

支持合群的多无线混合移动网络结构模型^{*})

涂 来 王芙蓉

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘 要 基于下一代无线移动通信系统异构化的趋势,考虑移动终端的物理位置特性,提出了一种支持合群的多无线混合网络结构模型,将相邻且具有共同运动特性的节点组织成组管理,达到节省能量、带宽等功效。给出了该模型的设计原型、主要功能实体及接口,并定义了水平垂直协同通信方式工作。

关键词 合群,多无线,混合移动网络

An Aggregation Supported Multi-radio Hybrid Network Model for Mobile Networks

TU Lai WANG Fu-Rong

(Dept. of EIE., Huazhong Univ. of Sci. and Tech., Wuhan 430074)

Abstract Considering the tendency of heterogeneous architecture in next generation mobile networks and the aggregation characteristic of mobile terminals, an aggregation supported multi-radio hybrid network model is presented. Mobiles that move together can be managed in group as to gain effectiveness in network resource and power consumption. The model prototype, functionality entities, interfaces, communication methods are given in this paper with a typical case to show the working procedure.

Keywords Aggregation, Multi radio, Hybrid mobile network

1 引言

为适应未来信息社会泛在通信的需求,各具特色的无线网络技术层出不穷,下一代无线移动网络结构也趋于更加灵活和多样^[1,2]。混合结构代表了多种技术、不同拓扑结构的优势融合,是未来网络的发展方向^[3,4]。考虑移动用户的运动特性,将节点组织成组管理,可以利用信息融合技术,采用空间复用、冗余信息压缩、组播等方式、节省能耗、带宽等资源^[5]。本文提出一种支持合群管理的多无线混合网络结构模型,通过不同方式协同工作,有效利用移动通信终端物理上的合群特性,将节点组织成组管理,以达到节省能量、带宽等功效。

本文在前期研究中探讨了基于该模型的合群位置管理方法^[6],并通过分析证明了该方法节省了频率资源,增加了系统的吞吐能力^[7]。本文进一步给出该模型的设计原型、主要功能实体及接口,并定义了水平垂直协同通信方式与工作过程。

2 网络结构模型

2.1 网络拓扑结构

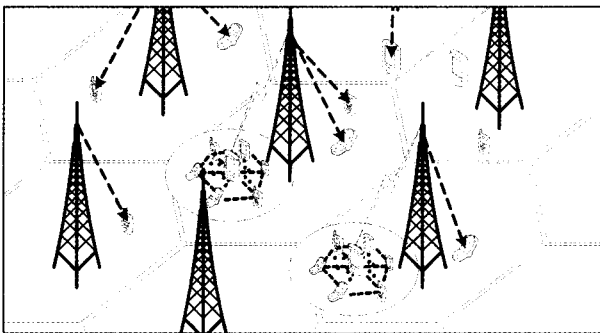


图1 合群混合网络

图1为一个基于混合网络结构的合群通信的典型场景。

与传统的蜂窝移动通信方式不同,移动台之间可以对等通信,根据合群特性形成浮于蜂窝覆盖上的动态合群运动网络(图中白色椭圆覆盖)。合群内的通信不再占用基站频率资源,移动台与网络间的数据传输也可以通过数据融合来提高效率。对于没有合群成组的移动站点,处理方式仍然与现有移动网络中的通信方式一样。

为实现上述通信功能,需要网络中通信节点逻辑上具备多无线能力,分别处理与基站的通信和合群组内的对等通信。本文形象地称这两种通信方式为“垂直通信”和“水平通信”。两种通信方式虽然是协同工作,但是在资源上相互独立。基本处理上保留各自结构下的原始工作机制,必要时通过多功能触发机制决策切换,协同工作。这样可以充分利用不同结构的各自技术优势,同时在设计过程中也利用了现有技术手段,再者为系统设备升级过渡提供了足够的缓冲。

