

Studies on Wireless Ad Hoc Networks Scheme to Support Multi-Services Oriented to Power Transmission Line Monitoring

Lei Xu¹, Jianjun Bi², Yadong Zhang², Yi Sun¹

¹College of Electric and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing

²Communication and Automation Center, Heilongjiang Electric Power Co., Ltd., Harbin
Email: xulei860312@gmail.com

Received: May 16th, 2012; revised: May 27th, 2012; accepted: Jun. 1st, 2012

Abstract: The power transmission condition-base monitoring system includes a variety of services. As the different services have different requirements on QoS, such as delay, bandwidth and delay jitter, we need introduce a kind of effective multi-service access strategy and an appropriate quality of service. Mobile Ad Hoc Networks have advantages of convenient organization, flexible scalability, and easy maintenance. In recent years, it has been widely used in the power industry. This article proposed a power transmission line monitoring multi-service access strategy based on the Mobile Ad Hoc Network, which can meets the requirements of multi-services transmitting in the same network. To high real-time, especially, author proposes an identification and classified model, managing different services to assure the corresponding QoS.

Keywords: Power Transmission Line Monitoring; Mobile Ad Hoc Network; Multi-Service Access; QoS

面向输电线路监测的无线自组织网络多业务支持方案研究

徐 磊¹, 毕建军², 张亚东², 孙 毅¹

¹华北电力大学电气与电子工程学院, 北京

²黑龙江省电力有限公司通信自动化中心, 哈尔滨
Email: xulei860312@gmail.com

收稿日期: 2012年5月16日; 修回日期: 2012年5月27日; 录用日期: 2012年6月1日

摘 要: 输电线路监测包含多种业务, 由于不同业务对时延、带宽、时延抖动等服务质量有不同的要求, 因此, 需要一个能够支持多业务接入、并提供相应服务质量保证机制的网络来满足监测的需求。无线自组织网络具有组网方便灵活、可扩展性强、维护简单等优点, 近些年来已在电力行业得到了广泛的应用。本文提出了一种基于无线自组织网络的输电线路监测多业务接入方案, 能够在无线自组织技术的支持下, 满足多种业务在同一个网络中传输的需求, 同时针对不同级别的业务, 尤其是实时性要求很高的业务, 提出识别和分类模型, 进行不同的 QoS 管理, 保障相应业务的 QoS。

关键词: 输电线路监测; 无线自组织网络; 多业务接入; QoS

1. 引言

在世界“绿色革命”的大环境下^[1], 随着能源短缺问题日益严峻、供电可靠性要求不断提高, 电网运营面临巨大挑战, 智能化成为国际电网发展的必然趋

势, 建设智能电网在欧美国家已经逐步上升到国家战略层面。面对电网发展的新形势、新任务, 国家电网公司对加快建设统一坚强智能电网进行了动员和部署, 明确了智能电网发展战略目标、建设任务和工作

要求。输电线路是电力系统的重要组成部分，实行输电线路的监测也是非常必要的，这将是电力行业实现科技化、现代化的必经之路。输电线路由于具有布局范围大、电力需求多样、线路距离长等特点，一旦受到大风、冰雪、暴雨、冰雹等恶劣天气影响，或者是山洪、地震、山体滑坡等严重自然灾害的影响，线路很可能受损甚至中断，影响着电力系统的运行和安全状态。这就要求电力工作者实时监测线路运行状况，发现问题时在第一时间全面的检修输电线路，尽快恢复电力运行。

国外在 90 年代针对输电线路监测开展了系统的研究，如澳大利亚红相公司开发的绝缘子泄漏电流在线监测系统。国内清华大学、西安交通大学、华北电力大学等科研单位陆续开展了具有完整功能的输电线路监测技术。目前，已经成熟或者实际运行了例如输电线路绝缘子污秽监测系统、输电线路氧化锌避雷器监测系统、输电线路覆冰雪监测系统。

