

文章编号: 1672-2892(2010)06-0738-05

电力线通信自适应中继路由算法

徐 炜, 李 智, 马一森, 张 东

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 电力线通信为配电自动化业务的开展提供了廉价的数据通信平台, 但由于配电网具有网络拓扑未知和信道时变的特点, 会导致可靠性降低和通信距离存在不足, 这些问题很难在物理层进行解决, 需要通过上层的通信协议来解决。为此提出一种自适应的路由算法, 通过此算法可以形成节点之间的正常路由功能和链路修复功能, 以增大电力线载波通信的通信距离, 并提高其可靠性。仿真结果表明, 该算法能够快速有效地找到网络协调节点到目的节点的路由。

关键词: 电力线通信; 路由; 中继

中图分类号: TN915.6; TM73

文献标识码: A

An adaptive routing algorithm for power line communication

XU Wei, LI Zhi, MA Yi-sen, ZHANG Dong

(College of Electronic and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: Power Line Communication(PLC) provides a low-cost data communication platform for automation system of electric distribution network. However, in PLC network, the characteristics of time-varying, high attenuation and high noise of the channel, have caused some problems like short distance of communication and poor reliability. It is quite difficult to resolve these problems at the physical layer, whereas they can be solved through the upper communication protocol. This paper proposes an adaptive routing algorithm, through which the routing among the nodes can be obtained, and the broken links can be repaired. The simulation results indicate that the algorithm is a simple and effective method of extending the communication distance and improving the reliability of PLC.

Key words: Power Line Communication; routing; repeat

电力线通信(PLC)是指利用电力线通过载波方式将模拟或数字信号进行传输的技术, 是电力系统特有的通信方式。近年来, 国内外电力公司、相关科研机构及厂商都在积极开展利用已有 10 kV 中压电力线作为传输媒介, 实现高速信息网络, 从而为电力企业信息化提供服务的研究。而目前为了针对电力线通信的特点有效可靠地传递信息, 中压电力线通信也集中在物理层的信道研究上^[1]。电力线通信的最基本性能是由载波芯片决定的, 这是半导体技术的进步, 包括减小发射功率, 提高接收能力(灵敏度), 提高通信带宽, 增加网络功能, 降低成本等方面。在电力线通信应用环节中遇到的最大问题是通信系统的可靠性。提高载波通信可靠性的措施包括增大发射功率, 优化耦合设备, 采用中继, 其中增大发射功率与电力线通信发展的方向背道而驰, 不宜采用; 优化耦合设备是改善通道衰耗的基本方法, 是有益的措施, 但中低压电网的阻抗特性是时变的^[2]。文献[2]中提到提高可靠性的可行措施是节点之间的中继路由, 这是由于自适应路由可以对不能正常通信的网络具有恢复通信能力的功能, 保证数据的可靠传输。中继节点与普通节点是一致的, 中继的设置与管理应当能够适应电网特性的变化。鉴于此, 提出自适应中继路由算法以提高系统的通信可靠性^[2-3]。文献[4]提出了基于多叉树遍历的中压配电线载波自适应中继算法, 可以自适应地选择合适的中继, 实现配电线载波通信长距离的可靠传输, 但是该算法只适用于拓扑已知的网络中。文献[5]提出了基于蚁群算法的自动路由方法研究, 该方法可以自行配置路由进行链路修复, 有效延长电力载波通信距离和提供系统通信的可靠性, 由于蚁群算法要采用多次洪泛迭代, 如果要获得一条路由, 会消耗很多时间。本文提出的算法可以很快在网络拓扑盲状态下自动获取路由信息, 而中继实现的最大困难是如何消除某一节点重复收到网络协调节点(Network Coordinator node, NC)以及中继节点发来的相同数据包, 而本算法在数