2.2 节点协议层次模型



图2 节点实体协议层次模型

^{*})基金项目:国家自然科学基金(No. 60572047)。涂 来 博士研究生。 王芙蓉 教授,博士生导师。

构成混合接入网络的核心元素是多无线网络节点以及与之配套的一组通信规则。基站和移动终端作为两种设备实体,可以统一为不同功能的网络节点。从网络层次上看,在接入侧,两者具有如图 2 相同的协议结构模型。

2.3 节点功能实体模型

根据上述网络拓扑结构和协议层次模型分析,图 3 从总体功能模块上示意了多无线节点的结构模块及接口。



图 3 多无线网络节点功能模块

各种网络拓扑形式被抽象为网络连通性,加上通用链路层、用户平面、传统控制平面和无线资源管理,作为兼容现有网络结构的功能模块。在多无线混合网络系统下,网络控制需求进一步加强,各自控制相关功能模块都视作网络控制空间内的组件。控制空间与网络连通性通过网络资源接口交互。图 3 中所示基本控制模块包括:连通性控制;移动性控制;网络管理;多无线资源管理等。

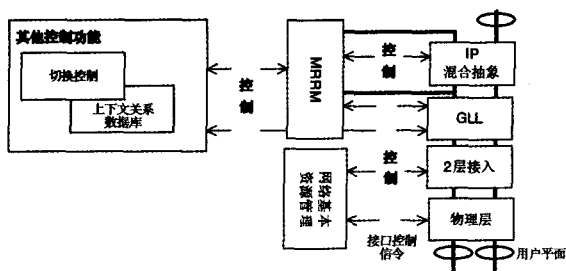


图 4 节点的高阶层次结构图

图 4 为节点的高阶层次结构图。协议层次上,从下至上,依次为物理层、2 层无线接入规范、通用链路层以及 IP 层。

用户平面贯穿 4 个层次。接收处理下,将用户业务流从物理层接收,转给用户应用服务程序;发送处理下,将信息流按相应规范封装,从物理信道发出。

无线接入信令同样贯穿 4 个层次,根据多无线资源管理模块的需要,分别在通用链路层上和 IP 上层两个层次上与其交互控制信息。无线资源管理模块反馈控制 IP 层和通用链路层处理。2 层无线接入规范与物理层操作由网络内部无线资源管理模块控制。

多无线资源管理模块和通用链路层还会与部分其他控制空间模块交互,如切换管理。因此,它们与其他一些网络控制空间功能模块保留控制信息的交互。

图 5 进一步详细描述了多无线网络节点内部控制模块接口以及节点间通信的网络控制接口。按接口类型分,共有三

种接口。

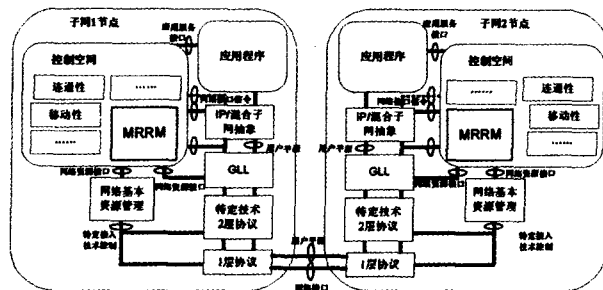


图 5 节点内部模块及网间接口示意图

(1) 网络接口

用于连接不同网络间控制空间的接口。接口用于传输网络间控制信息,如协商网络组件。并非所有节点都必备该接口,通常情况下,负责不同子网间通信的核心节点才必须实现该接口功能。

