

# 用于智能电网的一种认知无线路由算法研究

陆 川

(广东工业大学自动化学院 广州 510006)

**【摘要】**为扩大通信网络的可利用带宽,智能的分配网络资源,该文围绕智能电网的通信业务服务质量要求,建立面向智能电网Ad hoc通信协议的一种认知无线网络路由方法。该方法基于耗能和延时最小的原则,根据节点个数、传输速率的要求,对其路由策略以及相关的频谱分配方案展开研究,为构建高效而稳定的Ad hoc智能电网通信网络协议提供一种新思路和设计理念,最终通过数值模型仿真验证其性能优于传统算法,非常适合智能电网方面的应用。

**关键词** Ad hoc路由; 认知无线电; 通信网络协议; 智能电网

**中图分类号** TN92      **文献标志码** A      **doi**:10.3969/j.issn.1001-0548.2017.06.008

## Research on a Cognitive Wireless Routing Algorithm for Smart Grid

LU Chuan

(School of Automation, Guangdong University of Technology Guangzhou 510006)

**Abstract** For expanding communication network available bandwidth and optimizing the distribution of the intelligent network resources, a cognitive radio network routing method for smart grid-oriented ad hoc communication protocol is proposed. Based on the principle of minimum energy consumption and the smallest time delay, the spectrum allocation scheme and transmission rate are studied according to the requirement of the number of nodes and transmission rate. The aim is to provide a new design idea for building a highly efficient and stable ad hoc smart grid communication network. The numerical simulation shows that the performance achieved is superior to the traditional algorithms, and the method is suitable for smart grid applications.

**Key words** Ad-hoc network; cognitive radio; communication network protocols; smart grid

认知无线电(cognitive radio, CR)是具备动态的频谱分析和接入能力的一种智能无线通信系统,是无线通信技术下一代的发展方向。它共享用户频谱资源和通信模式,提高了频谱的利用率,是一种极适用于智能电网通信的接入方式。现阶段,有关智能电网的无线系统主要包括:1) 计量基础设备,如电表的智能远程采集、纠错以及控制等;2) 监督、检测、监测分布式发电设备等的电流、电压、温度、频率稳定性等各项系统参数;3) 通过传感器监测电路上的基本参数,包括温度、摆动以及天气状态等。

智能电网<sup>[1-9]</sup>是电能监管和控制高度智能化的电力供应网络,以智能的手段设计强大的网络构架以及强大鲁棒的通信技术,实现对电力系统各个环节的智能感知、识别以及控制等功能。与此同时,无线电通信技术飞速发展,无线电通信终端不断涌现使得无线电频谱资源变得越来越紧张,特别是免授权、免费的频段变得非常拥挤。在智能电网

领域,稀缺的频谱资源已成为构建其无线采集、传输、传感网络的主要问题和瓶颈。

文献[2]讨论了CR技术在智能电网的应用,从智能电网的特点出发,认为智能电网中的通信方式不同于一般的通信方式,并将其抽象成具有典型特征的设备与设备间的通信(machine to machine, M2M)。其典型特征为:某些通信设备并不移动或移动较少、设备存在较长时间的睡眠期、由于网络质量时刻在变化从而导致网络通信的拓扑结构可能发生变化等。

而关于智能电网的CR通信方式采取的网络结构<sup>[5]</sup>,一般存在两种方式:1) 以自组网<sup>[3]</sup>为代表的无线分布式网络结构;2) 借助蜂窝网<sup>[4]</sup>通信为代表的集中式无线网络结构。

总的来说,认知无线电技术是一种允许用户使用已授权但暂时又未被使用的频谱资源,使得认知用户工作在最佳的可用频段上,该技术可简单的归纳为使无线电设备具备发现其周围的空闲频谱并具

备合理整合利用能力的一种无线电技术。认知无线电技术涵盖内容广泛,其中频谱感知、分析和决策以及频谱切换等为其核心,其主要功能包括为频谱资源进行重配置(reconfigure ability, RA)和认知功能(cognitive capability, CC)。本文主要研究其认知功能算法,以下将分别介绍认知无线电网络的路由协议及基于此路由协议的认知算法。