据包中加入了下一跳地址,如果某个节点发现下一跳节点不是自己则丢弃该数据包,这样可以避免相同数据包的重复发送。

1 路由发现过程

电力线通信网一般由 1 个 NC 节点、多个远程节点(Remote Station node, RS)组成^[6]。在网络中,通信方式经常是“一对多”,即 1 个 NC 节点与它所负责控制的若干个 RS 节点之间通信,各节点设备之间不需要直接通信。在 NC 节点和每个节点模块都启动以后,NC 节点会调用路由算法^[7],建立到所有 RS 节点的路由,保存在路由表项中。于是各节点模块启动后,NC 节点就建立了到各 RS 节点的路由表项。如果要发送数据到某个节点(目的节点),NC 节点会在本地路由表中搜寻目的节点的下一跳地址,如果没有到该目的节点的下一跳地址,NC 节点将进入获取路由算法中,通过算法得到到达目的节点的路由,参与通信的节点也获得到达目的节点的路由,路由表格式见图 1。

type	hop count	Origin ID	next hop ID	Destination ID	Sequence number
------	-----------	-----------	-------------	----------------	-----------------

Fig.1 Format of routing table

图1 路由表项格式

该路由算法不仅可以让 NC 节点获得各 RS 节点的路由,而且能使得 NC 节点经过最少的中继跳数到达目的节点。如果某个中继节点损坏,导致 NC 节点不能与某个目的节点通信,该路由算法具有自愈功能,将会重新获得新的路由。本路由算法不需要周期性更新路由表,因为这样会带来很大的时间消耗并且降低网络效率,只是当 NC 节点要发数据到某个目的节点时,发现不能通信,则进行 NC 节点到该目的节点的路由更新和恢复,这样大大降低了网络消耗,提高算法收敛速度。

参与通信过程的节点需要维护路由表(路由表的结构见图 1),那些不在路径上的节点不保存相应目标节点的路由信息。数据包不需要包含从源到目的节点的路由信息,即采用逐跳转发方式,每个节点的路由表中有到目的节点的下一跳节点,路由响应数据包(Reply, REP)直接沿着反向路径回到 NC 节点。

路由算法一共有 3 种路由数据包:分别是路由请求数据包(Route Request, REQ),路由响应数据包和路由错误数据包(Route Error,RER)。<Origin ID, REQ ID>唯一地标识了一个 REQ 报文,REQ 的跳计数等于 0,跳数在路由发现过程中会增加,最后到达目的节点后即可得出从 NC 节点到目的节点的跳数为多少。

REQ 数据包格式见图 2, REP 数据包的格式见图 3。

type	hop count	Destination ID	Source ID	Origin ID	REQ ID
------	-----------	----------------	-----------	-----------	--------

Fig.2 Format of REQ packet

图2 REQ数据包格式

type	hop count	Origin ID	Destination ID	next hop ID	lifetime
------	-----------	-----------	----------------	-------------	----------

Fig.3 Format of REP packet

图3 REP数据包格式

NC 节点在需要向某个目标节点发送数据时(路径不存在或者无效),向其邻居广播 REQ 数据包用于路由发现。当某个节点收到“路由请求”数据包的节点,在路由表中设置反向路径表项指向源节点,当目标节点接到 REQ 数据包时,它就发送 REP 数据包。REP 数据包沿着反向路径(REQ 数据包经过时形成的路径的反方向)回到 NC 节点。这里要注意在 REQ 数据包中,Source ID 为上一跳的节点 ID,而 Origin ID 为 NC 节点, Destination ID 为要获取路由的目的节点,但是在 REP 数据包中,Origin ID 为 REQ 数据包中的目的节点, Destination ID 为 REQ 数据包中的 Origin ID,也就是说 Destination ID 为 NC 节点的 ID。

RER 数据包格式见图 4。路由获取流程图见图 5。

type	unreachable Destination ID	lifetime
------	----------------------------	----------

