

# 一种基于 Ad hoc 簇结构的内容组播路由协议<sup>\*</sup>)

原萍 陈红 尚禹 张雪峰 王光兴

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110004)

**摘要** 提出了一种基于内容的移动 Ad hoc 网络组播路由协议(简称 ACBCM)。ACBCM 协议使用了 Ad hoc 网络的簇结构,利用推一拉机制发布信息。协议中接收节点的集合由被组播的数据的内容决定,并随着组播内容的变化和接收节点的移动而变化。仿真结果表明,该协议信息开销小、组播成功率较高、网络的可扩展性好。

**关键词** Ad hoc 网络,组播,路由,簇

## A Cluster-Based Content Multicast Routing Protocol in Ad hoc Networks

YUAN Ping CHEN Hong SHANG Yu ZHANG Xue-Feng WANG Guang-Xing

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

**Abstract** In this paper we proposes a cluster-based content multicast routing protocol (ACBCM) in mobile Ad hoc networks. ACBCM protocol makes use of cluster structure and employs push-pull mechanism to forward information. In this protocol, the content of the multicasting data decides the receiver set and this set changes according to the multicast content and the movement of the receiving nodes. The results of the simulations indicate that the information cost of the protocol is small, the multicast success rate is high, and the scalability to larger networks is good.

**Keywords** Ad hoc networks, Multicast, Routing, Cluster

## 1 引言

Mobile Ad hoc networks 称为移动 Ad hoc 网络,也称自组网。它是一个多跳的临时性自治系统,由一组安装了无线装置的带有路由功能的移动节点组成。这种无线网络由于无需通信基础设施,组网方便灵活,所以可广泛应用于固定网络很难触及的灾难救助、临时会议、战场等突发应急场合。

近年来,国内外不少学者对无线 Ad hoc 网络环境下的组播协议进行了深入的理论和应用研究和探讨。Chen Tzung-Shi 提出了 HMP (Hierarchy-based Multicast protocol) 协议<sup>[1]</sup>。该协议将前摄性和反应性思想相结合,首先根据节点之间的连接性来选择一批节点作为核,之后每个核再建立一棵本地的共享树,协议使数据传输充分利用了已有的前摄性的和反应性的一些路由协议的优点,结果显示协议性能良好。Sajama S 等人<sup>[2]</sup>从增强组播可靠性的角度出发,突破了传统协议中一个组播组只采用一棵组播树思想,提出了为一个组播组创建多棵彼此覆盖最小的组播树,以作为第一棵组播树链路失败以后的后援树的 ITAMAR (Independent-Tree Ad hoc Multicast Routing) 协议。该协议的特点是适合稀疏路由、实时通信且网络拓扑频繁变化的场合。此外, Tomochika O 等人<sup>[3]</sup>提出的 Bandwidth-Efficient 协议,与大多数软状态的组播路由协议不同,它采用硬状态,即协议不用周期性地发送控制消息,而是通过运行一种新的路由创建过程来减少转发节点的数量,通过路由优化过程来移除不必要的转发节点、冗余及低效的路由,并通过实施需求驱动的路由发现和路由维护过程来避免周期性地发送控制消息。实验结果表明,该协议在性能和 FGMP 相差不大的情况下,控制的开销较少。

考虑与之相关的类似问题,我们在借鉴了 Holger F 等人<sup>[4]</sup>提出的 CBF (一种在 Ad hoc 网络中使用的基于内容的单播路由协议)的基础上,提出一种基于内容的 Ad hoc 网络的组播路由协议——ACBCM。在协议中,接收信息的节点组是根据被组播的信息而定的,并随着组播内容的变化而动态变化,其目标就是在确保源节点与接收节点之间的距离最小的情况下最大限度地提高传输信息的效率。

本文余下部分安排如下:第 2 节具体描述 ACBCM 协议;第 3 节描述协议仿真并对仿真结果进行分析;最后是结论。

## 2 ACBCM 组播协议描述

### 2.1 协议使用环境

ACBCM 协议应用于以下两种环境:第一种是在自然毁坏或者人为原因造成的灾难的救援网络中;第二种应用环境就是在信息战的战场。

在诸如上述的环境中假设:

**假设 1** 危险信息可以通过到达受影响区域的自动传感器来收集。

**假设 2** 有关其他救援人员或设备(或者在战场上的盟友)的移动、性能和位置等信息也可以轻易获取(如通过 GPS)。

接下来的任务就是利用网络协议将这些信息及时地传给区域中确实需要这些信息的节点。节点应收集的信息是离它们当前时间  $t$  个单位时间(假设各个节点相对速度非零)或者距离它们当前位置  $d$  个单位距离远的资源或者危险的信息。

传感器和其他节点产生它们检测到的关于危险和资源的移动、强度和位置的信息。然后,它们将这些信息传给需要这

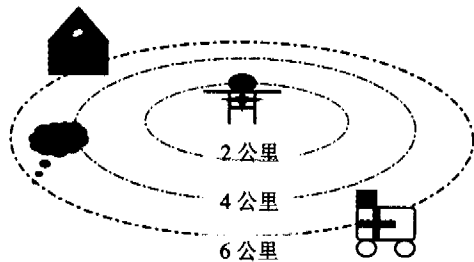
<sup>\*</sup> 国家高科技研究发展计划项目(863-708-4-5);辽宁省自然科学基金(20042012)资助。原萍 副教授,博士研究生,主要研究方向为宽带计算机网络及 Ad hoc 网络;陈红 硕士研究生;王光兴 教授,博士生导师。

些信息的节点(根据每个节点特殊的  $t$  和  $d$  值)。然而,由于接收节点、危险和资源都在移动,源节点没有办法确认它们的接收组。同样地,接收节点也没有办法知道哪一个源节点的信息是发给它的。那么,这些信息又是怎样被发送和接收的呢?下面就讨论如何结合接收节点的  $t/d$  值来确认源节点和

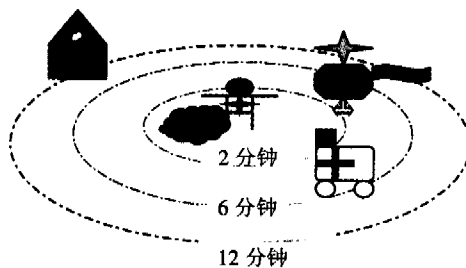
接收节点组以及信息的传送。

### 2.2 $t$ 和 $d$ 的说明

首先借助一个具体的应用环境来理解  $t$  与  $d$ 。假设东南亚地震导致火灾和毒气泄漏,如图 1。



(a) 救援人员与周围环境的位置关系



(b) 救援人员与周围环境的时间关系

图 1 灾难救援人员周围环境的两种角度

图中描述了选择以一个灾难救援人员为中心的周围环境的两种角度。(a)图表示的是该救援人员与不同危险(毒气、正在燃烧的房子)和资源(运送救援人员和伤者的救护车、直升机)之间的距离,即对  $d$  的具体说明。(b)图描绘的是到达这些危险和资源将要花费的时间,即对  $t$  的具体说明。图中毒气在 4km 外,但是由于风向和风速,不到 2min 毒气就会波及这个地区的救援人员,直升飞机在 6km 以外,它将在 2~6min 内到达。这样,图 1 中的救援人员所检测到的关于这个地区的大部分信息就是:在这个人的当前位置  $t$  单位时间内所有资源、危险的位置和在距离这个人的当前位置  $d$  单位距离远的所有资源、危险的位置。

### 2.3 移动性对组播行为的影响

为了便于理解,这里假设对所有的节点,  $t$  和  $d$  是相同的,如图 2。

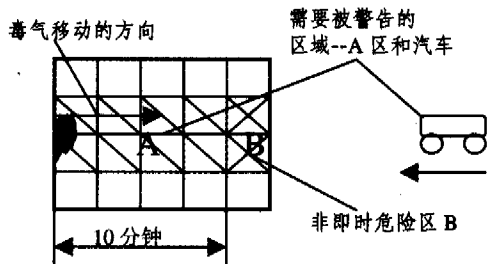


图 2 毒气引起的警告信息被传输的范围

图中传感器检测到这一区域有一团毒气,并且测定风是从西面吹来的。在这种情况下,传感器仅需要将这一消息组播给在东方方向上的节点。如果风向变了,开始从西南方向吹来,那么传感器则需要将这一消息传送给位于东北方向的节点。也就是说,毒气移动的方向影响了组播行为。另外,这条关于毒气的消息将在网络中传播多远也是一个值得考虑的问题。在区域 A 中的每个节点都需要被警告(这里假设  $t=10\text{min}$ ),区域 B 不是即时(即 10min 内的)危险区,所以不需要将组播扩展到这里。再考虑另外一种情况:图 2 有一辆汽车飞快地向毒气团开去,由于在 10min 之内这辆汽车将处于危险之中,所以组播有必要延伸到这辆汽车。然而,传感器并不知道这辆车的存在不能将它包括进组播组中。这样,就需要延伸组播信息,使得如这辆汽车一样的移动节点尽管在很远的地方也能接收到组播信息。

