

文章编号: 2095-4980(2014)03-0369-05

无线多跳链路选频通信

陈文棋, 罗俊, 唐丹

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621999)

摘要: 加入无线中继节点构成多跳传输链路, 可以实现较长距离的无线通信。本文在已有文献的基础上, 重点研究救灾机器人和遥控终端间的选频建路协议, 在链路各节点间按照选频通信的方式搭建传输链路; 并在“全节点比例定时交替传输协议”基础上加入选频通信, 设计选频传输协议, 避免数据包间的相互碰撞。经仿真测试, 设计的协议按照选频通信方式搭建了传输链路并实现了数据的无碰撞双向传输。

关键词: 无线多跳链路; 选频通信; 建路协议; 传输协议

中图分类号: TN925

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201403.0369

Wireless multi-hop link based on frequency selection communication

CHEN Wen-qi, LUO Jun, TANG Dan

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: Multi-hop transmission link can achieve long distance wireless communication by adding wireless relay nodes. On the basis of the existing literatures, a multi-hop building route protocol between the rescue robot and the operation console is studied in emphasis, and a transmission link is established by using the technique of frequency selection communication. In order to avoid the collisions among wireless packets, a transmission protocol based on the full-time alternate node transmission protocol is designed by adding the technique of frequency selection communication. According to the simulation test, a transmission link can be established based on the designed protocols and bidirectional data transmission can be realized without collisions.

Key words: wireless multi-hop link; frequency selection communication; building route protocol; transmission protocol

在抢险救灾等特定场合, 利用 ZigBee 等短距离无线通信技术, 构建 Ad Hoc 网络实现应急通信, 较有线传输方式具有更为灵活, 更能快速适应周围环境变化等明显优势。但在煤矿井巷道或交通隧道环境中, 无线信号覆盖范围有限, 当要求传输距离太远, 或由于巷道拐弯等原因, 造成通信双方彼此不在对方无线信号覆盖范围之内时, 将导致通信中断。为了解决这个问题, 需要加入无线中继节点形成多跳链路, 通过多跳转发实现较长距离的无线通信。

文献[1]讨论了煤矿救灾机器人与后方遥控终端之间的无线通信问题, 提出了由救灾机器人沿途放置无线节点, 通过无线节点多跳转发的方式实现数据传输的技术方案; 文献[2]研究设计了“邻居节点递归筛选的快速选路协议”, 选择出了一条接收信号强度好、跳数少的多跳链路; 文献[3]研究设计了能有效提高半双工无线多跳链路传输效率的“全节点比例定时交替传输协议”。本文在研究上述文献的基础上, 针对文献[3]提出的传输协议中各节点工作在同一频率, 无法避免数据包碰撞的问题进行改进, 在定时交替的基础上加入选频通信, 设计了选频传输协议, 能有效避免数据包碰撞; 为了在遥控终端与救灾机器人之间以选频通信的方式建立起一条传输链路, 本文研究并设计了选频建路协议, 为数据的选频传输做好准备。

1 链路模型及基本思路

本文提出的选频建路协议和选频传输协议是文献[2]中“邻居节点递归筛选的快速选路协议”的后续协议。

收稿日期: 2013-05-24; 修回日期: 2013-06-31

无线多跳链路的模型如图 1 所示, 节点 S 表示遥控终端, 节点 E 表示救灾机器人, 节点 R_j, R_x, R_z 为按照“邻居节点递归筛选的快速选路协议”选出的中继节点, 未选中的节点未在图中标出。

救灾机器人 E 携带中继节点进入矿井, 随着 E 前移, 不断加入有适量冗余的中继节点使通信链路延伸。 E 每前移一定距离后便停止前移, 并在自身与前移之前的链路端点之间进行选路与建路, 链路中的其他节点不再重复参与选路与建路。以图 1 模型为例, R_j 为前移之前的链路端点, R_x, R_z 为 E 前移时新加入的中继节点, 选路与建路只在 E 与 R_j 之间进行, 遥控终端 S 与 R_j 之间的节点不再重复参与选路与建路。建路完成后, 数据传输在 E 和 S 之间进行, 数据传输完成后 E 继续前移。