(2) 资源接口

资源接口位于网络节点内部,连接网络控制空间与网络连通层,用于提供控制机制,使控制空间可以通过该接口管理连通性层面上的相关资源。

(3) 服务接口

服务接口位于网络节点内部,连接网络控制空间与应用程序。它允许应用程序和服务向网络控制空间发出关于网络功能实体间建立、维护和终止端到端连通性的请求。

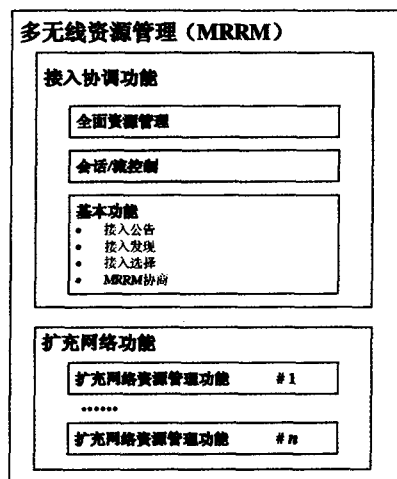


图 6 多无线资源管理模块详细功能

如图 5,多无线接入主要与网络接口和资源接口相关。多无线资源管理模块详细功能如图 6 所示,它包括接入协调功能与网络补充功能两部分。具体来说,接入协调功能包含全面资源管理、会话/流量控制以及基本功能,如接入发现、接入选择、接入公告、MRRM 协商等;而网络补充功能主要是针对网络内在资源管理功能不足的补充,对应不同无线制式资源管理的需求,网络补充功能可以包含一个或多个网络补充资源管理功能模块。

3 移动性管理框架

合群管理模型以多无线移动台为硬件基础,而合群则以移动台的合群移动性为物理环境基础。

具体移动性控制空间中,拟通过设计三个基本的功能实

体,实现支持泛在异构的移动性管理平台的需求。如图 7 所示。



图 7 移动性控制空间功能实体

移动性控制空间包括触发机制、切换与位置管理、合群管理三个功能实体以及它们直接的接口。设计需求和思想如下描述。

(1) 触发功能实体

触发功能实体如图 8 所示,提供如下功能:

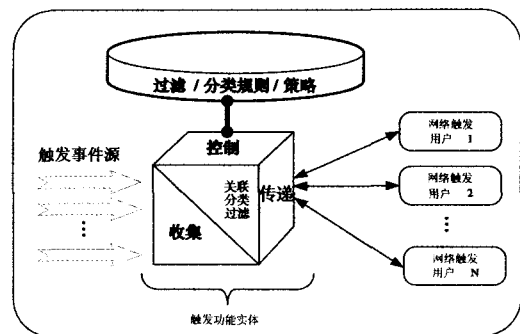


图 8 联合触发功能实体

①收集来自不同的源节点的事件并予以鉴别,触发移动性管理操作,如:

- 切换决策(传递给在切换与位置管理功能实体)
- 合群组的形成(传递给合群管理功能实体)
- 触发事件同时可以被用来触发在其他功能实体中的其他动作(如其他网络控制空间中的功能);

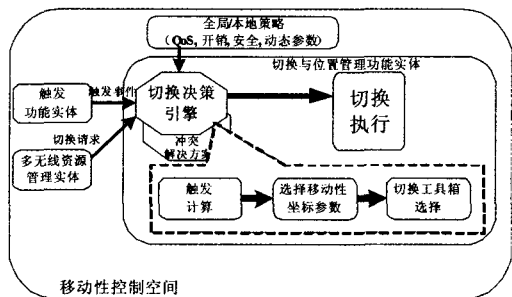


图 9 切换与位置管理功能实体

②基于以下方法对触发事件进行过滤与分类:

- 相关分类标准,如事件源、类型、频率、持续时间、时间约束、相关移动度;
- 触发策略(过滤与分类准则集合);

③通过触发事件关联处理减小事件个数;

④触发事件格式转换,以适合于各种功能实体,并传递给相应用户(切换与位置管理功能实体,组路由管理功能实体,这些功能实体被视作网络触发用户)。

(2) 切换与位置管理功能实体

在异构移动网络中,切换与位置管理功能实体聚集了所有的需要切换的步骤来支持移动性,包括在单一无线网络中

通信接入点之间的切换、不同的接入技术间的切换、不同的地址空间中的切换、多服务提供域或不同终端的应用标准间的切换。

切换决策是在多无线资源管理实体和切换与位置管理实体中都存在,其中后者完成网络节点中建立与触发合适协议的任务。

切换与位置管理功能实体通过计算、选择、决策从切换工具箱中选择合适的切换工具,通过一个动态的可重配通信协议栈进行编译重构,最终执行切换操作。设计切换工具箱中组件需兼容现有技术,同时具备对新通信协议的扩展功能。

