

一种适合于无线网络的竞争广播算法

周伯生^{1,2}, 吴介一¹, 费翔³

(1. 东南大学 CIMS 中心, 江苏南京 210096; 2. 国家电力公司苏州热工研究所, 江苏苏州 215004;

3. School of EE Queen's University of Belfast, U. K. BT9 5AH)

摘要: 广播是无线网络中基本且重要的操作。竞争广播算法是一种基于竞争机制的广播协议算法, 适合于移动自组网络。分析和仿真结果表明, 与泛洪方案相比, 竞争广播算法去除了大量冗余转播, 改善了网络的广播性能, 提高了网络的吞吐量。另外, 竞争广播算法思想还能应用于其他网络协议, 如应用于路由协议的路由发现过程, 提高路由算法的性能等。

关键词: 广播; 通信; 移动自组网; MANET; 无线网络

中图分类号: TP393.17 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 02-0280-04

A Competitive Broadcasting Algorithm for Wireless Networks

ZHOU Bo-sheng^{1,2}, WU Jie-yi¹, FEI Xiang³

(1. Research Center of CIMS, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China;

2. Suzhou Thermal Engineering Institute of State Power Corporation of China, Suzhou, Jiangsu 215004, China;

3. School of EE, Queen's University of Belfast, U. K. BT9 5AH)

Abstract: Broadcasting is an original and important operation for wireless networks. The Competitive Broadcasting Algorithm is a competition-based broadcasting algorithm for mobile *ad hoc* networks. Analyses and simulations show that Competitive Broadcasting Algorithm can save a large number of redundant rebroadcasts compared with Flooding Scheme, an intuitive broadcasting method. And it also improves the network broadcasting performance; increases the network throughput. In addition, the idea of Competitive Broadcasting Algorithm can also be used in other applications, such as routing discovery schemes, to enhance the performance.

Key words: broadcast; communication; MANET; wireless networks

1 引言

移动自组网是一种新型的计算机网络, 它无需基站和固定骨干网的支持, 主机可以自由移动并且主机间可以直接通信, 每个主机同时还承担路由器的角色。移动自组网可用于救援、会议(分发文档、幻灯片、软件和交换名片等) 战场、探险、远距离或危险环境中的目标监控等等。目前, 移动自组网的主要研究领域包括广播技术^[1], 路由技术^[2,3], 组播技术和 QoS 路由技术^[4], 安全技术和互联技术等。

广播是无线网络中基本且重要的操作, 可用于传递网络控制信息、呼叫特定主机、发送报警信号等。在主机高度动态的情况下, 广播操作会更加频繁。泛洪是最直观和常用的一种广播算法, 在这种算法中, 任一主机对于相同的广播消息都精确转播一次。但研究表明无控制的泛洪会产生大量冗余转播, 加重网络的通信负担, 消耗大量宝贵的网络资源^[1]。针对这一问题, 一些新的广播算法被陆续提了出来^[1,5~9]。本文提出了一种基于竞争机制的广播算法, 通过节点间的相互竞争, 部分节点被取消转播权, 从而减少冗余转播。

本文假定所有主机共享同一无线信道, MAC 协议采用 IEEE802.11。文中的节点和主机均指自组网中的移动主机, 网络中可以相互直接通信的主机互称邻居。

2 文献回顾

减少冗余转播消息是改善自组网广播算法性能的基本出发点, Lauer^[5]及 Pagani 和 Rossi^[6]提出了一种分群算法, 在其算法中, 广播消息由各个群的群首和网关节点转播, 其他节点则不参与转播, 从而去除大量冗余转播。Gerla 和 Tsai^[7]提出了另一种改进的分群算法, 他们把具有最多邻居的节点作为群首, 这样可望去除更多的冗余转播。Wu 和 Li^[8]提出了内部节点概念 (concept of internal nodes), Stojmenovic, Seddigh 和 Zunic^[9]进一步提出了基于内部节点的可靠广播算法, 并结合下述方案进行了优化: 邻节点排除方案、高维邻节点优先选作内部节点方案和重传方案。