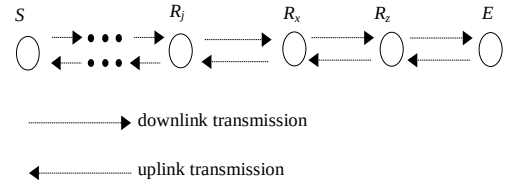


Fig.1 Model of wireless multi-hop link

图 1 无线多跳链路模型

2 选频建路协议

2.1 选频建路基本思路和原理

“邻居节点递归筛选的快速选路协议”选定的多跳链路中可能有超过 2 个的节点在彼此的通信范围内, 为了避免无线节点的广播特性造成的数据包碰撞, 保证数据包的正确传输, 在数据传输过程中需要进行选频通信, 使相邻节点在需要通信时保持同一频率, 不需要通信时保持在不同频率, 从而避免节点间的相互干扰。选频建路协议的目的是要为选定的路由中的节点配置好各自的通信频率, 并在这些节点间按照选频通信的方式建立起一条传输链路, 为下一步的数据传输做好准备。

IEEE802.15.4 通过直接序列扩频技术将 2.4 GHz 频段分为 16 个信道, 相邻信道间频率间隔为 5 MHz, 如式 (1) 所示。

$$f_c = [2405 + 5(k-1)], \quad k=11, 12, \dots, 26 \quad (1)$$

结合实际情况, 本文使用 16 个信道中的 7 个信道, 分别是 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 其中信道 11 为初始化信道, 信道 13~23 用于多跳链路中节点选频通信时的信道分配。在选频通信过程中, 遥控终端 S 使用信道 13, 其余节点根据链路中节点通信顺序以信道编号 0~5 循环的方式依次从信道 13~23 中选择各自的信道。信道分配如表 1 所示。

表 1 信道分配表

Table1 Channel allocation

channel number	0	1	2	3	4	5
channel	13	15	17	19	21	23
frequency/GHz	2.415	2.425	2.435	2.445	2.455	2.465

为保证节点间的正确通信, 选频通信中需要知道每个节点的上一跳节点和下一跳节点的信道(以图 1 中 R_x 为例, 其上一跳节点为 R_j , 下一跳节点为 R_z)。选频通信过程中, 中继节点有 3 个信道: Self 信道(自身信道)、Up 信道(上一跳节点的 Self 信道)和 Down 信道(下一跳节点的 Self 信道); 遥控终端 S 作为数据上行传输的终点, 有 2 个信道: Self 信道(自身信道)和 Down 信道(下一跳节点的 Self 信道); 救灾机器人 E 作为数据下行传输的终点, 有 2 个信道: Self 信道(自身信道)和 Up 信道(上一跳节点的 Self 信道)。建路的一个重要目的是计算出每个节点的几个信道编号, 并将这些信道编号存储在节点各自的信道编号表中, 以确保各节点间能准确无误地通信。

$$\begin{cases} N_{Up} = (N_{Self} - 1) \% 6, & N_{Self} \neq 0 \\ N_{Up} = (N_{Self} + 5) \% 6, & N_{Self} = 0 \\ N_{Down} = (N_{Self} + 1) \% 6 \end{cases} \quad (2)$$

式中: N_{Self} 表示节点的 Self 信道编号; N_{Up} 表示节点的 Up 信道编号; N_{Down} 表示节点的 Down 信道编号, 则节点的 N_{Up}, N_{Down} 计算方法如式(2)所示; 式中 % 表示求余数。

图 1 中, 遥控终端 S 的 Self 信道编号固定为 0, S 的下一跳节点可推知自身的 Self 信道编号, 并以 0~5 循环的方法依次类推直至救灾机器人 E 。随着 E 的前移, 链路中会加入新的中继节点, 由于 R_j 为前移之前的链路端点, 因此 R_j 中必定包含了其自身的信道编号表, 新增的中继节点中经选路协议选定的 R_x, R_z 以及 E 可以根据 R_j 的 Self 信道编号推知自身的 Self 信道编号, 并根据式(2)计算出自身的信道编号表。