### 2.4 危险和资源的特性对组播行为的影响

组播行为同样受到危险的类型和范围的影响。例如,配备有防毒面具的灾难救援队,不必担心毒气泄漏;而那些没有防毒面具的人,就需要知道毒气的流向,以避免毒气。类似地,在战场上,坦克不必担心步兵的威胁,但是却得关心在这一区域中是否有敌军的坦克。也就是说,危险/资源的种类是决定组播接收节点集合的一个要素。另一个影响组播行为的危险的特性就是它的范围。比如说,一场加油站的大火能威胁到 5km 远的地方(由于它的热量和油罐燃烧可能引起的爆炸),那么 5km 以外地方的节点就不需要了解这一情况。同样,在战场上,飞机由于它所携带的武器所造成的威胁可能达到数十公里远,这样接收节点仅需要获得那些在  $t$  和  $d$  具体说明范围内的确实能对它造成威胁的危险信息,或者获得  $t$  时间内或者  $d$  距离内将要接近的那些有用的资源信息。

### 2.5 推拉协议

ACBCM 组播协议的构建以传感器的推和接收节点的拉为思路,是当传感器检测到危险后,在位于危险前进路线上的一些簇内发送一个有限的广播消息,个别接收节点从位于其前进方向上的节点处拉危险警告信息。因为仅有那些需要接收警告信息的节点能接收到该信息,减少了不必要的危险警告信息的传送,提高了工作效率,同时节约了能量。

#### 2.5.1 推协议

这里用一个简单的例子来解释推协议,如图 3 所示。

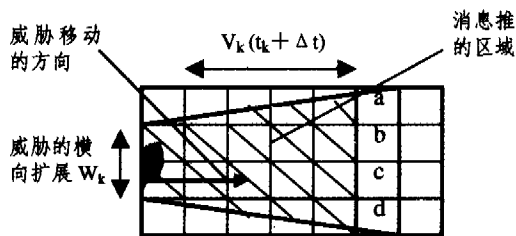


图 3 在毒气前进方向上的推威胁警告

传感器检测到一团毒气时,需要通知那些在毒气前进方向上的节点可能会遇到毒气的威胁。图中设这一警告消息被推出去的范围是  $V_k(t_k + \Delta t)$  m 远的格子上,这里  $V_k$  是风速,即毒气的速度;  $t_k$  是一个常数,表示时间的范围,代表前面提到的  $t$  值,检测到毒气的传感器用它来决定推的范围,这里它取值 200s,也就是说消息被推到那些将要面对毒气威胁少于

200s 的节点;  $\Delta t$  是误差, 也是一个常量, 它确保至少有必要的节点收到这一危险警告。推协议的算法步骤如下:

Step1: 当一个传感器检测到一个危险时, 确定危险  $k$  的速度矢量  $V_k$ 、横向波及范围  $w_k$  及时间参数  $t_k, \Delta t$ 。

Step2: 传感器向危险移动方向上的长度为  $V_k(t_k + \Delta t)$ 、宽度为  $w_k$  范围内每个簇的簇首发送一个危险警告信息, 这一信息包括危险的性质、速度和传感器估计的危险的移动方向变化的趋势等其他的信息。

Step3: 接收到危险警告信息的簇首, 在本簇内广播该消息。

Step4: 每当危险改变了方向或者移动了一段距离, 使得刚才被警告的最远的簇与危险的距离小于  $V_k t_k$  时, 一个新的推消息就会发往距离危险短于  $V_k(t_k + \Delta t)$  的簇。如图 3 中, 当毒气随风向前移了一段距离后, 就会产生一个新的推消息来覆盖块 a、b、c、和 d。因为毒气在横向也会扩散, 所以图中毒气宽度  $w_k$  是随时间增加的。

### 2.5.2 拉协议

如上所述, 推协议成功地将危险警告发送到  $t_k$  时间参数范围内的所有节点。然而, 那些正在向危险移动的节点并且距危险超过  $V_k(t_k + \Delta t)$  的地方, 或者那些在很远地方却有很大时间参数  $t$  和空间参数  $d$  的节点, 为了被警告, 需要拉危险消息。如图 4。

