移动 Ad hoc 中发布/订阅路由协议的网络仿真 *

王婷婷，翟立东，马晓雷，刘元安
（北京邮电大学，北京 100876）

摘　要：通过在 Ad hoc 多播路由协议（ADMR）中加入发布/订阅匹配算法，将发布/订阅中间件与移动 Ad hoc 网络相结合，设计出适应发布/订阅分布式网络的多播路由协议（PSMR），中间件使用该协议将发布者的数据分发到相匹配的订阅者。使用 NS2 网络仿真平台实现了该协议，将其与 ADMR 进行性能比较，大大减少了网络中分组转发次数，提高了网络效率。

关键词：发布/订阅；移动自组织网络；多播路由协议；ADMR；PSMR
中图分类号：TP393.04　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1001-3695(2009)04-1450-03

Simulation of publish/subscribe multihop routing in mobile Ad hoc network

WANG Ting-ting, ZHAI Li-dong, MA Xiao-lei, LIU Yuan-an
(*Beijing University of Posts & Telecommunications*, *Beijing* 100876, *China*)

Abstract: PSMR(publish/subscribe multihop routing) protocol is designed to adapt the publish/subscribe distributed system by adding the publish/subscribe match algorithm to Ad hoc multicast routing protocol ADMR(adaptive demand-driven multicast routing). PSMR was integrated publish/subscribe middleware and mobile Ad hoc network. The middleware was used PSMR to distribute the publisher's data to relevant subscribers. This protocol PSMR was simulated by NS2 and compared with ADMR in some performances. Simulation conclusion shows that PSMR can greatly reduce the number of packet transmission and enhance the mobile Ad hoc network overall efficiency.

Key words: publish/subscribe; mobile Ad hoc network; multicast routing protocol; ADMR; PSMR

发布/订阅（publish/subscribe，pub/sub）系统具有异步、多点通信的特点，为信息的发布者和接收者提供了解耦装置和选择性的信息分发路径，使通信的参与者在空间、时间和控制流上完全解耦，适应高度动态的网络环境和以数据为中心的网络路由，在开发大规模分布式系统中日益得到广泛应用[1]。但是发布/订阅机制在移动 Ad hoc 网络中实现比较困难，主要是因为 Ad hoc 网络的网络拓扑是动态变化的，具有很高的灵活性。随着移动手提式设备的广泛使用和分布式系统规模的扩大，pub/sub 系统必须在移动的、无线的以及高速动态的环境下工作，因此研究移动及无线环境下 pub/sub 系统的通信具有迫切的必要性。

Ad hoc 网络环境的多播路由协议可以大致分成两类[2]：a）基于树结构的多播路由协议。它们使用了固定网络中基于树的组播协议的思想，其特点是在源节点与接收节点之间建立一条路径，如 ADMR[3]、AMRoute[4]、AMRIS[5]。b）基于网格结构的多播路由协议。它们能在传输数据时为源与接收者之间提供多条路由，如 ODMRP[6]、CAMP[7]、DRMR[8]。

将发布/订阅中间件应用在移动 Ad hoc 网络上，目前国际上也有一些成果。STEAM[9]是用于无线 Ad hoc 网络的基于事件的中间件；GREEN[10]是一种能够支持普遍计算应用的发布/订阅中间件方案，该方案可以支持异构网络和异构设备；EMMA[11]是 JMS 在 Ad hoc 网络中的应用。

由于移动 Ad hoc 网络的动态拓扑特性，要在其上实现发布/订阅中间件，就必须寻找一种可靠的路由算法。笔者对 ADMR 协议作了改进，提出了一种新的适用于发布/订阅中间件的网络层协议 PSMR[12,13]，文献[12,13]从理论的角度详细论述了该协议。本文从仿真实现的角度，以 ADMR 协议为基础，在其上增加了支持发布订阅特性的模块，在网络仿真平台 NS2 上模拟实现了 PSMR 协议，并且对 ADMR 和 PSMR 两个协议进行了性能仿真与比较。