## 1 基于集群体系的认知无线网络及其路由协议

### 1) Ad hoc网络

Ad hoc网络是一个特设的无线网络,它由一组移动节点连接,并且相互之间没有任何固定的基础连接,也就意味着其特设网络拓扑是随机改变的,每个节点可以任意相互独立运动。文献[6-7]提出了用于基于认知无线电的智能电网分层通信构架。家庭接入网(home area network, HAN)负责不同的智能终端之间的通信,能满足高能的智能电网管理和需求响应,并将其接入到广域网(wide area network, WAN),实现信息的向上传输, WAN提供公共系统之间的信息传输通信链路。对于HAN网络架构,为减少平均能耗及考虑到网络运算能力,可使用基于ad hoc通信协议下的无线自组网分布式网络架构。

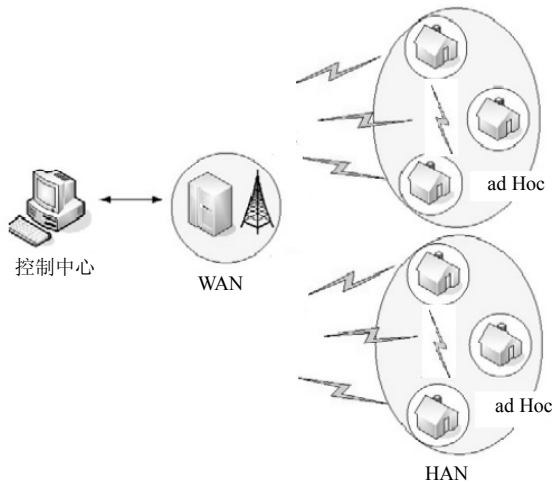


图1 典型智能电网网络构架模型

### 2) AODV路由协议

按需距离矢量路由(ad hoc on-demand distance vector routing, AODV)是基于按需距离矢量协议的一种路由协议,它对链路状态变化能作出快速的响应,主要原因是其处理过程简单、存储开销相对较小,适合作为认知无线Ad hoc网络路由协议的基础参照。换句话说,它是一种反应式路由协议,其核心思想是:当向目的节点发送封包时,原节点才在

网络中发起路由查找过程。相反,很多普通的互联网路由协议都是先验式的,它们查找路由不依赖于路径上的节点是否要发包,而是每个节点维护一张包含到达其他节点的路由信息的路由表。

AODV协议中节点间通过周期性的交换路由信息来不断更新自身的路由表,以便能够及时地反映网络拓扑的结构和变化,从而维护一致的、及时的、准确的路由信息。AODV路由协议主要由发现路由策略以及中断处理策略组成,本文设计的策略描述如下:

1) 发现策略:当源节点需要一个路线到目标节点,且其目标节点和源节点之间的链接不在路由表时,它将广播一个路由请求包(route request, RREQ)到目标节点,当下游节点接收到请求后,每个下游节点将创建或更新一个反向路由,然后不断广播,当其中一个中间节点已经出现一个有效路由到指定目的地或目标节点本身可以发送相应路由请求回应消息(route request packet, RREP)回源节点,则此路由发现即可结束。于是遵循同样相反的路线,沿着既定的路线更新每个节点收到的RREP和其路由表的ID。最终源节点创建或更新一个路由转发到指定目的地的路由表并开始数据传输。

2) 中断策略:当存在一个数据传输链路中断时,如果它的位置很靠近目标节点,上游节点会检测链路中断的风险,执行当地修复,并广播下游节点。在修复的过程中,上游节点缓冲受影响连接时数据包,直到它接收到相应RREP找到新路线。如果本地修复失败,中间节点发送一个路由错误数据包RERR到源节点,源节点将试图重建一个新的路线。如果检测到的中间节点链接损坏接近源节点,该节点将发出一个路由错误数据包RERR说明数据不可到达的目的地,这样源节点将重复同样的过程,重新建立新的链路。

## 2 基于集群体系的认知无线网络认知算法

基于Ad hoc网络的认知无线电路由处理在建立上述路由线以外,还需进行频谱选择工作,在数据传输过程中,每个中间节点均会进行相应的计算,从中选择最好的频谱向前传输数据包,也就意味着在不同的节点实际上选择了不同的频谱,即选择了不同的信道。可以看出,每个节点可以同时传输多个数据并使用不同的信道,但也意味着存在多个用户同时使用该节点进行数据传输,其中用户也需要