尽管已经可以监测到多种类型的业务，但是如何将多种输电线路监测业务用无线自组织的方式综合接入电力网，并实现多业务的服务质量保证，这一课题在我国电力监测研究领域的应用还比较少。本文首先对输电线路监测的业务进行分析；其次，提出一种基于无线自组织网络的多业务接入方案；最后，通过将不同的业务进行识别、分类，相应的业务打上对应的 QoS 要求的 DSCP 标记，对分类的业务进行流量控制，从而满足不同业务 QoS 的需求。本文提出的策略可以为输电线路监测的多业务接入提供一种合理有效的参考。

2. 输电线路监测业务分析

输电线路监测是为了更便捷的了解整个网络的运行情况，其业务类型主要包括运行信息、灾害预警、环境监测和人工巡检四大类。其中，运行管理业务可以细化为对载流能力、导线温度、弧垂情况等监测；威胁电网运行的主要气象灾害包括，台风、雷电、冰灾、强对流天气等；环境监视能够进行微气象监测、提前发现山火、外破的情况，有效确保线路运行安全^[2]；人工巡线是电力工作人员在特殊环境下的野外作业活动。输电线路监测的业务构成可以用如下表 1 表示。

Table 1. Structure and main contents of information on power transmission line

表 1. 输电线路状态信息组成结构和主要内容

类别	内容
运行管理	载流能力、导线温度、接头温度、弧垂情况、外绝缘情况、风偏情况、荷载情况
灾害预警	雷电预警、强对流天气预警、冰灾预警、台风预警
环境监测	微气象监测、山火监测、人为破坏情况监测
人工巡检	利用智能移动终端进行勘测

根据《全国电力二次系统安全防护总体方案》，还可以将整个二次系统分为四个安全工作区：管理信息区、生产管理区、实时控制区、非控制生产区，通过上小节业务分析，输电线路状态分区可分别属于 III、IV 区。分区 III 是生产管理区，该区包括进行生产管理的系统，典型的系统为雷电监测系统、气象接入等。分区 IV 是管理信息区，该区包括办公管理信息系统、客户服务等。在各安全区之间均需选择适当安全强度的隔离装置。这样，输电线路不同的监测业务又可以分到不同的应用域上去。运行管理、灾害预警和环境监测属于分区 III，人工巡检在分区 IV 的范畴内。

3. 无线自组织网络简介

由于输电线路布局的特殊，它要求其通信网络必须具有可靠、快捷、灵活、经济等特性，传统的有线网络不仅布线复杂，而且成本较高。无线网络虽然在链路上的稳定性较有线网络稍差，但随着底层技术的不断改进，上层协议以及组网技术的不断优化，无线技术已经得到了很大程度的提升，其可靠性和稳定性也越来越好，因此无线自组网在输电线路监测的应用不仅有广阔的市场前景，在技术上也是可行的。

无线自组网又称“Ad Hoc”网络，是一批带有无线收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时性自组织系统。在自组网中，每个终端不仅能够移动，而且兼有主机和路由器两种功能。作为主机，终端需要运行各种面向用户的应用程序；作为路由器，终端需要运行相应的路由协议，根据路由策略和路由表完成数据分组转发和路由维护工作。无线自组网的特点主要有独立组网、动态变化的拓扑结构、无中心的自组织网络、多跳路由等^[3]。目前已经广泛用于工业、生活等领域的无线通信技术标准有 Zigbee、WiFi、WIA 等，这些无线通信技术的不同在于底层遵循的协议标准以网络层、应用层采用的组网方式，应用范畴等。可以

肯定的是, 这些技术目前可以应用于输电线路监测。

4. 多业务接入方案

一个面向输电线路的, 能够同时进行多业务平滑接入的系统, 应该包含三个部分: 监测网络的接入、传输网络的接入和监测中心的接入。每一层的网络内部以及不同网络层次之间都会涉及到底层协议、通信频率、IP 地址分类等通讯问题, 这就需要我们根据实际情况, 综合考虑该网络的现实性, 如图 1 所示。