2.2 选频建路协议实现

选频建路协议设计了3种数据包,分别是:建路命令包(Build Route Order Packet, BROP)、建路状态包(Build Route State Packet, BRSP)和建路完成通知包(Build-route Complete Notify Packet, BCNP)。

救灾机器人 E 创建 BROP, 用于为选定路由中的节点配置选频通信频率。 R_j 收到 BROP 后创建并发送 BRSP, 用于检查下行传输链路是否正确建立。救灾机器人 E 收到 BRSP 后创建 BCNP, 用于检查上行传输链路是否正确建立, 并通知遥控终端 S 可以开始传输数据。

选频建路协议具体实现步骤如下:

- 1) 救灾机器人 E 根据 R_j 的 Self 信道编号和已选定的路由表, 计算出路由表中各节点的 Self 信道编号, 创建 BROP 并广播, 发送完成后跳到 Self 信道准备接收 BRSP。
- 2) 各中继节点收到 BROP 后, 若 BROP 中目的地址和自身地址相同, 读取 BROP 中自身节点地址后的 Self 信道编号, 并计算出自身的 Up 信道编号和 Down 信道编号存储在自身的信道编号表中, 继续转发 BROP, 发送完成后跳到 Self 信道准备接收 BRSP。
- 3) R_j 收到 BROP 后, 若 BROP 中目的地址和自身地址相同, 创建 BRSP, 并跳到 Down 信道发送 BRSP, 发送完成后跳到 Self 信道准备接收 BCNP。
- 4) 各邻居节点收到 BRSP 后, 跳到 Down 信道转发 BRSP, 发送完成后跳到 Self 信道准备接收 BCNP。
- 5) 最终救灾机器人 E 收到 BRSP, E 跳到 Up 信道发送 BCNP, 发送完成后跳到 Self 信道。
- 6) 链路中各中继节点收到 BCNP, 跳到 Up 信道转发 BCNP, 发送完成跳到 Self 信道。
- 7) 遥控终端 S 收到 BCNP, 得知建路已经完成, 开始下一步的数据传输。

3 选频传输协议

建路完成后, 各节点均处于自身的 Self 信道, 准备接收数据。文献[3]已研究设计了能有效提高半双工无线多跳链路传输效率的“全节点比例定时交替传输协议”, 但该协议中各节点工作在同一频率, 无法避免数据包碰撞, 本文在此基础上加入选频通信, 设计了选频传输协议, 使相邻节点在需要通信时保持同一频率, 不需要通信时保持在不同频率, 从而避免节点间的相互干扰。

3.1 选频传输基本思路

建路完成后各节点均处在各自的 Self 信道, 遥控终端收到 BCNP 后开始发送下行数据包(Down Data Packet), 各中继节点以定时交替的方式转发, 节点 E 收到下行数据包后发送上行数据包(Up Data Packet), 开始遥控终端和救灾机器人间的双向数据传输。双向数据传输的前提是网络中各节点间时隙同步^[4-5]。节点 S 在每一周期向下一跳节点发送 1 个数据包, 中继节点依次转发, 各节点在下行数据包到达节点的无线接收器时产生的中断(即接收中断)中实现时隙同步^[6-8]。如果节点在当前周期接收下行数据包的时隙内未收到上一跳节点发送的下行数据包, 则在该周期发送下行数据包的时隙内向下一跳节点发送 1 个空闲包(Null Packet), 以确保下一跳节点的时隙与之同步。

数据传输过程中各节点需要接收数据时始终处于 Self 信道, 需要下行传输数据时跳到 Down 信道发送数据, 需要上行传输数据时跳到 Up 信道发送数据, 此方式可保证同一时间段内只有相邻两个节点处于同一通信频率, 以此避免数据包的相互碰撞。

3.2 选频传输协议实现

选频传输协议具体实现步骤如下:

- 1) 遥控终端 S 收到 BCNP 后, 跳到 Down 信道向下一跳节点发送下行数据包。
- 2) 各中继节点在下行数据包到达时产生的接收中断中实现自身时隙与上一跳节点的时隙同步, 并在正确的时隙跳到 Down 信道向下一跳节点转发下行数据包。
- 3) 救灾机器人 E 在下行数据包到达时产生的接收中断中实现自身时隙与上一跳节点的时隙同步, 并在正确的时隙跳到 Up 信道向上一跳节点发送上行数据包。
- 4) 各中继节点收到上行数据包后存储, 并在正确的时隙跳到 Up 信道向上一跳节点转发上行数据包。
- 5) 遥控终端 S 若无数据包需要发送, 则不再发送下行数据包; 各中继节点若在连续 3 个周期内未收到下行数据包或收到的是空闲包, 便不再循环定时; 救灾机器人 E 若在连续 3 个周期内未收到下行数据包或收到的是

空闲包,便不再发送上行数据包,双向数据传输过程结束。

6) 双向数据传输过程结束后,链路中可能存在仍在上行传输的上行数据包,各中继节点若收到则跳到 Up 信道转发,发送完成后跳到 Self 信道;遥控终端 S 收到后将包存储。

4 仿真测试

本文使用 OPNET 对协议进行仿真^[9-10],网络模型如图 2 所示。由图 2 可以看出节点放置位置。设置数据传输速率为 1 Mbps,带宽为 50 kHz,发射功率为 0.2 mW,MAC 层采用 CSMA/CA 协议。遥控终端 S 下行传输 50 个数据包,救灾机器人 E 上行传输 500 个数据包。

仿真结果如图 3 所示,为方便观察与分析,将图 3 中数据转化为表格,如表 2 所示。可以看出,“邻居节点递归筛选的快速选路协议”选出的路径为 $R_j-R_x-R_z-E$,中继节点 R_x,R_z 以及救灾机器人 E 均按照 E 前移之前的链路端点 R_j 的信道编号表正确配置了自身的信道编号表。

链路中各节点通过定时交替选频转发数据包,最终救灾机器人 E 收到遥控终端 S 下行传输的 50 个数据包,S 收到 E 上行传输的 500 个数据包,实现了数据的无碰撞双向传输,且链路通信质量良好,链路状态稳定。

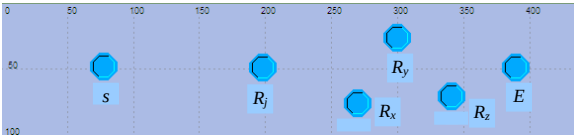


Fig.2 Model of network
图 2 网络模型

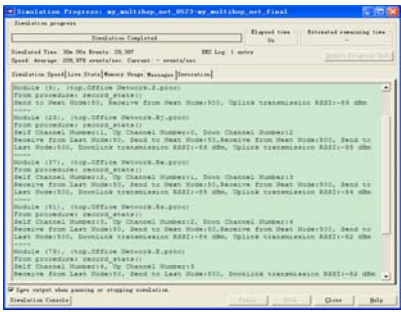


Fig.3 Simulation results
图 3 仿真结果

表 2 仿真结果
Table2 Simulation results

name	channel number			packet number				RSSI/dBm	
	self	up	down	receive from last node	send to next node	receive from next node	send to last node	downlink transmission	uplink transmission
S					50	500			-89
R _j	1	0	2	50	50	500	500	-89	-85
R _x	2	1	3	50	50	500	500	-85	-84
R _z	3	2	4	50	50	500	500	-84	-82
E	4	3		50			500	-82	

5 结论

本文研究设计了救灾机器人和遥控终端间的选频建路协议,在链路各节点间按照选频通信的方式搭建起了一条传输链路;并在已有的“全节点比例定时交替传输协议”基础上加入选频通信,设计了选频传输协议,避免了数据包间的相互碰撞,实现了数据的无碰撞双向传输。

参考文献:

[1] 徐钊,田传耕,唐璐. 矿井救灾机器人通信系统设计[J]. 徐州工程学院学报:自然科学版, 2009,24(1):1-5. (XU Zhao, TIAN Chuan-geng,TANG Lu. Design of Mine Rescue Robot Communication System[J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology:Natural Sciences Edition, 2009,24(1):1-5.)

[2] CHEN Wen-qi,XU Zhao. Multi-hop Routing for Wireless Network in Underground Mines[C]// 2010 Asia-Pacific Conference on Wearable Computing Systems(APWCS). Shenzhen:[s.n.], 2010:337-340.

