

## 基于跳频技术的无线网络路由

石 颢, 王 铮

(重庆大学计算机学院, 重庆 400044)

**摘 要:** 使用跳频技术进行网络通信时, 碰撞冲突会导致组网时间过长、地址容易冲突、实时性降低等问题。该文提出一种基于家族衍生树模型的地址分配模式和相应的退化算法, 采用了同步非正交组网方式和动态地址分配模式。该模式能有效避免碰撞冲突, 提高网络的健壮性和工作效率, 有助于网络系统的自适应扩充和退化。

**关键词:** 跳频技术; 家族衍生树; 路由建立

## Wireless Network Routing Based on Frequency Hopping Technology

SHI Hao, WANG Zheng

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044)

**【Abstract】** When networking communication with frequency hopping technology, there exists many problems caused by the collision conflict, the longer network time, address conflicting, and timeliness reduces. In order to solve these problems, this paper proposes an allocation model based on the family derived tree and the corresponding degradation algorithm, which adopts synchronized non-orthogonal network method and the dynamic allocation model. Using this model can avoid collisions conflict effectively, enhance the network healthy and the working efficiency, and bring the convenience for the network system auto-adapted expansion and the degeneration.

**【Key words】** frequency hopping technology; family derived tree; routing construction

跳频通信技术是一种重要的抗干扰技术, 其原理可以描述为通信收发双方在预先指定的频率上按编码序列规定的顺序同步、离散地跳变, 从而扩展频谱并实现通信。与传统通信方式相比, 跳频通信具有强抗干扰能力、低截获概率性、良好的多址组网能力、强抗衰落及高保密性等优点, 在军事领域及民用领域被广泛应用<sup>[1]</sup>。

### 1 跳频通信组网

#### 1.1 网络拓扑结构

在无线局域网中, 中心节点与子节点采用超视距数据传输模式。各个前端处理节点作为独立的工作平台, 数据处理中心与各个工作平台之间无直接通路, 它们之间的通路必须经过中心节点的中继实现。跳频通信组网时通常采用树形拓扑结构。将 $n$ 个节点分为 $m$ 个群网, 每个群网容纳 $p_i$ 个子网, 每个子网内有 $q_i$ 个节点, 即 $\sum p_i q_i = n$ , 同一个子网使用相同跳频序列。

#### 1.2 组网方式

跳频电台组成跳频通信网, 以实现网中任何 2 个通信终端点到点的正常通信。组网中要避免以下 3 类干扰: (1) 近端对远端的干扰、码间干扰、电磁干扰; (2) 由系统引起的热噪声等噪声干扰; (3) 由组网引起的同道干扰、邻道干扰、互调干扰、阻塞干扰等。

随着跳频电台的增加, 单纯通过增加子网及子网内的跳频电台数量已无法满足通信要求, 这对跳频系统的组网提出了新要求。目前跳频通信电台的组网主要包括频分组网和码分组网 2 类。但在实际应用中, 通常将频分组网和码分组网结合使用, 先在工作频段上按频分组网方式编制多个跳频频率表, 然后在各个跳频频率表上进行码分组网。这样做的优

点是充分利用了频谱资源, 不同频率表上跳频网络之间的相互干扰基本不存在, 且同一频率表上跳频网络间的相互干扰极大减少。

在频分组网中, 不同跳频网络使用不同跳频频率<sup>[2]</sup>。在码分组网中, 所有跳频网络在相同频率表上跳频, 不同跳频网络使用不同跳频序列, 依靠跳频序列的正交性或准正交性来区分跳频网络。码分组网又分为同步正交组网、同步非正交组网、异步组网。在同步正交组网中, 跳频网络在统一时钟下使用同一频率表进行同步跳频, 在每个时刻, 不同网络使用不同频率<sup>[3]</sup>。

在同步非正交组网中, 跳频网络在统一时钟下使用同一频率表进行同步跳频, 不同网络通常使用不同频率, 但在某些时刻, 不同网络可能使用相同频率。在异步组网中, 跳频网络没有统一的时间基准, 各个网络互不同步, 网间频率碰撞明显增加。