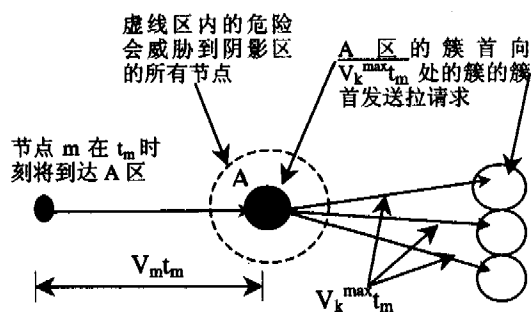


图 4 节点  $m$  发出的拉请求

节点  $m$  以速度  $V_m$  移动, 并且在时间  $t_m$  到达 A 区。假设在虚线区内任何位置的危险都能够对位于阴影块 A 内的节点造成威胁。此时使用如下拉消息算法:

Step1: 令某节点  $m$  的时间参数为  $t_m$ 。也就是说, 该节点需要收集那些  $t_m$  时间内会遭遇危险的警告信息。

Step2: 节点  $m$  向  $t_m$  时间后到达簇 A 的簇首发送一个拉信息的请求。该请求包括节点  $m$  的速度矢量以及能够对  $m$  造成威胁的危险说明。

Step3: A 中的簇首向  $m$  发回它掌握的  $t_m$  时刻将在 A 区的所有威胁信息。然而, 这个簇首很可能仅知道  $t_m$  时刻以后部分的威胁信息。在这种情况下, 就需要启动另外的拉请求算法, 算法步骤为:

第一步: 对  $k$  类威胁, 初始化最大速度  $V_k^{max}$ ;

第二步: 簇首向图 3 中位于  $V_k^{max} t_m$  处地理块的簇首发送拉请求。

第三步: 这些块的簇首预测它们所知道的威胁在  $t_m$  时刻是否会到达 A 区。若会, 就以这些威胁的信息作为对 A 区的簇首拉请求的回应。

第四步: 执行 step3。

这里, 所有的拉请求都附带一个 TTL 域, 这意味着簇首一旦收到了一个拉请求, 就会保存这个请求, 直到 TTL 域为零。这期间, 如果有任何新的危险信息, 它将向产生这个拉请

求的节点传送该危险的警告信息, 退出该步骤, 这样确保了仅需发送较少的拉请求即可。

### 2.6 簇首维护

在组播中, 多个节点组成一个簇<sup>[5]</sup>, 并由簇首进行控制。这种成簇的方案为网络的一些重要特性提供了一个方便的框架, 例如网络的裂变、频道的访问、路由和信道的分配等, ACBCM 就是一种基于簇的组播协议。它将整个地理区域划分成许多小的簇, 在每一块里选择一个节点作为簇首。簇首维护着一张表, 这张表记录着它收到的所有危险警告和资源更新信息。簇首还负责对拉请求做出回应。当一个簇首离开一个簇时, 维护这个原簇的信息表的责任就传递给一个新的簇首。这样一来, 参与路由处理的节点数量减少了, 减少了路由控制的开销, 降低了通信延迟, 并且使网络拓扑结构的变化变慢了。为了使协议能够生效, 需要一个簇首的维护协议, 这个协议如下:

1) 一个将要离开原簇的簇首选择一个新的簇首, 并将信息表中的所有信息传递给新簇首, 同时在这个簇内广播新簇首的 Id。

2) 当一个节点进入一个空簇时, 就会从邻块中请求危险信息并宣布它成为该块的簇首。

3) 如果簇首是一个簇中最后一个节点, 那么当它要离开该簇时, 要向所有邻居区域的簇首发送一条消息, 将它所收集的信息表中的信息传递给它们。这样, 发往这个空簇的任何拉请求就会由它的一个邻居块的簇首负责回复, 假设拉请求必须经过一个邻块才能到达这个空块。

4) 当任何一个节点要离开一个簇时, 它就通知该簇内的簇首, 同时告知新簇中的簇首。

### 3 性能评估

仿真实验以信息开销和组播成功率作为尺度, 测试了 ACBCM 组播协议的性能。这里, 信息开销包括传送的警告、资源利用的信息、推拉信息以及某些控制信息。成功率是指某些情况下一些节点有可能不能及时接收到警告信息或者资源可用性信息。此时, 以接收到这些信息的节点的百分比来表示组播成功率。同时, 与使用泛洪<sup>[6]</sup>方法的性能进行比较。