(3) 合群管理功能实体

合群管理实体用于描述管理一起移动节点自组织形成的运动网络,属于移动性控制空间中的一个组件,负责合群组的形成、维护、管理等相关处理,同时能够通过选择与维护最合适的网关或簇头来确保与外面网络的连通性(依赖于不同的用户定义策略)。合群管理概念中最重要的方面是它有许多优化措施,特别是当考虑了整个网络的移动性的时候,而不是独立对待每一个节点。

图 10 展示了合群管理功能实体与移动性控制空间中其他功能实体的信息交互。触发功能实体将相关信息事件传递给合群管理实体,通过建立合群组,选择网关优化移动性操作,最终在切换与位置管理功能实体中完成具体工作。

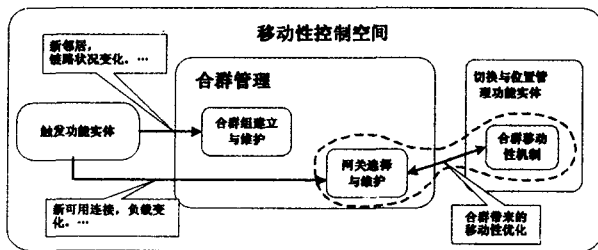


图 10 合群管理功能实体

4 通信方式

基于前述的混合通信模型以及节点实体功能模块,支持合群的混合网络模型将不同的无线接入手段映射为垂直与水平两种通信方式。通过多无线资源管理协同各种无线技术间的工作,并利用移动管理模块中的合群管理功能实体,实现其间合群管理策略的决策与下达。

根据混合网络模型设计初衷,移动台需要最终通过垂直通信接入基础设施网络接受网络服务,而水平对等通信不完全依赖基础设施,因而在具体选择通信方式时,两者也大相径庭。

4.1 垂直通信方式选择

垂直通信的基本需求是接入基础设施网络,因此其特点也是明显的:

- (1) 必须使用与基站相同的无线接入技术;
- (2) 具备集中受控管理的能力;
- (3) 单跳方式,移动台与接入点或基站直接通信。

根据以上两点,显然典型的垂直通信方式就是各种蜂窝系统的多址接入通信方式,如 GSM 的时分方式、CDMA 码分方式以及如 WiMax 等的新一代蜂窝系统。这些系统虽工作机制上不同,但相同的是通过固定接入点或基站,静态分配协议(Static Allocation Protocol),使用集中式传输时间安排算法,事先为每个节点静态地分配一个固定的资源安排(传输时

间或特征码),控制其与移动台的通信。

由于垂直通信的基本思想和处理方式等同于蜂窝,具体设计时可根据特定系统做具体讨论。

4.2 水平通信方式选择

水平通信方式以对等通信方式为基础,具有以下特点:

- (1) 无线传播是全向的;
- (2) 移动台相互独立,不知道其他节点信息;
- (3) 网络可能变化,拓扑以及邻居节点不确定。

由于这些物理上的特点或客观情况,使得水平通信方式相对复杂。由于无线传播是全向的,一个物理空间区域可能同时收到若干移动台的无线电波传输信号的覆盖;移动台相互独立,加上网络变化,没有固定的集中管理者,难以实现受控调度。由于上述两点,移动台在传输信息时出现传输碰撞的概率极大,存在严重的信道竞争问题。

当然水平通信也有其便利之处,即灵活性。由于不受限于基站或接入点的无线技术,只要满足水平通信的移动台之间存在相同的无线接口,理论上即可实现对等通信。而在协议和通信方式上,也只需统一即可,不受限于基础设施网络的信令规范。鉴于此,本文在水平通信方式设计上采用类似 802.11 MAC 的无线数据网通信方式^[8],将水平通信分为三种情况,分别采用不同的处理方法。

4.2.1 全对等不可靠广播

为尽量减少冲突,规定移动台在广播时使用 CSMA 竞争方式:

- (1) 当触发事件来临,移动台准备广播时,首先通过载波监听判断信道是否已被占用;
- (2) 若信道空闲,则将广播发出;
- (3) 若监听到信道被占用,使用二进制指数回退算法(BEB)^[6]回退一段时间,再次尝试,重复以上处理。