1　发布/订阅系统与多播路由协议的结合

发布/订阅系统是一种使分布式系统中的各参与者，能以发布/订阅的方式进行交互的中间件系统。在发布/订阅系统中，信息的生产者和消费者之间所交互的信息被称为事件。发布者将事件发送给发布/订阅中间件，订阅者则向发布/订阅中间件发出一个订阅条件，表示对系统中的哪些事件感兴趣，如果不再感兴趣，也可以取消订阅。而发布/订阅中间件则保证将发布者发布的事件及时、可靠地传送给所有对该事件感兴趣的订阅者。匹配算法负责高效地找到与给定的事件相匹配的所有订阅条件；而路由算法负责选择适当的路径，将一个事件从发布者传送给订阅者。

分布式发布/订阅系统中的信息分发与网络组播集群类似，发布/订阅机制对应于 Ad hoc 网络中的多播机制。在发布订阅多跳网络中，中间件使用多播路由协议将数据分发到相应的订阅者那里。发布者如同组播集群源，将信息传递给多

收稿日期：2008-05-20；**修回日期**：2008-07-01　　**基金项目**：国家自然科学基金资助项目(60573111)

作者简介：王婷婷(1984-)，女，山西晋城人，硕士研究生，主要研究方向为无线通信(hellowt@gmail.com)；翟立东(1982-)，男，山西孝义人，博士研究生，主要研究方向为移动通信；马晓雷(1979-)，男，河北人，博士，主要研究方向为通信技术；刘元安(1964-)，男，四川人，教授，博士，主要研究方向为无线通信.

个订阅者,即组播集群接收者。

在 Ad hoc 网络中的多播协议中,当信源需要给某个多播组发布信息数据时,只需将数据发布到该多播组对应的多播组地址中,这样相应的信宿就会接收到多播信息。在发布/订阅中间件中,多播地址的概念就转换为主题的概念。数据发布者将具有指定主题的数据信息发布到网络中,而需要指定主题信息的订阅者能够接收该数据。

2　多播协议 ADMR

ADMR 是一种基于树的按需组播路由协议,它尽可能地减少任何非按需成分。每个组播数据包从发送者到接收者沿着设置成组播转发状态的最小延迟路径进行转发。针对网络中节点移动或无线传输条件的变化,接收者动态地适应发送者的发送模式,以有效平衡开销。ADMR 有一个很重要的特点,就是接收节点可以主动加入多播组。

2.1　ADMR 协议报头格式

ADMR 协议是按需路由协议,没有周期性地控制报文,所以 ADMR 的每个数据分组报头都携带有控制信息,插入在 IP 报头之后。ADMR 协议报头分为固定部分和选项部分,结构如图 1 所示。其中固定部分包含在所有 ADMR 报头中。

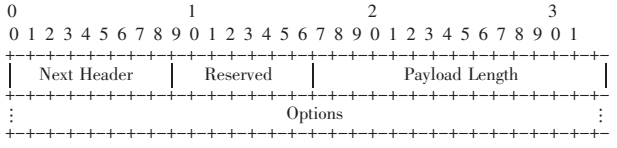

图 1　ADMR 协议报头

Payload length:指出 ADMR 报头的长度,不包括固定部分。这个值定义了 ADMR 中携带的所有选项的总长度。

Options :可变长度域。它的长度由 payload length 指出。包含 0 或者更多块选项信息。

ADMR 协议定义了如下选项[3]:

- Source Information Option
- Receiver Join Option
- Multicast Solicitation Option
- Repair Notification Option
- Reconnect Option
- Reconnect Reply Option
- Multicast Group Address Option

Multicast Sender Address Option

- Pad1 Option
- Pad*N* Option

2.2　ADMR 协议原理

ADMR 协议多播状态的建立可以通过信宿发现和信源发现两种方式[3]。本文主要使用信源发现方式。

当节点 R 上有一个应用要求加入多播组 G 时,作为接收节点的 R 主动在全网洪泛 multicast-solicitation 分组。任一针对多播组 G 的源节点 S 接收到 multicast-solicitation 分组,都回复该分组,告之 R 其是组 G 的发送者。节点 R 收到 multicast-solicitation 分组的回复时,单播一个 receiver-join 分组给源节点 S,生成〈S,G〉的转发状态,将自己连接到该组和源的多播转发树中。源节点生成组内的多播数据包在转发树之间洪泛,转发节点收到数据包,根据 receiver-join 分组形成的反向路由将包转发到接收节点。

