

文章编号:1001-9081(2010)02-0333-04

移动 Ad Hoc 网络 AODV 路由协议的改进

王忠恒^{1,2}, 张曦煌¹

(1. 江南大学 信息工程学院, 江苏 无锡 214122;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业部淡水鱼类遗传育种和养殖生物学重点开放实验室, 江苏 无锡 214081)
(power_heng@163.com)

摘要:针对移动 Ad Hoc 网络 AODV 路由协议的路由维护的缺点,提出了 AODV-BR 路由协议,即具有备份路由的 AODV 路由协议。新协议通过为网络中的连接链路增加一条备份路由提高了 AODV 路由维护的性能。仿真实验表明 AODV-BR 有效减少了网络中链路中断的数量,降低了丢包率。

关键词:移动 Ad Hoc 网络;路由维护;AODV;备份路由

中图分类号: TN915.04; TN92; TP393.04 **文献标志码:** A

Improvement of AODV routing protocol in mobile Ad Hoc network

WANG Zhong-heng^{1,2}, ZHANG Xi-huang^{1,2}

(1. College of Information Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China;

2. Key Laboratory of Genetic Breeding and Aquaculture Biology of Freshwater Fishes of Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center of Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi Jiangsu 214081, China)

Abstract: In this paper, the authors analyzed the AODV routing protocol and proposed AODV-BR routing protocol to improve the route maintenance in AODV by finding a backup route as to fix the weak link. The theoretical analysis and simulation results prove that this protocol can reduce connection failures and the packet loss rate.

Key words: mobile Ad Hoc network; route maintenance; Ad Hoc On-demand Distance Vector routing (AODV); backup route

0 引言

移动 Ad Hoc 网络是一种自组织、快速配置而且无需固定基础设施的动态网络。网络节点能够以任意可能的速度和移动模式移动,也可以随时开机和关机,这些因素都导致网络拓扑结构会随时发生变化。此外,无线传播条件的快速改变,也导致了网络拓扑以不可预测的方式任意和快速地改变,这就很容易使得网络中的链路发生断裂。因此移动 Ad Hoc 网络中的路由协议应该在链路中断之前能够检测到链路有断裂的危险,然后通过某种策略来加强链路的连接。移动 Ad Hoc 网络的路由协议可以分为表驱动和按需两大类。在表驱动路由协议^[1]中,网络中的节点都保持一张或多张路由表,通过周期性地交互路由信息更新到所有其他节点的路由,而不管需不需要该路由进行通信,典型的表驱动路由协议有: DSDV^[2]和 WRP^[3]。在按需路由协议^[1]中,只有节点需要进行通信时才建立路由,以减少路由开销,典型的按需路由协议有: AODV^[4], DSR^[5]和 TORA^[6]。按需路由协议更能适应 Ad Hoc 网络的动态拓扑、带宽受限和能源约束等特点。

由于移动 Ad Hoc 网络中某节点电池电量的耗尽或移动超出了其邻居节点的射频信号传输范围,则与此节点相关的链路就会中断。针对这一问题目前提出了许多算法,其中 AODV-BA^[7]是具有代表性的一种,然而在 AODV-BA 路由维护过程中发送的数据包必须在中断链路的上游节点进行存储,一旦路由维护失败那么源节点不得不重新建立一条路由。

本文在 AODV 路由协议的基础上提出了一种新的路由协议 AODV-BR(AODV-BACKUP ROUTE)。在 AODV-BR 中,

我们为网络中节点自身的电池电量和从其邻居节点接收到的射频信号的强度分别规定了两个不同水平的阈值,当某个节点达到规定的第一个阈值时,表明此节点所在的这条链路有中断的危险,AODV-BR 就会为此条链路建立起一条备份的路由;当节点到达第二个阈值时,AODV-BR 就会快速的切换到备份路由上进行数据传输。通过仿真表明,这种路由协议很好地解决了由于链路中断而产生的数据包丢失的问题。

1 AODV 路由协议

1.1 路由发现

AODV(Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing)^[1,4]是一种按需路由。它分为路由发现和路由维护两部分。AODV 路由协议的路由发现过程如图 1 所示,假设源节点 S 要向目的节点 D 发送数据,如果源节点 S 没有到目的节点 D 的活动路由,则源节点 S 就会向其邻居节点广播 RREQ 分组用于路由的发现。节点 1,3,5 收到 RREQ 后首先建立或更新逆向路由,然后在把 RREQ 广播给相应的下游节点 2,4,6。当目的节点 D 第一次收到 RREQ 分组时它就会沿反转路由给源节点 S 发送一个 RREP 分组。当 RREP 沿着逆向路径回传时,建立前向路由条目,这样源节点收到 RREP 时,从源节点 S 到目的节点 D 的路由就建立起来了。

