

# k-重传机制增强电力线通信中继路径

陈慧,王锐

(中国海洋大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266000)

**摘要:** 分析了电力线载波通信中集中式路由的瓶颈现象, 为缓解这一现象, 提出了 k-重传机制。通过构建 k-重传机制的模型, 分析证实了在集中式路由策略中引入该机制能够有效提高路径可靠性和降低主节点期望等待时间。

**关键词:** 低压电力线通信; 集中式路由; k-重传机制

中图分类号: TN913.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)08-0048-03

## k-repeat strengthens the PLC routing path

Chen Hui, Wang Rui

(College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266000, China)

**Abstract:** Concentrated routing is a basic, simple, necessary and popular routing method in the system networked via Power Line Communication (PLC). This paper analyze the performance bottleneck arisen in the concentrated routing process employed in PLC networks. In order to alleviate this negative phenomenon, propose a mechanism called k-repeat to be used in packet travel. The analysis show that the k-repeat mechanism, in term of the expected time to complete a communication task, can greatly improve the performance of concentrated routing in PLC networks.

**Key words:** PLC; centralized routing; k-retransmission

电力线通信 PLC (Power Line Communication) 是一种借助已有电力线作为信号传输媒介的通信手段。电力线通信网络是一种基于 PLC 技术, 将以 220 V 供电为电源的电气设备、仪器仪表、家用电器互联成网的系统<sup>[1-2]</sup>。PLC 与专线通信相比无施工布线之累, 与无线通信相比无电磁辐射之忧, 所以, 它作为“最后一公里”通信方案, 尤其是智能家居网络的方案, 显得方便又安全。目前该技术已经应用于路灯监控系统、智能楼宇和远程自动抄表系统, 得到研究人员的高度关注。但是, 电力线设计是为传输能量而非信号, 其本身固有的通信时变性和不确定性为 PLC 路由算法提出了严峻挑战, 使得网络层在电力线通信网络中成为关键的协议层。

一个电力线通信网络通常有唯一主节点负责整个网络的管理控制, 其余通信节点皆称之为从节点<sup>[3-4]</sup>。网络层提供两个节点之间的逻辑通信, 依据路由策略不同大致可分为集中式路由、分布式路由和并发式路由机制及其不同程度的组合<sup>[4]</sup>。

集中式路由策略要求主节点管理维护全局路由信

息、控制报文的传递过程。该策略适用于主节点发起的对其他从节点的查询控制<sup>[3]</sup>。受电力线通信的距离限制, 发出的报文往往需要经过其他节点中继转发才能到达目的节点。如图 1 所示, 主节点  $v_0$  在向某个  $m$  跳远的从节点  $v_m$  查询数据时, 主节点  $v_0$  首先需要确定一条长度为  $m$  的通信路径, 并且在发出查询报文后计时等待目的节点应答。查询报文和应答报文来回都是沿给定路径传送, 共需要连续成功跳转  $2m$  次。这期间若有一次跳转不成功, 导致主节点等待超时则判断为通信失败。然后主节点会重新发送原先的查询报文, 重复直到某次收到目的从节点的应答为止<sup>[2, 4]</sup>。

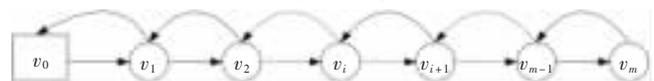


图 1 集中式路由报文发送基本网络模型

由于电力线信道存在随机干扰, 报文在每一次跳转时都有可能失败。实际中, 若路径长度  $m > 3$ , 整体通信成功率变得难以忍受。目前大量的研究工作致力于提高单次跳转的成功率<sup>[4-5]</sup>, 例如允许每一跳进行  $k$  次重复

## 网络与通信 Network and Communication

转发,但这种机制需要主节点的计时等待时间增大  $k$  倍。通常一次通信过程中,所有历经的跳转全部失败和全部成功的概率都是很小的。大多情况下,仅有少数几次跳转失败。允许每跳都可以重发多次付出代价过大。为此,本文提出了一种全局  $k$ -重传机制,它允许一次通信过程中,所有节点重发次数的总和不大  $k$ ,这样,主节点只需要额外增加  $k$  跳的等待回应时间,从而使一次通信的成功率获得较大增长,有效地缩短了完成通信任务所需要的期望时间。