4.1. 监测网络接入部分

底层监测网络的接入包括三个大的业务子类: 传感器业务的接入、视频流业务的接入以及移动终端业务的接入。

传感器业务包括荷载监测、弧垂监测、流量监测等, 属于非实时业务, 对差错比较敏感。因此选用一个高可靠性和强稳定性的基于 WIA 的无线传感器网络, 该网络包含若干带有特定功能的传感器节点, 例如温湿度传感器、张力传感器、流量传感器等, 这就需要具有相应功能的传感器节点布置入网, 通过合理的路由算法将探测到的数据逐跳的、拓扑结构呈长链路状的传输给集中器网关。网关节点具有一定的数据转发的能力, 将收集得到的信息, 转发给临近的 AP

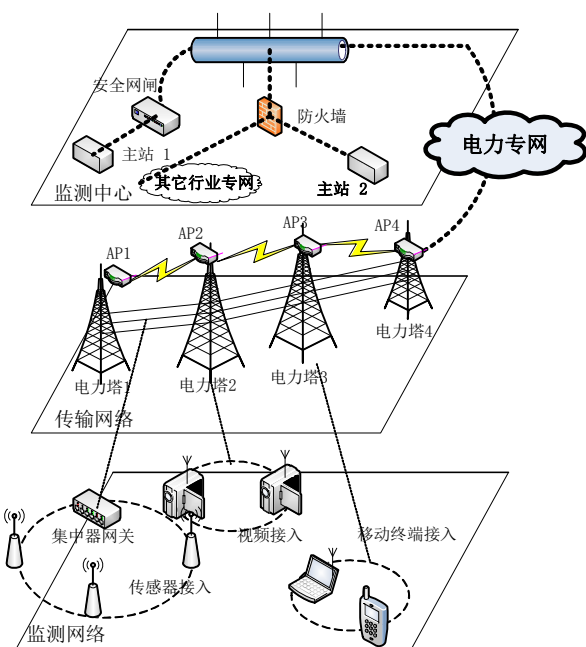


Figure 1. Multi-service access diagram
图 1. 多业务接入示意图

接收端。传感器接入网络采用短程无线通信 IEEE 802.15.4^[4]标准, 工作在 2.4 GHz 频段。

视频流业务包括视频监控、微气象监测、山火预警等, 属于实时业务, 对时延、带宽要求比较严格。这里, 采用的是一个高保真、宽基带的基于 WiFi 的无线网络。用带有通信模块的视频设备与临近的 AP 接收端相连, 可以快速建立起一个局域网。视频流接入采用 IEEE802.11 系列标准, 工作在 2.4 GHz 频段。移动终端不仅可以与 AP 相连, 还能在更大的范围内移动, 在不同的区域进行切换。

这部分的网络, 通过 IP 地址规划来进行区分, 同一类型的业务划分在一个相应的子网, 由一个 AP 统一进行管理; 不同的子网再设置相异的 IP 地址段。不同 IP 网之间不能相互通信, 同一 IP 网内部之间可以通信。移动终端可以在不同 AP 管辖下的子网进行越区切换、漫游等操作。这样, 就将不同的业务接入了底层的网络当中。

4.2. 传输网络、监测中心接入部分

由上述内容, 已知底层设备已经接入到了传输网络的 AP。各个 AP 协同通信, 组成传输网络, 该网络采用双频通信, 与监测设备的通信频率(即接入频率)为 2.4 GHz, 自组织逐跳的回传频率为 5.8 GHz, 动态组成一个链式回程自组网(WiFi-Mesh^[5])。最后通过电力光纤、电力宽带无线 McWiLL^[6]等接入电力专网。该无线网和 WLAN 的 802.11 协议标准相结合, 具有宽带高速和高频谱效率的优势, 具有动态自组织、自配置、自维护等突出特点, 解决了“最后一公里”的问题。

由于二次系统在电力专网分为不同的等级, 每个等级查询的权限、保密的级别也有所区别。因此设置了安全网和防火墙来区分分区 III 和 IV。另外, 该系统也可以通过网关, 将探测到的部分数据(如微气象、火情等)传送至其它行业专网, 如公安消防、交通等, 为公共服务提供必要的信息。

