

蜂窝广播网络中基于连接优先级控制的多播应用

The multicast application based on linking priority in cellular broadcasting network

陶 骏 (武汉大学计算机学院 430079)

袁 琼 (武汉科技大学中南分校信息工程学院 430223)

洪国辉 (武汉大学计算机学院 430079)

摘要:多播中,网络节点在耗费代价很小的情况下发送和接收数据包,这种通讯的优势使多播在各种类型的网络应用中迅速增长,本文介绍了一种无线广播网络中的多播应用,其根据连接优先级控制网络通讯,通讯链路上的参数 SIR 决定连接优先级,在确定连接优先级的情况下,网络应尽可能多的提供符合 SIR 要求的连接,以提高通讯的效率。

关键词:多播 广播 SIR 连接优先级

1 引言

多播在通讯中的应用越来越广泛,实现多播需要特定的网络设备和网络规范,实现多播的核心设备是路由器^[1],多播提高了网络的通讯效率。多播可以在带宽较高的以太网上实现,也能够带宽较低的蜂窝广播网络中实现。

在多播通讯中,数据发送节点并不是将数据的多份拷贝发送给数据接收节点,其仅通过多播树发送出一个数据拷贝,数据拷贝在树的分叉点进行复制,所有的数据节点都能接受到这个数据拷贝,这是多播和传统广播的本质区别^[1]。多播应用也能够广播网络中实现,广播网络中的物理通讯链路和满足多播规范的数据接收设备可以保证多播的顺利进行,一个需要发送的数据拷贝能够通过广播网络中的物理信道到达所有的数据接收者,多播应用的关键是建立多播树。

本文介绍了蜂窝广播网络中基于优先级控制的多播应用,网络根据优先级进行通讯,减少了通讯冲突,提高了数据传输效率,广播网络中的关键参数 SIR(信号干扰比)决定优先级。

蜂窝广播网络中的 SIR 值是个变量,所以网络节点在临时分配的通讯信道上接收数据时可能会出现错误,因此,网络需要断开不稳定连接以保障通讯质量,为了保障稳定性,网络应在运行的早期阶段断开不稳

定的连接。

设定优先级和断开不稳定连接的目的是保障蜂窝网络中的多播传输的正确稳定的运行,多播应用通过蜂窝网络中的信道传输数据,网络要在符合 SIR 值要求的前提下,尽可能多的提供连接,但是连接的数目受网络流量的影响,因为多播树的数目是由网络流量决定的。

2 多播树建立算法

在多播中,信源要向多个接受者发送相同的数据。如果从信源到每个接受者都建立点到点路由,则由于这些路由有可能重叠,会造成网络资源的浪费。为此多播路由通常采用树形结构,对应每个消息,由信源发出一个消息拷贝,这个消息在树的分枝点进行复制,并最终传到所有的组成员。如图 1 所示,信源为 A,成员为 E、F、G 和 H。图中的粗实线代表路由树,边上的数字表示链路代价或者延迟。采用路由树的方式一方面节省了网络资源,同时也保证每个接受者只收到数据的一个拷贝,避免了回路。这是目前多播路由传输的基本思想^[1,2]。

