

文章编号:1001-9081(2005)09-2108-03

## 基于 DMSP 共享的移动多播方案

张建明, 顾乃杰, 李 婧

(中国科学技术大学 计算机科学与技术系, 安徽 合肥 230027)

(zhangjm@ustc.edu)

**摘 要:** RBMoM 是一种综合了 IETF 的移动 IP 协议中远程加入和双向隧道两种基本方法、综合性能较优的移动多播协议。文中通过分析 RBMoM 移动多播协议中存在的问题, 提出了 DMSP 共享机制, 基于此机制实现了一个高效的移动多播方案。该方案有效地减少了网络中的多播通信量并降低了多播树的维护代价, 却没有给多播数据传输带来太大的延迟。

**关键词:** 移动多播; 多播家乡代理; DMSP 共享

**中图分类号:** TP393.04 **文献标识码:** A

## DMSP-Sharing Based Mobile Multicast Scheme

ZHANG Jian-ming, GU Nai-jie, LI Jing

(Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Anhui Hefei 230027, China)

**Abstract:** RBMoM is a mobile multicast protocol with good integrated performance, which integrates two basic methods called Remote Subscription and Bi-directional Tunneling in Mobile IP of IETF. The problems in RBMoM mobile multicast protocol were analysed, and a DMSP-sharing mechanism was proposed, on which an efficient mobile multicast scheme was provided based. This scheme lessens efficiently multicast traffic in network, and reduces multicast tree maintenance costs, but does not cause multicast data delivery to incur too large delivery delay.

**Key words:** mobile multicast; multicast home agent; DMSP-sharing

### 0 引言

基于移动 IP (Mobile IP) 的多播通信, 可以充分利用有限的无线网络资源, 在移动网络环境中高效低本地实现多媒体应用。目前, IETF 的移动 IP 协议<sup>[1]</sup>给出了两种支持移动多播 (Mobile Multicast) 的基本方法: 双向隧道 BT (Bi-directional Tunneling) 和远程加入 RS (Remote Subscription)。在此基础上, 其他研究者还提出了各种机制来改进路由效率、减少网络开销和保证数据传输的可靠性<sup>[2-9]</sup>。其中文献<sup>[5]</sup>提出的 RBMoM (Range-based MoM) 是综合性能较优的移动多播协议。

在双向隧道方法中, 家乡代理 (Home Agent) 代替移动主机 (Mobile Host) 加入多播组, 接收到多播数据后, 使用隧道转发给移动主机。但当多个移动主机移动到同一外地代理 (Foreign Agent) 时会出现隧道聚集。MoM<sup>[4]</sup>通过引入“指定组播服务提供者”DMSP (Designated Multicast Service Provider) 改进了双向隧道方法, 解决了隧道聚集问题。在 MoM 中, 外地代理从所有来访的移动主机的家乡代理中选取一个作为 DMSP, 只有 DMSP 通过隧道向 FA 转发多播数据, 其他 HA 接收到多播数据后并不进行转发, 这样保证了只有一份多播数据传输给 FA。MoM 虽然解决了隧道聚集问题, 但当移动主机远离家乡网络时, 多播路由路径依然很长。RBMoM 通过使用多播家乡代理 MHA (Multicast Home Agent) 解决了该问题。每个 MHA 定义了一个服务范围, MHA 只为服务范围内的移动主机提供多播服务, 当移动主机移出了 MHA 的服务范围时, 需要重新选择 MHA。RBMoM 可以获得次优的多播路由

路径; 与远程加入方法相比, 也有效地减少了多播树重建次数, 降低了多播树维护代价。同时, RBMoM 也需要通过在多个 MHA 中选择 DMSP 的方法来解决隧道聚集问题。所以, RBMoM 的综合性能较优, 它在多播树重建频率和最优多播传输路径进行了有效地折中。

### 1 RBMoM 存在的问题

在 RBMoM 协议中, 通过选择 DMSP 避免了隧道聚集问题。但是, 当属于不同 MHA 的移动主机移动到同一个外地子网时, 该子网中移动主机的 MHA 都需要加到多播树上, 而只有被选为 DMSP 的 MHA 需要向 FA 转发多播数据, 这意味着从源点到非 DMSP 的 MHA 的多播数据是冗余的 (如图 1 所示), 这增加了网络中的多播通信量。

