

一种新的三维 FANETs 跨层自适应广播协议

王庆文^{*①②} 戚茜^③ 程伟^③ 李冬^③ 王莉^② 李雪松^②

^①(航空电子系统综合技术重点实验室 上海 200233)

^②(火箭军工程大学 西安 710025)

^③(西北工业大学 西安 710072)

摘要: 针对盲目广播带来的广播风暴问题, 该文提出一种新的3维FANETs自适应广播协议NABP。NABP应用跨层设计的方法, 在维持原有协议层间结构分离的基础上, 允许路由层共享MAC层的接收信号强度信息, 并根据转发分组时增加通信范围计算出转发概率, 倾向于让增加通信范围大的节点以高概率转发分组, 从而减少了分组在网络中的重复传输, 降低了节点间的竞争和碰撞, 提高广播效率。NS-2仿真结果表明: 与flooding + 802.11和fp-flooding+802.11协议相比, NABP提高了转播节省率、减少了平均端到端延迟和平均丢包率。

关键词: 广播风暴; 3维FANETs; 广播协议; 跨层设计; 转发概率; 转播节省率

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2017)05-1200-06

DOI: 10.11999/JEIT160687

A Novel Adaptive Cross-layer Broadcasting Protocol NABP for Three-dimensional Flying Ad Hoc Networks

WANG Qingwen^{①②} QI Qian^③ CHENG Wei^③ LI Dong^③ WANG Li^② LI Xuesong^②

^①(Science and Technology on Avionics Integration Laboratory, Shanghai 200233, China)

^②(Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

^③(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: To alleviate the broadcast storm problem caused by blind flooding, a Novel Adaptive Broadcasting Protocol (NABP) for three-dimensional Flying Ad hoc NETWORKS (FANETs) is proposed. NABP adopts the cross-layer design, which lets routing layer share the received signal power information at MAC layer while still maintaining separation between the two layers. The additional transmission range that can benefit from rebroadcast is calculated according to the received signal power, which is applied to dynamically adjust the rebroadcast probability. NABP reduces the redundant retransmission and the chance of the contention and collision among neighboring nodes in the networks. The simulation results demonstrate preliminarily that NABP improves the saved rebroadcast and reduces the average end-to-end delay and the average number of packet loss per node at the expense of a little throughput, which all compare NABP with flooding+802.11 and fp-flooding+802.11.

Key words: Broadcasting storm; Three-dimensional Flying Ad hoc NETWORKS (FANETs); Broadcasting protocol; Cross-layer design; Rebroadcast probability; Saved rebroadcast

1 引言

近年来, 随着处理器技术、传感器技术、通信技术和网络技术的发展, 单架UAV(Unmanned Aerial Vehicle)的能力显著提升, 为UAV系统通过

协同完成复杂的任务提供了基础。相比单架大型UAV, 多UAV系统具有成本低、可扩展性好、生存能力强、多视点侦察、雷达截面小、可靠性高和抗毁性强等诸多优点^[1-4], 在民用和军用领域具有广阔的应用前景, 受到了世界各国的广泛关注。美国洛马公司、美国陆军、麻省理工学院、土耳其空军学院和我国西北工业大学、中航工业集团等单位, 相继开展了多UAV系统的演示验证项目, 然而在实际环境中运用多UAV系统面临诸多亟待解决和完善的难点问题, 尤其对于大规模小型的多UAV系

收稿日期: 2016-06-29; 改回日期: 2017-01-03; 网络出版: 2017-02-24

*通信作者: 王庆文 wqw013890@163.com

基金项目: 航空科学基金(201555U8010), 国家自然科学基金青年基金(61601475)

Foundation Items: The Aeronautical Science Foundation of China (201555U8010), The National Natural Science Foundation of China (61601475)