2.1 多播树构造算法

蜂窝网络中的多播应用采取的是基于位置指导的多播树构造算法,此算法以单播算法为基础,把目的节

点 IP 封装在数据包中沿着 K 进制结构的分配树进行传送。它基于两个重要假设:单播算法能找出最短路径的路由;多播成员能意识到同组其他成员的近似地理位置。

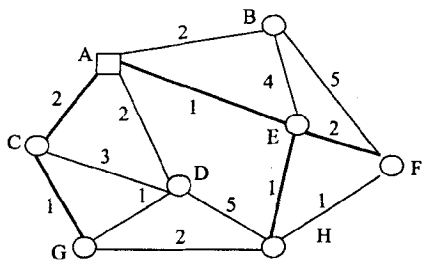


图 1 一棵多播树,粗线代表多播树

如图 2, 设 S 为源节点, 节点 1-7 为目的节点, $K=2$ 。

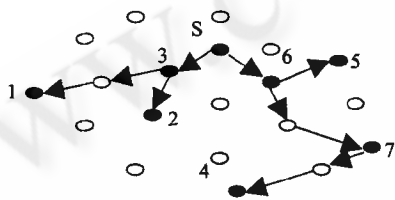


图 2 二进制多播树的建立

(1) S 向节点 1-7 广播路由请求信息。

(2) S 选择应答最快的两个目的节点与它们建立路由, 如图所示, 它选择了节点 3 和 6 (这两个节点称为 S 的字节节点), 因为这两个节点离 S 最近。

(3) S 分别给它们发送数据包, 数据包中封装有相关的目的节点 IP 的信息。如给节点 3 的包中包含节点 1 和 2 的 IP。即此时 S 把进一步的转发任务分给了节点 3 和节点 6, 也就是说, 节点 3 需要把数据转发给节点 1 和 2, 节点 6 转发给节点 4, 5 和 7。注意, 节点 S 能意识到这次节点的近似位置, 以使任务分配合理。

(4) 子节点收到数据包后, 与包中所封装的目的节点中的两个距它最近的目的节点建立路由, 并在目的节点列表中把这两个目的节点的 IP 删除, 然后转发数据。这个过程一直持续到所有目的节点列表为空为止。如节点 3 和节点 1 和 2 建立路由并转发数据, 因已无需这两个节点进一步转发数据, 故数据包中目的节点列表为空, 给节点 7 的则包含节点 4 的 IP。最后

节点 7 把数据转发给节点 4。

该算法因为每个节点选择与之建立路由的都是最近的 K 个子节点, 因此数据包的转发效率很高, 而且各个节点工作量的分配也比较均匀^[1,3]。

3 蜂窝网络原型

蜂窝网络中分布着多个网络节点, 网络节点组成网络单元, 每个网络单元中只有一个网络站, 网络站就是多播树中的分叉节点, 它负责通过信道与终端节点建立连接, 在多播应用中, 网络单元通过一条信道把数据发送给一组网络节点, 如图 3 所示。

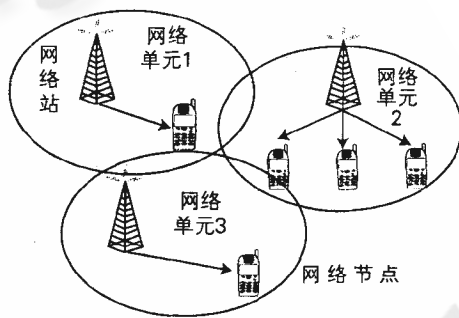


图 3 网络单元 1 和 3 中的网络站通过单播和每个终端网络节点建立连接, 网络单元 2 的网络站通过多播和终端网络节点建立连接

参与通讯的网络节点大体上符合参数为 λ 的泊松分布, 令 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ 为一个通讯信道中的节点集合, 因为参与通讯的网络节点是变化的, 所以集合 C 的基数是一个变量。令 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_k\}$ 为网络通讯集合, $D_k = \{1, \dots, J_k\}$ 是一个网络连接的集合, J_k 表示终端网络节点, K 是网络单元的代号, 如果此连接是网络单元 k 中的一个单播连接, 则 $J_k = 1$; 如果此连接是网络单元 k 中的一个多播连接, 则 $J_k \geq 1$, J_k 等于网络单元中的数据接收节点的数量。蜂窝网络根据连接优先级进行通讯, 向量 $p = (P_1, P_2, \dots, P_k)$ 表示每个网络站的连接优先级, 网络站 k 的优先级为 P_k 。 $G = [g_{ik}]$ 表示通讯连接增益矩阵, g_{ik} 表示位于网络单元 k 中的网络站 i 和终端网络节点 j 之间的下行通讯链路增益, G 控制网络站的通讯连接。 $V = [v_{jk}]$ 表示通讯噪声矩阵, v_{jk} 表示网络单元 k 中的 j 终端网络节点上的噪声值, V 是由 SIR 的大小决定的, γ^j 表示网络终端节点和