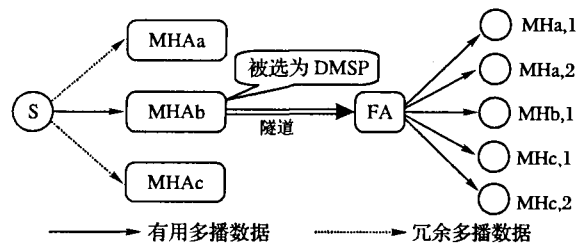


图 1 RBMoM 的多播数据冗余

在 RBMoM 协议中, MHA 只为在其服务范围内的移动主机提供服务, 当移动主机 MH 移到新的外地子网时, 如果该子网不在 MH 的 MHA 的服务范围内, 需要为 MH 选择新的 MHA (通常是子网的 FA 被选为 MH 新 MHA)。如果新 MHA 不在多播树上, 不管该子网的 FA 中是否存在 DMSP 并正在

收稿日期: 2005-03-07; 修订日期: 2005-05-04 基金项目: 安徽省自然科学基金资助项目 (03042210)

作者简介: 张建明 (1979-), 男, 江西新干人, 硕士研究生, 主要研究方向: IP 层多播技术、无线网络通信; 顾乃杰 (1961-), 男, 江苏南通人, 教授, 博士, 主要研究方向: IP 层多播技术、并行算法、并行体系结构; 李婧 (1981-), 女, 山东青岛人, 博士研究生, 主要研究方向: IP 层多播技术、无线网络通信。

通过隧道接收多播数据,都将新 MHA 加到多播树上,这虽然可以获得较优的多播路由路径,却需要重建多播树,增加了多播树的维护代价。特别是当移动主机的移动速度较快时,新 MHA 可能刚加到多播树上,移动主机就离开了该 FA,在这种情况下,为了减少一点多播路由路径长度,却增加了多播树的维护代价。

## 2 DMSP 共享的移动多播方案(DSMM)

根据上面对 RBMoM 的分析,结合双向隧道和远程加入两种基本方法,我们提出基于 DMSP 共享的移动多播方案 DSMM。在 DSMM 中,仍然使用多播家乡代理(MHA)的概念,MHA 为移动主机提供多播代理服务。与 RBMoM 不同的是:对于每个参与的多播组,移动主机都有一个 MHA,也只有多播组中时才需要选择 MHA。当多个移动主机移动到同一子网时,外地代理从这些移动主机的 MHA 或邻近网络中在多播树上的 MHA 中选择 DMSP,只有被外地代理选作 DMSP 的 MHA 才需要加到多播树上,其余的 MHA 则不需要加到多播树上,从而避免了从多播源点到非 DMSP 的 MHA 的冗余多播数据。为了让多个外地代理共享相同 DMSP,DSMM 为每个 DMSP(即 MHA)指定一个服务范围(Service Range),DMSP 可以在其服务范围内并选择它为 DMSP 的外地代理通过隧道转发多播数据。

### 2.1 DMSP 共享机制

在我们的方案中,移动主机初次加入多播组后,为自己选择合适的 MHA;移动主机所在子网的 FA 也选择合适的 DMSP 为自己转发多播数据。当移动主机在网络间切换时,可能会引起移动主机更换 MHA,也可能也会导致 FA 重新选择 DMSP。为了降低多播树维护代价以及减少网络中的多播通信量,当已加入某个多播组的移动主机离开或进入某个子网时,我们采用 DMSP 共享的机制来维护该子网的 DMSP,以及必要时为移动主机重新选择 MHA:

(1) 当移动主机离开某外地子网时,该子网的 FA 保持自己的 DMSP 不变,直到子网中属于该多播组的所有移动主机都离开了该子网或退出了该多播组,FA 才清除该多播组的 DMSP 信息。

