

电力通信网络业务质量特征的数据流智能调度

田毅¹, 段志国¹, 闫震¹, 于振江¹, 王玉¹, 查凡²

(1. 国网河北省电力有限公司 邢台供电分公司, 河北 邢台 054000;

2. 南京南瑞信息通信科技有限公司, 南京 210000)

摘要: 在通信网络发生拥塞的情况下, 为保证电力通信网络中业务稳定运行, 针对目前电力通信网络 QoS 配置不完善等问题, 设计并实现了一种基于电力通信网络业务质量特征的数据流调度策略; 首先对电力通信业务进行优先级划分, 并进行流分类; 根据分好类别的电力通信业务流配置相应的流行为, 并进行流类到流行为的绑定, 形成基于电力通信业务的流策略; 实现在拥塞发生时, 电力通信网络安全稳定运行; 最后利用模拟网络进行实验, 实验结果表明, 配置 QoS 的网络其电力业务的丢包率和时延均控制在合适的范围, 验证了基于电力业务的通信网络 QoS 配置策略的有效性, 保证拥塞情况下电力通信业务稳定运行。

关键词: 电力通信网络; QoS; 拥塞管理; 拥塞避免; 流策略

Intelligent Data Flow Scheduling for Service Quality Characteristics of Power Communication Networks

Tian Yi¹, Duan Zhiguo¹, Yan Zhen¹, Yu Zhenjiang¹, Wang Yu¹, Zha Fan²

(1. State Grid Xingtai Electric Power Supply Company, Xingtai 054000, China;

2. Nanjing Nari Information Communication Technology Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: In the case of congestion in communication network, in order to ensure the stable operation of services in power communication network, this paper designs and implements a data flow scheduling strategy based on the service quality characteristics of power communication network in view of the imperfect configuration of the current power communication network QoS. Firstly, the priority of power communication service is divided and the flow is classified. According to the classification of power communication traffic, the corresponding popular behavior is allocated, and the flow is categorized into popular behavior to form a flow strategy based on power communication service. Realize the safe and stable operation of power communication network when congestion occurs. Finally, the simulation network is used to carry out experiments. Experimental results show that the packet loss rate and delay of power services in the network with QoS are controlled in a suitable range, which verifies the effectiveness of the power service-based communication network QoS allocation strategy.

Keywords: power communication network; QoS; congestion management; congestion avoidance; flow strategy

0 引言

随着电力系统的发展, 电力系统承载的业务类型更加多样化。因此需要将有限的网络资源合理地分配给不同的通信业务^[1-2], 因此, 电力通信网络 QoS 问题应运而生。目前针对电力通信业务拥塞问题主要从两个方面进行分析:

1) 算法研究现状: 现有技术采用了拥塞规避机制, 筛选没有拥塞的路径, 进行拥塞规避, 分别采用了拥塞应答蚂蚁方法, 以及信息素引导的惩罚奖励模式, 以及以业务优先级为基础的拥塞规避算法。这些研究都集中在算法的角度, 对整个通信网络资源进行拥塞规避。但是就实际工程应用而言, 由于路由的局部视角性, 并不能完全掌握整个通信网络的状况, 同时过多的智能算法的使用在一些情

况下, 不能在实际工程应用中显著地带来网络拥塞的缓解^[3-4]。

2) 从实际工程应用中进行相关研究来看; 问题主要集中在 QoS 配置, 目前很少有文章结合电力业务特点进行 QoS 配置, 尤其是在进行流行为到流策略的配置, 这需要考虑到电力通信网络结构层次的多样性和广泛性^[5-6]。

因此, 提出了基于电力通信网络的 QoS 配置方案, 通过划分电力通信业务模型获得电力通信业务优先级, 并据此得到基于电力通信业务的流分类及流行为配置方法, 得到基于到电力通信业务的数据流调度策略。使得在电力通信网络产生拥塞的情况下, 通过配置 QoS 可以有效地保证电力通信业务的正常运行, 可靠地保障了电力系统安全运行。存在多种电力网络质量的数据信息, 比如网络结构的数据源多元化结构、数据异构、同步运行数据等, 智能电网网络中的复杂拓扑结构以及运行过程中的负荷剧增、猛增等都会对智能电网的正常运行产生极大的影响^[7-8]。电力网络本身也容易受到大量网络非线性负荷的影响, 使得分布式电源与恶性负荷耦合并网将加剧电能质量恶化, 严重