Fig.4 Format of RER packet

图4 RER数据包格式

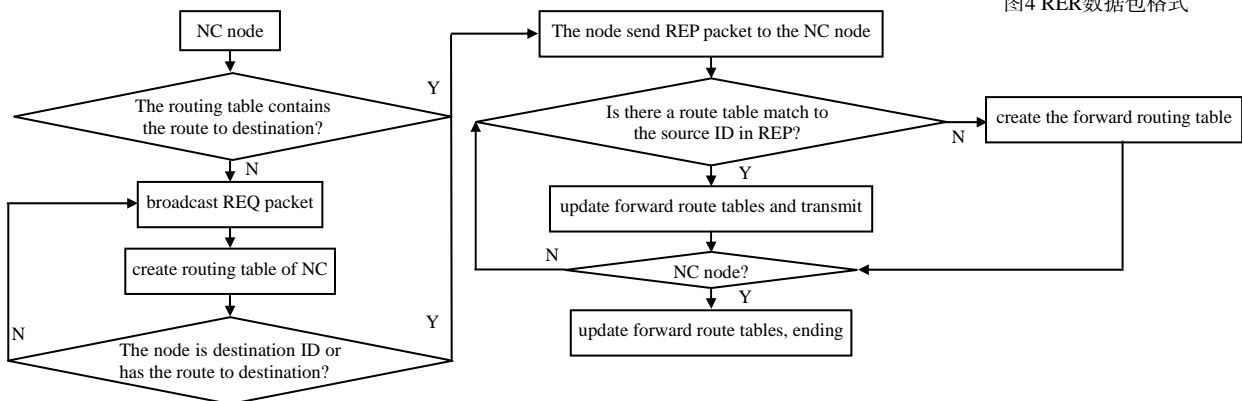


Fig.5 Flow chart of getting routing

图5 路由获取流程图

1.1 路由获取详细描述

NC节点在需要向某个目的节点发送数据时,会在路由表中查询到达该目的节点的下一跳地址,如果没有该目的节点的路由信息,将进行路由发现。

1) 路由发现

NC节点在需要某个目的节点路由时(路径不存在或者无效),向其邻居广播REQ数据包用于路由发现。其中REQ消息的类型设置为1,表示该报文为REQ数据包;<NC节点地址,REQ ID>对唯一地确定了1个REQ数据包,当NC节点发起1个新的REQ时,REQ ID计数器就增加1。收到REQ的邻居节点判断有没有到达目的节点的路由或者本节点就是目的节点,如果以上2种情况都不是,则重新向自己的邻居广播这个REQ数据包,1个节点可能会从不同的邻居收到同1个广播的多个副本,如果当中间节点收到1个REQ数据包,它会对收到的数据包进行判断:如果节点已经收到了相同广播标识和NC节点地址的REQ时,它就会丢掉这个数据包;如果节点以前并没有收到这样的REQ数据包,它就会保存一些信息用于建立反向路径,然后再把这个REQ数据包广播出去。

2) 反向路由建立

REP数据包格式见图3。当REQ数据包从1个NC节点转发到某个目的节点时,沿途所经过的节点要自动建立到NC节点的反向路由。节点通过记录收到的第1个REQ数据包的邻居地址来建立反向路由,这些反向路由将会维持一定时间,该段时间足够REQ数据包在网内转发以及产生的REP数据包返回NC节点。当REQ数据包到达了目的节点或者有到目的节点路由的节点,该节点就会产生REP数据包,并利用建立的反向路由来转发REP。

3) 正向路由建立

REQ数据包最终将到达1个节点,该节点可能就是目的节点,或者这个节点有到达目的节点的路由。如果这个中间节点有到达目的节点的路由,将产生REP数据包返回NC节点,否则只能继续广播这个REQ数据包。在REP转发回NC节点的过程中,沿着这条路径上的每1个节点都将建立到目的节点的同向路由,也就是记录下REP是从哪1个邻居节点来的地址。对于那些建立了反向路由,但REP数据包并没有经过的节点,它们中建立的反向路由将会在一定时间后自动变为无效。收到REP数据包的节点将会对REP数据包转发出去,并且根据REP数据包中的上一跳地址,建立到目的节点的路由,也就是把REP的上一跳地址赋值给路由表中到目的节点的下一跳地址中。NC节点将在收到REP数据包后,建立NC节点到目的节点的路由。