(2) 当移动主机进入某外地子网时,依次进行如下操作:

a) 如果该子网的 FA 已经为该多播组选择了 DMSP(表明子网中还存在属于该多播组的其他移动主机),那么 DMSP 继续为 FA 转发多播数据,移动主机的 MHA 不更换。

b) 如果 FA 没有该多播组的 DMSP 信息,但 FA 在多播树上,则将 FA 指定为自身的 DMSP 及移动主机的 MHA。

c) 如果 FA 还没有找到合适的 DMSP,则检测 FA 是否位于移动主机的 MHA 的服务范围内。若 FA 位于 MHA 的服务范围内并且 MHA 在多播树上,则将该移动主机的 MHA 指定为 DMSP。

d) 经过 a), b), c) 三步后,如果 FA 还没有找到合适的 DMSP,FA 搜寻邻近网络中是否存在多播树上的 MHA。若找到并且 FA 在其服务范围内,那么将找到的最近 MHA 指定为 FA 的 DMSP;若没有找到,那么直接将 FA 指定为自己 DMSP 及移动主机的 MHA,同时将 FA 加到多播树上。

(3) 当 MH 回到家乡网络时,由于 HA 的特殊性,总是指定 HA 为移动主机的 MHA,如果 HA 不在多播树上,让 HA 加入多播树。

在上面的策略中,为 FA 选择 DMSP 时,总是先保留现有的 DMSP 或寻找已在多播树上的 MHA 充当 FA 的 DMSP,保

证了 MHA 只有被选择为 DMSP 时,才需要加到多播树上,同时也尽量让多个 FA 使用相同的 DMSP,这样有效地减少了多播树的维护代价以及网络中多播通信量。而且,DMSP 也只能被指定服务范围内的 FA 共享,并为它们转发多播数据,获得了次优的多播路由路径,控制了多播数据的传输延迟。

### 2.2 DSMM 具体描述

为了减少网络中多播通信量和降低多播树的维护代价,我们基于 DMSP 共享机制实现了 DSMM 移动多播方案。

当移动主机 MH 首次加入多播组时,由于 MH 没有该多播组的 MHA 信息,所以需要进行特殊处理:当 MH 在家乡网络时,选择 HA 作为 MH 的 MHA,若 HA 不在多播树上则加到多播树上;当 MH 在外地子网时,指定该子网的 FA 为 MHA,若 FA 没有该多播组的 DMSP 信息并不在多播树上,则将 FA 加到多播树上。具体操作如下:

```
Operation: MH Joins in Multicast Group G
FA /HA Receives JOIN REQUEST from MH;
IF (MH is in home network) {
    MHA of MH ← HA;
    HA joins to the multicast tree if it is not there;
    MH is added into local MH list of HA;
}
ELSE {
    MHA of MH ← FA;
    IF (FA has not DMSP information) {
        DMSP of FA ← FA;
        FA joins to the multicast tree if it is not there;
    }
    MH is added into visiting MH list of FA;
}
HA/FA Informs MH of its selected MHA;
```

移动主机 MH 加入多播组后,当它在网络间切换时,按照 DMSP 共享机制来维护子网中的 DMSP,必要时为 MH 重新选择 MHA。当 MH 到达一个新子网时,DSMM 的具体操作如下:

```
Operation: MH in multicast group arrives at a new network
FA Receives REGISTER REQUEST from MH;
IF (MH is in the home network) { // MH comes back home
    MHA of MH ← HA;
    HA joins to the multicast tree if it is not there;
    MH is added into local MH list of HA;
}
ELSE { // MH arrives at a new foreign network
    IF (FA has not DMSP information) {
        IF (FA is in the multicast tree) {
            DMSP of FA ← FA;
            MHA of MH ← FA;
        }
        ELSE IF (Distance(FA, MHA of MH) < service range &&
            MHA is in multicast tree) {
            DMSP of FA ← MHA of MH;
        }
    }
    ELSE {
        FA floods MHA SEARCH message to the neighboring
        network with distance restricts;
        IF (nearest MHA in multicast tree exists) {
            DMSP of FA ← this MHA;
        }
    }
    ELSE {
        DMSP of FA ← FA;
        MHA of MH ← FA;
    }
}
```

```
FA joins to the multicast tree;
}
}
}
MH is added into visiting MH list of FA;
}
IF (new MHA of MH is different from old MHA) {
    HA/FA Informs MH of new MHA;
    HA/FA Informs old MHA to delete information about MH;
}
ELSE { FA Informs MHA of the FA currently serving MH; }
```

在上面操作中,FA 为了搜寻附近网络中在多播树上的 MHA,采用扩散方式发送搜寻消息,设定消息的 TTL 值为 DMSP 的服务范围。在多播树上的 MHA 接收到搜寻消息则发送应答消息。