进行等级划分, 分为主用户和次用户。路由算法根据对主用户活动不同程度的保护不同而存在不同的路由路径, 同时也必须兼顾次级用户的路由延迟。

基于集群的体系结构确定适当的节点作为簇首和转发节点, 这些节点提供最大路径的稳定性, 并与其他集群成员节点进行比较, 其结构图2所示。

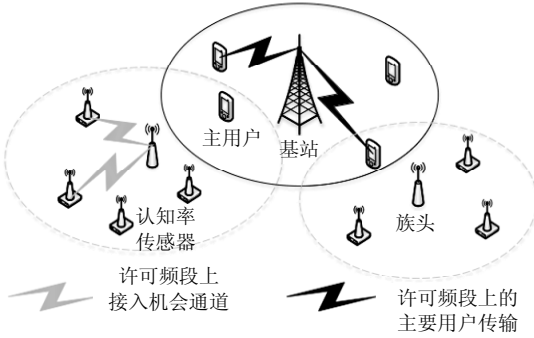


图2 认知算法的集群体系结构

对传感节点 $S_i$ , 通道 $C_i$  在时间 $T_j$ 上, 定义 $\theta_{ij}$  代表在 $j$ 时刻第 $i$ 个通道是否可用, 可用为1, 不可用为0; 定义 $W_{ij}$ 为第 $i$ 个节点在 $j$ 时刻是否有数据需要上传, 需要为1, 不需要为0。于是就形成了一个消息表 $(\theta_{ij}, W_{ij})$ , 将该消息表将作为一个请求消息传递给簇首。

在认知无线电传感系统中, 空闲通道才能作为传输数据应用通道, 其可用性主要由主用户的行为决定, 因此可以通过预测通道特性或根据通道的历史使用情况制定出适合的认知策略, 从而提升传输效率。

基于无线Ad hoc网络的拓扑结构及频谱资源频繁变化, 本文设计了一种适合频繁变化的网络拓扑结构的按需路由策略。根据系统需要, 算法对节点的频谱利用率、通道干扰等环境进行优劣排序, 并结合路由发现和保持策略进行路径搜索, 最终决定下游节点的选择。具体算法为:

1) 计算节点需求时间

对每个传感节点 $S_i$ , 计算传感节点 $S_i$ 的需求时隙时间:

$$N = \min(N_{i,max}) = \min\left(\frac{E}{aT(P_{i,c} + P_{i,s})}\right) \quad (1)$$

式中,  $N_{i,max}$  为传感节点 $S_i$ 花费的最大时隙数;  $E$ 为传感器节点的总功率;  $T$ 为单位时隙长度;  $a$ 是时隙比例因子;  $P_{i,c}$  是 $i$ 通道的通讯功率消耗;  $P_{i,s}$  是 $i$ 通道的传感功率消耗。

2) 对每个传输时隙计算可用和非可用通道序列

对每个通道 $C_i$ , 在上述传输时间片段内也就是每个传输时隙内, 循环计算其第 $i$ 个传感信息传输需要的时隙:

$$\mu_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_{i,j} \quad (2)$$

在此基础上, 考察其是否大于实际工作信道平均时隙, 从而得到可用通道序列, 并将不可用通道排除。

3) 选择最佳通道序列

对可用通道进行时隙排序  $\mu_1 \geq \mu_2 \geq \mu_3 \geq \dots \geq \mu_k$ , 针对  $\mu_i$  与通道空闲时隙排序, 以一定的概率选择略大于  $\mu_i$  的通道集为最佳通道集, 并根据实际情况再从集合中选出适合的通道, 也可在最佳通道集合中随机选择通道。

### 3 模型仿真

仿真参数如表1所示, 仿真区域1 000×1 000 m, 分别仿真了路径时间延迟和系统吞吐量等系统指标, 如图3和图4所示, 将仿真结果同文献[10]中的SOP算法对比, 发现本文算法均优于SOP算法。