Ni, Tseng, Chen 和 Shen^[1]研究了 MANET 中的广播风暴问题。他们的研究指出直接使用泛洪进行广播通常会消耗大量网络资源, 并且会导致严重的冗余、竞争和碰撞。作者^[1]提出了 5 种方案用以克服泛洪产生的问题: 概率方案、计数方案、位置方案、距离方案和基于群的方案。根据作者的研究, 在 5 种方案中, 位置方案由于利用了卫星定位系统 (GPS) 提供的位置信息, 其性能最好。

以上算法中, 多数依赖于分群或者基于邻居信息, 通常这要求节点间交换“Hello”消息或其他控制消息, 这会增加一定

收稿日期: 2001-08-31; 修回日期: 2002-09-22

基金项目: 国家 973 项目“信息技术的应用理论和高性能软件”的子项目“高性能网络协议算法及其协议软件研究”(No. G1998030405); 江苏省自然科学基金项目“高速多媒体网络基于知识的资源调度研究”(No. BK99013)

的通信负荷,而且在网络高度动态情况下,维护分群结构本身就是一件困难的事情.本文提出的基于竞争机制的广播算法不需要增加额外的通信负荷,因而具有更好的动态适应性,且能使某些满足特定条件的主机优先转播广播消息.

3 基于竞争机制的广播算法

3.1 竞争广播算法

本文提出的基于竞争机制的无线网络广播算法(简称竞争广播算法)是一种分布式算法,不需要网络的全局信息,其思想可以一般地描述为,当某主机接收到一个新的广播消息 msg 后随即进入竞争广播程序:该主机首先根据其当前状态和有关信息计算一个优先权指数 PI ,然后根据 PI 计算竞争时间长度 CT ;接着,该主机等待 CT 结束以决定是否转播 msg .在等待期间,该主机继续监听信道,如果在此期间又听到一个相同的 msg ,该主机“认为”其他比我具有更高优先权的邻居已经赢得了该次竞争并转播了该 msg ,本主机在竞争中失败,退出竞争程序.否则,如果在等待结束时尚未听到相同的 msg ,则认为本主机赢得了该次竞争,随即转播该 msg ,并退出竞争程序.

由此可见,应用竞争广播算法有两个关键点:(1)根据不同的应用目的(如,分发数据,广播控制信息,或广播路由请求消息)定义一个合适的优先权指数;(2)定义一个合适的计算竞争时间的函数 $f(PI)$.

本文探讨如何将数据或控制信息快速地广播到整个网络,因此按如下方法定义优先权指数 PI :

$$PI = EAC / (EAC)_{\max} \quad (1)$$

其中,优先权指数 $PI \in [0, 1]$. EAC (Expected Additional Coverage) 是当接收主机转播 msg 后可增加的额外覆盖面积.它可按下式计算:

$$EAC = r^2 - INT_{T,R} \quad (2)$$

其中 r 是接收主机的发射半径, $INT_{T,R}$ 是发射主机和接收主机覆盖面积相交部分,当发射主机和接收主机的发射半径及它们间的距离已知时,可以计算出 $INT_{T,R}$. $(EAC)_{\max}$ 是该主机 EAC 的最大值.公式(1)表明,转播所能增加的额外覆盖面积越大,则转播优先权越高.

图1给出了一个例子.图中,主机 S 广播了一个消息 msg ,主机 A 、 B 和 C 接收到该 msg 并竞争转播该 msg .对于主机 B ,由于其发射区域被主机 S 的发射区域所覆盖,故 $EAC_B = 0$,从而 $PI_B = 0$.而主机 A 和 C 的发射区域没有被主机 S 完全覆盖,从图中可以看出 $PI_C > PI_A > 0$,因此,主机 B 不会转播该 msg ,而主机 C 将首先赢得该次竞争并转播 msg ,而 A 由于听不到 C 的转播,在其 CT 结束时也将转播该 msg .

在上述方案中,如果各主机的发射半径不同,则计算 EAC 时比较复杂.事实上,只需要 PI 的相对大小就可以了,因此可对上述 PI 计算方案进行以下简化:

$$PI = \max\left(0, \left(\frac{r_R - (r_T - d_{T,R})}{r_R}\right)\right) \quad (3)$$

其中 r_R 和 r_T 分别是发射主机和接收主机的发射半径, $d_{T,R}$ 为它们间的距离. $PI \in [0, 1]$.应该指出的是 $d_{T,R}$ 总不大于 r_T ,不然,接收主机将位于发射主机的发射半径之外,从而无法接收

到发射主机的信号.当 $r_T = d_{T,R}$ 时, $PI = 1$,当接收主机的发射区域位于发射主机的发射半径范围内时, $PI = 0$.