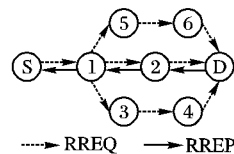


图1 路由发现

收稿日期:2009-08-30;修回日期:2009-10-04。

基金项目:农业部淡水鱼类遗传育种和养殖生物学重点开放实验室开放基金资助项目(BZ2009-07)。

作者简介:王忠恒(1983-),男,山东日照人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络、嵌入式系统; 张曦煌(1962-),男,江苏无锡人,教授,主要研究方向:计算机网络、嵌入式系统、图形图像处理。

1.2 路由的维护

AODV 路由协议的路由维护过程如图 2 所示,当节点 1 发送或者转发数据分组到目的节点 D 时,节点 1 检查路由表,如果没有找到目的为节点 D 的路由表项或者路由表项已经过期,则发送目的为节点 D 的 RREQ 消息。如果到节点 D 的路由表项的下一跳节点 2 失效或者移出节点 1 的通信范围时,节点 1 到节点 D 的路径失效。若节点 1 到 D 的距离比较近,则发起局部修复,广播目的为 D 的 RREQ 消息,RREQ 消息途经节点 4,5,最后到达节点 D,然后 D 发送 RREP 消息,沿反向路由传送到节点 1。这样,就重新建立了从节点 1 途经节点 4,5 到节点 D 的路由。在整个过程中节点 S 要发送的数据包会暂存在节点 1 中,如果修复时间过长则容易造成数据包的丢失。如果局部修复不成功,节点 1 就给源节点发送一个 RERR 消息,源节点就会重新执行路由发现过程,这无疑会大大增加网络的负担。

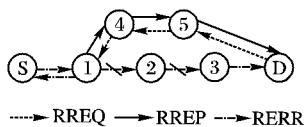


图2 局部修复机制

2 AODV 路由维护的改进

主动式路由协议路由维护的问题在于通过对链路进行检测和局部路由修复机制来保持链路的连接,一旦局部修复不成功,源节点将会重新发起路由请求以建立新的连接。被动式路由的问题主要在于在局部修复过程中被传输的数据包必须存储在断开连接的上游节点,如果局部修复时间太长导致上游节点的缓冲已满,那么数据包就会丢失。我们在 AODV 路由协议的基础上提出了一种新的路由协议 AODV-BR。AODV-BR 的主要思想是在链路出现断裂危险时就为当前链路准备一条备份链路。某条链路是否有断裂的危险通过此链路中节点的电池电量或者通过接收到邻居节点的射频信号的强度来判断。AODV-BR 协议的详细说明如下。

2.1 链路中断的检测和处理

在 AODV-BR 中,链路中的每个中间节点都要检测它和它的下游节点之间的链路是否有链路中断的危险。如果节点自身的电池电量太弱或者从其邻居节点收到的射频信号的强度太低不足以维持正常的数据传输,那么节点所在的这条链路就有可能发生链路中断的可能。AODV-BR 中为了防止链路中断的发生,给节点自身的电池电量和从邻居节点接收到的射频信号的强度分别设定了两个不同水平的阈值。当达到规定的第一个阈值时,AODV-BR 的处理过程如下:

1) 接收到的射频信号太低。如果某节点接收到的射频信号强度太低,它就给其下游节点广播一个 BA-RREQ 分组来为当前链路建立一条备份路由。

2) 节点的电池电量太低。移动 Ad Hoc 网络的拓扑结构是由在同一时间都具有活跃性的节点组成。当一个节点的电池耗尽时它所处的链路就会发生中断,如果这个节点支持许多链路的连接,那么所有这些链路都将受到破坏,为了避免这种问题的发生,那些电池即将耗尽的节点应通知它的上游节点,它的上游节点就会为这条链路准备一条备份路由。