FA 选择好 DMSP 后,向 DMSP 发送数据转发请求,DMSP 接收到请求后,使用隧道向 FA 转发多播数据;当 FA 不需要 DMSP 转发多播数据时,向 DMSP 发送停止转发消息,DMSP 接收到请求后,停止向该 FA 转发数据,如果没有任何 FA 需要它转发多播数据,则离开多播树。

2.3 组成员管理

当移动主机 MH 移动到一个子网时,向该子网的 HA/FA 发送多播注册请求,HA/FA 接收到注册请求后,将 MH 添加到本地/来访的移动主机列表中,同时为每个移动主机设定一个生命值(生命值可以根据 HA/FA 查询周期来定),生命值随时间递减。HA/FA 周期性发送查询消息来查询是否还有移动主机在多播组中,移动主机接收到查询消息后,若还在多播组中则立即应答。收到应答后,HA/FA 重新设置该移动主机的生命值。当移动主机的生命值减至 0 时,表明该移动主机已经离开了子网或退出了多播组,HA/FA 将其从列表中删除。如果列表中不存在移动主机,若是 HA 则可以离开多播树,若是 FA 则删除该多播组的 DMSP 信息,同时向该 DMSP 发送停止转发消息。

2.4 数据结构

为了实现 DSMM 方案,MHA、FA、HA 和 MH 使用不同的数据结构来维护多播组信息(如图 2 所示)。MHA 为每个多播组维护需要提供代理的移动主机列表以及需要转发多播数据的外地代理列表(即转发列表)。FA 必须维护每个多播组的 DMSP 信息和来访移动主机列表。由于 HA 不需要选择 DMSP,所以 HA 只需维护本地移动主机列表。MH 记录了它所参与的每个多播组的 MHA 信息。

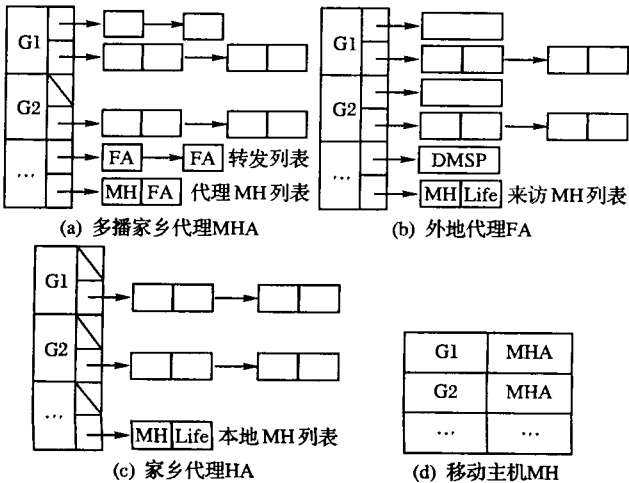


图2 DSMM 的数据结构

3 模拟实验及性能分析

3.1 模拟实验

我们在一个 10 × 10 的 Mesh 网络上模拟实现了 DSMM。Mesh 网络的拓扑采用了文献[5]中网络拓扑生成算法来生成。Mesh 上的每个节点代表一个子网,每个子网中存在一个 HA 和 FA。表 1 给出了模拟实验参数。表 1 中的移动速度 MR = 1, 2, 3, 4, 5 时,分别对应移动主机在一个时间片内的切换概率:10%、15%、25%、33%、50%。

在实验中,移动主机的 HA 和最初的 FA 随机指定,多播源点也随机选择,使用 Dijkstra 算法创建有源最短路径多播树。在每个时间步中,首先计算每个移动主机是否需要切换,然后对需要切换的移动主机进行网络切换,收集完所有实验数据后再启动下一个时间片。实验结果通过多次实验取平均值得到。

表 1 模拟实验参数

参数	描述说明	取值范围
N	子网数	10 × 10
M	组数	1
S	每组多播源个数	1
G	初始组成员的数目	10...290
MR	移动速度	1...5
MT	控制包传输一跳的时间	1 时间片
T	模拟时间	1 000 时间片