与 Ad hoc 中其他多播路由协议相比较,ADMR 协议是一种按需路由协议,使得协议开销较小,路由选择最小延迟路由,无须单播路由协议的支持,具有一定的有效性和可扩展性,更适合应用在发布/订阅系统中。但是,ADMR 协议直接应用在发布/订阅系统中是有缺陷的。ADMR 协议在本质上来说是属于通道过滤或主题过滤的范畴,按照主题的不同划分多播组,而且只是采用惟一的多播地址而不是通道或主题形成的多播转发网格。在网络中主题数量很大时,该协议所要求的节点的存储能力很大,且会出现大量重复存储,多播路由的选择也变得非常复杂,不易实现。

在这种情况下,本文提出了一种发布订阅多跳路由协议,用 PSMR 来表示。PSMR 协议是在 ADMR 协议基础上进行改进,解决了上述问题,使其更适于发布/订阅系统。

3　发布订阅多跳路由协议 PSMR

3.1　PSMR 协议报头格式

PSMR 协议的报头是在 ADMR 协议报头中加入了发布/订阅机制所需的信息,即在源节点的通知分组中的 source information option 选项中加入发布属性信息;在接收节点的多播请求分组中,除 multicast solicitation option 选项外,增加一种新的选项,即订阅选项,用来储存订阅属性信息。订阅选项格式如图 2 所示。

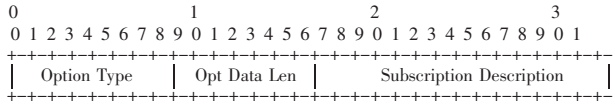

图 2　PSMR 订阅选项格式

3.2　PSMR 协议原理

该协议主要是将路由层的多播协议 ADMR 与中间件层的发布/订阅机制结合,其路由建立的策略与 ADMR 协议基本一致,区别在于[12,13]:

a)在每个发布节点(源节点)处增加了发布过滤机制。发布过滤(pub filter)表示发布者对发布信息的约束,其约束条件即属性,在通知分组中描述。只有与发布过滤相匹配的发布信息才可以被成功发布。

b)在每个订阅节点(接收节点)处增加了订阅过滤机制。订阅过滤表示订阅者对所要订阅信息的约束,其约束条件在多播请求分组中描述。只有与订阅过滤相匹配的发布信息才可以被订阅者成功收到。

c)在每个转发节点处增加了订阅属性登记表,记录所有经过它转发的订阅者的地址和各自的订阅属性。

d)在每个转发节点处增加了网格节点过滤机制,以适应发布订阅的具体要求。该机制利用节点处的订阅属性登记表,通过添加匹配函数来实现。匹配函数实现发布信息分组和转发节点的订阅属性登记表中属性条目之间的匹配。当发布者发布信息分组时,只有满足匹配条件的分组才能够继续向前洪泛,而不满足条件的分组则被网格节点丢弃。网格节点过滤可以减少无效数据在无线 Ad hoc 网络的转发次数,从而减少了发布信息在网络中的资源占用,提高了网络的资源占有率。

3.3　PSMR 协议代码实现

3.3.1　*主要数据结构*

1)发布订阅消息的属性定义

```
enum attribute{A,B,C,D,E}
```

2)订阅选项定义

```
typedef struct{/* 订阅过滤选项 */
#define SUB_OPTION_SIZE 32 /* 该选项大小 */
int valid_;/* valid_ = 1,则该选项有效 */
attribute attr;/* 订阅过滤属性 */
} sub_option;
```

3)订阅属性的存储

在每个节点处定义了一个数据结构 SFTable(表 1),以实现节点处的网格过滤机制。

3.3.2 主要函数

PSMR 协议代码只要实现数据分组的发布、订阅与接收,包括 source information option、receiver join option、multicast solicitation option 等各种选项内容的写入、读出与处理;状态表的写入与读出等。PSMR 协议优于 ADMR 协议,更适合发布订阅网络,其关键在于增加了匹配函数。匹配函数用来作发布属性与订阅属性的匹配运算,匹配成功的数据分组继续在转发树中转发,匹配失败的数据分组则被丢弃。