### 1 集中式 $k$ -重传路由模型

#### 1.1 基本术语和参数

为了构建模型,定义以下术语:

(1)一次查询过程执行(一次查询):从主节点发出查询报文开始到预计等待时间内成功收到目的节点的回应报文为止,或者等待超时为止的过程。查询报文沿主节点确定的路径逐跳到达目的节点,目的节点的回应报文沿原路径逐跳返回至主节点。这个过程中有一次跳转不成功,将导致主节点等待超时,从而判定一次查询失败。

(2)一次查询任务完成(一次任务):从主节点发出查询报文开始到成功收到目的节点的回应报文为止的过程。完成一次任务,至少需要一次查询过程。当查询失败时,主节点需要再次发出查询,重复这个过程直至成功收到回应报文。所以,完成一次查询任务可能需要进行多次查询,这取决于路径的可靠性。

在以后的讨论中,约定用  $m$  表示查询路径的长度,即主节点到目的节点路径所含的跳数;用  $n$  表示一次查询过程经历的报文跳转次数,显然有  $n=2m$ ;以  $t$  表示报文跳转一次所需时间,忽略节点解析报文的时间,则主节点每次查询的等待时间应为  $2mt=nt$ ;另外,假设各次跳转的成功概率皆为  $p$ 。

#### 1.2 基本路由模型分析

主节点在向某个  $m$  跳远的节点发起查询报文,来回需要连续成功跳转  $n=2m$  次,这期间只要有一次跳转不成功将导致通信失败。所以一次查询成功的概率为:

$$p_1 = p^n \quad (1)$$

主节点  $v_0$  在等待  $nt$  时间后未收到应答,则重发原查询报文,直到本次任务成功。用随机变量  $X$  表示主节点发送查询报文次数,显然  $X$  服从几何分布<sup>[6]</sup>,有:

$$P\{X=N\} = p_1 q_1^{N-1} \quad (2)$$

其中  $q_1 = 1 - p_1$ 。所以主节点完成一次任务所需时间  $T$  的期望值为:

$$E_1(T) = \sum_{N=1}^{\infty} N p_1 q_1^{N-1} n t = \frac{1}{p_1} n t \quad (3)$$

当低压电力线通信网络链路状况差,即  $p$  很小时,主节点完成一次查询任务的期望时间变得无法接受。

#### 1.3 $k$ -重传路由模型

电力线通信本质上是一个广播通信的过程,与无线

通信一样,如果一个节点  $v_i$  向另一个节点  $v_{i+1}$  发送报文,距离节点  $v_i$  的可直接通信范围内的邻居节点都可以收到该报文。这种特性,使得发送方在发出报文后,能够通过监听接收方在确定时间内有没有预定的通信动作而判断接收方是否正确接收到了报文<sup>[4]</sup>。

本文提出的  $k$ -重传机制,需要在报文头部增加一个数据域  $K$ ,用于表示报文全局允许重发次数。在  $k$ -重传机制下,节点  $v_i$  收到集中式报文后的处理过程如下:

(1)节点  $v_i$  存储报文并转发给节点  $v_{i+1}$ ;

(2)节点  $v_i$  监听节点  $v_{i+1}$  转发报文的信号,若收听到则表明节点  $v_{i+1}$  已成功收到报文,转到步骤(4);

(3)节点  $v_i$  检测报文中字段  $K$  的值:若  $K > 0$ ,则置  $K = K - 1$ ,重新转发该报文给节点  $v_{i+1}$ ,转到步骤(2),否则节点  $v_i$  丢弃该报文;

(4)处理过程结束。

主节点向一个  $m$  跳远的目标节点发起查询任务,报文来回最多需要跳转  $n+k$  次,前  $n+k-1$  次中必须有  $n-1$  次成功,且第  $n+k$  次成功,才能保证一次任务的成功,否则主节点在等待  $(n+k)t$  时间后重发该报文。模型允许报文在某一个节点多次重发,显然报文在一次查询中经历的跳数服从巴斯卡分布<sup>[6]</sup>,所以一次任务成功的概率为:

$$p_2 = \sum_{i=0}^k C_{n+i-1}^i p^n q^i \quad (4)$$

主节点在等待  $(n+k)t$  时间后重发该查询报文,同上一节分析,一次任务中主节点发送查询报文的次数  $X$  服从几何分布,所以有:

$$P\{X=N\} = p_2 q_2^{N-1} \quad (5)$$

其中  $q_2 = 1 - p_2$ 。则主节点完成一次任务所需时间  $T$  的期望值为:

$$E_2(T) = \sum_{N=1}^{\infty} N p_2 q_2^{N-1} (n+k)t = \frac{1}{p_2} (n+k)t \quad (6)$$