#### 3.1 仿真参数设定

在一半径为 80km 的圆形区域内模拟灾难救援场景。仿真中有危险信息、资源信息、难民信息和其他救援人员的信息。危险由煤气泄漏、加油站大火、建筑物倒塌和暴乱组成, 资源由直升飞机、救护车、救火车组成。这里, ACBCM 协议的目标就是将危险信息、资源信息、需要救助的灾民以及其他救援人员的信息快速地传送给救援节点。救援车辆以 60 km/h 的速度移动, 救援人员以 8 km/h 的速度移动, 风速是 20 km/h, 场地里有可以检测毒气、救援车辆和直升飞机的传感器。仿真中, 使用了 40 个毒气传感器, 每个毒气传感器能够检测到 1km 以内的危险, 且救援车辆、救援人员、直升飞机和传感器有无线通信能力。传感器通信覆盖为圆, 半径设为 3km, 救援车辆运动是 6km, 救援人员是 1.5km。可用的传输速率为 1Mbps, 救援人员需要获得 500m 内的危险、灾民情况及资源信息。

#### 3.2 仿真结果

##### 3.2.1 信息开销

图 5 显示的是 ACBCM 协议的开销。可见, 网络簇较大的情况下开销较高, 并随救援节点数的增加而提高。因为使用地理路由来发送消息时, 如果目的节点没有下一跳, 数据报

(下转第 41 页)

线传感器网络系统更注重数据的时间有效性,因而从这点考虑出发,我们提出了加入时间因子的数据模型、查询语言模型、支持相应快速的路由策略,以及双向递交的查询方式,因而本系统的主要优势主要体现在以下几点:

1)数据模型能够充分体现无线传感器网络的数据特征,不但提供了原数据的位置信息,而且提供了时间属性,可以满足用户对数据时间正确性的判定,从而满足应用的实时性要求。

2)加入了时间因子的查询语言,可以满足用户对查询请求的时间约束,生成合适的查询计划,判定合理的执行时间和查询结果的正确性。

3)扩展的路由策略有效地支持查询路径的确定,数据传递的同时,数据包中包含网络状态信息,保证了数据传递的无阻塞。由此减少了为维持正确路由而周期发布的系统状态信息,因而节约了能量。

4)底层通过主动触发采集的数据和顶端发布的查询双向传递,加快数据传输速度。根据查询的时间要求,决定查询的执行策略,保证数据的正确性。

5)屏蔽了查询的特定性,对于非确定性查询具有很好的适应性,满足对通用查询的要求。

## 参考文献

1 Madden S, Franklin M J. Fjording the stream: An architecture for queries over streaming sensor data. In: Proc. of International Con-

- ference on Data Engineering, 2002. 555~566
- 2 Madden S, Franklin J, Hellerstein J M. The design of an in acquisitional query processor for sensor networks. In: Proc. of SIGMOD, 2003. 491~502
- 3 Madden S, Franklin J, Hellerstein J M. TAG: a tiny aggregation service for ad-hoc sensor networks. In: Proc of Symposium on Operating Systems Design and Implementation, 2002. 131~146
- 4 Deshpande A, Guestrin C, Madden S R, et al. Model-Driven Data Acquisition in Sensor Networks. In: Proc of VLDB, 2004
- 5 Kumar V, Cooper B F, Navathe S B. Predictive Filtering: A Learning-Based Approach to Data Stream Filtering. In: Proc of the First Workshop on Data Management for Sensor Networks (DMSN), 2004. 17~23
- 6 Intanagonwiwat C, Govindan R, Extrin D, et al. Directed diffusion for wireless sensor networking. IEEE Transactions on Networking, 2003, 11(1): 2~16
- 7 Ganesan D, Greenstein B, Perelyubskiy D, et al. An Evaluation of Multi-resolution Storage for Sensor Networks. Proc. of International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2003
- 8 Luo Q, Ni L. M, He Bingsheng, et al. MEADOWS: Modeling, Emulation, and Analysis of Data of Wireless Sensor Networks. In: Proc. of the First Workshop on Data Management for Sensor Networks (DMSN), 2004. 58~67
- 9 Bonnet P, Gehrke J, Seshadri P. Towards sensor database systems. Conference on Mobile Data Management, 2001
- 10 Yao Yong, Gehrke J. Query processing for sensor networks. Proc of Conference in Innovative Data Systems Research (ICDR), 2003
- 11 Braginsky D, Estrin D. Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks. Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, 2002
- 12 Trigoni N, Yao Y, Demers A, et al. WaveScheduling: Energy-Efficient Data Dissemination for Sensor Networks. Internet Draft 2004