5. 多业务服务质量保障

ITU-T 对 QoS(Quality of Service)的定义为: QoS 是一个综合指标, 用于使用一个服务的满意程度。输电线路监测的 QoS 主要是指时延、可用带宽、丢包率、时延抖动等, 具体的网络必须满足以下两个条件:

1) 优先级高的业务类型必须得到充分的带宽保证;

2) 相同业务流通过网络时, 它必须受到同等对待, 包括调度时序安排和包转发。

目前, 有两个主流的体系结构来解决 QoS 的问题: 综合业务结构(Intserv, Integrated Service^[7])和区分业务结构(Diffserv, Differentiated Service)。由于 IntServ 需要在全网部署, 而目前的数据网络各种技术标准林立, 同时对网络资源要求较为苛刻, 因此只是一个理论上的参考模型。而 DiffServ 充分考虑了数据网络现状, 结合实际应用需求, 形成了一套较为适用的技术规范框架。因此, 我们准备从以下两个方面入手, 来满足输电线路监测对 QoS 的需求。先对输电线路业务进行识别与分类, 对不同业务采用不同的保障, 采用优先级控制的方法抑制贪婪业务, 保障核心业务; 然后在基于分类的基础上, 根据用户需求, 在边缘位置, 利用边缘路由器, 采用简化的优先级控制策略、队列调度管理策略、QoS 路由技术等共同完成业务的全程 QoS 保障。

众所周知, 输电线路监测的业务具有不同的特性, 如实时视频对传输时延和时延抖动十分敏感, 但对数据的错误率却有一定的容忍度; 相反, 一般的数据业务对时延抖动和时延要求不高, 但对数据的差错却十分敏感。所以对不同业务进行区别控制, 对业务进行 QoS 分类, 便于路由节点的 QoS 策略控制, 以此达到对多样化业务传输的保障。

5.1. 多业务识别与分类

具体的业务识别与业务分类模型如图 2 所示。

对网络中各种业务进行高效、准确地识别是无线网络对业务流量进行管理的一个重要前提, 它是系统对流量进行控制, 保障各种业务 QoS 需求的基础。这里, 我们采用一个 DPI 识别法来进行业务识别。

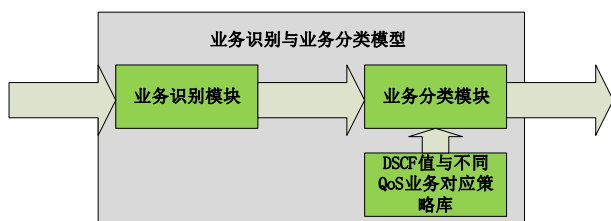


Figure 2. Curve: Identification and classification model
图 2. 业务识别与业务分类模型

DPI^[8]技术, 即深度包检测技术是一种基于应用层的流量检测和控制技术, 当 IP 数据包流通过基于 DPI 技术的带宽管理系统时, 该系统通过深入读取 IP 包载荷的内容来对信息进行重组, 从而得到整个应用层程序的全部内容, 然后按照系统定义的管理策略对流量进行整形操作。DPI 技术不仅包含了传统的流量监测技术, 而且还可以对新的应用进行有效的识别。

区分服务(DiffServ)是 IETF 区分服务工作组提出的一个重要的基于 IP 网络的 QoS 服务协议模型, 它要求分组在进入网络时首先进行分类和调整, 并分配给不同的行为集合(behavior aggregate, BA), 该行为集合由 IP 包头中的 DSCP 差分服务代码点(Differentiated Services Code Point)域来标识。它在每个数据包 IP 头部的服务类别 TOS 标识字节中, 利用已使用的 6 比特和未使用的 2 比特字节, 通过编码值来区分优先级。这里的标记过程是在对各种业务进行识别的基础上进行的, 所以在标记之前要对业务进行 QoS 分类, 即每种业务对网络要求不一致。我们知道目前 RFC 定义了六类标准业务即: EF、AF1-AF4、BE, 并且通过定义各类业务的 PHB(Per-hop Behavior)明确了各类业务的具体实现要求。从业务对外在环境的要求及表现来看, 基本上可认为 EF 流要求低丢包率、低时延, 对应于实际应用中的雷电、山火等突发情况; AF 流要求较低的丢包率、低时延、高可靠性, 对应于数据可靠性要求高的视频流等实时性要求高的业务; 对 BE 流则不保证最低信息速率和时延, 对应载流能力、外绝缘情况等周期性监测的数据业务。因此我们将对各种业务进行如下的 QoS 归类, 以对应各自主要的 QoS 要求和配对各自所属的 DSCP 值, 识别业务与 DSCP 对应策略库的作用就在于这里。最后, 相应的业务打上对应的 QoS 要求的 DSCP 标记, 到达了业务分类的目的。

