

基于效用函数的电力物联网异构网络 接入 QoS 保障方法

曹扬, 魏畅

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 随着电力物联网的发展, 越来越多的通信接入方式被加入到智能配电网中, 网络之间相互覆盖, 相互重叠, 现有的 QoS 保障方法已无法满足未来智能电网新业务的多样化需求以及异构网络的切换与统一问题所带来的挑战。提出了一种基于效用函数的电力物联网异构网络接入 QoS 保障方法。首先构建了效用函数评价模型, 设计了评价参数, 并给出了参数的效用函数。其次, 设计了接入网络映射算法。最后, 通过仿真实验, 验证了基于效用函数的异构网络接入 QoS 保障方法在电力物联网背景下的性能与可靠性。

关键词: 电力物联网; 效用函数; 异构网络; QoS 保障

中图分类号: TN929.5; TP212.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)01-0087-05

Utility Function Based Network Access Method in Power Grid HetNets with QoS Guarantee

CAO Yang, WEI Chang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: With the development of power grid Internet of Things (PIoT), more and more communication access networks are introduced in PIoT system. However, due to the overlapping coverage among heterogeneous networks, the existing QoS guarantee methods can not meet diversified requirements of multiple applications and challenges by network handover in future smart grid. This paper proposed a novel network access method for QoS guarantee by utility function. First, we designed a utility function evaluation model. Secondly, the network mapping algorithm of heterogeneous access networks was proposed. Finally, the performance and reliability of QoS guarantee method of heterogeneous access network were verified by simulations.

Key words: PIoT; utility function; HetNets; QoS guarantee

智能配电网具有节点、终端数量多、分布广、部署环境复杂、变动较频繁、单点业务速率低、聚合节点突发流量高、安全性和可靠性要求高等特点。而电网中的许多新业务, 新需求, 如以“三遥”为代表的配网自动化业务, 以用电信息采集/低压集中抄表为代表的计量自动化业务, 往往又集中在这个领域。当前配电网的各种通信技术, 在容量、覆盖、可靠性、经济成本和安全性支持能力等方面各有长短, 尚没有任何一种单一的通信模式, 能够完全适应智能配电网的复杂环境与业务需求。因此多类型网络共存和融合将是未来配网通信系统的发展趋势。

针对配用电侧海量且广泛分布的智能终端与业务需求, 近年来, 有文献提出了电力物联网概念^[1]。电力物联网是物联网技术在智能电网中的应用, 该技术可以有效获取电力系统通信设备资源信

收稿日期: 2017-01-06

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目“智能电网自组织化数据采集与路由机制研究”(2016M602557)

作者简介: 曹扬(1987), 男, 江西吉安人, 博士后, 主要从事智能电网与电力通信的研究工作(e-mail)caoyang@gedi.com.cn。

息。其主要优势是在现有网络基础上,借助传感网络的架构扩展智能传感终端与控制系统之间的通信,全面提升智能电网各个层面的信息感知与数据采集的深度和广度^[2-4]。与纯粹的传感器网络相比,电力物联网拥有自己独特的特点,包括网络异构化、各网络独立建设、数据分散、数据难以实现规范化汇集、高 QoS 保障、业务需求多样等。为此,需要找到一种适用于电力物联网场景的异构无线网络 QoS 分级方法,可以快速准确地处理网络运行情况与用户需求信息,以实现针对不同网络的 QoS 保障进行统一分析、统一处理。然而,现有的方法存在着许多缺陷,有的方案仅面向单一网络 QoS 保障,对于以异构网络为主的电力物联网无能为力;有的方案算法较为复杂,会增加网络负担,造成可行性降低,并且不能根据网络实时状况进行 QoS 保障。因此,有必要开展电力物联网异构网络 QoS 保障技术的研究,克服异构网络 QoS 保障的若干切换与统一的问题^[5-6]。

具体的,目前针对无线网络 QoS 保障的方法可以分为两类:

第一类方法根据用户的实时 QoS 性能进行适应性控制^[7],这一类方法是基于无线网络的基本原理提出的,主要模拟多用户会话的 QoS 映射并进行动态控制。该方案所述方法通过对紧急发送功率、业务保障功率及业务保障延时的设定,使得无线传感网在发现紧急业务时,能快速、高效、低延时的利用蜂窝网将紧急业务数据传输至数据中心,保证了突发业务的 QoS,使系统能以更充裕的时间来应对突发事件。但没有涉及到异构网络接入情况下的 QoS 保障,无法针对不同网络间的业务信息进行有效映射,对电力物联网场景下的异构网络接入 QoS 保障情况无能为力。