2.2 阈值设置

2.2.1 接收到信号阈值的定义

节点接收到射频信号强度的第二个阈值 (Pr_{th2}) 是通过

式(1)来定义的,其中 d_{th2} 是两个节点最大的通信距离,它的定义遵循 WIFI 标准。

$$Pr_{th2} = \frac{Pt \cdot Gt \cdot Gr \cdot ht^2 \cdot hr^2}{(d_{th2})^4 \cdot L} \quad (1)$$

式(1)是一个双径地面反射模型^[8]。 Pt, Gt, ht 分别代表传输能力、天线增益、发射天线的高度; Gr, hr 分别是接收节点的天线增益和天线高度; L 是系统的损失因子。节点接收到射频信号强度的第一个阈值是基于移动节点移动速度的一个动态值。如式(2)所示。 Pa 是一个估计的能量衰减率, $\Delta Pr_{i+1,i}$ 是节点接收到数据包 $i+1$ 和数据包 i 射频信号强度的差值, $\Delta t_{i+1,i}$ 是数据包 $i+1$ 和数据包 i 到达的时间间隔, Δt 是最近 3 个 ($\Delta t_{i+1,i}$) 的平均值:

$$Pa = \frac{\Delta Pr_{i+1,i}}{\Delta t_{i+1,i}} \quad (2)$$

$$Pr_{th1} = Pr_{th2} + (Pa \times 10\Delta t) \quad (3)$$

2.2.2 电池电量阈值的定义

电池能量的第二个阈值设定为网络中节点电池电量出厂值的最小值,网络中节点电池电量的第一个阈值定义如式(4)所示:

$$B_{th1} = B_{th2} + (assum_rate \times \Delta d) \quad (4)$$

其中 $assum_rate$ 是假定的电池电量消耗率。 $assum_rate$ 的具体定义如下:

$$assum_rate = \frac{E_r(t - \Delta t) - E_r(t)}{\Delta t} \quad (5)$$

其中 $E_r(t)$ 表示在节点 r 在时间 t 时刻的电池电量。

2.3 备份路由建立

当上游节点检测到下游节点的射频信号强度太弱或者收到下游节点发过来的电池电量过低的通知包时,上游节点就会给其下游的邻居节点发送备份路由建立请求(BA-RREQ)。每个接收到 RREQ 包的节点再进行广播,以此类推,直到目的节点或者某个缓存区里存有到目的节点路由的中间节点接收到 RREQ 为止。这个节点再以同样的方式沿着反向路由发送路由应答包(RREP)应答路由请求包,直到源节点收到 RREP。这样从源节点到目的节点的备份路由就建立起来了。图 3 说明了在节点 2 电池电量太低的情况下备份路由的发现过程。当节点 2 的电池电量达到设定的第一阈值时,将给节点 1 发送一个电池电量太低的通知包,告诉节点 1 链路有断裂的可能,然后节点 1 广播一个请求报文 BA-RREQ 给包括节点 3 在内的所有邻居节点,我们假设节点 3 到节点 4 有一条符合条件的路由,那么节点 3 就会给节点 1 发送一个 BA-RREP 反馈包给节点 1。最终节点 1 把节点 3 作为备份路由的下一跳。当节点 2 的电池电量达到设定的第二个阈值时,为了防止链路的断裂,节点 2 将会发送第二个通知包给节点 1,节点 1 就会立刻把要发送的数据包切换到备份链路上进行发送。

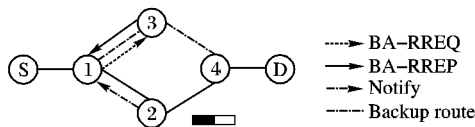


图3 如何建立备份路由

AODV-BR 路由协议的好处在于当某个节点检测到有链路中断危险时,一条备份路由就立刻被建立,这样当链路中断发生时,数据包就可以立刻转到备份路由上进行发送,而不是上游节点暂存发送的数据包,因此和 AODV 路由协议相比,

AODV-BR 算法大大减低了数据包的丢失,减少了链路再次建立的时间延迟。

3 AODV-BR 路由协议的性能仿真与分析

为了对 AODV-BR 路由协议的性能进行分析,我们采用了当前比较流行的网络仿真软件 NS-2^[9] 分别对 AODV、AODV-BA、AODV-BR 这三种路由协议进行了分析,通过仿真分别得到了它们的路由协议开销、网络吞吐量、分组丢失率、端到端延迟,用来衡量路由协议的性能。