本文在实现 PSMR 协议时,匹配函数定义如下:

```
int MulticastState::match(int src_id, attribute pubattr){
  SFTable *temp = NULL; /* 订阅属性存储指针 */
  SFTableEntry *temp2 = NULL;
  int m=0; /* 定义并初始化一个匹配成功标记量 */
  temp = sf_table; /* 初始化指针,指向列表的第一个元素 */
  while(temp) {
    temp2 = temp->table_entry;
    while(temp2) {
      if(temp2->attr == pubattr){
      /*若列表中的属性与发布属性一致 */
      FILE* file = fopen("output.txt","a"); /* 输出信息 */
      fprintf(file,"match success\n");
      fclose(file);
      int gid = temp->sub_id;
      ForwarderState* addFwdTableEntry(int gid,int src_id);
      /*匹配成功,则转发数据分组*/
      m=1;/* 匹配成功标记量置 1 */
    break;
    }else {
      temp2 = temp2->next;
      /*匹配不成功,则指针指向下一元素*/
      FILE* file = fopen("output.txt","a");
      fprintf(file,"match failed\n");
      fclose(file);
      m=0;/* 匹配成功标记量置 0 */
    }
  }
    if(m==1) {
    FILE* file = fopen("output.txt","a"); /* 输出标记量 */
    fprintf(file,"m=1\n");
    fclose(file);
    break;
    } else {
    FILE* file = fopen("output.txt","a");
    fprintf(file,"m=0\n");
    fclose(file);
    temp = temp->next;
   /*匹配失败,指针指向下一节点登记条目*/
    }
}
if(m==1){
return SUCCESS;
} else {
return FAILURE;
}
}
```

4 NS2 仿真分析

仿真平台:NS2

仿真环境参数设置如表 2 所示。

表 1 订阅属性存储结构 SFTable

node_1 (订阅节点 ID)	node_1 的订阅属性 1
	node_1 的订阅属性 2
	node_1 的订阅属性 3
node_2	node_2 的订阅属性 1
	node_2 的订阅属性 2
	node_2 的订阅属性 3
node_3	node_3 的订阅属性 1
	node_3 的订阅属性 2
node_4	node_4 的订阅属性 1
…	…

表 2 仿真环境参数设置

参数	数值
节点个数(n)	100
仿真环境(m)	1 200×800
节点移动模型	随机点过程
节点移动速度(m/s)	可变值,最大 20
每个 group 中发布者个数	3
group 数目	3

为简化程序设计,突出协议性能方面的比较,本文采用枚举类型设计发布和订阅的信息属性,将信息属性设为{A,B,C,D,E}五种;采用二维数组类型设计每个转发节点处的订阅属性登记表。当节点收到发布者发布的数据包时,提取其中的发布信息属性,遍历本地订阅属性登记表,将其元素与发布信息属性进行比较,当发布信息属性包含于订阅属性时,继续转发该数据包,否则丢弃该数据包。PSMR 仿真时序如图 3 所示。

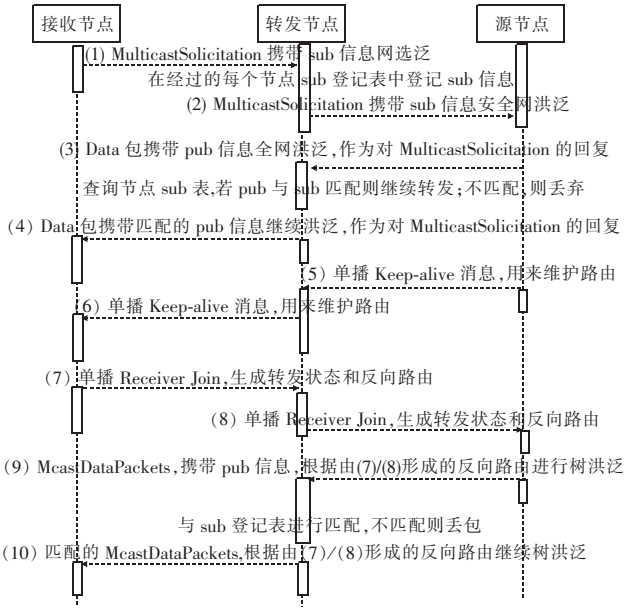

图 3 PSMR 仿真时序图

ADMR 与 PSMR 包的转发次数比较如图 4 所示。由图 4 可以看出,由于增加了网格过滤机制,将发布订阅匹配算法结合在多播路由协议中,PSMR 协议的包转发次数要远小于 ADMR 协议的包转发次数,这样可以极大地减少无用的数据传送,同时减少能量的消耗,极大地提高了网络效率和网络的整体生存时间。ADMR 与 PSMR 信息传送概率比较如图 5 所示。由图 5 可以看出,由于使用相同的路由策略,ADMR 协议和 PSMR 协议在信息传送概率上是基本一致的,但是由于过滤机制的使用,PSMR 协议的信息传送概率略低于 ADMR 协议。

