

文章编号: 2095-2163(2020)08-0268-05

中图分类号: TP393

文献标志码: A

移动 AD Hoc 网络分层路由算法及路径维护机制的设计与研究

陈 晔

(常州纺织服装职业技术学院 信息服务中心, 江苏 常州 213164)

摘要: 移动 Ad Hoc 网络是一种对等式的网络结构, 所有移动节点的地位都是相同的, 不需要设置任何的控制中心节点。在移动 Ad Hoc 网络中的移动节点不但具备一般移动节点所需的功能, 同时也具备封包转送的能力, 也就是说移动节点本身是主机同时也是路由器。移动 Ad Hoc 网络不需预先建设相关的网络基础设施, 即可达到移动装置间互相通讯, 但移动装置的通讯局限于区域性。本文拟在集群路由方式的移动 Ad Hoc 网络平台上, 通过建立一个以功率为基础的分层路由算法, 使网络内的移动节点互相通讯。

关键词: 移动 AD Hoc 网络; 分层路由; 功率

Design and research of hierarchical routing algorithm and path maintenance mechanism in mobile AD Hoc network

CHEN YE

(Information Service Center, Changzhou Vocational Institute of Textile and Garment, Changzhou 213164, Jiangsu, China)

[Abstract] Mobile Ad Hoc network is a kind of network structure of peer to peer, All mobile nodes have the same status where there is no need to set up any central control nodes. In mobile Ad Hoc network, mobile nodes not only have the functions required by general mobile nodes, but also have the ability of packet forwarding. In other words, mobile nodes themselves are hosts as well as routers. Although mobile Ad Hoc network can achieve the purpose of communication between mobile devices without the need to build relevant network infrastructure in advance, it also limits the communication range of mobile devices to a regional level. This study aims to establish a power-based hierarchical routing algorithm to enable mobile nodes in the network to communicate with each other on a mobile Ad Hoc network platform based on cluster routing.

[Key words] mobile AD Hoc network; hierarchical routing; power

0 引言

移动 Ad Hoc 网络中有单点跳跃路由与多点跳跃路由两种路由方式。单点跳跃路由是指来源端到目的端只需要跳跃一次就可将封包送至目的端。多点跳跃路由则是封包从来源端到目的端需要经过多个节点路由, 如图 1 所示。多点跳跃路由较为常用, 因为节点的传输范围有限, 若来源端与目的端距离过远, 彼此不在对方的传输范围内, 势必要经由其他的节点转送。

目前移动 Ad Hoc 网络下的分层路由, 大部分是以距离作为选择路径的依据。虽然距离也是能量消耗的一个参考依据, 但是在无线网络的传输媒介下, 能量的耗损将受到气候、地形、距离等的影响, 只是以距离来当作选择路径的依据, 不足以反映一个最佳路径^[1]。本文以能量的消耗总和作为一个路径选择时的参考依据, 可以准确的评估路径所需要花费的功率。同时将功率作为选择路径的基准, 建立一个以功率为基础的网络模型。

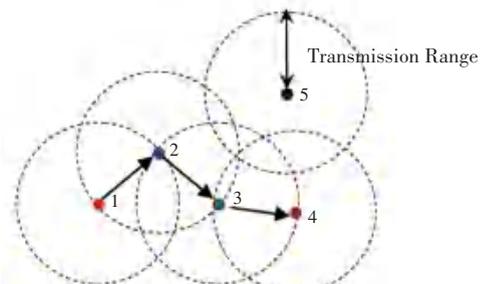


图 1 多点跳跃路由

Fig. 1 Multi-hop routing

另外对于路径的维护机制, 本文提出维护的机制是 Route-Based Reroute。

本文在移动 Ad Hoc 无线网络下建立两个模型, 一为以能源为基础的网络拓扑 (Energy-Based Topology) 的建立以及功率控制机制 (Power Control Mechanism); 二为流动模型 (Mobility Model)。