3.1 仿真环境

取 100 个节点随机分布在 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的平坦区域内,节点采用 Random Waypoint^[8] 的运动模型,即每个节点在该区域内从一点向另一点运动,运动速度在 $[0, V_{\max}]$ 内均匀分布,到达目标点后停留一个 Pause time 时间,在仿真过程中节点的 Pause time 是变化的,Pause time 的值越大说明节点的运动速度越慢,反之说明节点移动得越快,然后再选择一个新的目标点,同时从 $[0, V_{\max}]$ 重新选择一个新的速度,并向新的目标点运动,依此类推,直至仿真结束。仿真中我们选取的 V_{\max} 为 20 m/s 。

链路层采用基于 802.11 标准^[11] 的 MAC 协议,该 MAC 协议采用 CSMA/CA 多地址接入方式,传输层采用了 TCP 协议^[10]。无线电传播模式采用 Two-Ray ground Reflection Model。具体的仿真参数参见表 1。另外因为本文是依靠阈值来寻找路径备份的时机,因此,在仿真中另外选取了 $(Pr_{th1} = 9.0\text{E} - 10\text{ W}, Pr_{th2} = 3.0\text{E} - 10\text{ W}, B_{th1} = 60\text{ J}, B_{th2} = 10\text{ J})$, $(Pr_{th1} = 4.0\text{E} - 10\text{ W}, Pr_{th2} = 3.0\text{E} - 10\text{ W}, B_{th1} = 3.1\text{ J}, B_{th2} = 30\text{ J})$ 这两组不同的阈值,在仿真中分别用 $\text{TH} = \text{H}$, $\text{TH} = \text{L}$ 来表示这两组不同的阈值。

表 1 AODV-BR 协议仿真参数值

参数名称	参数值
节点数量	100
环境尺寸/ m^2	500×500
节点最大移动速率/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	20
业务类型	CBR
业务流数量	20
无线电信号第一个阈值/ W	$7.0\text{E} - 10$
无线电信号第二个阈值/ W	$3.0\text{E} - 10$
电池电量第一个阈值/ J	30
电池电量第二个阈值/ J	10
仿真时间/ s	240

3.2 仿真结果与分析

从图 4 可以看出,随着节点在运动区域中某一位置上停留时间(Pause time)的逐渐减小(节点移动性加强),AODV-BR 比 AODV 及 AODV-BA 的分组投递率明显提高,当阈值选取越大时投递率更有所提高,这是由于在当前传输链路中断发生时 AODV-BR 能够快速地将数据分组在切换到备份路由上进行传输,所以正如图 5 所示它很好地减少了链路断裂的数量。AODV-BR 也减少了丢包的数量,如图 6 所示,和 AODV 相比 AODV-BR 大约减少了 18% 左右,比 AODV-BA 减少了大约 15%,阈值选取越大能更好地降低丢包数链路的中断数,但路由协议的开销将会有一些增加,这从图 7 中可以看出。

图 7 是这三种协议在网络节点移动性可变的情况下的路由开销情况,当节点的移动较慢时三者的路由开销没有明显

的区别,随着节点移动性的增强,AODV 路由协议开销略低于 AODV-BR 路由协议。这主要是由于在 AODV-BR 中防止链路中断的第一个阈值达到时,相关节点会发送 BA-RREQ 和 BA-RREP 协议控制包,所以 AODV-BR 和 AODV 及 AODV-BA 相比网络协议的开销有略微增加。