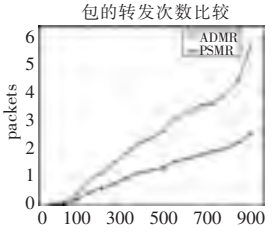

图 4 ADMR 与 PSMR 包的转发次数比较

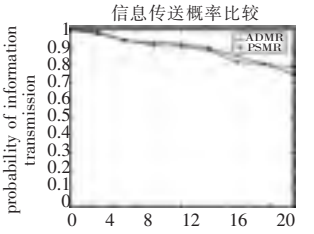

图 5 ADMR 与 PSMR 信息传送概率比较

5 结束语

本文将发布订阅机制与移动 Ad hoc 网络的(下转第 1466 页)

改善。这是因为优化选择的 CCW 避免了大量潜在的碰撞,因而也就降低了式(15)中的 MAC 帧碰撞概率 P_c。同时,从图 5 中还可以得到这样一个结论,即经过优化的接入时延抖动比 IEEE 802.11 的接入时延抖动平缓许多,尤其是当网络规模较大时。

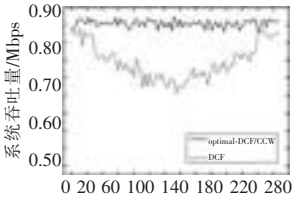

图 4 系统饱和吞吐量比较

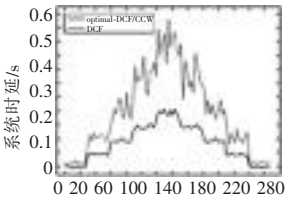

图 5 系统接入时延比较

4 结束语

经过分析以及仿真验证,optimal-DCF/CCW 优化算法能够显著降低网络中 MAC 帧碰撞概率,继而提高饱和系统吞吐量,减小接入时延。该算法具有实现简便,与目前 IEEE 802.11 协议兼容性好,改进效果明显等优点,因而具有很强的实用价值。当然,optimal-DCF/CCW 还有很多可待研究的地方,比如在实现最优常数竞争窗口的基础上进行 QoS 和公平性研究,这是下一步将要进行的工作。

参考文献:

[1] ANSI/IEEE 802.11—1999, Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification[S]. 2003.

[2] BIANCHI G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.

[3] CHEN Hong-yuan, LI Yan-da. Performance model of IEEE 802.11 DCF with variable packet length[J]. IEEE Communication Letters, 2004, 8(3): 186-188.

[4] KHALAJ A, YAZDANI N, RAHGOZAR M. The effect of decreasing CW size on performance IEEE 802.11 DCF[C]//Proc of the 13rd IEEE International Conference on Networks. Kuala Lumpur, Malaysia: [s.n.], 2005: 521-525.

[5] WANG Shao-cheng, HELMY A. Performance limits and analysis of contention-based IEEE 802.11 MAC[C]//Proc of the 31st IEEE Conference on Local Computer Networks. Tampa, FL: [s.n.], 2006: 418-425.

[6] MAHASUKHON P, HEMPEL M, SONG C, *et al*. Comparison of throughput performance for the IEEE 802.11a and 802.11g[C]//Proc of International Conference on Advanced Information Networking and Application. Niagara Falls, ON: [s.n.], 2007: 792-799.

[7] LEE J H, LEE S, PARK S C. Throughput enhancement of IEEE 802.11 MAC by antenna selection for IEEE 802.11a devices[C]//Proc of the 9th International Conference on Advanced Communication Technology. Gangwon-Do, South Korea: [s.n.], 2007: 1732-1733.