第二类方法根据不同网络之间具体业务类型的进行 QoS 保障^[8],这一类方法从实际应用出发,通过划分相对适中的粒度进行业务划分,保障业务特点的一致性。该方法将应用场景设置为实时动态变化的异构网络。通过对异构网络上针对不同的业务等级进一步的细致划分,将每一个业务等级又分为可用于 QoS 保障的子等级,依据此调整原则,采用 QoS 参数控制的方法,例如业务的升降级改变映射参数,从而根据接入网络性能,动态调整 QoS 分类映射。该方案的算法较为复杂,步骤较繁琐,会

增加网络的负担,降低方案的实用性。

针对上述两种方案的不足,本文提出了基于效用函数的电力物联网异构网络接入 QoS 保障方法。该方法采用效用函数法对每一个参数进行量化,最后按一定的合成模型加权求得异构网络的评价值。具体的,首先选取评估参数,对评估参数进行量化处理,运用数学模型将评估参数进行平均合成,得出一个评估值,最后根据决策方法,确定接入网络,实现异构网络的 QoS 统一保障。仿真实验表明,本文所提出的基于效用函数的异构网络接入 QoS 保障方法在电力物联网背景下能获得较好的性能,且决策流程简明快捷,复杂度低,适合海量终端的管理需求。

本文后续部分组织如下,第二节提出了一个基于效用函数的异构网络 QoS 分级方法。第三节给出了异构网络动态映射算法以及流程图。第四节是仿真实验,在异构无线接入网络情况下,验证网络接入 QoS 保障方法的优势。第五章是总结。

1 基于效用函数的异构网络 QoS 分级方法

1.1 应用场景

如图 1 所示,电力物联网场景下,异构网络是网络接入的主要方式,这些异构网络相互覆盖,如何统一不同网络的 QoS 保障方式,覆盖区间内的节点如何选择接入网络,成为限制电力物联网性能的主要问题。

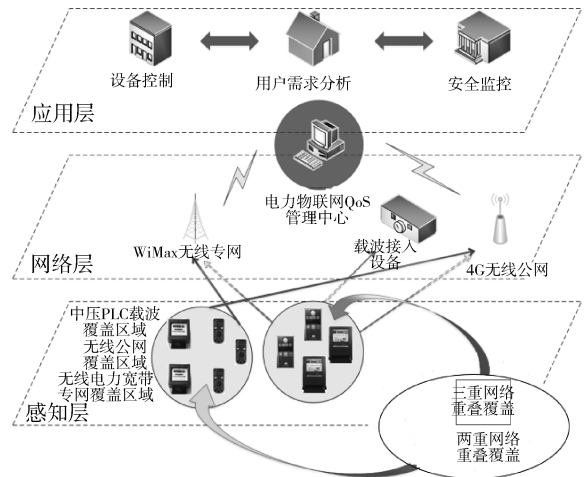


图 1 电力物联网异构网络接入示意图

Fig. 1 An illustration for power grid internet of things network

根据电网实际的异构融合环境,本文考虑的接入网络类型包括:电力线载波通信(Power Line Com-

munication, PLC)、WiFi/RF Mesh、2G/3G/4G 无线公网和 WiMax/LTE 电力无线专网。其中, PLC 速率较低, 稳定性较差, 包括中压载波与低压载波两种类型, 低压载波负责电表到集中器的信息传输, 中压载波负责配网终端及集中器的上行接入; WiFi 以及 RF mesh 等短距离无线通信技术, 主要用于电表到集中器的计量业务通信, 或者变电站内的传感器到配网终端的通信; 无线公网需要租赁, 根据流量收费, 但是覆盖范围最广, 通常作为中压上行通道; WiMax, LTE 等无线专网的传输速率最高, 时延最低, 但是部署规模有限, 一般作为无线公网的替代方案。其中, 国家电网与南方电网公司已建设一定规模的 1.8 GHz 与 230 MHz LTE 电力无线专网, WiMax 主要在国外电力公司应用^[9]。