统, 通信问题是限制其效能的瓶颈问题之一, 如何设计高效的网络协议, 确保多UAV系统通信畅通是具有挑战性的工作。

土耳其学者Bekmezci İlker在2013年首次提出飞行自组网(Flying Ad hoc NETworks, FANETs)的概念, 可以概括为: FANETs是以UAV为网络节点的自组织网络^[5-7], 其基本思想是: 运用Ad hoc网络组网灵活、快捷和高效, 可以在不需要任何固定设施辅助的前提下, 在任何时间、任何地点建立网络等优点^[8-11], 实现多UAV系统的网络层高效通信。与传统的Ad hoc网络相比, FANETs网络具有网络拓扑在3维空间、节点运动速度更快、链路断开更为频繁等特点, 为设计实现高性能的广播协议带来了极大挑战。广播在FANETs网络路由协议的路由发现、地址解析和其他网络层任务等方面被广泛应用, 但是盲目广播会导致“广播风暴”问题, 大量的冗余、竞争和冲突浪费了网络带宽, 大量消耗了节点的能量, 严重影响了FANETs网络的性能, 因而设计高效广播协议有重要的现实意义。文献[12]具有里程碑式的意义, 该文不仅从理论上分析了广播的冗余、竞争和冲突产生的概率, 还提出基于概率、基于计数器、基于地理位置和基于簇的广播协议。文献[13]提出了一种针对Ad hoc网络的混合广播协议, 将节点的密度和区域信息结合起来, 限制分组的广播范围, 从而提高了性能。文献[12]提出了概率广播协议, 减少了广播冗余, 但牺牲了分组可达性。文献[14]提出了一种应用动态能量管理的广播协议, 延长了网络生命周期, 但是这种方法不适用于网络拓扑动态变化的Ad hoc网络。文献[15]提出了用优化扩展环搜索的方法来优化泛洪广播, 降低了路由消耗, 但是没有考虑MAC层的竞争冲突。文献[16]采用贪婪协议, 使邻居数量多的节点优先转发分组, 提高了发包率, 但是增加了路由开销。文献[17,18]提出了一种动态计数器广播策略, 改善了广播性能, 但是这种方法需要维护邻居节点信息, 增加了能量消耗。文献[19]提出了一种基于跨层设计的广播协议, 该协议让路由层共享MAC层的接收信号强度信息, 从而提升了广播效率。文献[20]对概率广播协议进行了梳理, 指出: 在众多广播协议中, 概率广播协议因为开销小、均衡能量开销、对于节点移动的容错性, 被证明与无线Ad hoc网络有良好的契合度。

上述文献提出的广播协议是针对传统的Ad hoc网络的, 对于FANETs的适应性有限, 原因在于: 上述协议提出的广播协议被局限在2维空间, 而FANETs网络具有3维高动态拓扑特性。为此, 本文提出一种适用于3维空间的FANETs网络的跨层自

适应广播协议(NABP), 主要贡献和创新在于: (1) 实现了3维空间的广播协议, 将传统的Ad hoc网络广播协议从2维空间拓展到了3维空间; (2) 采用微积分思想, 从理论上分析了3维空间的广播风暴问题, 为研究3维空间的广播风暴问题提供了理论基础; (3) 采用跨层设计的方法优化广播性能, 突破了严格层间结构的限制; (4) 通过大量的仿真证明了提出协议NABP在转播节省率、平均端对端延迟和丢包率等指标优于盲目广播协议和概率广播协议。