[8] KRISHNA C R, CHAKRATARTI S, DATTA D. A modified backoff algorithm for IEEE 802.11 DCF-based MAC protocol in a mobile Ad hoc network[C]//Proc of IEEE Region 10 Conference. Chiang Mai, Thailand: [s.n.], 2004: 664-667.

[9] WANG Chong-gang, LI Bo, LI Le-min. A new collision resolution mechanism to enhance the performance of IEEE 802.11 DCF[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2004, 53(4): 1235-1246.

[10] ZOU Xiang-yi, GAO Jie, ZHAO Li-qiang, *et al*. Adaptive optimization of IEEE 802.11 DCF based on an accurately estimated number[C]//Proc of Future Telecommunication Conference. Beijing: [s.n.], 2007: 327-331.

[11] BIANCHI G, TINNIRELLO I. Kalman filter estimation of the number of competing terminals in an IEEE 802.11 network[C]//Proc of IEEE INFOCOM. San Francisco, CA: [s.n.], 2003: 844-852.

(上接第 1452 页)多播路由协议 ADMR 相结合,设计出适应发布订阅的多播协议 PSMR,建立了发布订阅多跳网络。PSMR 采用了发布过滤、订阅过滤和网格过滤机制,当分发信息在多播网格中进行转发时,中间节点需要使用网格节点过滤对数据进行匹配判决,是继续进行网格洪泛还是销毁分发信息。因此,与 ADMR 协议相比,网络中包的转发次数大大减少。笔者还将继续对 PSMR 协议作进一步改进,结合 QoS 算法,使得发布订阅多跳路由协议更加完善。

参考文献:

[1] EUGSTER P T, FELBER P A, GUERRAOUI R, *et al*. The many faces of publish/subscribe [J]. ACM Computing Surveys, 2003, 35(2): 114-131.

[2] 周元,李光胜,詹永照,等. 三种 Ad hoc 网络组播协议的性能分析与比较[J]. 计算机科学,2006,33(10):40-48.

[3] JETCHEVA J G, JOHNSON D B. Adaptive demand-driven multicast routing in multi hop wireless Ad hoc networks[C]//Proc of Mobihoc. Long Beach, CA: [s.n.], 2001: 33-44.

[4] XIE J, ROUTE A M. Ad hoc multicast routing protocol[J]. Mobile Networks and Applications, 2002, 7(6): 429-439.

[5] WU C W, TAY Y C. AMRIS: a multicast protocol for Ad hoc wireless networks[C]//Proc of IEEE Military Communications Conference. Atlantic City: [s.n.], 1999: 25-29.

[6] LEE S J, GERLA M, CHIANG C C. On-demand multicast routing protocol in multi hop wireless mobile networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2002, 7(6): 441-453.

[7] GARCIA-LUNA-ACEVES J J, MADRUGA E L. Core-assisted Mesh protocol[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(8): 1380-1394.

[8] ZHOU Yuan, LI Guang-sheng, ZHAN Yong-zhao, *et al*. DRMR: dynamic-ring-based multicast routing protocol for Ad hoc networks[J]. Journal of Computer Science & Technology, 2004, 19(6): 909-919.

[9] MEIER R, CAHILL V. Steam: event-based middleware for wireless Ad hoc networks[C]//Proc of the 22nd International Conference on Distributed Computing Systems. 2002: 639-644.

[10] SIVAHARAN T, BLAIR G, COULSON G. GREEN: a configurable and re-configurable publish-subscribe middleware for pervasive computing [C]//Proc of Distributed Objects and Applications. Agia Napa, Cyprus: [s.n.], 2005: 732-749.

[11] MUSOLESI M, MASCOLO C, HAILES S. Adapting asynchronous messaging middleware to Ad hoc networking [C]//Proc of the 2nd Workshop on Middleware for Pervasive and Ad hoc Computing. 2004: 121-126.

[12] ZHAI Li-dong, MA Xiao-lei, GAO Jin-chun, *et al*. PSMR: publish/subscribe multi-cast routing for wireless Ad hoc networks[C]//Proc of International Conference on Computational Intelligence and Security. Harbin: IEEE Computer Society, 2007: 554-557.

[13] ZHAI Li-dong, LIU Yuan-an, MA Xiao-lei, *et al*. Research of publish/subscribe paradigm for mobile Ad hoc networks [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2008, 31(2): 30-34.