3.2 实验结果及分析

网络中多播通信量可以用转发多播数据的节点数(包括多播树上的节点和隧道上的节点)来表示。图 3 给出了 RBMoM 中 MHA 和 DSMM 中 DMSP 使用不同服务范围(R = 2, 3, 4)时多播通信量的比较(MoM 的多播通信量较大,不能在图中全部表示出来)。从图中可以看出,相同服务范围时,DSMM 的多播通信量与 RBMoM 相当或者更少。随着服务范围的增大,DSMM 相对更少,因为 DMSP 的服务范围越大,更多的外地代理可以共享同一个 DMSP,从而有效地减少了网络中的多播通信量。

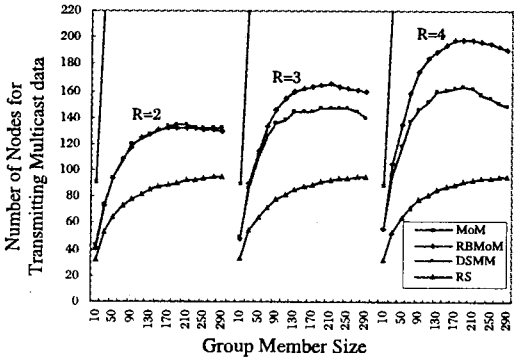


图3 多播通信量的比较(MR = 3)

在移动多播中,多播树维护代价主要体现为多播树重建的次数,与移动主机的移动速度有关。图 4 中给出了移动主机以不同速度(MR = 1, 3, 5)移动,RBMoM 的 MHA 和 DSMM 的 DMSP 使用不同服务范围(R = 2, 3, 4)时多播树维护代价的比较。从图中可以看出,DSMM 的多播树维护代价比 RBMoM 要小,特别是在稀疏(多播组成员数小于子网数)情况下,DSMM 的维护代价相对更小。

(下转第 2113 页)

出结点数,故  $k+1$ ),  $x_1$  为结点的编号,  $d_1$  为找到该点时所走的维数;  $x, d$  为当前结点编号及维数;  $n$  为 hypercube 的维数,由用户输入;  $dim[]$  为一数组,用于控制变换维数的;  $dep$  为堆栈指示器; 函数  $bool CanPass()$ ;  $bool NotIn(int value)$ ;  $bool NotNeighbour(int value)$ ;  $bool IsFinished()$ ;  $void Back()$ ;  $void ShowPath()$ ; 均为用户自定义的函数,分别用来判断当前结点是否可以通过、当前点不在堆栈中、当前点和堆栈中的点是否相邻、当前路径是否走完、回退函数以及输出结果函数,限于篇幅,在此不做详细介绍。试验结果数据如表1所示。

表1 由程序所得出的数据

维数/ $n$	结点数	边数	LIP 的条数
2	3	2	2
3	5	4	6
4	8	7	12
5	14	13	740
6	27	26	720

试验结果表明,随着  $n$  的增大,hypercube 容错的结点数越来越多(例如,  $n=3$  时,容错结点数为  $2^3-5=3=2^{(3-1)}-1$ ;  $n=4$  时,容错结点数为  $2^4-8=8=2^{(4-1)}$ ; 而当  $n=6$  时,容错结点数变为  $2^6-27=37=2^{(6-1)}+5$ 。

## 4 结语

多处理机系统中的容错性一直是影响其性能的一个重要因素;文章在分析 hypercube 结构特点的基础上,提出最长导出路的概念(即 LIP)及其优点,改善了基于 hypercube 拓扑结构的多处理机系统的容错性,并在此基础上给出求 LIP 的算法及实现;但是,由于该算法采用深度优先的搜索方式,因此复杂度较高,有待进一步改善。

### 参考文献:

- [1] RAGHAVENDA CS, YANG PJ, TIEN SB. Free dimensions - an effective approach to achieving fault tolerance in hypercubes[ A]. Proc. 22nd International Conference on Parallel Processing[ C], 1993.
- [2] SAAD Y, SCHULTZ MH. Topological properties of hypercubes[ R]. Research Report 389. Dept. of Computer Science, Yale University, June 1985.
- [3] 刘方爱,刘志勇,乔香珍. 光 RP(k) 网络上 Hypercube 通信模式的波长指派算法[ J]. 软件学报, 2003, 14(3).
- [4] 高峰,李忠诚. 用最短路矩阵实现超立方体多处理机系统的容错路由[ J]. 计算机学报, 2000, 23(3).
- [5] 王洪玉,董秀国,顾伟康. 全互连立方体网络的路由算法研究[ J]. 浙江大学学报(工学版), 2001, 35(3).