电力物联网架构中最基础的层次就是感知层。借助广泛分布的智能终端, 感知层承担着信息采集、感知信号、识别物体的功能, 兼具处理控制的能力^[10]。网络层位于中间位置。感知层在采集到物体的信息后, 需要通过网络层将这些信息传递到下一层面进行处理与应用。作为电力物联网架构的顶层部分, 应用层将采集来的信息进行分析处理, 挖掘出工作人员需要的内容。

另外, 业务类型也由于多样的用户需求而异构化, 比如控制保护类业务需要传输的流量少, 但是时延要求高; 视频监控类业务需要传输的数据量高, 时延中等; 计量用电信息采集类业务需要传输的流量中等, 但是时延要求低等^[11]。如何解决业务差异化需求的统一评价与处理问题, 确保异构网络 QoS 保障的有效实现, 是当前的难点所在。

1.2 评价模型构建

电力物联网异构网络接入场景下的 QoS 保障方法主要基于多种参数的量化, 变成对网络水平测量的一个“量化值”, 即效用函数值, 然后再按一定的合成模型加权求得各个网络的评价值, 据此对 QoS 进行分级, 最后依照动态 QoS 映射算法实现异构网络的 QoS 保障。

我们把 QoS 保障算法转化为针对异构网络的评价过程, 通过得到的评价结果选择合适的网络进行接入, 构建出了接入网选择的多因素评价决策体系模型。决策体系模型描述如下:

$$N = \{N_1, N_2, N_3, \dots, N_m\} \quad (1)$$

式中: N 表示异构网络集合, 共 m 个。

该算法的目标就是从 m 个网络中, 选择一个符合业务 QoS 需求的最佳网络。

1.3 参数设计

为了实现对电网运行业务和现代化运营的全方位支撑这一目标, 必然要求电力物联网能够在异构网络的情况下实现 QoS 保障的统一分析处理。因此, 不失一般性的, 本文引入 6 个指标作为电力物联网场景下异构网络的 QoS 参数, 即“通信半径”, “拓扑控制率”, “网络负载均衡度”, “网络平均距离”, “能量供给”和“速率”。下面对所选参数作详细介绍:

1) 通信半径: 在电力物联网中, 智能终端节点通常为人为部署, 不是随机部署, 在部署的过程中会充分考虑通信半径的要素, 以满足网络的连通性以及可靠性。在分析 QoS 保障的过程中也不可避免的要考虑到通信半径对所使用保障方法的限制因素。

2) 拓扑控制率: 通过拓扑控制, 可以提高数据的准确性和传输效率, 并为目标定位、数据融合等方面奠定基石。电力物联网本身要求具有灵活的自组织配电网网络拓扑, 拓扑控制可与之相互适应。

3) 网络负载均衡度: 当一个网络的负载较大时, 可能会增加用户接入失败的概率。电力物联网的异构网络在接入时同样会遇到这个问题, 因此要求在分析 QoS 保障时考虑网络的负载因素。

4) 网络平均距离: 由于电力物联网的异构网络很多属于多跳网络(如 RF Mesh, PLC 等), 跳数因素很大程度上影响着数据传输的速率、时延与可靠性, 因此在分析异构网络 QoS 保障问题时需要考虑网络平均距离。

5) 能量分配与供给: 节点能量的持续供给是电力物联网中数据大量、快速以及可靠传输的保障。

6) 速率: 异构网络为了实现网络资源的有效配置, 协作接入时的速率分配与速率控制成为了电力物联网管理难点, 以此来保证高速传输时网络与用户的协同共赢。

1.4 效用函数

1) “通信半径”是正向参数, 即数值越大, 该网络的传播范围越广, 相对来说终端业务侧的接收信号强度越大。为了更加准确地表达 QoS 分级方法, 本文将需要的参数细化为异构网络重复覆盖区域的通信半径。假设节点密度的定义为:

$$\rho = \frac{NUM}{A} \quad (2)$$

式中： NUM 为区域内终端节点总数； A 为网络覆盖范围面积。

另设终端节点的通信半径为 r ，距离小于或等于 r 的节点为邻节点，则邻节点的数目为：

$$n_{neighbour} = \rho \times r^2 \quad (3)$$

则重复区域 i 的通信半径可定义为：

$$r_i = \sqrt{\frac{\rho}{n_{neighbour} - 2 \sum_{j=1}^{i-1} n_j / n_i}} \quad (4)$$