2 3维空间FANETs广播效率分析

2.1 额外增加通信范围分析

无线节点在2维空间的传输范围为一个圆, 半径为节点的传输半径 r 。在3维空间传输范围为一个半径为 r 的球体, 如图1所示。则单个节点的通信范围为

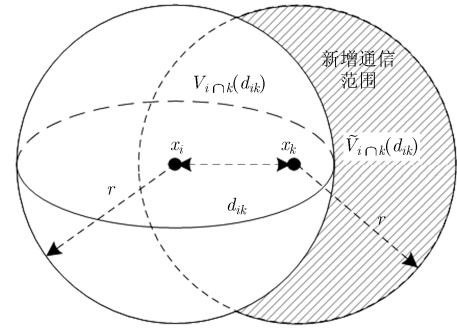


图1 示意图

$$V = (4\pi/3)r^3 \quad (1)$$

假设节点 x_i 广播分组, 节点 x_k 重播分组, 两个节点间的距离为 d_{ik} ($0 < d_{ik} \leq r$), 两个节点传输范围相交部分的体积可以看成两个球冠的体积, 其中, 拱高 $h = r - d_{ik}/2$, 拱底半径为 $a = \sqrt{r^2 - d_{ik}^2/4}$, 代入球冠体积公式, 可得两个节点传输范围相交部分的体积为

$$V_{i \cap k}(d_{ik}) = \frac{2\pi}{3} \left(r - \frac{d_{ik}}{2} \right)^2 \left(2r + \frac{d_{ik}}{2} \right) \quad (2)$$

节点 x_k 重播分组新增的通信范围为:

$$\tilde{V}_{i \cap k}(d_{ik}) = V - V_{i \cap k}(d_{ik}) = \pi \left(r^2 d_{ik} - \frac{d_{ik}^3}{12} \right) \quad (3)$$

由式(3), 可得当 $d_{ik} = r$ 时, $\max \{ \tilde{V}_{i \cap k}(d_{ik}) \} = \tilde{V}_{i \cap k}(r) = \frac{11\pi}{12} r^3$, 为节点传输范围的68.75%; 当 $d_{ik} \rightarrow 0$ 时, $\lim_{d_{ik} \rightarrow 0} \tilde{V}_{i \cap k}(d_{ik}) \rightarrow 0$ 。可见当两个节点之间的距离近时, 获得的增加的通信范围有限, 不仅不能提高转播效率, 还消耗了网络中的能量、带宽

等资源。这也意味着节点 x_k 转发分组时, 额外增加的通信范围为节点通信范围的 0~68.75%。

假设 x_k 随机分布在上一跳节点 x_i 的通信范围内时, 额外增加通信范围的期望可以计算为

$$\int_0^r \frac{4\pi x^2}{4\pi r^3} \left[\pi \left(r^2 x - \frac{x^3}{12} \right) \right] dx = \frac{17}{24} \pi r^3 \quad (4)$$

从式(4)可以得出, 额外增加通信范围的期望为节点通信范围的 53%。此时, 两个节点的距离可以根据式(3)和式(4)求得, 即

$$\pi \left(r^2 d_{ik}^* - \frac{d_{ik}^{*3}}{12} \right) = \frac{17}{24} \pi r^3 \quad (5)$$

可以求得其解析解为

$$d_{ik}^* = 0.7424r \quad (6)$$

由式(6)可以得出, 当前节点 x_k 和上一跳节点 x_i 的距离为 $0.7424r$ 时, 额外增加的通信范围达到期望值。

2.2 竞争分析

下面, 专注分析竞争问题, 考虑到节点 x_i 广播分组, 有 n 个邻居节点侦听到这个广播消息。所有这些侦听到消息的节点想要广播消息, 这时候 x_i 周围很近的两个或是多个节点就会发生竞争。首先分析最简单的两个邻居侦听到分组的情况, 即 $n=2$ 的情况, 假设 x_k 和 x_m 分别为 x_i 的两个邻居节点。假设 x_k 随机的分布在 x_i 的通信范围内。当 x_m 处在 $V_{i \cap k}(d_{ik})$, 节点 x_m 和 x_k 才能产生竞争, 此时的竞争产生的概率为: $V_{i \cap k}(d_{ik}) / (4\pi r^3 / 3)$, 假设 d_{ik} ($0 < d_{ik} \leq r$) 代表节点 x_i 和 x_k 的距离, 则竞争的期望可以计算为

$$\int_0^r \frac{4\pi x^2}{4\pi r^3} \frac{V_{i \cap k}(x)}{4\pi r^3 / 3} dx = \frac{[(5/6)\pi r^6]_0^r}{(16\pi^2/9)r^6} = 0.46875 \quad (7)$$