### 2 性能分析

设  $\delta$  为性能改善率,即:

$$\delta = \frac{E_2}{E_1} = \frac{n+k}{n} \cdot \frac{p_1}{p_2} = \frac{n+k}{\sum_{i=0}^k C_{n+i-1}^i q^i} \quad (7)$$

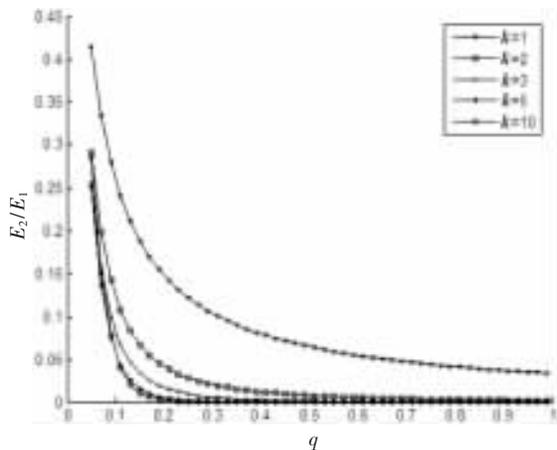
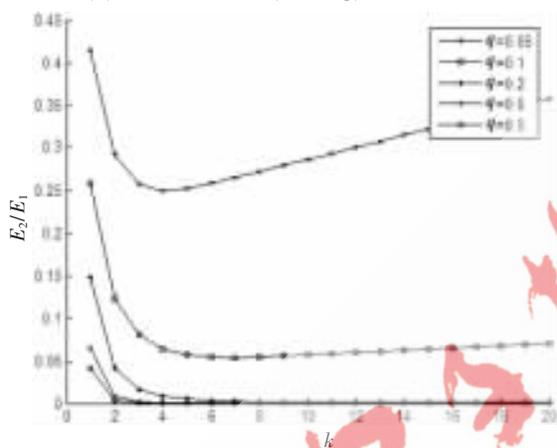
其中  $q = 1 - p$ 。

#### 2.1 模型参数设定的初步分析

假定模型中,  $n=30$  为定值,一般路径中主节点到目的节点之间的来回最大跳数不超过 30。

图 2(a)为定值  $k$  情况下  $\delta(30, k, q)$  的变化关系,可以得出如下结论:

(1)当  $k$  确定之后,函数  $\delta$  关于  $q$  严格递减,在通信失败概率逐渐增大,即通信信道状况较差的情况下,  $k$ -重传机制对于主节点完成一次任务的期望时间有较为明显的改善;在通信状况良好的情况下,改善程度较弱。

(a) 定值  $k$  情况下  $\delta(30, k, q)$  的变化关系(b)  $q$  为定值的情况下  $\delta(30, k, q)$  的变化图 2 函数  $\delta(30, k, q)$  的变化图像

(2)  $k$  值的变化影响函数的变化率, 也即曲线的曲率, 且  $k$  值越大,  $\delta(30, k, q)$  变化越尖锐。当  $k > 5$  时,  $k$  的增大对  $\delta(30, k, q)$  的曲率增大不再明显, 也即继续增大  $k$  的值意义不大, 转而  $q$  成为决定因素。

图 2(b) 是  $q$  为定值情况下  $\delta(30, k, q)$  的变化, 可以得出如下结论:

(1) 确定  $q$  值后, 随着  $k$  的增大,  $\delta(30, k, q)$  减小。但是当  $k > 5$  时,  $\delta(30, k, q)$  不再有明显减小, 说明  $k > 5$  之后,  $k$  的增加对于性能改善率的提高意义不大。