显然,碰撞的发生不是在发送方一侧,而是在接收方一侧,因此这种载波监听方式通过测试发射机附近的信号强度来努力避免碰撞的方法没有获得避免碰撞的充要条件,既不能完全避免碰撞,如“隐终端问题”,也可能无谓退避,如“显终端问题”。但考虑到这种广播报文的特殊性,其通常是短小报文,如 HELLO、BEACON 或握手,而且没有确认,因此采用 CSMA 是一种相对高效且可行方式。

4.2.2 全对等可靠传输

在某些特定需求下,可能需要两个对等的移动台可靠地传输一些信息。当然,这是以两节点已构建拓扑,知道对方存在且可达为前提的。拓扑以及连通信息可以通过上述广播方式实现,但信息传输需要确认机制保证可靠性,因此不能使用广播方式的 CSMA 机制,规定使用碰撞回避的多址接入(Multiple Access with Collision Avoidance, MACA)方法。

4.2.3 组头协调传输

在组头选取后,水平通信方式提供一种准集中调度的传输,组头可以作为组内协调组织者。由于基于竞争方式的全对等传输机制下各节点对信道的使用权是基于一种随机的竞争,它只能提供尽力而为的(Best-effort)服务,没有任何的 QoS 保证,无法满足实时业务对延迟和抖动等指标的需求,同时 BEB 回退机制还存在公平性问题。考虑到合群组建立后,组头的特殊地位,以及一些特定实时合群服务的需求,设计基于组头集中调度协调传输方式,作为前两种方式的补充。

根据应用和合群规模的不同,组头协调传输方式又可分为三种:

(1) 组头组内广播方式

(2) 组头固定轮询方式

(3) 动态时分复用方式

4.2.4 多方式协同工作

上述三种水平通信方式,都是以 802.11 MAC 为基础,根据不同应用,采用不同的方式。在实际工作上,三种水平通信方式是同时并存,协同工作的。协同工作以基于竞争的分布式协调为基础,上层可以采用点协调方式,如图 11 所示。

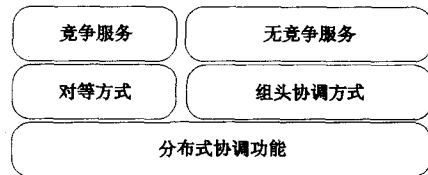
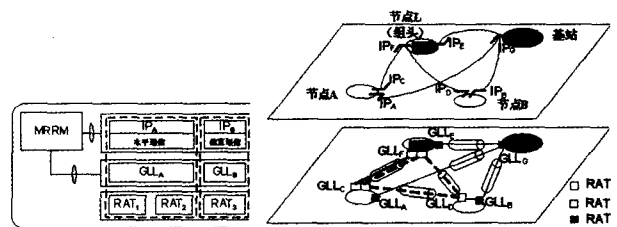


图 11 多种水平通信方式协同工作

组头协调方式以广播帧、轮询帧和超帧为基本数据单元,与其他对等方式数据帧采用分布式协调功能共同竞争信道,通过回退时间控制,实现服务区分。优先级从高到低,依此如下:RTS/CTS 帧;ACK 帧;组头广播帧;轮询帧;超帧;对等方式数据帧;对等方式广播帧。

5 协作多跳与合群示意

从路由的角度上看,合群管理允许移动台通过水平通信与组头通信,通过组头转发,以多跳方式最终以基站传输信息。在这样一个过程中,MRRM 和 GLL 拥有共同的基本原则,但分别扮演了不同的角色。MRRM 层面上,其视角是基于从不同节点获得的子网地址信息,如水平通信子网 IP,知晓整个网络的拓扑;而 GLL 方面,其考虑范围则相对限制于本地视角,关注不同的接入技术,限制每一跳的接入方式的选择。图 12 简要展现了这个过程。