1 建立以功率消耗为依据的流动模型

1.1 以能源为基础的拓扑以及功率控制机制

在移动 Ad Hoc 无线网络结构下, 将功率的消耗

基金项目: 常州纺织服装职业技术学院 2017 年度学术科研基金 (201714)。

作者简介: 陈 晔 (1981-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 下一代互联网。

收稿日期: 2020-06-03

作为选择路径的依据时,必须对于移动主机传输所需要的功率分极,即将主机传送数据的功率层次化^[2]。当两主机距离较短时,传送数据需要功率层次较低;主机距离较长时,则传送数据所需要的功率层次较高,如图 2 所示。主机 S 利用功率层次 2 就可传送数据给主机 B,但需要功率层次 N 来传送数据给主机 C。功率层次化一方面可以节省功率,另一方面可以降低对其他讯号的干扰。

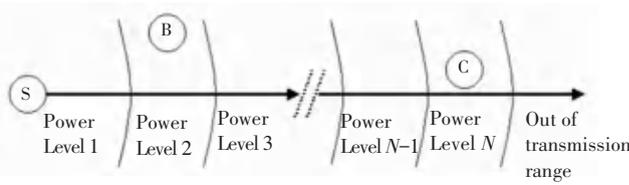


图 2 主机传送功率层次化

Fig. 2 The hierarchy of transmission power of the main engine

除了主机功率层次化以外,还必须配合功率控制机制,才可以建立一个功率层次基础的网络拓扑。功率控制的机制是藉由周期性发出功率层次探测封包,当邻近节点接收到探测封包时,藉由探测封包讯号的强弱,来判断两主机相连接所需要最小功率位阶,再回传给送出探测封包的节点,通知该节点传送数据时所需要的功率位阶,但是由于移动式主机可以发送的功率层次依功率的衰减而减低,所以当收到探测封包节点的功率无法直接回传给传送端时,则定义两点无法直接通讯,将可以避免非对称链路(asymmetric link)的产生。此外当两点已经建立连线后,传送数据的封包将会包含功率探测封包,当封包讯号衰减到一定比例后,接收端将会要求传送端将传送数据的功率层次加一级,若是传送端已经无法再以高一级的功率层次来传送数据时,则连线将会因为封包无法送达接收端而中断;相反的,若是封包讯号随着时间愈来愈强,则接收端将会通知传送端将发送封包的功率层次降低。功率控制机制将可以减少功率的浪费,同时也降低对其他讯号的干扰。

1.2 流动模型

可移动是移动 Ad Hoc 无线网络下主机的特性,所以主机和主机之间的连接稳定度将会与两主机的行为、特性有关系^[3]。本文定义一个连接系数以及主机功率变异系数来决定两主机连接的稳定度。将以一些数学模型来描述功率层次建立的网络拓扑,以及两个移动式主机的连接系数。

首先定义一个有 N 个移动式主机的移动 Ad Hoc 无线网络拓扑为 $\{V, E\}$, $V = \{v_0, v_1, v_2 \dots v_{n-2}, v_{n-1}\}$, $E \in V \times V, E = \{e_{ij} \mid 0 < i, j < N, \text{ where } \exists$

a link form V_i to $V_j\}$, 并且若是 $\exists e_{ij} \in E$ 则 $e_{ij} \in E$ 。 P_{ij} 为 e_{ij} 所需最小传输的功率层次, P_{mij} 为 e_{ij} 可以提供最大传输的功率层次, $EC(P_{ij})$ 表示以 P_{ij} 功率层次传送所需花费的能量单位。当 V_i 和 V_j 且 P_{ij} 及 P_{ji} 将被设为无限大。

一条路径从主机 V_s 到主机 V_d 所经过的节点定义为 $R_{sd} = \{V_s, V_{i1}, \dots, v_{ik}, V_d\}$, 与 R_{sd} 相对应经过的连结定义为 $E(R_{sd}) = \{e_s, i_1, e_{ik}, d\}$, 路径功率的消耗定义为 $P(R_{sd}) = \sum (EC(P_s, i_1), EC(P_{i1}, i_2), \dots, EC(P_{ik-1}, i_k), EC(P_{ik}, d))$ 。当目的的主机接收到 M 个不同的 R_{sd} 时,则接收端将会以 $\text{Min}\{P(R_{sd}_i), 0 \leq i < M - 1\}$ 做为信息传输路径。当 $e_{k,1} \in E(R_{sd}), P_k, 1$ 为无限大时,则该条路径被定义为中断。