业务应用类型与 QoS 服务要求等级匹配如图 3 所示。

5.2. 基于分类业务的 QoS 流量控制

目前, 该无线网络可能会出现多样化业务即使在使用最优化路由时也会超出网络承受能力的情况, 如果不使用任何措施控制管理, 在瓶颈链路的队列长度将会增加而导致数据包延迟增大, 以致可能超出最大延迟指标。而且, 随着队列的不断增长, 在某些节点

业务应用类型		QoS等级
突发事件： 雷电、山火		EF
实时业务	视频流	AF4
	覆冰情况	AF3
	微气象	AF2
	移动终端	AF1
周期性业务： 载流、弧垂等		BF

Figure 3. Specific type of service application and QoS service levels
图 3. 具体业务应用类型与 QoS 服务要求等级匹配

上的缓存空间可能会被耗尽。这一情况发生时，到达这些节点的那些数据包将不得不被丢弃，因而网络业务的 QoS 将遭到很大破坏。

为了解决这一问题，网络的 QoS 流量控制应运而生。我们提出的基于分类业务的 QoS 流量控制是指在监测数据进入电力专网之前，对各种业务进行识别，对识别后的业务进行 QoS 标记分类，依据业务重要性设置优先级，控制不同业务的平均速率，保证关键业务在出口处占有一定的网络资源，提高服务质量。本论文讨论基于分类业务的 QoS 区分服务(DiffServ)体系结构的流量控制。我们定义了多种服务类型，每种对应一个流，用 IP 头中的 DSCP 值表示服务类型信息，可进行流的优先级定义。QoS 区分服务控制环境下的流量控制一般包括分类、调度和整形 3 个部分^[9]。分类是指检查数据包 DSCP 字段的内容，将数据包分配到相应流/服务类的过程。调度是指按照一定的 QoS 策略来决定等待队列中选择哪个分组以何种速率发送，以此来使网络中所有的关键业务流能够按照预定的策略方式共享输出链路带宽。调节整形是指对到达的数据进行平滑处理，对数据流进行稳定传输控制。具体的流量模型如图 4 所示。