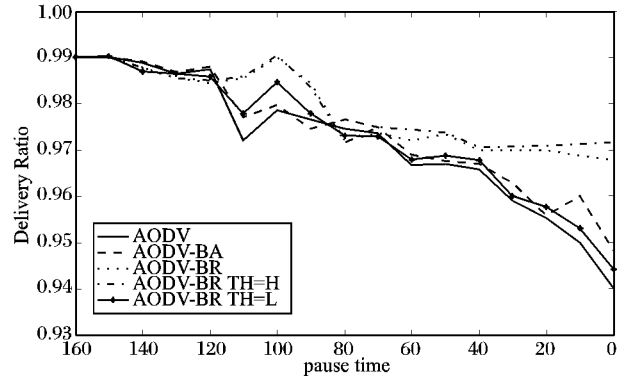


图 4 分组成功投递率

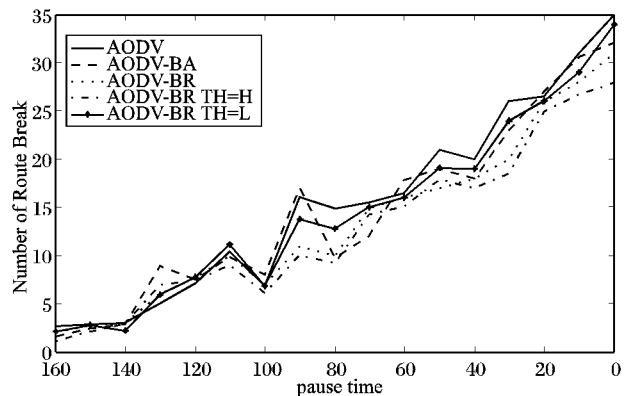


图 5 链路中断数

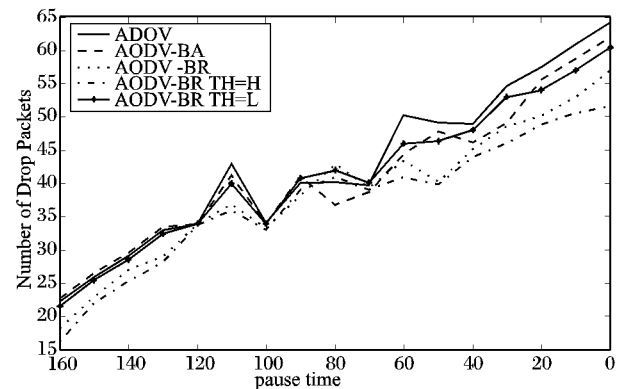


图 6 丢包数

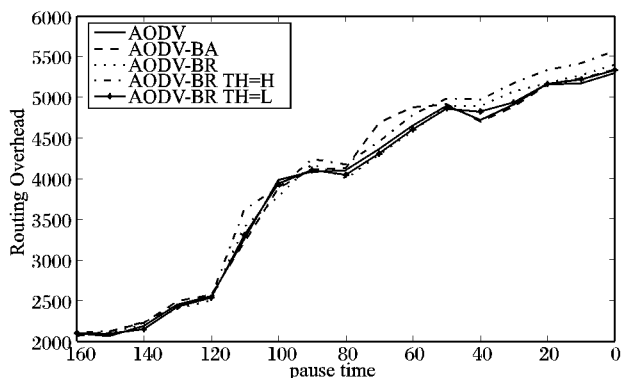


图 7 路由协议开销

图 8 反映出网络节点移动性可变的条件下,AODV-BR 路由协议的分组传输时延和 AODV 及 AODV-BA 路由协

议的分组传输时延很相近,这是由于当节点的第一个阈值到达时我们正确地给节点设定了足够的建立起一条备份路由所需的时间;但从图8中同样看到,如果第一个阈值选取得太低,会增加网络的延迟,这是因为网络中节点在第二个阈值到达之前没有足够的时间来建立一条备份的路由。

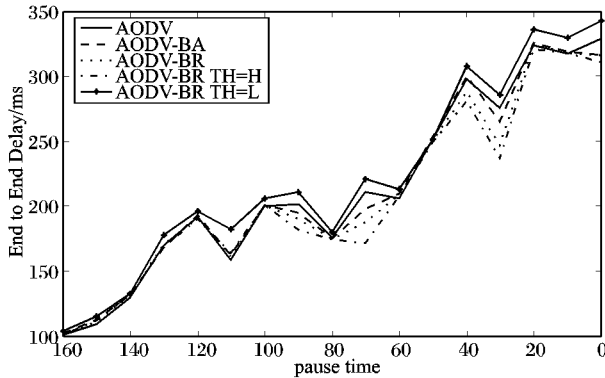


图8 端到端的延迟

4 结语

由于 Ad Hoc 网络是由不同的移动节点组成,所以网络中的拓扑结构是不确定的。当网络中某节点自身的电池电量耗尽或者收到来自其邻居节点的射频信号太低,则与此节点相关的连接就会断开,所以由网络拓扑结构引发的连接问题是 Ad Hoc 网络中要解决的关键问题。

在本文中我们提出了一种有效的适用于 Ad Hoc 网络中的路由协议 AODV-BR。在 AODV-BR 路由协议中为节点的电池电量和接收到的射频信号的强度分别设置了两个不同水平的阈值。当节点的第一个阈值被检测到时,就表明节点所在的链路有中断的危险,AODV-BR 就会为此条链路准备一条备份的路由,当节点的第二个阈值达到时,分组的传输就会被立刻切换到备份路由上。