(a) 节点协议栈示意

(b) 多跳通信示意

图 12 协作多跳方式示意图

图 12(a)给出节点的协议栈的简单示意,特别高亮了其中的 MRRM 和 GLL 功能实体。可以看到,移动台具备水平、垂直两种方式,以及相应地址,IP_A 对应于 GLL_A,用于水平通信,其又管理着两种无线接入技术。IP_B 对应于另一个单一的无线接入技术,配以另一 GLL_B 在其间工作,用于垂直通信。一般来说,GLL 实体可以管理多个不同的无线接入技术,对应于一个 IP 地址以及一种通信方式。

图 12(b)中可以看到,在水平、垂直两种通信方式的协作下,移动台得以通过多跳方式接入基站,这也是合群管理的基础之一。节点 A、节点 B 与组头节点 L 组成合群组,与基站通信。三个节点都可以使用直接垂直通信方式直接与基站通信,对应的 IP 地址和 GLL 实体分别为 IP_A、IP_B、IP_E 和 GLL_A、GLL_B、GLL_E。成员节点又可通过水平通信与组头通

信或互相通信,对应水平通信的地址和 GLL 实体分别为 IP_C 、 IP_D 、 IP_F 和 GLL_C 、 GLL_D 、 GLL_F 。在接入技术上,根据通信双方具备的接口不同,选择适当的技术。在此意义上,数据流从哪种无线接入技术发送取决于 GLL 本地的范围的判断,而端到端的接入方式以及路由则取决于 MRRM 层面。

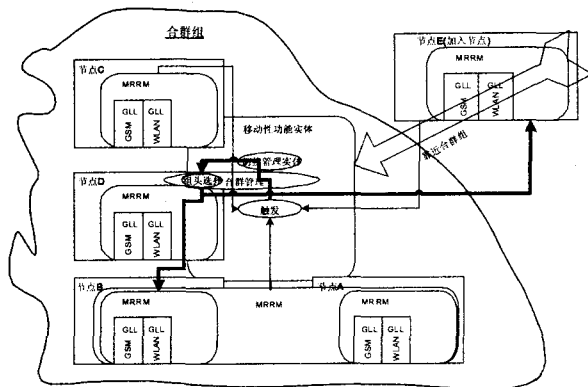


图 13 基于多无线混合通信的合群过程示意

在上述基于多无线的混合通信结构基础上,位置相近的移动台可以通过移动性功能实体中合群管理模块组织成组。在 MRRM 协调水平通信的过程中,它会将移动周围节点的信息通过网络控制接口,交给移动性功能实体中的触发模块处理。

图 13 即展示了这样一个节点加入合群组的过程。当符合触发条件时,移动台触发切换过程。这里的切换并非传统意义上的蜂窝间的切换,而是从独立状态(在某蜂窝覆盖的子网)切换到合群状态(由组头管理的自治子网),是一种网络间的更广义的垂直切换。在合群建立过程中,还会经过组头选择。

结论 本文提出一种支持合群管理的多无线混合网络结构模型,通过不同方式协同工作,有效利用移动通信终端物理上的合群特性,将节点组织成组管理;再利用信息融合技术,采用空间复用、冗余信息压缩、组播等方式,达到节省能量、带宽等功效。

参考文献

- 1 Basagni S, Conti M, et al. Mobile Ad Hoc Networking [M]. Wiley IEEE Press, 2004
- 2 Prasad R, Ruggieri M. Technology Trends in Wireless Communications [M]. Artech House Press, 2003
- 3 Ying-Dar L, Yu-Ching H. Multihop cellular: a new architecture for wireless communications [A]. In: INFOCOM 2000 Proceedings [C]. US: IEEE Press, 2000. 1273~1282
- 4 Niebert N, Schieder A, et al. Ambient Networks: An architecture for communication networks beyond 3G [J]. IEEE Wireless Comm Mag, Apr 2004
- 5 Rossi M, Badia L, Giacon P, et al. On the effectiveness of logical device aggregation in multi-radio multi-hop networks [A]. In: 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing [C], 2005. 354~361
- 6 王芙蓉, 涂来, 黄载禄. 基于多跳蜂窝网的组位置管理策略[J]. 通信学报, 2004(07): 56~61
- 7 Wang F, Tu L, et al. Group Location Update Scheme and Performance Analysis for Location Management in Mobile Network [A]. In: IEEE VTC 05 Spring Proceedings [C]. US: IEEE Press, 2005. 2429 ~2433
- 8 IEEE 802.11b. IEEE standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical Layer (PHY) specification: higher-speed physical layer extension in the 2.4GHz band [S]