(上接第 32 页)

将被丢弃。因此,消息不是总能到达预期的簇。随着节点数目的增加,找到路径的可能性也增加,被及时警告的节点的比例就增加了。

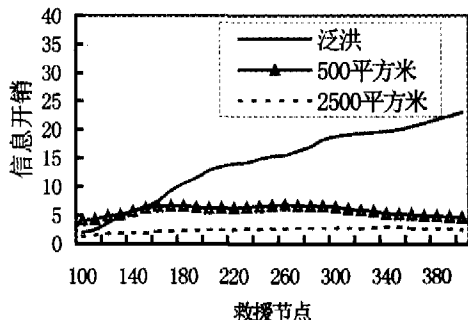


图 5 泛洪和 ACBCM 信息开销

### 3.2.2 组播成功率

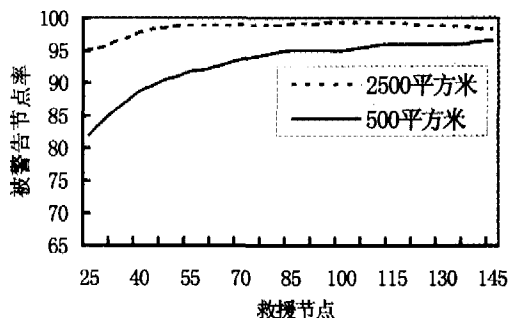


图 6 ACBCM 协议的组播成功率

图 6 显示的是组播的成功率。可见在簇规模较小时,组播成功率会导致信息开销较大。这是因为对应于一个拉请求的回应比较多,并且维护簇首的开销也较大。其次,信息开销

随着救援节点的增加变化不大,基本上趋于直线,这表明 ACBCM 协议是可以延伸到较大规模的网络中的。与泛洪算法比起来,ACBCM 算法的信息开销在大多数情况下要小得多,并且泛洪的信息开销随节点数的增加而增加。只有在少于 140 个救援节点的情况下,ACBCM 协议的开销才略比泛洪算法大,这是因为在这种情况下节点频繁地加入和离开一个簇,存在消息的开销。而较多的开销是由于许多簇是空的,邻居簇得负责那些对空簇的簇首的拉请求做出回应,这就导致簇首维护的开销较高。

**结论** 现有的基于内容的组播路由协议相对较少。本文提出的 ACBCM 协议使用了簇结构,利用推拉的机制发布信息。组播组是根据组播数据的内容来确定接收组播消息的节点集合。实验表明,本协议路由开销较小,网络的可扩展性较好,且当划分的簇较大时,性能更好,具有较低的花费和较高的组播成功率。显然,本协议既保证了所有需要接收组播消息的节点能够成功地接收数据,又有效地限制了组播的范围,从而降低了路由开销,提高了信道利用率。

## 参考文献

- 1 Tzung S C, Yuh S C, Tsai Hua-Wen. HMP: A Hierarchy-Based Multicast Protocol for Wireless Mobile Ad-Hoc Networks [A]. In: The 9<sup>th</sup> IEEE International Conference on Networks [C], 2001. 10~12
- 2 Sajama S, Zygmunt J H. ITAMAR: Independent-Tree Ad hoc Multicast Routing [A]. In: Proc. of IEEE VTS 54<sup>th</sup> [C], 2001. 600~604
- 3 Tomochika O, Jaime B K, Tatsuya S. Bandwidth Efficient Multicast Routing For Multihop Ad-hoc Wireless Networks [A]. In: Proceedings of IEEE INFOCOM [C], 2001. 1182~1191
- 4 Holger F, Jörg W, Michael K, et al. CBF: Contention-Based Forwarding for Mobile Ad-Hoc Networks [J]. Elsevier Science, 2003, 1(4): 351~369
- 5 王海涛. 分簇结构在 Ad Hoc 网络中的应用综述 [J]. 重庆邮电学院学报, 2003, 15(4): 92~98
- 6 盛敏, 李建东, 史琰. 应用于 Ad Hoc 网络中的密度自适应泛洪广播策略 [J]. 电子学报, 2004, 32(7): 1191~1194