网络站之间进行通讯时的最小 SIR 值,网络节点和网络站要进行通讯,必须要满足下列条件^[4]:

$$p_k \geq \frac{\gamma}{g_{ik}} \left\{ \sum_{i,j \neq k} p_i g_{ijk} + v_{ik} \right\} \quad (1)$$

对于优先级向量 p 网络单元 k 中的终端节点 i 上的 SIR 值为:

$$T_{ik} = \frac{g_{ik}}{\sum_{i,j \neq k} p_i g_{ijk} + v_{ik}} \quad (2)$$

由(2)可以得出 T_{ik} 是随机变化的,因为通讯连接增益矩阵 G 是一个变化的矩阵,矩阵 G 变化的主要原因是:网络节点的不稳定性导致了多播路径的变化。确定了网络节点 SIR 值的情况下,网络的链路损耗概率为:

$$p_{i/m,u,\lambda} = \Pr\{T < \gamma^i | m, u, \lambda\} \quad (3)$$

网络的链路损耗概率确定优先级,优先级控制的主要思想是,网络依靠连接优先级控制网络中的连接数目,断开不稳定的连接以保障其他网络节点的正常通讯,为通讯提供更加稳定和没有冲突的通讯信道。

4 网络多播通讯

确定通讯连接增益矩阵 G 后,每个节点都对应一个优先级向量 $p(p > 0)$,节点的 SIR 值 $T \geq \gamma^i$ 。网络单元 k 中的终端节点 i 在满足(1)的情况下,才能进行稳定的通讯,它发生冲突的判别公式为:

$$I_k(p) \geq \gamma^i \left(\sum_{i,j \neq k} g_{ijk} p_i + v_{ik} \right) \quad (4)$$

网络建立连接后,为了保障通讯的正常运行,减少网络通讯冲突,定义:

$$I_k(p) = \max\{I_k(p)\}, i \in D_k \wedge k \in B \quad (5)$$

$$I(p) = (I_1(p), \dots, I_k(p)) \quad (6)$$

如果优先级向量 $p \geq I(p)$,则优先级向量满足需要,如果 $p < I(p)$,则节点需要调整优先级,调整的算法为:

$$p(n+1) = I(p(n)) \quad (7)$$

函数 $I(p)$ 要满足恒正性、单调性和有界性^[5]。

4.1 多播优先级控制算法

对于网络站集合 $X(n)$,如果其优先级更新发生在时间 n ,则属于 $X(n)$ 的网络站 k 在时间 $n+1$ 的更新算法为^[5]:

$$p_k(n+1) = \max\{p, \min\{I_k(p(n)), \bar{p}\}\}, k \in B(n) \quad (9)$$

优先级的范围是 $[\min(p(n)), \bar{p}]$,为了满足传输中 SIR 值的要求,算法在网络单元中为数据接收者设定了最高的优先级,从(9)中可以看出,网络站和数据节点建立连接后,它对应的优先级将达到最大值。但是,多播优先级控制算法降低了其他网络单元的传输带宽,为了提高传输效率,优先级控制算法需要同连接移除算法结合使用。

4.2 渐进连接移除算法

渐进连接移除算法有步骤的在优先级更新阶段断开不需要的连接,其目的是减少网络中的冗余通讯连接,避免通讯冲突频繁出现。渐进连接移除算法的过程为:

(1) 决定移除连接发生的时间;