如果配置了全球定位系统(GPS),则 $d_{T,R}$ 可以从发射主机和接收主机的坐标计算出来,如果已知主机的发射半径,由公式(3)可以计算出 PI .

在不能得到位置信息的情况下,依然可以根据发射主机的信号发射强度以及接收主机接收到的信号强度来计算 PI .在不考虑反射和多径的情况下,无线信号的传播可以采用自由空间传播模式,

$$P_R = P_T G_T G_R / (4\pi d)^2 \quad (4)$$

其中 P_R 和 P_T 分别是接收功率和发射功率, G_T 和 G_R 分别是发射天线和接收天线增益, λ 是波长, d 是发射主机和接收主机间的距离,当这些参数已知时,可由式(4)计算出 d .当 P_R 取接收功率阈值时,计算出的 d 即为主机的发射半径.因此联合式(3)和(4)可以计算出 PI .

特别地,当所有主机的无线发射机相同时, PI 简化为,

$$PI = \sqrt{P_0 / P_R} \quad (5)$$

其中 P_R 和 P_0 为信号接收功率和接收功率阈值.由于 P_0 是事先知道的而 P_R 是可以测量到的,因此式(5)很容易使用.

接下来可以定义竞争时间函数 $f(PI)$. $f(PI)$ 定义为:

$$CT = f(PI) = c \cdot \tanh((1 - PI / PI_{\max}) / u_0) \quad (6)$$

其中 CT 是竞争时间,这是主机在转播消息前需要等待的时间长度, c 是设定的最长等待时间, $\tanh()$ 是双曲正切函数, PI_{\max} 是 PI 的最大值, u_0 是一个常数,大部分情况下可以取 0.3.该函数的优点是,当 PI 接近 PI_{\max} 时, CT 加速下降,这样,通过拉开具有较大 PI 的主机(这些主机具有较高的转播概率)间的竞争时间长度,降低信号碰撞概率.

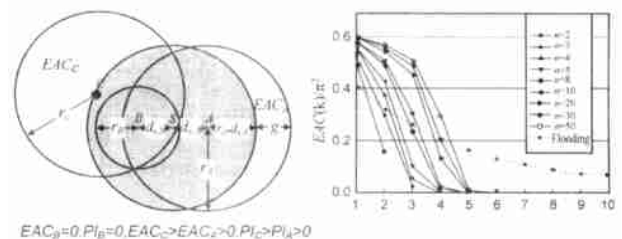


图1 竞争广播实例

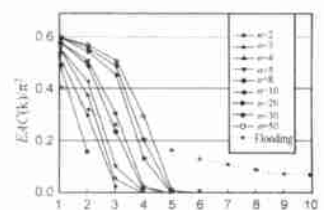


图2 效率分析:第 k 次转播的归一化 EAC

3.2 性能分析

为了分析竞争广播算法的性能,首先通过模拟来估算当一个具有 n 个邻居的源主机发送一广播消息 msg 后,其邻居每转播一次所得到的 EAC .不失一般性,假定所有主机的发射半径都为 r .图2给出了当邻居数为 2 到 50 时第 k 次转播所新增的归一化覆盖面积 (EAC / r^2) 的情况,图中虚线表示的是泛洪方案的结果.可见,对于竞争广播算法,邻居数越多,第 k 次转播所能增加的平均覆盖面积越大,但转播次数不超过 6 次(所有主机发射半径都相同的情况下).而在泛洪的情况下,第 k 次转播时所增加的平均覆盖面积并不随邻居数而变化(因为所有邻居都会转播 msg ,且转播次序是等概率的).Ni 等人^[1]的研究结果指出,在所有主机的发射半径都相等为 r 的

情况下,第一次转播所能增加的最大覆盖面积为 $0.61 r^2$, 平均值为 $0.41 r^2$. 从图 2 看到,在竞争广播算法中,第 1 次转播所增加的覆盖面积平均值均不小于泛洪的 $0.41 r^2$, 当邻居数增加时,第 1 次转播所增加的覆盖面积趋近 $0.61 r^2$, 可见竞争广播算法具有较高的转播效率,且主机密度越高,广播效率越高. 其次,我们分析在不同的邻居数目下,竞争广播算法的转播节省率 SRB (见 4.1 节)及 EAC . 表 1 给出了模拟结果. 可以看到竞争广播算法与泛洪算法的 EAC 之比相当稳定,一般能达到泛洪的 78% 左右;竞争广播算法所能节省的转播次数 SRB 非常显著.