1.2 路由修复过程

如图6所示,当NC节点要向目的节点发送数据包时,会在本地路由表中查询到达目的节点的下一跳地址,然后将发送的数据包以图7的格式发送出去,接受到数据包的节点要向上一跳节点返回ACK数据包,如果某个节点没有收到下一跳节点的ACK数据包,则继续向下一跳节点发送数据包,如此重复3次,如果3次内都没有ACK返回,则该节点产生RER数据包向NC节点报告此情况,RER数据包通过广播方式传送,维护路由表项的节点收到该RER数据包后,将路由表项中到目的节点的跳数设置为无穷大,表示该节点的路由无效,无法到达。当RER数据包到达NC节点以后,等待RER失效,然后重新发出路由请求,获取到目的地址的路由。

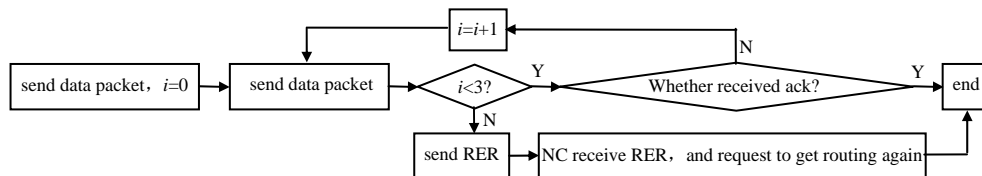


Fig.6 Flow chart of route repair

图6 路由修复流程图

type	Destination ID	next hop count	Origin ID	hop count	sequence number	payload
------	----------------	----------------	-----------	-----------	-----------------	---------

Fig.7 Format of data packet

图7 发送数据的数据包格式

2 实例分析

某配电网的物理连接见图8。在此图的基础上,以0为NC节点构建逻辑拓扑见图9,从该逻辑拓扑图中可以看出,该图中包含环型、树型和链型这3种拓扑结构。图中节点0为主站,即NC节点,可以直接通信的节点为

{1,61,7,33,22}, 61可以直接通信的节点为{10,20}, 33可直接通信节点为{21,4,62}, 7可以直接通信的节点为{33,21}, 21可以直接通信的节点为{4,62}, 22可直接通信的节点为{52,57}。在matlab平台,调用本文的路由算法,即可得到NC节点到各RS节点的路由表项见图10。仿真表明,该算法可以获取NC节点到任何RS节点的路由,由此可知该算法适用于各种拓扑结构的网络中。

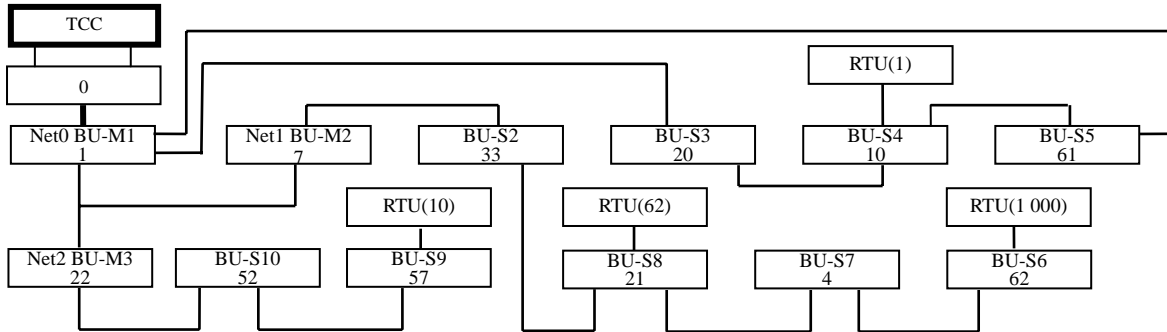


Fig.8 Physical topology of power line
图8 配电网物理连接拓扑图

node ID	routing table(Destination ID,next hop ID)
0	(1,1) (22,22) (52,22) (57,22) (7,7) (33,33) (21,33) (4,33) (62,33) (61,61) (10,61) (20,61)