令 Mp_i 代表主机 i 目前可传输最大的功率位阶,主机功率的异变系数 PD_i 是指主机 i 预期在 t 秒的时间后,会产生功率层次的变化,即 $PD_i = (MP_i)k - (MP_i)k + t$,指的是主机 i 在 K 时间所能传输最大的功率层次, $(MP_i)k + t$ 指的是主机 i 预期在 $k + t$ 秒后可以传输最大的功率层次。当 $PD_i = 0$ 表示在 t 时间内,主机 i 和邻居的链接不会因为功率不足而造成连结不稳定; $PD_i = 1$ 表示主机 i 在 t 秒内,将会中断目前主机 i 所能传送数据所使用最高的功率层次;若 $PD_i > 2$ 则表示目前主机 i 的负荷过大,功率消耗量很大。

主机与主机间的移动系数定义为 $v_{i,j} = (P_{i,j}' - P_{i,j}) / \Delta t$, 图 3 说明 $V_{i,j}$ 的测量。根据 $V_{i,j}$ 的定义,当 $V_{i,j}$ 愈大时,则表示主机 i 和主机 j 的距离在单位时间内传输功率阶的增加越多,连结较不稳定;当 $V_{i,j}$ 为负数时,则表示主机 i 和主机 j 的距离越来越远。

事实上每个主机都需要维护和邻近主机相对的 $V_{i,j}$, 对于主机来说将会是一项负担,因此本文将对 $V_{i,j}$ 的计算由传送端来执行, 这个方式计算出的移动系数称为 on-demand-mobility-index^[4], 主要的作法在于传送端在开始传送数据后,将会透过数据回传封包来收集路径中段的功率层次等级,利用和前一个封包记录的数据作比较而得。即 $V_{i,j} = P_{i,j}' - P_{i,j}, P_{i,j}'$ 表示目前收集到路径区段由主机 i 到主机 j 的功率层次等级, $P_{i,j}$ 表示前一个由主机 i 到主机 j 的功率层次等级。

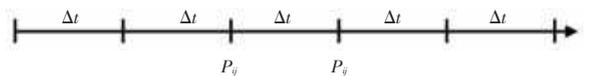


图 3 $V_{i,j}$ 的测量图

Fig. 3 $V_{i,j}$ measurement

2 以功率为基础的分层路由算法设计

为了可以简单的取得路径能量的消耗,以图 4

为基础建立一个移动 Ad Hoc 无线网络拓扑。透过功率层次化拓扑的建立,可以很迅速的计算出传输路径所需要花费的功率,节点 B 到节点 C 所建立的连接功率层次为 1,节点 B 到节点 A 所建立的连接功率层次为 1,节点 B 到节点 D 所建立的连接功率层次为 4。藉由功率拓扑的建立,可以得知由节点 A 经过节点 B、C 到节点 E 所需要花费的功率为 $EC(P_{ab}) + EC(P_{bc}) + EC(P_{ce})$ 。