收稿日期: 2019-10-22; 修回日期: 2019-11-06。

基金项目: 河北省省级科技项目(52061334200N)。

作者简介: 田毅(1980-), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事电力网络质量监测方向的研究。

影响电力网络的供电质量和可靠性, 容易造成设备损坏、经济效益损失等后果^[9-10]。

针对上述状况, 设计出的电力网络质量检测方法能够实时监控电力系统中, 获取影响电力网络质量的因素的数据, 根据从电力网络中输出的宏观数据, 分析影响电力网络中的各种数据信息, 继而分析出影响电力网络质量因素, 一边做出预防, 下面将详细描述。

1 电力通信业务网络质量需求模型分析

目前的电力通信业务包括语音业务, 视频业务以及各种电力数据的数据流交互业务。虽然电力通信业务种类繁多, 但是不同业务对于电力通信网络的通信质量需求关键标准并不多, 主要集中于带宽, 延迟, 抖动, 数据丢包率^[11-12]。因此, 可以根据不同的通信业务种类分析, 将具备同一网络质量需求的业务流合并为一类。根据电力通信业务的统计分析, 将电力通信业务根据时延分为实时性, 准实时性, 非实时性, 以及其他类别。根据带宽需求, 将电力通信业务分为宽带和窄带业务。根据可靠性需求, 分为高可靠和低可靠类业务。并且能够根据时延划分出不同电力通信业务的优先级, 整个电力通信业务的优先级划分如表 1 所示。

表 1 电力通信业务的优先级划分

业务优先级	业务	时延带宽要求
6: 宽带实时性业务	调度自动化系统主站互联业务、电能质量监测系统	<50ms, >2Mbit/s
5: 窄带实时性业务	调度电话业务、安稳管理信息系统业务、继电保护业务等	<50ms, <2Mbit/s
4: 宽带准实时性业务	调度数据业务等	50ms~1s, >2Mbit/s
3: 窄带准实时性业务	电能量计量业务等	50ms~1s, <2Mbit/s
2: 宽带非实时性业务	用电信息采集业务等	1~2s, >2Mbit/s
1: 窄带非实时性业务	信息管理业务和调度管理信息业务等	1~2s, <2Mbit/s

在进行流分析时, 首先将整个电力通信业务流分为 3 大类: 分别是语音流、业务数据流、视频流。考虑到电力通信网络大部分传输的是业务数据流, 因此需要根据业务数据流进行更加具体的分析。考虑到具体的 QoS 配置, 将电力通信网络的质量需求指标集中于带宽和时延两种。因此依据此种方案, 将整个电力通信业务依次分为宽带实时性业务, 窄带实时性业务, 宽带准实时性业务, 窄带准实时性业务, 以及宽带非实时业务和窄带非实时业务, 最终得到整个电力通信业务分类^[13-14]。通过表 1, 用户能够以典型的 6 种电力通信业务作为实例具体进行优先级划分, 根据时延以及业务重要性为依据, 完成电力通信业务的优先级划分, 在进一步的划分中, 如图 1 所示, 其中序号越大对应业务越重要。