显然, 随着 n 的增加竞争将会更加剧烈。采用概率的方法时, 假设节点 x_k 转发分组的概率为 P_{x_k} ($0 < P_{x_k} < 1$), x_m 转发分组的概率为 P_{x_m} ($0 < P_{x_m} < 1$), 此时竞争产生的期望为: $0.46875 P_{x_k} P_{x_m}$, 此值要小于 0.46875。因此, 采用概率的方式可以减少竞争发生的概率。

3 FANETs广播协议(NABP)

3.1 NABP 跨层设计

NABP 采用跨层设计的方法, 保留 MAC 层和路由层协议结构分离的基础上, 允许路由层共享 MAC 层的接收信号强度信息, 并应用接收信号强度

信息计算重播分组额外增加通信范围。相比基于地理位置信息的协议, NABP 的优点是分组头中不需要添加节点的地理位置信息, 因而节省了相应的能量消耗; 节点不需要安装的定位装置如 GPS, 节省了实验开销。NABP 协议的结构如图 2 所示。

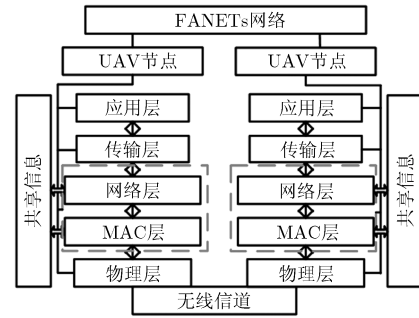


图2 NABP 跨层结构

3.2 NABP 距离估算

FANETs 无线传播模型采用自由空间模型。自由空间模型是指在理想的、均匀的、各向同性的介质中传播, 不发生反射、折射、绕射、散射和吸收等现象, 只存在电磁波能量扩散而引起的传播损耗的空间。自由空间模型中, 发射信号功率 P_t 和接收信号功率 P_r 之间满足如下关系:

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (8)$$

其中 d 为发送节点和接收节点的距离, G_t 和 G_r 分别为发送方和接收方的天线增益, L 为系统损耗, λ 为波长。

则在UAV节点发射功率已知的情况下, 发送节点和接收节点的距离可以估算为

$$d = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r L}} \quad (9)$$

3.3 NABP 转发概率设计

根据式(5), 式(6)可知, $d_{ik}^* = 0.7424r$ 时获得额外增加通信范围的平均值, 发送节点的接收节点之间距离小于此值, 额外增加通信范围少于平均值; 高于此值, 额外增加通信范围高于此平均值。NABP 转发概率的设计倾向于, 让额外增加通信范围大的节点以高概率转发分组, 让额外增加通信范围少的节点以低概率转发分组, 转发概率设置为

$$P_F = \begin{cases} \frac{\tilde{V}_{i \cap k}(d_{ik})}{\max \{\tilde{V}_{i \cap k}(d_{ik})\}}, & d_{ik}^* \leq d_{ik} \leq r \\ \frac{\tilde{V}_{i \cap k}(d_{ik})}{\max \{\tilde{V}_{i \cap k}(d_{ik})\}} \times \frac{1}{\eta}, & 0 < d_{ik} < d_{ik}^* \end{cases} \quad (10)$$

其中, η 是调节因子, 一般取 $\eta > 1$ 。

3.4 NABP 关键步骤

在NABP中，节点接收到分组的处理关键步骤如下：

步骤 1 在MAC层，获得接收信号功率 P_r ，根据式(8)计算出与发送节点的距离 d ；

步骤 2 采用跨层设计的方法，在路由层获得MAC层的接收信号功率 P_r ，并应用式(9)计算出与上一跳节点的距离 d ，应用式(10)计算出转发分组的概率 P_F ；