表1 仿真参数设置

参数	值
通道数	6
节点个数	12
用户数	80
天线模型	全向天线
发射功率/mw	30
节点间传输距离/m	50~100
缓存大小/M	150

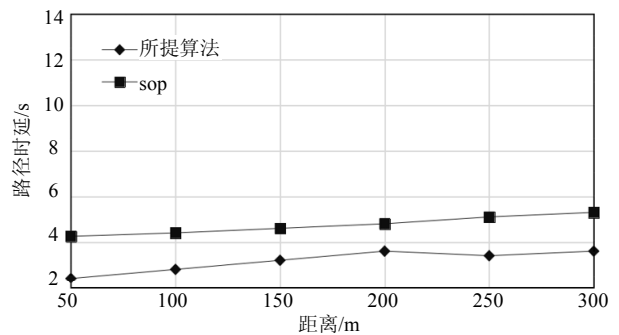


图3 路径时延vs距离

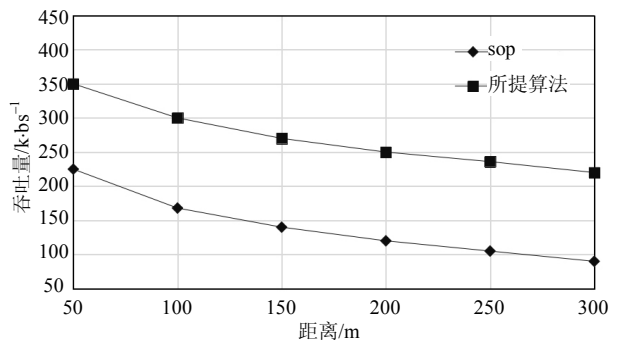


图4 吞吐量vs距离

## 4 结束语

本文提出了一种基于认知无线电的Ad hoc 网络路由方法,此分布式的集群认知无线电Ad hoc 路由协议具有以下特点:1) 具有稳态的路由选择和修复策略;2) 选取适当的节点作为簇首和转发节点,这些节点提供最大路径的稳定性,与其他集群成员节点进行比较,从而确定下游节点;3) 路由算法会利用特殊定义的时间片的方式进行评估,从而保证用户功耗最低,延迟最小。

### 参 考 文 献

- [1] AMIN S M, WOLLENBERG B F. Toward a smart grid: Power delivery for the 21st century[J]. *Power and Energy Magazine*, IEEE, 2005, 3(5): 34-41.
- [2] KUHDRAGH V, TARCHI D, CORALLI A V. Cognitive radio based smart grid networks[C]//2013 24th Tyrrhenian International Workshop on Digital Communication Green ICT(TIWDC). Genoa, Italy: [s.n], 2013.
- [3] CHENG G, LIU W, LI Y Z, et al. Spectrum aware on-demand routing in cognitive radio networks[C]//Proc 2007 IEEE Int Symp New Frontiers Dynamic Spectrum Access Netw. Dublin, Ireland: IEEE, 2007.
- [4] 陆阳. 基于接收方信道质量的ad hoc网络多信道工程与应用[J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(20): 129-132.  
LU Yang. Multi channel engineering and application of ad hoc networks based on receiver channel quality[J]. *Computer Engineering and Application*, 2009, 45(20): 129-132.
- [5] 宋志群. 认知无线电技术及应用[J]. *无线电通信技术*, 2012, 38(5): 1-5.  
SONG Zhi-qun. Cognitive radio technology and its application[J]. *Radio Communications Technology*, 2012, 38(5): 1-5.
- [6] YU Rong, ZHANG Yan, GJESSING S, et al. Cognitive radio based hierarchical communications infrastructure for smart grid[J]. *IEEE Network*, 2011, 25(5): 6-14.
- [7] 刘顺. 认知无线电ad hoc网络路由算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.  
LIU Shun. Research on routing algorithm of cognitive radio ad hoc network[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2011.
- [8] 邓守峰. 认知无线电中的路由算法和协议设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.  
DENG Shou-feng. Routing algorithm and protocol design in cognitive radio[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2008.
- [9] 胡一楠. 认知无线电ad hoc网络路由机制的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.  
HU Yi-nan. Research on routing mechanism of cognitive radio ad hoc network[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [10] ZHOU X, LIN L, WANG J, et al. Cross-layer routing design in cognitive radio networks by colored multigraph model[J]. *Wireless Personal Communications*, 2008, 31: 1254-1260.

编辑 叶芳