经过以上的分析可知,在响应单个主机的广播消息时竞争广播算法是可行的且具有较高的效率.

表 1 不同数目邻居下的 $EAC/EAC(\text{flooding})$ 和 SRB

邻居数	1	2	3	5	10	30	50
$EAC/EAC(\text{flooding})$	1.00	0.87	0.85	0.80	0.78	0.78	0.78
$SRB(\%)$	0	29	39	56	72	88	92

4 仿真

4.1 仿真环境

表 2 给出了仿真规模,网络主机数从 50 台到 10000 台.

评价参数为^[1]:端-端平均延迟,从广播源节点到其它各节点延迟的平均值;转播节省率 SRB (Saved ReBroadcasts) - $(nr - nt) / nr$, 其中 nr 是接收到广播消息的主机数, nt 是实际发送广播消息的主机数;可达率 RE (REachability) - 接收到消息的主机数除以网络中的主机总数.

表 2 模拟参数(模拟区域为正方形)

主机数(台)	50	100	200	500	1000	5000	10000
区域边长(m)	850	1250	1800	2950	4200	9500	13200

在 GoMoSim^[10]中实现了竞争广播算法, GoMoSim 是为无线网络设计的仿真环境. 仿真中,介质访问控制协议采用 IEEE802.11(DCF),无线信号采用自由空间传播模式,在该模式中接收信号强度与距离的平方成反比. 每个主机的无线发射距离均为 250m,信道容量为 2Mb/s,无线链路是双向的. 分组中的数据载荷为 512 字节. 主机的运动模型为 random waypoint. 在该运动模型中,主机随机选取一个目的地,然后以速度 v 向目的地运动,当到达目的地后,暂停一段时间 t ,然后再随机选取另一目的地,重复上述过程. 模拟中,暂停时间 $t = 0$,即主机到达一个目的地后立即向另一目的地运动,主机运动速度 v 是在预先指定的最小值 v_{\min} 和最大值 v_{\max} 间随机选取的,模拟中我们取 v_{\min} 为 0m/s , v_{\max} 分别为 0m/s (静态网络)、 20m/s (中等偏高动态网络) 和 50m/s (高度动态网络). 对于每一个实例,当网络主机数介于 50 到 1000 之间时,每个主机依次发送广播消息,主机数为 5000 时,随机选取 50% 的主机依次发送广播消息,主机数为 10000 时,随机选取 10% 的主机依次发送广播消息,每个实例重复运行若干次,取平均值.

在竞争广播算法中, PI 按式(5)计算,故 $PI_{\max} = 1$. CT 按(6)计算, $D_{\max} = 30\text{ms}$, $u_0 = 0.3$.

为了比较,还同时实现了泛洪方案. 在泛洪方案中为了减少碰撞,当一个主机收到新的 msg 后,随机等待一个延迟

D_{RLD} , 然后才转发 msg . $D_{RLD} = 10\text{ms} * \text{rand}()$. 其中, $\text{rand}()$ 是 $[0, 1]$ 间的随机函数.