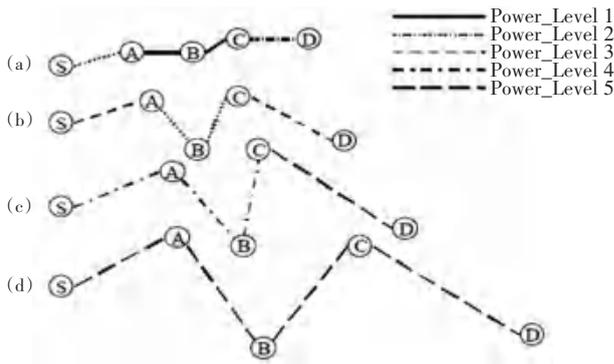


图4 功率拓扑

Fig. 4 Power topology

本文使用 On Demand Source Routing 的方法作为选择路径的方法。寻找路径使用有限制性的广播方式,每个主机均会记录曾经寻找路径的信息,并且将功率消耗较主机记录为大的信息封包丢弃。透过此种方式,接收端将可以收到一条功率消耗最小的路径。当传送端有数据需要传输时,将会启动 path-finding 机制,传送端会对其邻居送出一个 Path_Finding_Request 的信息,这个信息包含了 MID (message identify)、Psum and R3 个栏目,MID 栏目包含了传送端 ID、接收端 ID、以及信息 ID,Psum 栏目记录目前从传送端到此节点所需消耗的功率总和,R 栏目记录依序经过的节点 ID。当中间节点接收到这个信息时,将先检查此信息是否曾经过此节点,若是则继续检查信息里 Psum 是否大于目前已经过信息中最少 Psum,若是则将此信息丢弃;若此讯不曾经过此节点或是 Psum 小于曾经过信息的 Psum 时,则节点会将信息里的 Psum 以及 R 栏目依照和邻居节点连接的状态加以更新,更新后传送给对应的邻居节点。

节点 V_m 接收到来自节点 V_k 传送的路径寻找信息时的处理方式。分层路由算法:

Begin:

Array of Link_Energy; //记录连接每一个邻近主机功率层次等级

Path_Finding Array of [Message ID, Route_Power];

Receive a message form V_k ;

If message_type = path_finding_request

{

 If MID \in Message ID,

 If $P_{sum} >$ MID's corresponding Route_Power in the Path_Finding Array

 Drop the message and return;

 Else

 Route_Power = P_{sum} ; //以最小 P_{sum} 更新

Route_Power Endif

 Elseif

 else

 Insert MID and P_{sum} to Path_finding Array;

 Endif

//根据和邻居的连接功率阶等级来传送需求封包

$R = R \cup \{V_m\}$; //更新需求封包内的路径

 For each neighbor NodeIDi $\neq V_k$

 {

$P_{sum} = P_{sum} + \text{Link_Energy of NodeIDi}$;

 Transmit the request to NodeIDi;

 }

}

Else

 return;

Endif

End.

当目的节点接收到第一路径寻找信息后,将会启动一个计时器 T ,经过 T 时间后,接收端节点将会选择在 T 时间内,将功率消耗最小的路径为传送路径回传给传送端。传送端收到由接收端回传的封包后,将依照封包记录的路径来传送数据。

3 路径维护机制

传送端在完成路径寻找机制后,将利用寻找出的路径来传送数据。由于在移动 Ad Hoc 无线网络的架构下,每一个主机都是可移动,于是在传送数据的时间里,会因路径中主机的移动,使传送路径所需要的功率加大,而失去路径较省功率的特性^[5]。如图 5 所示,路径在(a)(b)两个时间点时,以路径功率消耗来说仍为最佳路径,到达(c)时间点时,就是一条最佳的路径,当到达(d)时间点时,路径功率的消耗将会是最大。这种现象违背了以能量为参考的分层路由所找出路径的特色,因为不但没有节省功率,反而加速功率的消耗。因此,本文提出 Route-Based Reroute 的机制,来预防这类的情形发生。