(2) 根据定义的通讯裁断规则选择需要断开的连接,并在规定的时间断开连接。

4.3 通讯裁断规则

网络根据连接的情况确定通讯节点的连接优先级,然后再决定需要断开的连接,断开连接的规则称为通讯裁断规则,通讯裁断规则有^[5]:

规则1:单播连接和多播连接具有相同的优先级。在断开连接时,网络将根据公式(9)确定决定每个不支持连接的最大优先级,然后对它们进行第一次移除。当移除完成后,网络对剩余的连接进行优先级更新,如果网络中仍存在不支持的连接,则需要对它们进行重复的移除。例如:移除网络单元 m_0 中的 i_0 连接后, m_0 的网络连接集合为 $D_{k_0} - \{i_0\}$,如果 $D_{k_0} - \{i_0\}$ 不为空集, m_0 将根据公式(9)重新调整网络优先级。如果 $D_{k_0} - \{i_0\}$ 为空集,网络单元 m_0 将脱离连接。

规则2:单播连接的优先级优于部分多播连接。当网络中存在不支持的连接时,优先级最高的多播连接将首先被断开。如果不支持的连接中只有单播连接,则优先级最高的单播连接将被断开。规则1中,引起网络通讯冲突的连接将首先被断开,这和规则2是不同的。

规则3:单播连接的优先级优于所有的多播连接,此规则规定不支持连接中的所有多播连接将被断开,如果不支持连接中只存在单播连接,则需要优先级最高的单播连接被断开。例如:当网络单元 k_0 中的不支持的连接中存在多播连接时,则连接集合 D_{k_0} 中的所有多播连接将被断开,而且 k_0 的连接优先级将被设为0。

规则 4: 多播连接的优先权高于单播连接, 不支持连接中的优先级最高的单播连接将首先被断开。如果不支持的连接中只存在多播连接, 则优先级最高的多播连接被断开。

5 实验分析

实验中的网络单元的形状是六角形的, 网络站点于六角形的中心, 网络节点都处于忙碌状态, 此时网络单元 k 中的网络站 i 和网络节点 k 之间的通讯链路断开的测算公式为:

$$g_{ik} = A_{ik} \cdot d_{ik}^{-\alpha} \quad (10)$$

α 是测算参数, 它的值由实验环境决定, g_{ik} 决定网络的链路损耗概率, 实验在 $\alpha=4$ 时得出了链路损耗概率和 SIR 值的关系, 具体情况如表 1 所示:

表 1 链路损耗概率和 SIR 值对应关系

SIR 值 链路 损耗概率	5	7.5	10	12.5	15
一般的广播	0.015	0.09	0.18	0.31	0.49
规则 1	0.01	0.03	0.04	0.09	0.17
规则 2	0.008	0.02	0.035	0.09	0.15
规则 3	0.006	0.014	0.019	0.038	0.1
规则 4	0.013	0.02	0.032	0.14	0.18

实验表明, 使用优先级控制的广播通讯优于一般的广播通讯, 而多播优先级高的通讯优于单播优先级高的广播通讯。

6 结论

本文介绍了蜂窝广播网络中的多播应用, 指出了多播可以在蜂窝广播网络中实现, 叙述了广播网络中的一个基于优先级控制的多播系统原型, 详细分析了的多播树的建立算法和多播通讯的过程, 并通过实验验证了优先级控制的多播传输的优点。

参考文献

- 1 詹鹏飞, 无线 ad-hoc 网络中的多播技术[J], 无线电工程, 2003, (10): 13-15.
- 2 Deering s. Multicast Routing in internetworks and Extends LANs[A]. SIGCOMM 88[C], 1988. 55-64.
- 3 Ballardie A. Core Based Trees(CBT) Multicast Routing Architecture[S]. RFC2201, September 1997.
- 4 冯晋变等, IP 多播路由协议的分析和比较[J], 计算机应用, 2003, (3): 18-20.
- 5 D. pendarakis, ALMI: an application level multicast infrastructure[J], USENIX, 2004, (2): 49-60.