4.2 仿真结果

图 3 比较了竞争广播算法和泛洪算法的性能. 从图 3(a) 中可以看到,在所有情况下竞争广播算法和泛洪算法都具有较高的可达率 RE (均大于 95%), 当网络动态性增加时,两种算法的 RE 都只是略有下降,即都具有较好的动态适应性和可伸缩性,不过这是在网络负荷较轻的情况下. 图中还显示竞争广播算法的转播节省率 SRB 都在 60% 以上,大部分在 65% 到 74% 之间,可见竞争广播算法具有较高的效率,且有趣的是当网络动态性增加时,在大部分情况下, SRB 不仅没有减小,反而有所增加. 图 3(b) 给出了两种算法的平均延迟,从图中可以看出三个特点: (a) 两种算法的平均延迟随网络规模的增大而增大,这和我们的预期是一致的; (b) 两种算法的平均延迟随着网络动态性的增加反而都略有下降,这说明网络的动态性没有影响广播的延迟性能. 这是因为主机的移动并不会影响其转发广播消息,相反,当主机从接收到广播消息到转播该消息,可能已经从一个位置移动到了另一个新的位置,从而可能比在原位置转播消息覆盖更多新的区域,这实际上是加快了消息的传播速度,因此略微改善了广播延迟性能; (c) 竞争广播算法的平均延迟比泛洪算法的小,这似乎与我们的直观预期不一致,因为竞争广播算法中的 $D_{\max} = 30\text{ms}$, 而泛洪算法中转播的最大随机延迟仅 10ms . 但是仔细分析之后会发现仿真结果是合理的,因为泛洪算法中转播 msg 的顺序是随机的,而在竞争广播算法中转播 msg 的顺序是按距发送主机的距离由远而近的顺序进行的,离发送主机最远的邻居将第一个转播,并且转播延迟非常小. 因此竞争广播算法可以使 msg 在网络中传播得更快,故而其平均延迟较小.

图 4 给出了在不同的主机密度和网络动态性下竞争广播算法和泛洪算法的性能比较. 主机总数为 1000 台. 当网络动态性增加时,如果主机的密度较高(图中区域小于 20×20 时,平均邻居数在 7 台左右),则主机的运动对算法的性能并没有明显的影响,但当主机的密度较小时,动态性使两种算法的性能均有所下降,这可能是由于“孤岛效应”(一些主机由于远离了网络中的其他主机而无法与网络进行通信)的影响,这种性能下降是任何算法都无法避免的. 分析图中的平均延迟可发现,网络的动态性使平均延迟略有下降,另外,随着网络区域的增大,在网络正常运行范围内,竞争广播算法的平均延迟比泛洪算法的小,这些与前面的结果一致. 两种算法的平均延迟都随着网络区域的增大而增大,因为平均跳距(hop)增加了,这和我们的预期一致.

当给网络施加不同的广播负荷时,竞争广播算法和泛洪方案表现出较大的性能差异,图 5 给出了比较结果,图中主机运动速度 v_{\max} 分别为 0m/s 和 20m/s . 可以看出,当网络负荷较轻时,两者的可达率 RE 相差不大,都接近 1,但竞争广播算法具有 60% 以上的 SRB , 也即竞争广播算法只需要不到泛洪算法 40% 的转播次数即能达到与泛洪相近的 RE ; 当网络负荷逐渐增加时,则竞争广播算法的各项性能均明显优于泛洪算法. 对于端-端延迟性能,竞争广播算法总优于泛洪方案.