步骤 3 产生[0,1]的随机数 RND；

步骤 4 如果 $P_F \leq \text{RND}$ ，转步骤5；否则转到步骤6；

步骤 5 丢弃分组；

步骤 6 转发分组。

4 仿真分析

4.1 仿真环境

仿真环境是带有 CMU 无线扩展的 NS-2 (version2.30)，仿真场景为1500 m×1500 m×500 m，节点的传输半径为250 m，仿真时间为300 s，节点的最大移动速度为50 m/s，暂停时间为100 s，无线电波频率为914 MHz，网络中的节点数量从25, 50, ..., 150个。源节点和目的节点间的连接数为10，源节点每秒钟发送1个分组， η 取值为2。仿真协议：(1)NABP；(2)路由层应用flooding广播协议，MAC层应用IEEE 802.11协议(flooding+802.11)；(2)路由层应用fp-flooding概率广播协议，MAC层应用IEEE 802.11协议(fp-flooding+802.11)仿真实验结果均为10次实验的平均值。

4.2 评价指标

本文用以下4个指标对协议性能进行评估：

(1)广播节省率 SR：

$$\text{SR} = \frac{p_r - p_f}{p_r} \times 100\% \quad (11)$$

其中， p_r 代表接收到的非重复分组数量， p_f 代表转

发的非重复分组数量。该指标越大表明节省的再广播数越多，广播策略的效率也就越高。

(2)平均丢包率 P_d ：

$$P_{\text{drop}} = \frac{P_d/P_s}{n} \quad (12)$$

其中， P_d 表示丢弃的分组总数， P_s 表示发送的分组总数， n 表示网络中的节点总数。

(3)平均端对端延迟 Ad ：

$$Ad = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (R_{\text{time}}(i) - S_{\text{time}}(i)) \quad (13)$$

其中 N 表示成功传输的数据分组数， $R_{\text{time}}(i)$ 表示第 i 个分组到达目的节点的时间， $S_{\text{time}}(i)$ 表示第 i 个分组的发送时间。

(4)吞吐率 Th：

$$\text{Th} = \frac{1}{(T_{\text{Rend}} - T_{\text{Rstart}}) \times 1000} \sum_{i=0}^N R_{\text{byte}}(i) \times 8 \quad (14)$$

其中 $R_{\text{byte}}(i)$ 表示成功到达应用层目的节点的第 i 个非重复分组的字节数， N 表示应用层目的节点接收的非重复分组数量， T_{Rend} 表示网络中结束接收数据分组的时间， T_{Rstart} 表示网络中开始接收数据分组的时间。

4.3 仿真结果

仿真结果如图3~图6所示。

图3表明，NABP的广播节省率明显高于flooding+802.11和fp-flooding+802.11协议，原因在于NABP采用自适应转发的策略，让增加通信范围大的节点优先转发分组，从而减少了冗余广播。

图4表明，NABP的平均丢包率要低于flooding+802.11和fp-flooding+802.11协议，原因在于NABP使得额外增加通信范围大的节点以高概率转发分组，减少了节点转发分组产生冲突的概率，从而减少了每个节点丢弃数据分组的概率。

图5表明，NABP的平均端对端延迟性能好于flooding+802.11和fp-flooding+802.11协议，原因在于NABP倾向于让增加通信范围大的节点转发分