QoS 流量控制模型的流程如下：

1) 业务类型识别

对到达的业务分组进行检测，根据上一小节提出的业务识别模型和具体业务匹配数据库进行识别处理；

2) 业务 DSCP 标记

对识别后的业务进行分类别的标记，根据相应的

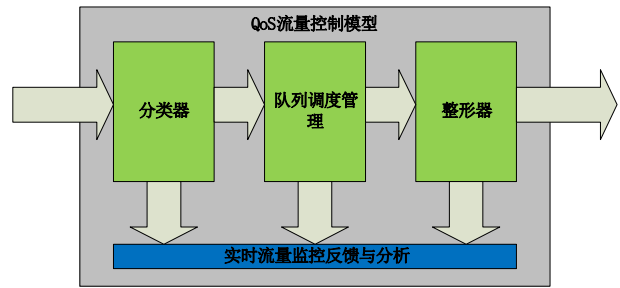


Figure 4. QoS flow control model
图 4. QoS 流量控制模型

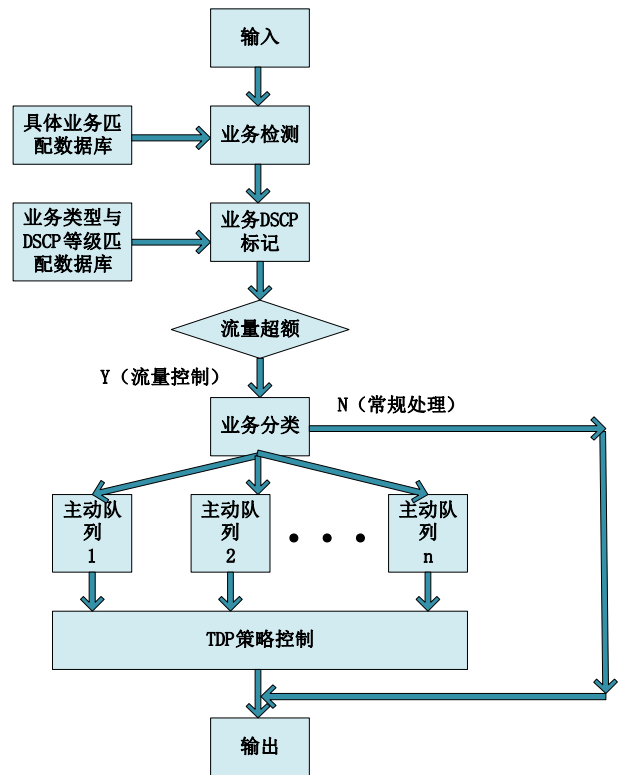


Figure 5. Flow chart of QoS flow control model
图 5. QoS 流量控制流程图

QoS 需求对业务进行 DSCP 标记；

3) 判断业务流量总量

统计业务流量的总量值，如果不超过网络资源分配规则库中分配的大小，则直接放到转发队列中去等待输出，反之转到步骤 4)；

4) 业务分类

根据相应的 DSCP 值把业务分到相应的主动队列中进行管理，等待下一步的处理转发；

5) 流量控制

根据流量分组的业务类型，结合用户的状态，根据制定好的流量控制策略，对分组进行流量控制，然

后放到转发队列中去等待输出。系统会根据一定的队列调度算法,完成对分组的转发。

QoS 流量控制流程图,如图 5 所示。

6. 结论

本文提出的面向输电线路监测的无线自组织网络多业务接入方案及其 QoS 的保障,将多业务以无线自组织的方式,综合接入电力信息网,在边缘位置,以业务识别、业务分类为基础,使得多业务的优先级得到保障,对整个网络的流量进行控制。这样的无线自组织接入策略,无论在经济上,还是在具体实施过程中,都具有一定的优势,较好地满足了输电线路监测对各业务 QoS 的要求。

参考文献 (References)

[1] 郭经红,张浩等. 智能输电线路状态监测系统通信方式研

- 究[C]. 信息通信网络技术委员会年会, 2011: 1511-1516.
- [2] 赵国宏. 电力行政执法的多点视角[J]. 中国电力企业管理, 2004, 2: 22-24
- [3] 王凡,王家琛. Ad Hoc 网络中的多信道多接口技术研究[J]. 电子科技, 2008, 11: 65-67.
- [4] IEEE Std 802.15.4, Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY): Specifications for low rate wireless personal area networks (LR WPANs). New York: IEEE Press, 2003.
- [5] 喻洁,夏安邦. 电力网格及其服务研究[J]. 电力信息化, 2008, 6(7): 49-52.
- [6] 孙毅,崔维新,祁兵等. McWill 及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统通信, 2009, 30(197): 90-94.
- [7] R. Braden, D. Clark and S. Shenker. Integrated services in the internet architecture: An overview. IETF RFC 1633, 1994. www.ietf.org/rfc/rfc1633.txt
- [8] 周翔. 基于 P2P 业务识别的 QoS 路由平台的研究与实现[J]. 电信快报, 2010, 10: 26-28.
- [9] 刘春贵,张连芳等. 无线自组织网络 QoS 流的准入控制和流量控制[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(25): 88-91.