可见,与泛洪方案相比,竞争广播算法不仅去除了大量冗余转播,还改善了广播性能(包括可达率、端-端平均延迟和网络吞吐量)。

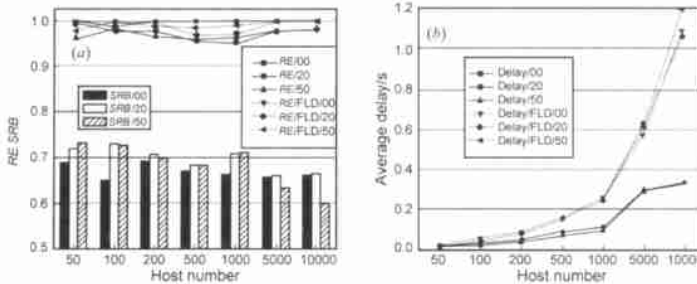


图3 竞争广播算法和泛洪方案性能的比较。(a) RE和SRB随主机数的变化;(b)平均延迟随主机数的变化

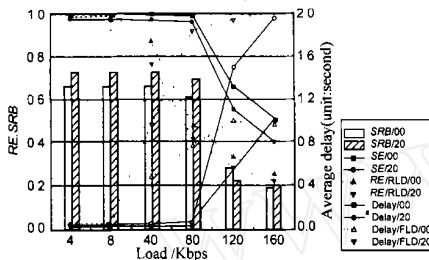


图5 竞争广播算法和泛洪方案在不同负荷情况下的性能

5 总结

本文提出了一种适合于无线网络的广播协议算法 - 竞争广播算法. 分析和仿真试验说明竞争广播算法可以在保持较高的可达率的基础上,去除大量的冗余转播,从而有效降低网络负荷,提高网络资源利用率;竞争广播算法还能改善网络的广播延迟性能,且大多数情况下,网络动态性的加强并不会降低转播节省率. 竞争广播算法优于其他算法之处不仅在于可以去除大量的冗余转播,而且还能通过定义不同的优先权指数 PI,有选择地使某些主机优先取得转播权,竞争广播算法的这个特点使它在路由选择算法中特别有用^[11]. 我们已成功地将该算法的思想应用于 MANET 的随选 (On-demand) 路由协议算法中. 以后的工作可以进一步研究竞争广播算法在 MANET 协议中的应用,例如可靠广播、组播和 QoS 路由协议.

参考文献:

[1] Ni S, Tseng Y, Chen Y, Sheu J. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network [A]. Proc. ACM/ IEEE MobiCom [C]. USA: IEEE, 1999. 151 - 162.

[2] 张禄林, 李承恕. MANET 路由选择协议的比较分析研究 [J]. 电子学报, 2000, 28(11): 88 - 92.

[3] 周伯生, 吴介一, 张飒兵. MANET 路由协议研究进展 [J]. 计算机研究与发展, 2002, 10: 1 - 12.

[4] 姚尹雄, 王豪行. MAQF: 一种新的移动 Ad-Hoc 网络自适应 QoS 结构框架 [J]. 电子学报, 2002, 30(5): 727 - 730.

[5] Lauer G. Address servers in hierarchical networks [A]. IEEE International Conference on Communications (ICC) [C]. Atlanta, GA, USA: IEEE, 1988. 443 - 451.

[6] Pagani E, Rossi G.P. Providing reliable and fault tolerant broadcast delivery in mobile ad-hoc networks [J]. Mobile Networks and Appli-

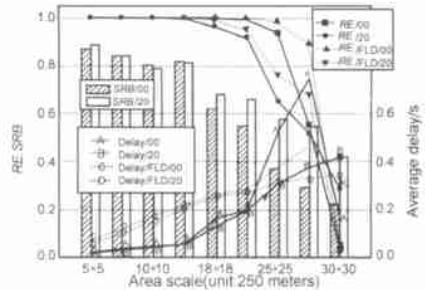


图4 在不同主机密度情况下,竞争广播算法和泛洪方案性能的比较

cations, 1999, 5(4): 175 - 192.

[7] Gerla M, Tsai J T C. Multiuser, mobile, multimedia radio network [J]. Wireless networks, 1995, 1: 255 - 265.

[8] Wu J, Li H. On calculating connected dominating set for efficient routing in Ad Hoc wireless networks [A]. Proc. DIAL M [C]. Seattle, WA USA: DIALM, 1999. 7 - 14.

[9] Stojmenovic I, Seddigh M, Zunic J. Internal node based broadcasting algorithms in wireless networks [A]. Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences [C]. Maui, Hawaii, 2001.

[10] GoMoSim: A scalable simulation environment for wireless and wired network systems [EB/OL]. <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/gloriosim.html>, 2001.

[11] Zhou Bosheng, Wu Jieyi, Fei Xiang, Zhao Jian. A priority-based competitive broadcasting algorithm in multi-hop wireless networks [A]. The 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics [C]. Orlando, Florida, USA: WMSCI, 2002. 571 - 577.

作者简介:



周伯生 男, 1965 年生于江苏苏州, 高级工程师, 1982 - 1989 年间就读于南京大学大气科学系, 获得理学学士和硕士学位, 工作于国家电力公司苏州热工研究所, 目前在东南大学 CIMS 研究中心攻读博士学位, 研究兴趣: 高性能计算机网络, 移动计算, 移动无线网络. Email: zhou-bosheng@hotmail.com.



吴介一 男, 1941 生于上海, 教授, 博士生导师, 研究兴趣: 先进制造系统, 高性能计算机网络, 移动计算. Email: yjw@seu.edu.cn.



费翔 男, 1970 年生于江苏南京, 博士, 1992 和 1995 年在东南大学自控系获得学士和硕士学位, 1999 年在东南大学计算机科学与工程系获得博士学位, 目前在英国 School of EE, Queen's University of Belfast 做博士后研究工作, 研究兴趣: 无线网络, 协议工程和多媒体通信. Email: x.fe@ee.qub.ac.uk)