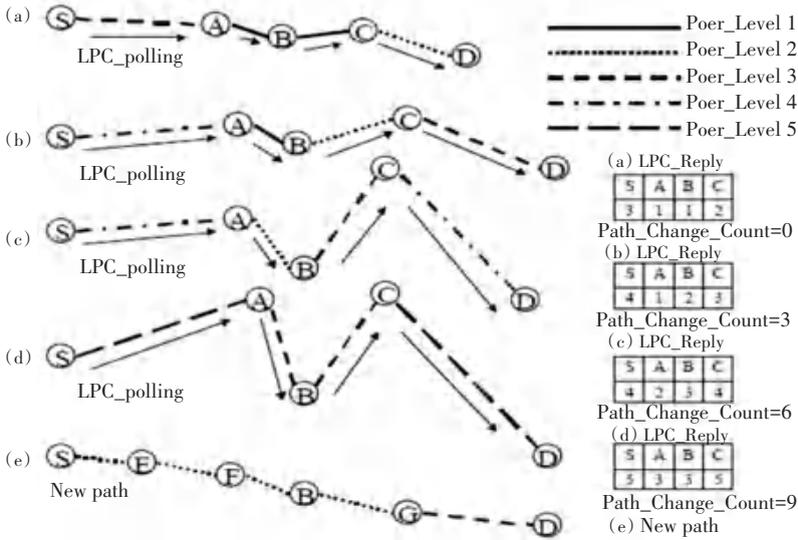


图 5 路径维护机制

Fig. 5 Route-based reroute

Route-Based Reroute 机制的主要运作方式是藉由侦测出路径功率变动次数大于路径长度的 B 倍时启动 Reroute 机制,会参考到路径长度是因为路径越长,功率消耗的范围越大。

Route-Based Reroute 分为两个步骤:一为侦测路径功率层次变动;二为启动 Reroute 机制。侦测路径功率层次变动是在传送端开始传送数据后,传送端会随着数据封包传送 LPC——Polling 信息给接收端,在传送端会有一个功率变化计数器来记录路径功率层次的变动次数^[6]。接收端在接收到 LPC_Polling 信息后,将随着数据回复封包,将 LPC_Reply 回传给传送端,若传送端闲置一段时间后,传送端会单独送 LPC-Polling 信息用来侦测路径功率层次的变动。LPC_Polling 信息记录路由中每段连接的功率层次,也就是 $P_{i,j}$ 。在路由初始化,传送端并没有路由中每段连接的功率层次,所以接收到第一个 LPC_Reply 所记录路由中每段连接的功率层次 $P_{i,j}$ 和第一 LPC_Reply 记录路由中每段连接的能源层次 $P_{i,j}$ 的差异,若 $P_{i,j}' > P_{i,j}$,则会将功率变化计数器加一;若 $P_{i,j}' < P_{i,j}$,则将功率变化计数器减一;若 $P_{i,j}' = P_{i,j}$,则不做任何更新。当功率变化计数器大于 $B \times \text{Path_Length}$ 时,传送端将会重新发出路由寻找封包,但在还没找出新路由前,数据仍依照旧路由传输,直到新路由找到,再将数据切换到新路由来传输,传送端对旧路由发出 Free_Path 的信息。

图 5 说明 LPC_Polling 的运作方式及 Route-Based Reroute 启动的时候,图 5(a) ~ (d) 表示收到每个 LPC_Polling 功率层次的变化。

当传送端每次接收到 LPC_Reply 封包或是数

据回传封包时,将对 Path_Change_Counter 更新。图 5 的例子 $B=2$,图 5(d) 里的 $\text{Path_Change_Counter} > B * \text{Path_Length} = 2 * 4 = 8$,所以传送端会重新发出 Path_Finding_Request 封包来寻找替代路径,新的替代路径如图 5(e) 所示。

Route-Based Reroute 机制不断的侦测路径功率层次的变动次数,而功率层次的变动和主机的移动性有很大的关连,所以 Route-Based Reroute 机制不但可以减低路径功率的消耗,还可以提供一个较为稳定的路径以供数据的传输^[7]。

而 Route-Based Reroute 机制在传送端的运作方式源码:

```

Begin:
Array ofLink_Power_Condition;
//记录路径中每段路径传送时所用的功率层次等级
Integer ofPath_Change_Counter;
//记录路径中功率层次等级的变化次数
Transmission:
    If the transmission path is idle over  $\Delta t$ 
        Sends aLPC_Polling Message;
Receive:
    ReceivedLPC_reply or a data acknowledgement from the destination
    For eachnodei in the path
        IfLink_Power_Condition[ i ] < ith power_link of LPC_reply
    {
    (下转第 274 页)

```