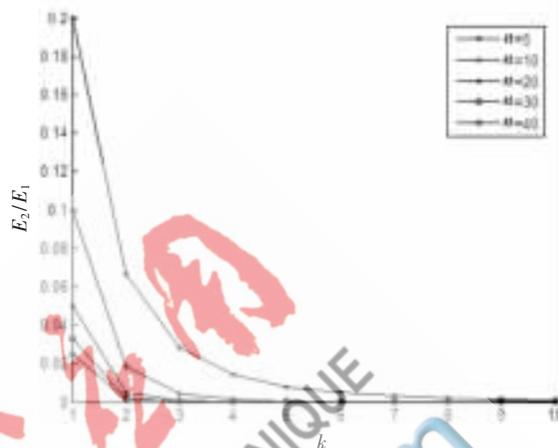
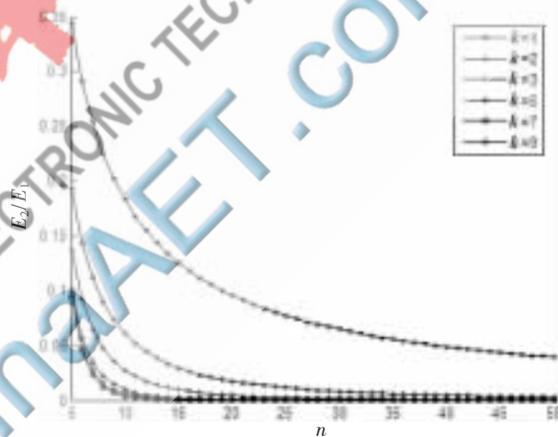
(2) 同样  $q$  的变化影响  $\delta(30, k, q)$  的变化率, 当通信状况较差时,  $k$  的增加对于性能改善率的变化尖锐, 与图 2(a) 的结论基本一致。

综上所述, 可以确定  $k$ -重传机制能够有效改善主节点完成一次任务的期望时间, 在信道通信状况较差的情况下效果尤为明显, 且随着  $k$  值的增大对性能的改善越明显, 但是  $k$  值增加到一定程度时对性能的提高速度不再明显。所以合理地选取  $k$  值对整个系统的性能至关重要。由式(7)可以看出,  $k$  值的选取与整个路径上总跳数  $n$  的大小有关。

## 2.2 $k$ 值的估计

$k$  值与路径上总跳数  $n$  的大小有关。对于单跳可达

的报文,  $k$  值的增加不具有实际意义, 这里只讨论多跳可达。如图 3(a) 所示, 函数  $\delta(n, k, 0.5)$  随  $k$  的增大成非递增函数, 但是  $k$  增大到  $K \approx \lceil \log_2^n \rceil$  时,  $k$  继续增加对效率改善提高影响不明显。与图 3(b) 所示结论相同。

(a)  $q=0.5$  时,  $\delta(n, k, 0.5)$  与  $k$  的关系(b)  $q=0.5$  时,  $\delta(n, k, 0.5)$  与  $n$  的关系图 3 多跳请求数据报文  $k$ -重传机制性能图示

通过以上分析, 在低压电力载波通信远程自动抄表系统中, 发起查询报文时, 可以将字段  $K$  值初始设定为  $K \approx \lceil \log_2^n \rceil$ , 其中  $n$  为报文总跳数。由此在通信过程中可以有效提高报文一次发送的成功率, 同时可以降低一次任务完成的期望时间。由于低压电力线通信信道的时变性和不确定性, 精确的  $K$  值在实际应用中有待进一步调整。

本文提出的  $k$ -重传路由机制, 通过与传统的基本集中式路由模型的性能进行对比, 证明了该机制的有效性, 以及参数  $K$  的阈值的确定, 后期将搭建仿真平台, 对模型进行进一步的完善。并结合实际的电力线载波信道, 搭建平台进行试验测试。

## 参考文献

- [1] 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, 26(21): 77-81.
- [2] 熊辉, 李红信, 张锋, 等. 低压电力线载波通信路由算法

- 研究[D].兰州:兰州大学,2010.
- [3] 侯思祖,杨丽,郝建国.电力线载波自动抄表系统网络结构的研究[J].电力科学与工程,2008,24(8):1-4.
- [4] 柯召,魏万迪.组合论[上册].北京:科学出版社,2010.
- [5] HAKKI C I.Performance analysis of FSK power line communications systems over the time-varying channels; measurements and modeling[J].IEEE Transactions on Power delivery,2004,19(1):111-117.
- [6] 张益民,王锐,史孟华,等.电力线远程抄表表端装置:中国,CN97251424[P],1999-02-27.  
(收稿日期:2013-01-15)

作者简介:

陈慧,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:网络通信。

王锐,男,1960年生,博士,主要研究方向:算法分析与设计。