(上接第 5 页)

- 32 Altmann M. Reinterpreting network measures for models of disease transmission [J]. Social Networks, 1993, 15: 1~17
- 33 Poulin R, Boily M-C, Masse B R. Dynamical systems to define centrality in social networks [J]. Social Networks, 2000, 22: 187~220
- 34 Bavelas A. A mathematical model for group structures. Human Organization, 1948, 7: 16~30
- 35 Sabidussi G. The centrality index of a graph. Psychometrika, 1966, 31: 581~603
- 36 Freeman L. A set of measures of centrality based upon betweenness. Sociometry [J], 1977, 40: 35~41
- 37 Brandes U. A Faster Algorithm for Betweenness Centrality [J]. Journal of Mathematical Sociology, 2001, 25(2): 163~177
- 38 安世虎, 都艺兵, 曲吉林. 节点集重要性测度. 中国管理科学, 2006, 14(1)
- 39 许进, 席酉民, 汪应洛. 系统的核与核度 [J]. 系统科学与数学, 1993 年, (13)2: 102~110
- 40 左孝凌, 等. 离散数学. 上海科学技术文献出版社, 280~286
- 41 李鹏翔, 任玉晴, 席酉民. 网络节点(集)重要性的一种度量指标. 系统工程, 2004
- 42 Corley H W, Sha D Y. Most vital links and nodes in weighted networks. Oper. Res. Letters, 1982, 1: 157~160,
- 43 Chen Y, Hu A Q, Hu J, et al. A method for finding the most vital node in communication networks. High Technology Letters, 2004, 1: 573~575
- 44 Brin S, Page L. The Anatomy of a Large-scale Hypertextual Web Search Engine [J]. Computer Networks, 1998, 30: 107~117
- 45 Kleinberg J M. Authoritative Sources in a Hyperlinked Environment. Journal of the ACM, 1999, 46(5)
- 46 Lempel R, Moran S. The Stochastic Approach for Link-Structure

- Analysis(SALSA) and the TKC Effect. In: Proc. 9th Intl World Wide WEB Conf, 2000
- 47 Zachary W W. An information flow model for conflict and fission in small groups [J]. Journal of Anthropological Research, 1977, 33: 452~473
- 48 朱炜, 王超, 李俊, 等. Web 超链分析算法研究. 计算机科学, 2003, 30(1)
- 49 Richardson M, Domingos P. The Intelligent Surfer: Probabilistic Combination of Link and Content Information in PageRank. Cambridge, MA: MIT Press, 2002
- 50 Haveliwala T H. Topic-sensitive PageRank. In: Proc. of the Eleventh Intl World Wide WEB Conf., 2002
- 51 Chang H, McCallum A. Creating customized authority lists. In: Proceedings of the 17th International Conference on Machine Learning. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2000. 167~174
- 52 Haveliwala T. Topic-sensitive PageRank. In: Proceedings of the 11th International World Wide Web Conference, Honolulu, Hawaii, 2002. 517~526
- 53 Jeh G, Widom J. Scaling personalized Web search: [Technical Report]. Stanford University, Computer Science Department, 2002
- 54 White S, Smyth P. Algorithms for estimating relative importance in networks [J]. In: Proceedings of the Ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, ACM Press, 2003. 266~275
- 55 Hanneman R. Introduction to Social Network Methods. Department of Sociology, University of California, Riverside. (URL: http://faculty.ucr.edu/~hanneman/SOC157/Software/NET-TEXT.PDF)
- 56 Krebs V E. Uncloaking Terrorist Networks (URL: http://www.firstmonday.dk/issues/issue7_4/krebs). FirstMonday, volume 7, number 4, April 2002