(上接第2110页)

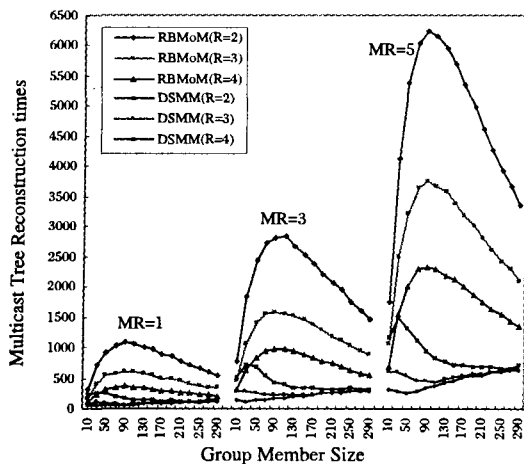


图4 多播树维护代价的比较

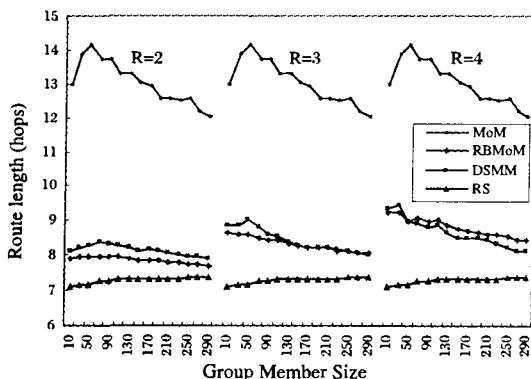


图5 多播路由路径长度的比较(MR=3)

多播数据的传输延迟可以用多播路由路径长度来表示。DSMM 使用了隧道转发多播数据,但并没有给多播数据带来太大传输延迟。图5给出了使用不同服务范围( $R=2,3,4$ )时多播路由路径长度的比较。从图中可以看出,DSMM 的路由路径长度介于 RS 和 MoM 两者之间,随着 DSMM 的服务范

围增加,多播路由路径略变长。实验结果表明,DSMM 的多播路径长度 RBMoM 相当。结合图3和图4可以看出,DSMM 在没有增加太多传输延迟的情况下,却有效地减少了网络中的多播通信量,并降低了多播树的维护代价。

## 4 结语

通过分析和模拟实验表明,新提出的方案有效地减少了网络中的多播通信量,并降低了多播树的维护代价,同时没有给多播数据传输带来太大的延迟。

### 参考文献:

- [1] PERKINS C. IP Mobility Support for IPv4[ S]. RFC 3344, Aug. 2002.
- [2] CHI KH, TSENG CC, HUANG TL. A Framework for Mobile Multicast Using Dynamic Route Reconstructions[ J]. Computer Journal, 1999, 42(6): 522-533.
- [3] CHENG LT, PINK S. MobiCast: A multicast scheme for wireless networks[ J]. Mobile Networks and Applications, ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications, 2000, 5(4): 259-271.
- [4] HARRISON TG, WILLIAMSON CL, MACKRELL WL, et al. Mobile multicast (MoM) protocol: Multicast support for mobile hosts[ A]. Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM'97[ C], 1997. 151-160.
- [5] LIN CR, WANG KM. Mobile Multicast Support in IP Networks[ A]. INFOCOM2000[ C], 2000. 1664-1672.
- [6] YANG SJ, PARK SH. A Dynamic Service Range - Based Multicast Routing Scheme using RSVP in Mobile IP Networks[ A]. IEEE Globecom2001[ C], San Antonio, Texas, USA, Nov. 2001.
- [7] PARK J, SUH YJ. An Efficient Multicast Routing Protocol For Mobile Hosts[ J]. Proceedings of KISS Spring Conference, 2001 vol. 21: 262-264.
- [8] LAI J, LIAO W. Mobile multicast with routing optimization for recipient mobility[ J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2001, 47(1): 199-206.
- [9] RIZZO L, VICISANO L. RMDP: An FEC-based reliable multicast protocol for wireless environments[ J]. ACM Mobile Computing and Communications Review, 1998, 2(2): 23-31.