Fig.10 Routing results of NC node
图10 NC节点的路由表项

以上 NC 节点到各 RS 节点的中继跳数为最短跳数,而中间各节点也存储了到各目的节点的路由,暂不列出。现假设由于中继节点 33 出了故障,导致 NC 节点无法与 62 通信,则节点 33 会广播 RER 报文,当节点 0 收到 RER 报文后,等待 RER 报文的生存时间过去,则重新发起到目的节点 62 的请求,得到新的路径为 0→7→21→62。为了避免收到重复的数据包,所有节点只要判断下一跳节点是否为自己即可,如果是自己则接收转发,如果不是则丢弃该数据包,不做处理。

由于低压配电网的信道具有时变性^[8],电力线上存在的高噪声和载波信号的高衰减^[9],节点间的通信可能会随时遭到破坏,导致网络间的通信障碍,使得网络不能进行可靠的数据传输^[10],本算法可以在网络节点出现通信断路的时候,实现自愈功能,重新建立连接,使得网络正常通信。而由于中压配电网物理结构以及信道情况的相对稳定性,网络拓扑变化不大,利用本算法可以很好地构建中压配电网的路径选择。另外,该模型方法不需要实时监测信道质量,当通信失败时即认为信道质量发生变化。该方法简化了对系统的软硬件要求,同时又可以针对通信发生故障的单个节点进行寻优,适用于电网物理拓扑和信道质量经常变化的场合。因此通过本算法可以有效保证数据在中压、低压配电网中的有效、可靠传输。

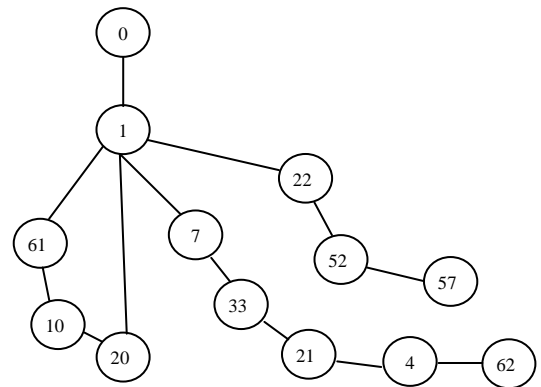


Fig.9 Logical topology of power line
图9 配电网逻辑拓扑图

3 结论

在电力线载波通信能力有限的情况下,为了提高电力线载波通信的可靠性和稳定性,在上层做路由可以提高整个系统的各种性能。多年来重主网投资,轻配网投资,对配电网缺乏统一的规划,造成我国的配电网结构极其复杂^[11],但基本上配电网载波通信网都可以划分为链型、树型和环型 3 种结构^[12]。本文提出的算法,适用于各种拓扑网络结构,适用于中压或者低压网络,可构建整个配电网的中继路径选择,提高了系统通信的灵活性与可靠性。

参考文献:

[1] 刘海涛,宋健,赵丙镇,等. 中压电力线通信信道特性测试及研究[J]. 电力系统通信, 2006,27(4):17-21.
 [2] 李胜利,焦邵华,秦立军. 中低压电力线载波通信方案的研究[J]. 电测与仪表, 2002,39(11):29-33.
 [3] 张旭辉,张礼勇,杜中良. 自适应低压电力线载波通信技术[J]. 电测与仪表, 2003,40(4):45-47.
 [4] 彭启伟,张浩. 基于多叉树遍历的中压配电网载波自适应中继算法[J]. 电力系统通信, 2009,30(3):81-84.
 [5] 刘晓胜,周岩,戚佳金. 电力线载波通信的自动路由方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006,21(6):76-81.