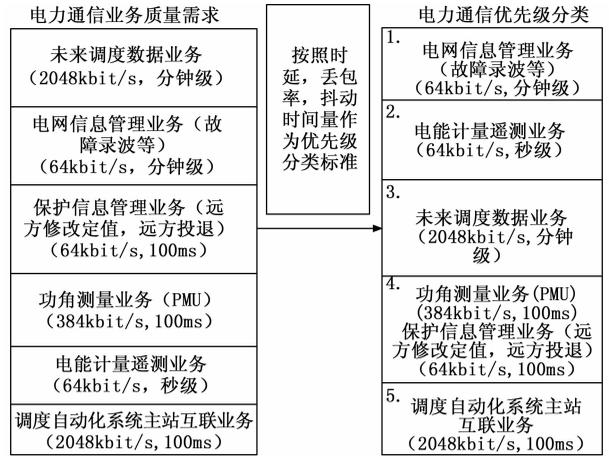


图 1 电力通信业务网络质量需求模型

划分时, 用户要按照时延, 丢包率, 抖动时间量作为优先级分类标准, 使得用户能够根据电力通信业务质量需求情况根据电力通信优先级进行分类, 图 2 是构建出的电力通信业务网络质量需求模型, 按照该模型, 通过优先级分类, 实现数据流的智能调度, 基于上述说明, 下面介绍数据流调度的方法。

2 基于电力通信业务质量特征的数据流调度策略

基于电力通信业务的数据流的智能调度策略整个流程如图 2 所示。

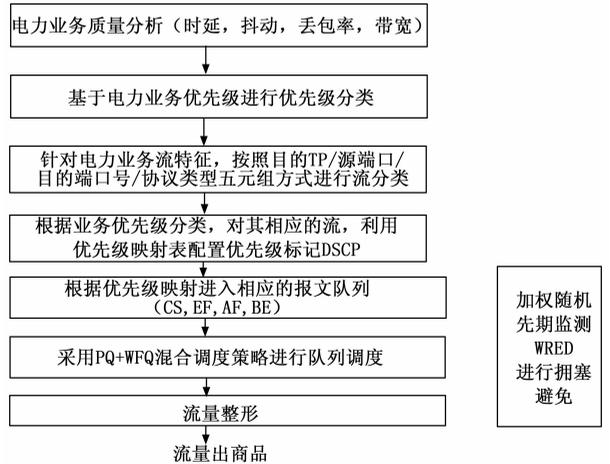


图 2 智能调度策略流程示意图

首先进行电力通信业务质量分析, 然后依据电力通信业务对时延带宽需求进行优先级分类。针对不同的电力通信业务优先级, 确定满足其业务需求的服务等级。再针对不同的电力通信业务进行基于五元组的流分类, 至此可以对每条电力通信业务数据流进行业务识别。根据得到的电力通信业务优先级, 利用服务等级映射表通过写入 DSCP 值, 具体的保证每一个电力通信业务流都可以获得满足其电力通信业务需求的服务等级^[15-16]。最后再采用 PQ+WFQ 的混合调度策略, 以及 WRED 的拥塞避免方法, 保证电力通信业务的稳定运行。由于不同的设备厂家其设备类型各

不相同,采用的命令语言差异较大,因此,利用以上基于电力通信业务的流策略生成方式,针对不同厂家的设备,生成符合电力通信业务质量的流策略命令,满足当下不同电力业务的网络质量需求,下面对其关键技术进行研究。

2.1 流分类

电力通信业务的流分类的分类方式有很多。其中有基于虚拟局域网的外层 VLAN ID 的业务流的划分方式,基于 VLAN 报文的 802.1p 优先级分类等等。

在具体选择流分类方法时,考虑到后续需要使用 WFQ 队列调度机制,因此利用五元组来分类某种电力业务,其中以源/目 IP、源/目端口号、协议类型,共同标志一个业务流^[17-18]。

具体的流分类方案为:根据五元组将不同电力通信业务按照宽带实时性方式进行统一分类,分成 5 种电力通信业务流分类,分别是高带宽实时类业务、窄带实时类业务、高带宽准实时类业务、窄带准实时类业务、以及非实时类业务。再根据五元组中的(源/目 IP、源/目端口号、协议类型),将符合其 5 大类别的电力通信业务划归到同一个流分类下。从而保证将所有的电力通信业务数据流按照(源/目的 IP、源/目的端口号/协议类型)分门别类的匹配相应的流分类中。例如对于智能变电站的数据流进行流分类,按照五元组的格式可以通过(11.69.192.1 11.69.192.3 310 320 0X88f7)标定特定的智能变电站某种业务的数据流。至此完成了利用五元组方法对电力通信业务流的识别工作^[19-20]。