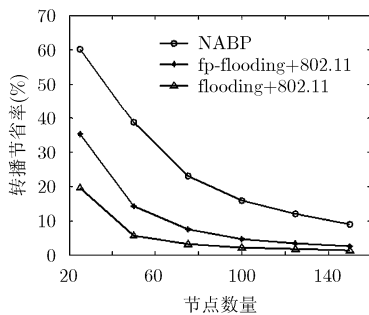


图3 转播节省率

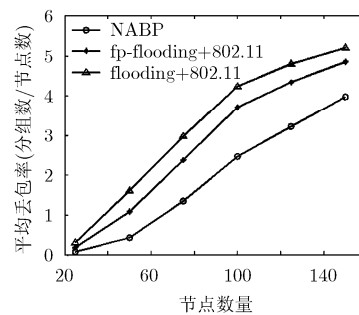


图4 平均丢包率

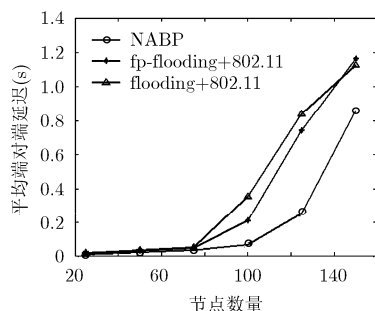


图5 平均端对端延迟

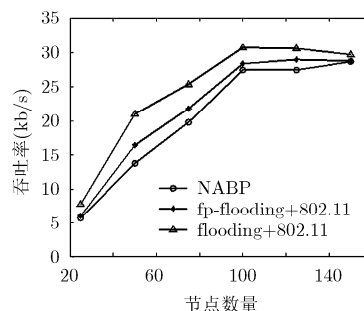


图6 吞吐量

组,使得距离上一跳节点相对远的节点以高概率转发分组,从而减少了源节点到目的节点的传输跳数,加快了分组的传输。

图6表明,NABP协议的吞吐量性能不如flooding+802.11和fp-flooding+802.11协议,原因在于NABP降低了分组的到达率,使得到达目的节点的分组数量有所减少。这是NABP协议需要进一步改进的地方。

5 结束语

本文提出了一种新的3维FANETs网络跨层自适应概率广播协议NABP。该协议采用跨层设计的方法,允许路由层共享MAC层接收信号强度信息计算出当前节点与上一跳节点的距离,根据转发分组增加通信范围来确定转发分组的概率。NABP将传统的Ad hoc网络广播协议从2维空间拓展到了3维空间,从理论分析了3维空间的广播风暴问题,采用跨层设计的方法优化广播性能,突破了严格层间结构的限制。NS-2仿真结果表明,NABP的转播节省率、平均端对端延迟和平均丢包率3种指标均明显优于flooding+802.11和fp-flooding+802.11协议,有效地改善3维FANETs网络的广播性能。NABP的吞吐量性能不如flooding+802.11和fp-flooding+802.11协议,下一步工作需要引入深度学习思想改进该性能。

参考文献

- [1] LESZEK T, LOTFI B O, PELIN A, *et al.* A simulation study of Ad hoc networking of UAVs with opportunistic resource utilization networks[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 38: 3-15.
- [2] BARROS C R and CASTELO B K R L J. Collision detection using received signal strength in FANETs[C]. *Proceedings of the Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Orlando, FL, USA, 2014: 1274-1283.
- [3] ANBAL O and IVN M. Multiple Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicles[M]. *Springer Publishing Company*, Incorporated, 2007: 15-48.
- [4] 叶雪梅, 李雪松, 蔡艳宁, 等. 一种基于可靠最远转发的车联网广播协议[J]. *电子与信息学报*, 2016, 38(5): 1219-1226. doi: 10.11999/JEIT150763.
- YE Xuemei, LI Xuesong, CAI Yanning, *et al.* A reliable most forward within radius scheme based broadcast protocol for vehicular Ad-hoc networks[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2016, 38(5): 1219-1226. doi: 10.11999/JEIT150763.
- [5] BEKMEZCI I, SAHINGOZ O K, and TEMEL S. Flying Ad-hoc Networks (FANETs): A survey[J]. *Ad Hoc Networks*, 2013, 11(3): 1254-1270.
- [6] BOUACHIR O, ABRASSART A, GARCIA F, *et al.* A mobility model for UAV ad hoc network[C]. *Proceedings of the Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Orlando, Florida, USA, 2014: 383-388.
- [7] RAZZAQI A A, MUSTAQIM M, and KHAWAJA B A. Antenna array design for multi-UAVs communication in next generation Flying Ad-Hoc Networks (FANETs)[C]. *Proceedings of the High-capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies (HONET)*, Charlotte, NC, 2014: 25-28.
- [8] WNAG Y, YI C W, HUANG M S, *et al.* Three-dimensional greedy routing in large-scale random wireless sensor networks [J]. *Ad Hoc Networks*, 2013, 11(4): 1331-1344.
- [9] LIU Xingya and XIE Jiang. A practical self-adaptive rendezvous protocol in cognitive radio Ad hoc networks[C]. *Proceedings of the International Conference on Computer Communications*, Toronto, Canada, 2014: 2085-2093.
- [10] SHIN W Y, CHUNG S Y, and LEE Y H. Parallel opportunistic routing in wireless networks[J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2013, 59(10): 6290-6300.
- [11] LI Yujin and WANG Wenye. Horizon on the move: Geocast in intermittently connected vehicular Ad hoc networks[C]. *Proceedings of the International Conference on Computer Communications*, Turin, Italy, 2013: 2553-2561.
- [12] TSENG Yuchee, NI Szeyao, Chen Yuhshyan, *et al.* The broadcast storm problem in a mobile Ad hoc network[J].