式中： n_j 表示分区 j 中的节点数量。

最后确定参与评价的参数数值：

$$Y_1 = \frac{r_i}{r} \quad (5)$$

2)“拓扑控制率”其值接近于1，无法突出评价对象之间的差距，对于这种情况，本文采用非线性对数效用函数，得到可以量化的效用函数值，其表达式为：

$$Y_2 = \frac{\ln x_i - \ln x_{i1}}{\ln x_{i2} - \ln x_{i1}} \times a + b \quad (6)$$

式中： x_i 为指标实际值； x_{i1} ， x_{i2} 分别为指标的上、下限值； a 、 b 为常数，不失一般性的，这里可取 $a=0.4$ 、 $b=0.6$ 。

3)“网络负载均衡度”在本文的定义中属于逆指标，即标值越大代表网络负载越不均衡，业务安排越不合理。效用函数表达式为：

$$Y_3 = 1 - X \quad (7)$$

式中： X 为网络当前负载度参数数值。

4)“网络平均距离”表示节点之间的最小路径长度，其效用函数表达式为：

$$Y_4 = \frac{2 \times \sum_{i=1}^{NUM} \sum_{j=1}^{NUM} G(i,j)}{NUM(NUM-1)} \quad (8)$$

式中： G 表示网络中节点的平均距离； NUM 表示节点个数。

5)“能量供给”的值同样接近于1，无法突出评价对象之间的差距，同样采用非线性对数效用函数，得到可以量化的效用函数值，其表达式为：

$$Y_5 = a \times \left(\frac{\ln z_i - \ln z_{i1}}{\ln z_{i2} - \ln z_{i1}} \right) + b \quad (9)$$

式中： z_i 为指标实际值； z_{i1} ， z_{i2} 分别为指标的上、下限值； a 、 b 为常数，这里取 $a=0.4$ ， $b=0.6$ 。

6)“速率”在本文的定义中属于适度型指标，指标的最佳取值为 $[0.6, 0.7]$ ，对该指标采用“转向式逆变换”。参数的效用函数表达式为：

$$Y_6 = \begin{cases} 1 - \left| \frac{x}{500} - 0.6 \right| & x < 300 \\ 1 & \text{else} \\ 1 - \left| \frac{x}{500} - 0.7 \right| & x > 350 \end{cases} \quad (10)$$

以上设置表明，当前业务的QoS速率需求在300~350之间，网络预留带宽速率超过350则带来资源浪费，不足300影响业务的传输质量。

得到上述参数值后，下一步需要获得各个参数的权重。参数权重可根据用户需求进行分配，基本的原则定义为：

- 1)每个指标的权重应该小于或等于1。
- 2)所有制标的权重相加应为1。

常用的效用函数合成模型有：算术平均法、几何平均法、平方平均法、调和平均法等等。本文选用算术平均法作为评估合成方法：

$$F = \sum_{j=1}^6 Y_j \omega_j \quad (11)$$

式中： W 表示参数的权重值； F 值越高，说明该网络的接入情况越良好，QoS保障等级或能力越高。

2 电力物联网场景下异构网络接入 QoS 映射算法

网络接入QoS映射算法流程为：(1)QoS管理系统检测到用户QoS质量明显下降，或者用户主动申请切换网络；(2)进行当前异构网络接入情况检测；(3)与用户需求比较，若不能满足要求则需切换网络，如果满足用户的QoS需求则继续使用该网络；(4)QoS管理系统收集量化信息；(5)将量化信息代入上一章节QoS统一保障方法的公式(11)中计算；(6)将用户切入得分最高的网络。具体的动态映射流程图如图2所示。

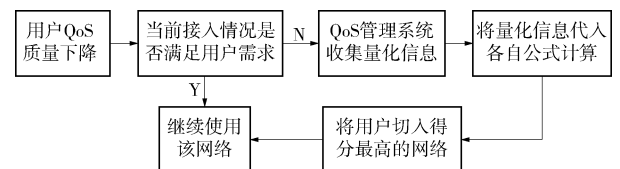


图2 异构网络接入QoS动态映射流程图

Fig. 2 The flow chart of dynamic mapping for network access with QoS guarantee

3 算例分析

为了验证本文所提出方法的有效性, 构建了一个模拟的试验网络环境。实验环境为电力物联网的异构网络, 考虑四种不同的网络制式, 包括 PLC、4G LTE 专网、WiMax 和 RF Mesh 四者之间均有重复覆盖部分, 且假设用户终端具备多模接口。试验参数如表 1 所示:

表 1 模拟网络环境试验参数
Tab. 1 Simulation parameters

网络制式	通信半径	拓扑控制率	网络负载均衡度	网络平均距离	能量供给	速率
RF Mesh	0.95	0.94	0.89	0.97	1.00	1.00
4G LTE	0.95	1.00	0.98	0.99	1.00	0.40
PLC 载波	0.98	1.00	0.99	0.71	1.00	0.70
WiMax	0.61	0.97	1.00	0.89	0.98	0.41

根据用户的偏好, 设置参数的权重向量。某用户希望选择速度较快的网络, 且不考虑能量供给, 因此将速率参数权重设的较高, 设此权重向量为 $W = [0.15, 0.1, 0.2, 0.05, 0, 0.5]$, 即“通信半径”, “拓扑控制率”, “网络负载均衡度”, “网络平均距离”, “能量供给”和“速率”的权重分别为 0.15、0.1、0.2、0.05、0 和 0.5。此时, 用户根据自己业务的需求, 没有考虑能量供给的因素。

根据公式(11)算数加权求和得到四个网络的 QoS 质量值, 分别为 0.963、0.688、0.83 和 0.638。如图 3 所示, 从图 3 中可以看出当前 RF Mesh 网络的状况明显优于其他接入网络。

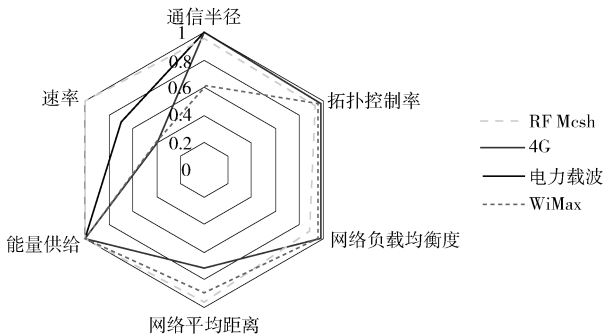


图 3 不同网络的接入情况

Fig. 3 Network access and selection results

因此, 在该案例下, 该用户应该选择 RF Mesh 作为接入网络, 这样用户能获得比当前接入网络更好的 QoS 等级。上述计算流程简明快捷, 复杂度

低, 适合电力物联网场景下海量终端的 QoS 保障与网络接入管理。

4 结论

本文针对电力物联网异构网络接入场景及其 QoS 保障相关问题开展研究。首先例举了两个典型的网络 QoS 保障方法, 分析了它们的优缺点, 从而提出针对电力物联网异构网络接入场景的统一化 QoS 保障方法。然后提出了 QoS 保障方法的评价模型, 详细介绍了评价指标的参数设计。接着, 设计了网络接入 QoS 映射算法, 并综合考虑了用户在网络接入时的个性化需求, 给出了一种综合形式的计算方法。最后, 对所提出的方案进行了仿真验证, 通过对仿真结果的分析, 能够准确的判断当前可用接入网对用户 QoS 保障的优劣, 决策流程简明快捷, 验证了电力物联网异构网络接入 QoS 保障评价方法的优越性。

参考文献:

- [1] 吴文焰. 方兴未艾的电力物联网 [J]. 电力信息化, 2012, 10(10): 119-123.
- [2] HAN D, ZHANG J, ZHANG Y, et al. Convergence of sensor networks/internet of things and power grid information network at aggregation layer [C]. Power System Technology (POWERCON), International Conference on. IEEE, 2010: 1-6.
- [3] 钱志鸿, 王义君. 面向物联网的无线传感器网络综述 [J]. 电子与信息学报, 2013, 35(1): 215-227.
- [4] 孙卓. 异构无线网络中的接入选择机制研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2007.
- [5] 陈高翔. 基于终端的异构无线网络接入选择算法研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [6] 盛洁, 唐良瑞, 郝建红. 异构无线网络中基于业务转移和接入控制的混合负载均衡 [J]. 电子学报, 2013, 41(2): 321-328.
- [7] 苗杰. 异构无线融合网络中无线资源管理关键技术研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
- [8] 冯亚男. 异构无线网络接入选择策略与算法的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [9] 龚钢军, 孙毅, 蔡明明, 等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 52-58.
- [10] 张强, 孙雨耕, 杨挺, 等. 无线传感器网络在智能电网中的应用 [J]. 中国电力, 2010(6): 31-36.
- [11] 龚钢军, 孙毅, 蔡明明, 等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 52-58.