2.2 流行为

根据配置好的电力通信业务流分类,可以进行符合电力业务特征的流行为配置。在进行流行为配置的过程中,只是对电力通信网络边界的接入层边缘节点进行流行为的配置,而在汇聚网和核心网中不再进行流行为的配置,因此可以利用网络中默认服务等级对应的 DSCP 值来保证相应的流在骨干网和核心网提供基于流特征的相一致的服务等级。

考虑到电力通信业务特点,其网络质量需求集中在带宽,时延,丢包率等指标上。因此筛选出以下 4 种流行为配置以满足电力通信网络需求,包括:1) 优先级映射配置;2) 流量整形;3) 拥塞避免;4) 拥塞管理。

2.2.1 基于电力通信业务优先级的优先级映射流行为配置

优先级映射主要完成从电力通信业务优先级到基于每跳行为 PHB (PHB—Per Hop behavior) 映射。根据划分的电力通信业务几种优先级业务,来提供不同质量需求的 QoS 策略。在区分服务 (DiffServe) 中,为了给同一类型电力通信业务的业务流提供符合其业务质量特征的服务,需要利用优先级映射的流行为配置方案。因此根据电力通信业务网络质量需求,分析得到不同电力通信业务流的 PHB 类别,如图 3 所示。

其中,电网通信中的信令交互业务,属于最高优先级的业务,因此需要安排到优先级等级最高的 CS 队列中,而



图 3 优先级映射配置示意图

电网语音业务,考虑到语音业务的特殊性,为保证稳定的语音质量,因此将电网语音业务放到 EF 队列中,接下来进行 AF 队列的分配。按照上述电力通信业务优先级的划分,首先安排的是宽带实时性业务,其包括调度自动化系统主站互联业务等,由于该类业务对时延要求苛刻,因此安排到 AF4 队列中,保证其队列调度优先性。对于窄带实时类业务,比如功角测量业务,保护信息管理业务(远方投运)等,将其分配至 AF3 队列中。对于宽带准实时类业务,例如未来调度数据业务,其对时延的要求相对较低,时延范围在毫秒级到秒级,因此将其安排到 AF2 队列中,其调度时间相对靠后。对于窄带准实时类业务,例如电能计量遥测业务等,其对时延的要求为秒级,因此将其划分到 AF1 队列。最后对于一些如电网信息管理业务以及其他一些未知的业务,安排到 BE 队列中。在完成电力通信业务到服务等级的一一对应之后,需要通过写入 DSCP 值来具体的完成从电力通信业务优先级到服务等级的一一对应。为了得到具体的优先级映射方案,以获得相应的 DSCP 值,需要利用映射关系表。例如,对于功角测量业务其对应的队列为 AF3,对功角测量业务的报文 DSCP 值写入 26、28 或者 30,即可保证功角测量业务数据流在后续处理中可以顺利的进入到 AF3 队列中。

2.2.2 基于电力通信业务的流量整形

考虑到不同的电力通信业务的带宽值不同,因此为了减少电力通信业务的带宽抖动,保证各种电力通信业务的带宽需求,需要配置基于端口的流量整形和基于电力通信业务的队列整形。在进行基于端口的流量整形配置过程中,考虑具体路由器接口的速率上限值,一般将此数值设置为端口的速率上限值。在进行 QoS 的流量整形设置时采用华为 NQA 的自适应模板进行流量的整形,并进行流量速率的调整,如图 4 所示。