通过仿真可以看到,AODV-BR 和 AODV 及 AODV-BA 相比,在增加了很小的路由开销的前提下有效地减少了网络中链路中断的数量,提高了数据包的投递率。

参考文献:

- [1] ROYER E M, TOH C - K. A review of current routing protocols for Ad Hoc mobile wireless networks [J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(2): 46 - 55.
- [2] PERKINS C, BHAGWAT P. Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1994, 24(4): 234 - 244.
- [3] MRUTHY S, LUNES G, ACEVES J. An efficient routing protocol for wireless networks [J]. ACM Balzer Mobile Networks and Applications Journal, Special Issue on Routing Communications Networks, 1996, 1(2): 183 - 197.
- [4] PERKINS C, BELDING E, ROYER B, et al. RFC3651, Ad Hoc on demand distance vector (AODV) routing [S]. IETF, 2003.
- [5] JOHNSON D B, MALTZ D A, HU Y C. RFC 4728, The dynamic source routing protocol for mobile Ad Hoc networks (DSR) [S]. IETF, 2003.
- [6] PARK V, CORSON M. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks [C]// IEEE INFOCOM'97. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1997: 1405 - 1413.
- [7] TAUCHI M, IDEGUCHI T, MURUTA Y. Ad Hoc routing protocol avoiding route break based on AODV [C]// Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 322 - 329.
- [8] BROCK J, MALTZ D A, JOHNSON D, et al. A performance comparison of multi - hop wireless Ad Hoc network routing protocols [C]// MOBICOM'98: Proceedings of the 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 1998: 85 - 97.
- [9] RAPPAPORT T S. Wireless communications, principles and practice [M]. [S. l.]: Prentice Hall, 1996.
- [10] 柯志亨, 成荣祥, 邓德隽. NS2 仿真实验 - 多媒体和无线网络通信 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [11] AUGER A C, ASPAS J P. Performance optimization evaluation of TCP/IP over wireless networks [C]// Proceedings of IEEE IPCCC'98. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1998: 395 - 401.
- [12] IEEE 802.11 Working Group. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications [S]. IEEE, 1999.
- [5] STOICA I, MORRIS R, LIBEN - NOWELL D, et al. Chord: A scalable peer-to-peer lookup protocol for Internet applications [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(1): 17 - 32.
- [6] LIANG J, NAHRSTEDT K. DagStream: Locality aware and failure resilient peer-to-peer streaming [EB/OL]. [2009 - 06 - 15]. <http://cairo.cs.uiuc.edu/~jinliang/pub/mmcn06-jinliang.pdf>.
- [7] TRAN D A, HUA K A, DO T. ZIGZAG: An efficient peer-to-peer scheme for media streaming [C]// INFOCOM 2003: Proceedings of the 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2003: 1283 - 1292.
- [8] LIAO X, JIN H, LIU Y, et al. AnySee: Peer-to-peer live streaming [C]// INFOCOM 2006: Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 1 - 10.
- [9] REJAIE R, STAFFORD S. A framework for architecting peer-to-peer receiver-driven overlays [C]// Proceedings of the 14th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video. New York: ACM, 2004: 42 - 47.
- [10] MAGHAREI N, REJAIE R. PRIME: Peer-to-peer receiver-driven meshbased streaming [C]// INFOCOM 2007: Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Computer Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 1415 - 1423.
- [11] ZHANGXIN-YAN, LIUJIANGCHUAN, LIBO, et al. CoolStreaming/DONet: A data-driven overlay network for peer-to-peer live media streaming [C]// INFOCOM 2005: Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 2102 - 2111.
- [12] 庄雷, 董西广, 常玉存. 非结构化 P2P 网络中基于连接度的分段搜索策略 [J]. 计算机应用, 2008, 28(3): 549 - 552.
- [13] ZEGURA E W, CALVERT K L, BHATTACHARJEE S. How to model an internetwork [C]// INFOCOM'96: Proceedings of the 15th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1996: 594 - 602.
- [14] GUO Y, SUH K, KUROOE J, et al. P2Cast: Peer-to-peer patching scheme for VoD service [C]// Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web. New York: ACM Press, 2003: 56 - 59.

(上接第329页)