- Wireless Networks*, 2002, 8(2/3): 153-167.
- [13] REINA D, TORAL S, JONHSON P, *et al.* Hybrid flooding scheme for mobile Ad hoc networks[J]. *IEEE Communications Letters*, 2013, 17(3): 592-595.
- [14] SÉRGIO S P, AURÉLIO S M, and ANGELO P. Broadcast routing in wireless sensor networks with dynamic power management and multi-coverage backbones[J]. *Information Sciences*, 2010, 180(5): 653-663.
- [15] DENG J and ZUYEV S. On search sets of expanding ring search in wireless networks[J]. *Ad Hoc Networks*, 2008, 6(7): 1168-1181.
- [16] THOMAS K. Multicasting in mobile Ad-hoc networks: achieving high packet delivery ratios[C]. Proceedings of the 2003 Conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research, Toronto, Canada, 2003: 156-170.
- [17] MASADEH M, NIMER S F, and Al-DUBAI A Y. The effects of network density of a new counter-based broadcasting scheme in mobile Ad hoc networks[C]. Proceedings of the Computer and Information Technology (CIT), Washington, DC, USA, 2010: 1462-1467.
- [18] YASSEIN M B, NIMER S F, and Al-DUBAI A Y. A new dynamic counter-based broadcasting scheme for mobile Ad hoc networks[J]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2011, 19(1): 553-563.
- [19] 王庆文, 史浩山, 戚茜. 一种新的 Ad Hoc 网络跨层能量均衡广播协议[J]. 西北工业大学学报, 2011, 29(5): 671-675.
- WANG Qingwen, SHI Haoshan, and QI Qian. A novel cross-layer energy-aware broadcasting protocol (CLEABP) for Ad hoc networks[J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2011, 29(5): 671-675.
- [20] REINA D G, TORAL S L, JOHNSON P, *et al.* A survey on probabilistic broadcast schemes for wireless Ad Hoc networks [J]. *Ad Hoc Networks*, 2015, 25(2015): 263-292.
- 王庆文：男，1982年生，讲师，博士后，主要研究飞行自组织网络、水声传感器网络协议、空间信息支援。
- 戚茜：女，1981年生，工程师，主要研究声全息、水声通信。
- 程伟：男，1980年生，副教授，主要研究无线传感器网络协议。
- 李冬：男，1981年生，助理研究员，主要研究无线传感器网络。
- 王莉：女，1986年生，讲师，主要研究车载自组织网络。
- 李雪松：男，1991年生，博士生，研究方向为车载自组织网络、智能交通。