2.2.3 拥塞管理

考虑到电力通信业务种类繁多,其业务流大致分为语音流业务、视频流业务、交互数据流业务。其中语音流为各种电网语音业务,在电力通信业务中视频类业务大部分

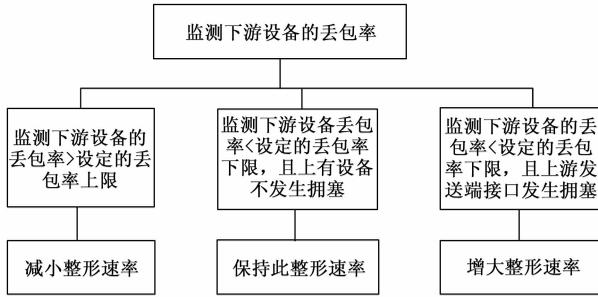


图 4 流量整形示意图

集中在各种视频监控业务, 例如智能变电站视频监控业务。交互数据流业务则集中了大多数的电力通信业务。因此在进行队列调度过程中, 采用 PQ 与 WFQ 混合调度策略。首先对 AF1~AF4 及 BE 队列进行 WFQ 队列调度, 通过分配权重值, 给予不同队列不同的带宽值, WFQ 算法表达如下: 在考虑系统的工作时期,

其虚拟时间的定义如下所示:

$$V(0) = 0 \quad (1)$$

$$V(t_{j-1} + \tau) = V(t_{j-1}) + \tau / \sum_{i \in B_j} \varphi_i \quad (2)$$

$$\tau \leq t_j - t_{j-1}, j = 2, 3, \dots \quad (3)$$

同时定义两个虚拟时间函数:

以 a_i^k 表示第 i 个数据流第 k 个数据包到达的时间。 L_i^k 表示第 i 个数据流第 k 个数据包的包长。

S_i^k 为第 i 个数据流第 k 个数据包开始的时间, 其虚拟时间函数为:

$$S_i^k = \text{Max}\{F_i^{k-1}, V(a_i^k)\} \quad (4)$$

F_i^k 为第 i 个数据流第 k 个数据包结束的时间, 其虚拟时间函数为:

$$F_i^k = S_i^k + L_i^k / \gamma_i \quad (5)$$

最终一个数据包的转发顺序是由虚拟服务时间计算结果来决定。时间越短的数据包则优先发送。同时考虑到 WFQ 可以根据不同的电力通信业务量进行带宽分配, 因此考虑根据不同的电力通信业务带宽需求, 分别进行带宽满足。根据一段时间的电力通信网流量统计, 可以看到大部分的数据业务流量比较稳定, 因此只需要根据下式 (最大带宽分配算法) 进行网络流量带宽估算, 得到相应的 WFQ 的比值。由于电力通信网络业务繁多, 因此在后续实验中, 只考虑到几种典型的电力通信业务。

对于调度自动化系统主站互联业务、保护信息管理业务的远方修改定值、攻角测量业务采用 WFQ 的调度方式。在 WFQ 调度基础上再进行 PQ 调度, 使得电力通信业务中的 EF 以及可能的 CS 队列中的电力业务能够得到最优先的保证。这样可以很好地满足各类型电力通信业务的时延和带宽需求, 实现基于电力通信业务的差分服务。

2.2.4 拥塞避免

当电力通信业务数据流发生拥塞时, 或者拥塞加剧时, 此时可以利用拥塞避免的方法。设置丢弃机制时, 采用

WRED (weight RED) 加权随机早期监测, 通过设置队列的最小和最大阈值来控制整个丢弃。考虑到电力通信业务优先级差异较大, 因此需要针对不同的电力通信业务, 基于其优先级特点, 具体的设置不同电力通信业务的丢弃区间和丢弃概率。利用 WRED 算法进行概率丢弃。考虑到 WRED 算法有 8 种丢弃优先级, 因此其丢弃概率按照队列优先级分别设置相应的丢弃概率:

$$Q_{\min} = Q_{\min} + (Q_{\max} - Q_{\min}) \times IP - Pre / 7 \quad (6)$$

$$P_Q = 0 (Q_{\text{avg}} < Q_{\min}) \quad (7)$$

$$P_Q = P_{\max} \times (Q_{\text{avg}} - Q_{\min}) / (Q_{\max} - Q_{\min}) (Q_{\min} < Q_{\text{avg}} < Q_{\max}) \quad (8)$$

