Johnson D, Maltz D. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-04.txt>, IETF Internet Draft, Nov. 2000
- 3 Ko Y, Vaidya N H. Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks. In: Proc. of the Fourth Annual ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom 1998), 1998. 66~75
- 4 Nasipuri, Das S R. On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks. In: proc. of the 8th Int. Conf. On Computer Communications and Networks(IC3N), Boston, Oct. 1999
- 5 Wu K, Harms J. On-demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks. In: Proc. of 4th European Personal Mobile Communication Conf. (EPMCC), Vienna, Austria, Feb. 2001
- 6 Lee S J, Gerla M. Split multipath routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks. In: Proc. of IEEE ICC'01, June 2001
- 7 Wu K, Harms J. Performance Study of a Multipath Routing Method for Wireless Mobile Ad Hoc Networks. In: Proc. of IEEE/ACM 9th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation (MASCOTS 01), Cincinnati, Ohio, Aug. 2001. 99~107
- 8 Sherlock R, Mooney P, Winstanley A, Husdal J. Shortest Path Computation: A Comparative Analysis. GISRUK, Sheffield, UK, April 2002. 91~94
- 9 Bagrodia R, et al. PARSEC: A Parallel Simulation Environment for Complex Systems. IEEE Computer, 1998, 31(10):77~85
- 10 UCLA Parallel Computing Laboratory and Wireless Adaptive Mobility Laboratory, GloMoSim: A Scalable Simulation Environment for Wireless and Wired Network Systems. <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/domains/glomosisim.html>

(上接第3页)

3.3.2 本体库(Ontology)和知识层^[7] 本体库的概念对于取得表达能力是很必要的,在用知识进行建模和推理的过程中需要这种能力。总的来说,一个本体库决定了术语的外延和它们之间的关系。然而,在知识和Web工程的上下文空间中,一个本体库仅仅是一个已发布的或多或少取得一致的一些领域内容的概念。本体库可能描述对象、过程、资源、能力或者其它的东西。

本体库的好处是改进了在系统之间的通信,这些系统可以是机器、用户或者组织。它们的目标就是建立一个一致的,可能是规范的模型。它们努力保持一致,去除二义性,并集成了一系列的观点。接受本体库得到的另外一个好处是可互操作性,这也是为什么在语义网格中占有如此重要地位的原因。一个本体库可以作为一种国际语,它可以推动内容的重用,确保给出一个清晰的规范来表达内容或者服务是关于什么的,增加内容和服务被成功集成的机会。

可以认为,本体库提供了内容的通信、集成和共享的基础。但是它们还可以提供其他的好处。本体库可以通过去除模糊性和指出相关术语,或者通过建立从页面得到的信息与其他信息建立联系,来改进搜索准确性。还有,互联网推理系统开始出现,它通过从现有的Web中抽取和产生注释来开发本体库。

结束语 任何事物发展的背后,总有其深刻而本质的原因,拨开技术层面的面纱,我们可以发现,更丰富、更灵活、更方便的信息资源共享和大规模的协同工作才是真正的推动技术发展的本质所在。

科研学术界的美好设想、商业需求、工业界的策略使得技术的概念和内涵变得前所未有的模糊与难以界定,现今的诸

多技术如Web服务、语义Web、网格计算之间存在很多共性,但侧重点又各有不同,无论如何,技术总是发展、相互影响又最终走向融合,或者说找到一个在符合技术先进、满足各方利益等之间找到一个合适的平衡点。

目前,语义网格是个全新的概念,它试图实现语义Web和网格计算技术上的融合,成为未来e-Science的基础设施,一些围绕语义网格的项目也相继展开,如myGrid(www.mygrid.org.uk)、Comb-e-Chem(www.combechem.org)、Geodise(www.geodise.org)、CoAKTingG(www.aktors.org/coaktng)等e-Science项目。

语义网格所蕴含的这种思想有着极为广阔的发展空间,相信随着技术的深入研究和不断发展,语义网格将真正成为下一代智能网格,对人类的生活产生重大而深远的影响。

参考文献

- 1 Foster I, Kesselman C, eds. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1998
- 2 De Roure D, Jennings N R, Shadbolt N R. Research Agenda for the Semantic Grid: A Future e-Science Infrastructure. [UkeS-2002-2, Technical Report of the National e-Science Centre]. 2001
- 3 The Semantic Grid Community Portal. GGF. <http://www.semanticgrid.org/>
- 4 Cannataro M, Talia D. Semantics and Knowledge Grids: Building the Next-Generation Grid. IEEE Computer Society, 2004
- 5 De Roure D, Goble C. Semantic Web and Grid Computing. Sep. 2002. <http://www.semanticgrid.org/documents/>
- 6 De Roure D, et al. The Evolution of the Grid. Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality. In: F. Berman, A. J. G. Hey, and G. Fox, eds., John Wiley & Sons, 2003. 65~100
- 7 De Roure D, Jennings N R, Shadbolt N. The Semantic Grid: A Future e-Science Infrastructure. Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality. In: Berman F, Hey A J G, Fox G, eds. John Wiley & Sons, 2003. 437~470