[3] 唐璐. 半双工无线多跳全速传输链路设计[D]. 江苏,徐州:中国矿业大学, 2008. (TANG Lu. The Design of Half-duplex Multi-hop Full-speed Wireless Transmission Link[D]. Xuzhou,Jiangsu,China:China University of Mining & Technology, 2008.).

[4] 罗义军. Ad hoc 网络中时间同步方法的研究[J]. 长江大学学报:自然科学版理工卷, 2007,4(1):63-66. (LUO Yi-jun. The Research on Time Synchronization Methods in Ad hoc Networks[J]. Journal of Yangtze University:Natural Science Edition Sci. & Eng. V, 2007,4(1):63-66.)

[5] 邓梁,孙献璞,李便莉. Ad Hoc 网络中分布式时隙同步技术研究[J]. 电子科技, 2005(11):18-21. (DENG Liang,SUN Xian-pu,LI Bian-li. Study of the Decentralized Slot Synchronous Technology in Ad Hoc Networks[J]. Electronic Science and Technology, 2005(11):18-21.)

- [6] Christine Uhl,Philippe Vincent-Carrefour,Gabriel Goudezeune. A New Algorithm for a Frequency and Time Synchronization for Burst Mode Transmission[C]// Military Communications Conference,1995 (MILCOM '95),San Diego. CA:[s.n.], 1995:788-792.
- [7] ZHAO Min-jian,XU Ming-xia,ZHONG Jie,et al. Slot Synchronization in Ad Hoc Networks Based on Frequency Hopping Synchronization. International Conference on Wireless Communications[C]// Networking and Mobile Computing,2006 (WiCOM 2006). Wuhan,China:[s.n.], 2006:1-4.
- [8] YANG Qi,SHI Jiang-hong,XIAO Ming-bo,et al. A Decentralized Slot Synchronization Algorithm for TDMA-Based Ad Hoc Networks. International Conference on Wireless Communications[C]// Networking and Mobile Computing, 2007(WiCom 2007). Shanghai,China:[s.n.], 2007:1717-1721.
- [9] Hammoodi I S,Stewart B G,Kocian A,et al. A Comprehensive Performance Study of OPNET Modeler for ZigBee Wireless Sensor Networks[C]// Third International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2009(NGMAST '09). USA:[s.n.], 2009:357-362.
- [10] Ikramullah Khosa,Usman Haider,Haris Mosood. Evaluating the Performance of IEEE 802.11 MAC Protocol using OPNET Modeler[C]// 2010 International Conference on Electronics and Information Engineering(ICEIE 2010). Kyoto:[s.n.], 2010,2:91-95.

作者简介:



陈文棋(1987-),女,四川省绵阳市人,硕士,主要研究方向为无线通信系统.email: chenlu8710@gmail.com.

罗俊(1973-),男,四川省金堂县人,硕士,高级工程师,主要研究方向为指挥控制通信系统领域.

唐丹(1963-),男,安徽省凤阳县人,硕士,研究员,主要研究方向为激光成像技术.

2014 全国信号处理技术应用大会 暨 2014 中国信号处理工程师年会在京召开

由中国电子学会主办的“2014 全国信号处理技术应用大会暨 2014 中国信号处理工程师年会”于 2014 年 4 月 19 日~20 日在北京举行,工业和信息化部科技司韩俊副司长,中国电子学会信号处理分会主任委员、原深圳大学校长谢维信教授,中国电子学会王玉生副秘书长及国内代表近 200 人参加了会议。

本次会议的目的为企业、科研院所、大专院校研发人员搭建一个交流平台,其宗旨就是拓宽研发思路、提高应用能力。本次会议邀请了国内著名专家、学者就高速实时信号处理及其应用、基于认知无线电的数字通信信号处理关键技术及应用、卫星导航信号及其接收处理技术与应用等方向做了 13 个大会报告,另外,会议期间还举办了题为“实时处理系统设计及实现方法”的培训。

会后,与会代表纷纷表示,此次大会的召开很好地为企业和科研相关部门搭建了一个学习交流平台,对于拓宽研发思路、提高应用能力起了很大的帮助。