$$P_Q = 1 (Q_{\text{avg}} > Q_{\max}) \quad (9)$$

因此考虑到电力通信业务差异性, 对于不同的电力通信业务根据式设置不同的丢弃队列长度, 再根据实际的队列长度, 进行相应的概率丢弃, 其结构如图 5 所示。

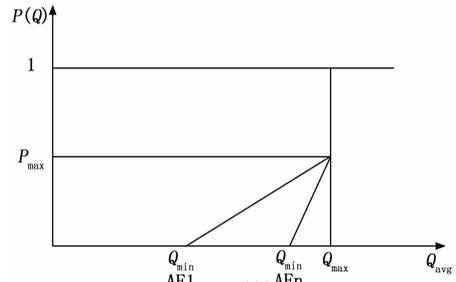


图 5 概率丢弃结构示意图

根据以上算法具体设置基于电力通信业务的丢弃概率, 即具体的设置不同队列的 Q_{\min} 分别如图 6 所示。

1 电网信息管理业务 (故障录波等)	1 BE
2 电能计量遥测业务	2 AF1
3 未来调度数据业务	3 AF2
4 保护信息管理业务 (远方修改定值, 远方投退)	4 AF3
5 调度自动化系统主站互联业务	5 AF4
6 电网语音类业务	6 EF

图 6 概率丢弃结构示意图

3 仿真试验与分析

为了验证基于电力通信业务质量特征进行数据流的智能调度策略方案, 使用华为 eSNP 模拟器作为实验平台, 搭建一个 MPLS 的典型电力通信网络, 通过利用相应的模拟报文模拟相关的电力通信业务的数据流特征, 验证其 QoS 配置所带来的效果, 通过对比配置数据流调度策略与没有配置数据流调度策略, 通过时延率, 丢包率等指标, 分析本配置方案所带来的效果。该研究搭建了一个 MPLS 网络, 如图 7 所示。其由两个 PC, 两个边界路由器, 以及骨干网络构成。其中 PC1 到 GE1 带宽设置为 100 M, GE1 到 PE1 设置为 50 M, 骨干网络中均采用采用 50M, PE2 到 GE2 带宽采用 50 M, PC2 到 GE2 设置为 100 M。

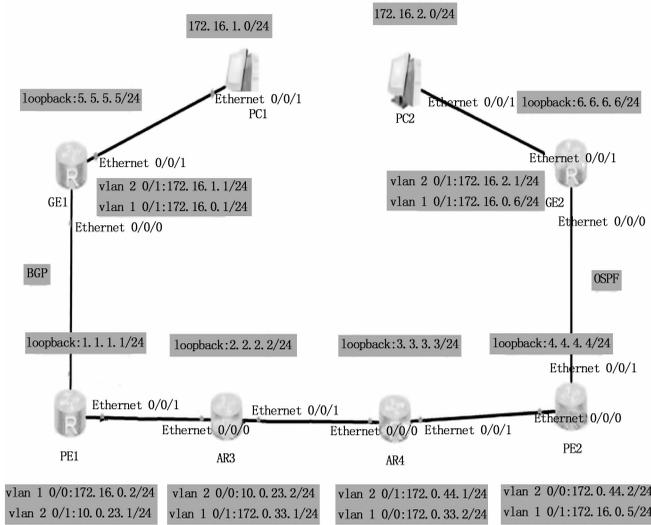


图 7 MPLS 网络结构示意图

该研究以通常的数据模拟电力通信业务，通过将不同的数据进行流分类，划入到不同的队列。其中模拟的数据流包括语音流，数据流，其中具体的仿真配置参数如表 2 所示。

表 2 仿真配置

模拟业务种类	业务特征描述	服务等级	DSCP 值	最大带宽限制	PQ+WFQ 拥塞管理	拥塞避免
电网语音流	窄带实时类业务	EF	46	2M	PQ	WRED 拥塞避免策略
调度自动化系统主站互联业务	宽带实时类业务	AF4	33	8M	WFQ	
调度自动化系统远动业务	窄带实时类业务	AF3	26	4M	WFQ	
智能变电站视频监控业务	宽带准实时类业务	AF2	18	10M	WFQ	
电能计量遥测业务	窄带准实时类业务	AF1	9	3M	WFQ	
电网管理信息业务	窄带非实时类业务	BE	6	3M	WFQ	