假定每个网络都使用理想的独立均匀分布 $q$ 元随机序列, 即跳频码可均匀地在 $q$ 个码元中取值( $p(x=a_i)=1/q$ ), 其归一化周期汉明互相关值的数学期望 $H=1/q$ , 归一化周期汉明互相关值的方差 $D=(q-1)q^2$ 。假定 $(u+1)$ 个网络同时工作, 则接收用户的每个跳频码与系统中其他 $u$ 个网络跳频码相碰撞的概率为

$$\begin{cases} p = 1 - (1 - q^{-1})^u & \text{同步组网} \\ p = 1 - (1 - q^{-1})2u & \text{异步组网} \end{cases}$$

因为此模型基于独立碰撞模型, 所以在 $n$ 个跳频码中有

**作者简介:** 石 颢(1980 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 嵌入式系统; 王 铮, 副教授

**收稿日期:** 2008-05-12      **E-mail:** jerry\_shi1122@126.com

$i$  个跳频碰撞的概率为一个二项分布, 即

$$p(n,i) = C_n^i P^i (1-P)^{n-i}$$

### 1.3 动态地址分配

在组网过程中采用动态地址分配时, 存在一个技术难题, 即地址碰撞<sup>[4]</sup>。解决碰撞冲突较理想的模型是采用专用通道技术, 利用接收信息的FIFO方式, 在协议堆栈支持下实现冲突规避。但该方法的通信信道开销很大, 会浪费很多通信资源。

理论上, 有些算法可以解决碰撞冲突, 但它们对系统时间复杂性和空间复杂性的要求较高, 且带来了地址唯一性表示的洪泛问题。而增加软件复杂性后, 可能带来系统隐形故障和软件故障节点面的增加。因此, 本文提出一种基于家族衍生树模型的设计思路。

对任何一个要入网的节点, 先在本地节点存储区域中创建一个临时地址链路表。通过自身的随机函数算出一个临时地址。然后该节点启动呼叫连接请求, 并将该临时地址作为呼叫连接分组中的一个字段发送出去。若该地址已存在于网络中, 并且对应一个可以与发动呼叫事件的子节点有直接联系的子节点, 则该子节点将响应这个呼叫请求。发动呼叫的子节点得到这个响应后, 立即在本地临时地址上增加一个家族编码, 将视响应节点为自己的父节点。此时本地节点地址通过父节点进行二次分配, 以确保系统容量有限度和网内地址唯一性。

另一种方式可以继续保持临时地址, 但会增加家族码。这种方式可以对系统节点容量进行无限扩充, 所有不能与中心节点直连的节点都作为二级节点, 从而构成一个家族自动繁衍趋势。若发动呼叫连接请求的子节点在发出临时地址时与其他子节点无连接响应, 但它又被中心节点捕获, 则中心节点将首先检查该临时地址的合法性, 若为非法地址, 则中心节点将从自身合法地址列表中分配一个地址给该子节点。中心节点将视该子节点为自己的一个儿子节点, 并将其信息以广播方式发送给其他儿子节点。其他儿子节点得到这个广播信息后将在自身家族链表队列中插入该儿子节点的地址编码。上述处理保证了网内节点地址的唯一性, 且当家族树形成后, 中心节点可以通过各个子节点直接对网内任意一个子节点进行在线监控。

根据上述家族衍生思路, 在网络中, 能与中心节点直接连接的子节点将直接与中心节点通信, 不能形成直连的远程子节点将通过其父节点与中心节点通信, 从而形成一个家族树层次结构。各家族中同地址编码的子节点在被冠以不同家族名后, 自动避免了同名地址洪泛。

### 1.4 传输路由的建立

在网络中, 子节点负责对前端数据的定时或实时采集。进行第 1 次组网时, 中心节点和子节点都没有登录系统的 ID 地址编号, 即各个节点的通路链路表都是空集。因此, 理论上, 此时中心节点不可能使用各个子节点的随机 ID 编码进行通信链路连接。

第 1 次组网建立过程呼叫时, 由中心节点在呼叫频段中根据设定算法选定一个工作频率点, 发出通信链路建立请求呼叫并等待是否有子节点在某个频率点上回答。对网络中所有节点而言, 因为初次开通是随机的, 所以各个节点的入网过程是自由的。一旦节点的入网过程被启动, 它立即在一个规定的呼叫频段中以  $X$  H/s 的速度进行在线侦听, 并以  $X/2$  H/s 的速度进行在线入网申请呼叫。

呼叫过程如下: 发动呼叫事件的节点先在  $f_i$  频率点上发出呼叫连接询问消息分组, 并在同一频率点上等待回答; 该节点于换频时间, 在  $f_{i+1}$  频率点上再次发出呼叫询问消息分组。重复上述过程, 直到覆盖系统所设的所有呼叫询问频率点后, 再重新开始新一轮呼叫询问消息分组发送过程, 此时将面临如下 3 种情况:

(1) 中心节点的呼叫询问消息分组未得到任何回答响应

此时中心节点与各个子节点通信频率不处于同一频率点上, 中心节点在呼叫间隙结束后, 将根据跳频图案的组合设计跳入下一个通信频点继续进行连接询问呼叫。

各个子节点的通信频率处于跳频状态, 由于子节点的时间间隔与中心节点是统一的, 因此整个网络可能进入呼叫“活锁”状态。为避免这种呼叫“活锁”情况的出现, 系统中所有节点在建立起呼叫连接前, 先将自身的呼叫跳频速率减小到扫频速率的一半, 使侦听扫频跳频速率为呼叫速率的 2 倍。这种呼叫异步等待是跳频通信技术同步等待方法的一种变通同步模式。

为了避免组网过程受区域内部的全频干扰和“梳状”干扰, 在通过多次重复呼叫连接请求都不能建立传输连接时, 中心节点将使用跳频 RAND 算法重新选出一组呼叫频率点作为新的请求频段。

组网算法的结构如图 1 所示。

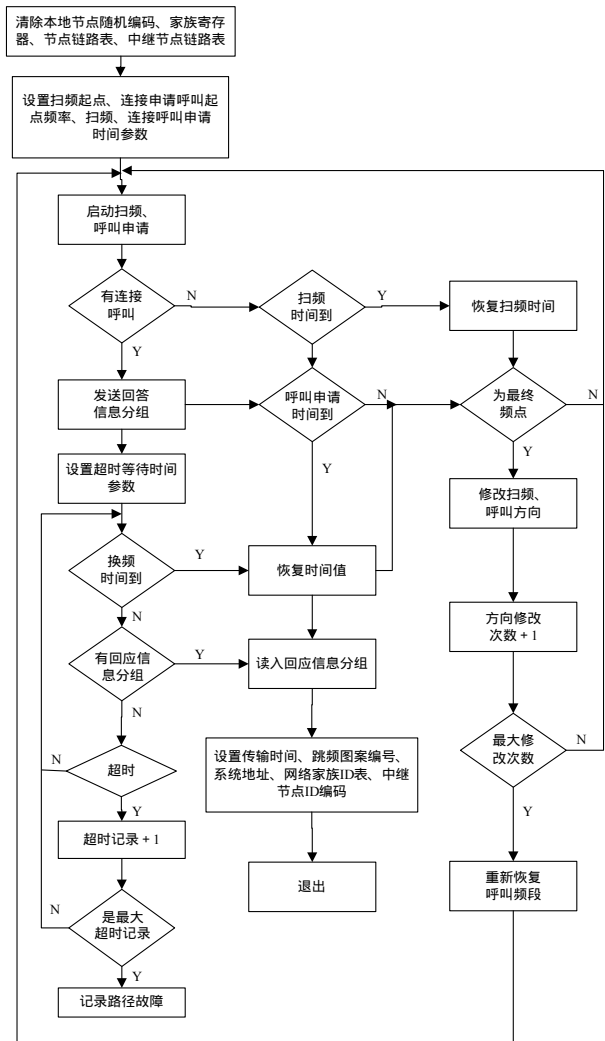


图 1 组网算法的结构

## (2)仅中心节点对入网申请响应

这是最佳的入网连接情况。由于呼叫请求回答具有唯一性,因此对子节点而言不会出现响应冲突问题。与中心节点成功建立呼叫连接后,子节点根据中心节点发送过来的回应信息进行分组,迅速将自身的跳频图案调整到中心节点要求的图案序列中,并对本节点的时间值进行补偿设定,根据中心节点分配的ID编码进行系统编码设定,此后,中心节点和该子节点才能真正进入一个有效的规定跳频序列,从而实现数据信息的传输。

得到该子节点的回答响应后,中心节点将在传输给响应回答的子节点的回应信息分组中给出一个动态分配的有效系统地址,即系统ID编码。中心节点对该子节点进行本地注册,设立家族域、跳频图案编码等系统消息,并将这些信息作为回答信息分组发送给子节点。子节点在得到中心节点的回应信息分组后,根据其内容在本地家族表中进行本地注册。本地注册工作结束后,子节点向中心节点发出一个工作就绪回答信息。