考虑上行业务下的 QoS 效果，即 PC1 发送 PC2 接收的过程。通过将其分别配置在 GE1 和 GE2 端口处，现在以 GE1 为例说明配置方案，在 GE1 的入口处配置优先级映射，使得不同的流在进行分类后可以进入到不同的队列中，在出口处配置拥塞管理和拥塞避免策略。其中拥塞管理采用 PQ+WFQ 的管理方式，对电网语音流业务，配置为 PQ 调度，对调度自动化系统主站互联业务、调度自动化系统远动业务、智能变电站视频监控业务、电能计量遥测业务采用 WFQ 的调度。在出口处配置拥塞避免策略，采用 WRED 丢弃策略进行拥塞避免。其中 G2 端口的设置类同，不再赘述。其中测试涉及到的网元的端口信息，六种业务源端设备均位于 PC1，宿端设备均位于 PC2。利用配置 QoS 与未配置 QoS 作为对比，讨论在发生拥塞状态配置 QoS 所

带来的业务保障性，从丢包率上来看，如图 8 所示。

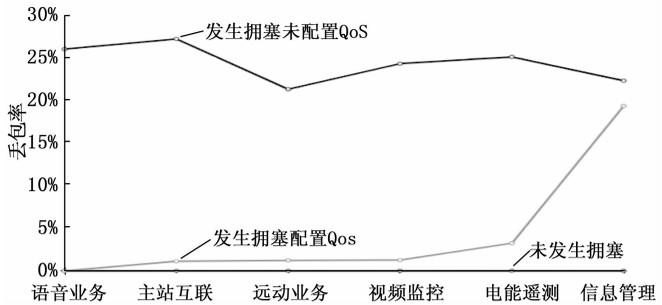


图 8 丢包率示意图

从时延长上看，如图 9 所示。

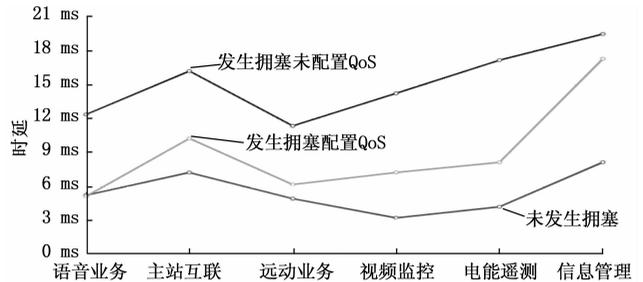


图 9 时延情况示意图

其中图 8、图 9 为未发生拥塞、发生拥塞（未配置 QoS）、发生拥塞（配置 QoS）下的丢包率和时延结果图。由图可以看到，在未发生拥塞的情况下，其丢包率保持 0 的状态，而且时延也符合业务特征，均保持在 10 ms 以内，在 5 ms 上下进行波动。通过向网络中发送 30 M 的未知流量，使得网络产生拥塞。在发生拥塞情况下，观察其时延、丢包率。

在没有配置 QoS 业务的情况下，数据类、语音业务，包括调度自动化系统主站互联业务、调度自动化系统远动业务、智能变电站视频监控业务、电能计量遥测业务均产生丢包率提高，而且幅度较大，其中出现某些业务连接中断情况。可以明显的看到几乎所有的业务，丢包率均达到 20%，而且对于实时性业务，时延也大到已经达到了 15 ms 的，使得无法完成正常的通信业务功能。

在配置 QoS 之后：同样条件下观察时延和丢包率情况。在配置 QoS 的情况下，由于拥塞的产生，所有的电力通信业务均产生了丢包，但是丢包率不是特别高。而且随着业务队列优先级的降低，丢包率产生缓慢提高，而 BE 类业务的丢包率达到最大，因为网络未知流可能进入到 BE 队列，会丢弃多余的包，导致丢包率很大。从时延中可以看到，由于拥塞的产生，绝大多数业务时延增加了，但也只是增加几毫秒，仍旧可以支撑正常的通信业务。

4 结束语

该研究通过在网络接入层的边界处进行 QoS 配置可以很好的处理拥塞发生时业务流量调度，虽然产生了丢包，但
(下转第 157 页)