中心节点收到工作就绪回答信息后,重新对该子节点的就绪回答信息进行校对。若正确无误,则中心节点和子节点脱离当前呼叫请求连接,各自进入本地工作状态。否则中心节点将重新和该子节点进行呼叫连接创建过程。

## (3)得到中心节点及多个子节点的分时响应

这是一种较好的路由情况。在一个完整的呼叫请求过程中,有中心节点和多个子节点可以与发动呼叫的子节点分时建立起正常的通信连接。分时时间段中的时间分配为发动呼叫事件的子节点连续建立多条通信信道提供了良好保证,使网络能提供冗余路径。

对多个子节点分时响应的基本思想是在本地节点上建立一个真实物理节点链表。将可以对本节点进行响应的、在中心节点上已登录过的所有子节点的ID编码都置入该链表中,并在本地节点的存储空间中建立一个伪链表,将一些响应了本地节点呼叫请求且没有在中心节点上登录的游离节点存入伪链表中。由于中心节点没有为未在中心节点上登录的游离节点分配系统物理地址,因此本地节点捕获到这些游离节点后,可以暂时赋予它们一个伪系统物理地址,并将这些未登录的游离节点暂存于本地未链表中。一旦这些游离节点不能和中心节点进行直接连接,本地节点将成为这些游离节点与中心节点进行间接连接的中继节点。组网结束后,这些游离节点就成为系统中心节点不能覆盖的边沿节点或远程节点。此时,对这些游离节点的伪系统物理地址进行本地确认,将

其作为系统二级物理地址并存放于中继节点链表,然后删除伪链表。

每个节点中的真实链表为本地节点直接描述了多条冗余路径。冗余路径的存在使本地节点在有效数据传输过程受阻或路径崩溃的情况下,可以通过冗余路径绕行将需要传输的有效数据传输到中心节点。

## 2 网络退化

移动节点的游历特性、受损节点的瘫痪和修复后重组使这些节点会动态产生新的互联关系或拆毁原来已建立的正常互连关系,导致网络拓扑结构的动荡。网络退化可以保证移动节点能自由出入网络系统。

系统采用多次扫描的判断条件,目的是判断一个移动节点或受损节点是否可以在能主动退出的情况下,尽量提供较多的呼叫请求。获得中心节点或父节点的响应后,该子节点将立即退出。此时退出节点将清除所有保证退出过程能有效执行的设置参数。

若完成扫描后退出节点仍得不到回答信息,则表明网络出现了传输故障,可能是退出节点执行器故障或通信链路故障。因此,退出节点必须进行故障诊断和故障定位。如果是本地执行器故障,则由中心节点或父节点在定时唤醒失败的情况下发出紧急告警。如果是通信链路受阻或崩溃,则退出节点将通过备用信道进行退出申请,并告知中心节点或其父节点紧急抢修该受损链路。

退出节点保留使用痕迹,使退出节点可以在同一位置进行再次登录。在允许条件下,这些路由被预留以便退出节点的快速登录。

## 3 结束语

无线通信技术被越来越广泛地应用,跳频通信技术有助于解决无线网络中的通信抗干扰和信息保密等问题。本文组网方式是对跳频通信技术的一种应用。

### 参考文献

- [1] 梅文化. 跳频通信[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 张申如, 益晓新, 王庭昌. 跳频数字通信网中的用户干扰性能分析[J]. 电子与信息学报, 2001, 23(3): 222-223.
- [3] 戴敏. 跳频通信技术及其应用与发展[J]. 通讯世界, 2000, (3): 40-43.
- [4] 朱西平, 方旭明, 李方军. 基于Leader选举的移动自组网自适应动态地址分配协议[J]. 计算机工程, 2005, 31(3): 116-118.

(上接第144页)

### 参考文献

- [1] 孙利民. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 杨文国. 无线传感器网络中能量消耗的不均匀性[C]//中国运筹学会第八届学术交流会议论文集. 深圳: 出版者不详, 2006.
- [3] 周玮, 史杏荣. 基于AODV的节能改进措施[J]. 计算机仿真, 2007, 24(4): 3-4.

- [4] Ye Fan, Lu Songwu. PEAS: A Robust Energy Conserving Protocol for Long-lived Sensor Networks[C]//Proc. of the 23rd International Conf. on Distributed Computing Systems. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 2003.
- [5] Sobeih A. J-Sim: A Simulation Environment for Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of the 38th IEEE Annual Simulation Symposium. [S. l.]: IEEE Press, 2005.