

配电通信网中基于流量预测的EPON动态带宽分配算法

针对配电网通信业务种类多、性能要求严的特点，提出了一种可用于配电网自动化通信的以太无源光网络（Ethernet Passive Optical Network, EPON）动态带宽分配（Dynamic Bandwidth Allocation, DBA）算法。根据网络流量自相关的特点，对周期网络流量进行预测，动态设定阈值并提前发送，此外按照优先级次序对业务进行分类并进行带宽分配计算。仿真结果表明，该算法能够对不同优先级的业务分配不同的带宽资源，降低上行信道空闲时隙，明显改善网络时延和丢包率等性能指标。

骆书剑 颜璟仪/广东电网公司电力科学研究院（广东省智能电网新技术企业重点实验室）



骆书剑/助理工程师

随着智能配电网建设的推进，通信网络的支撑作用越发凸显^[1]。作为一种接入网技术，EPON能够解决配电网自动化系统建设中面临的终端数量众多、分布分散和环境恶劣等问题，满足配电网自动化系统子站到配电终端之间链路的1+1保护和50 ms保护切换等应用需求^[2]，因此是配电网自动化通信的最佳技术选择。目前，EPON在配电网调度、配电网用电信息集中抄表等一系列应用中得到了广泛应用^[3]。

EPON由光链路终端（Optical Line Terminal, OLT）和若干光网络单元（Optical Network Unit, ONU）组成，OLT与ONU之间通过无源分光器进行光信号的处理^[4]。如何依据EPON体系结构，高效利用带宽资源，保证服务质量（Quality of Service, QoS）要求，是EPON技术研究的重点。

关键词/Keywords

配电网通信·
以太无源光网络·
动态带宽分配·
流量预测·

EPON带宽分配算法经历了从静态带宽分配算法向动态分配算法改进的过程。静态带宽分配算法^[4]实现简单，主要缺点在于真实的突发网络流量下存在着极大的带宽浪费。动态带宽分配算法能够根据网络流量情况，采用带有统计复用的请求-授权方式，目前对EPON带宽分配算法的研究均集中在动态带宽分配上。文献[5]提出了带有自适应周期时间的间插轮询（Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time, IPACT）算法，采用先到先服务的策略进行带宽分配与授权，同时设置最大发送长度来限制ONU授权时隙。IPACT算法的优势在于其简洁性，只需要对比最大发送长度即可完成带宽分配计算。但IPACT算法对于业务分类的支持较差，存在轻载惩罚问题，不能适应通信网络多业务的需求。从适应网络多业务需求角度出发，Su.Choi等人提出了针对多业务的周期性轮询分配（Cyclic Polling-Based Allocation, CPBA）算法^[6,7]。该算法轮询周期固定，降低了网络轻载环境中的资源浪费问题。同时CPBA算法完全支持业务的分类，能够消除轻载惩罚问题，但是存在空闲时隙浪费问题，同时对中等优先级业务的带宽分配保障不足。

在分析以上算法优缺点的基础上，对传统集中授权方式与带宽分配策略进行改进，结合配电通信网业务多的特点，提出了一种支持多业务的动态带宽分配算法。该算法能够根据优先级高低对重要业务进行重点保障，同时从提高

广东省智能电网新技术企业重点实验室资助项目（2060299）。

时隙利用率角度出发提高EPON整体带宽分配效率。仿真结果表明,在网络处于轻负载与中等负载的情况下,本文算法具有明显的性能改善。

基于流量预测的动态带宽分配算法

1. 带宽分配模型

在EPON带宽分配过程中,将所有ONU均获得授权并完成发送获得授权的数据所占用的时隙总长称为一个周期^[4]。一个周期内,OLT根据收到的ONU带宽信息进行带宽分配计算,并根据授权调度方式下发授权帧^[8]。带宽分配流程模型如图1所示,其中最重要的两个阶段为“OLT端进行带宽分配计算”与“OLT下发授权帧”。阶段3中,OLT结合可分配带宽资源,根据收到的ONU请求完成相应的ONU带宽分配计算。阶段4中,OLT按照授权调度方式在指定时间完成不同ONU授权帧的封装下发。

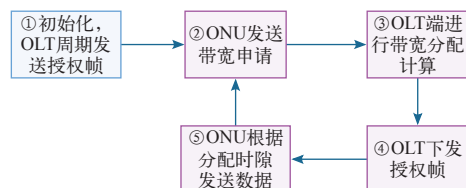


图1 EPON带宽分配模型

间插轮询授权调度和集中授权调度为目前常用的两种下发授权调度方式^[9,10]。间插轮询授权调度方式的周期长度动态变化提高了网络上带宽的利用率,但是对于业务分类的支持度不高,在公平性上存在不足。集中授权方式支持业务分类,OLT在收到所有ONU带宽请求后,统一进行带宽分配计算,并集中下发授权帧^[11]。

CPBA算法采用了集中授权方式,OLT再次收到ONU的数据前,OLT的上行时隙一直处于闲置状态,存在明显的时隙浪费。根据EPON性能参数,取OLT与ONU之间数据传输往返时延RTT为100 μs,OLT端带宽分配计算时间 T_{cal} 为2 μs,则该空闲时隙长度 T_{idle} 为102 μs。

参考配电网中保护动作时延要求,将最大周期限制 T_{max} 设为2 ms,可以计算出空闲时隙的网络

流量约为

$$L = \frac{T_{idle} R_N}{T_{max}} = \frac{102 \times 10^{-3} \times 10^9}{2 \times 10^{-3}} = 51 \text{ Mbit/s} \quad (1)$$

EPON光链路带宽为1 000 Mbit/s,若能将此段空闲时隙充分利用,网络整体流量将至少提高5%。

2. 基于流量预测的带宽集中授权

基于上节的分析,综合两种不同授权调度方式的优点,本文采用轮询周期受限变化的策略,周期时间在最大周期时间 T_{max} 与最小周期时间 T_{min} 之间动态变化。如ONU的带宽总请求小于 $T_{min} R_N$ (R_N 为信道速率),则OLT端进行带宽分配计算时统一将总周期长度扩展为 T_{min} ;如ONU的带宽总请求大于 $T_{max} R_N$,则将总周期长度限制在 T_{max} 。

为了提高带宽利用率,降低空闲时隙的闲置,OLT在接收到所有ONU的请求并进行带宽授权计算之前,可将符合某些特定要求的ONU带宽请求提前进行授权,其余没有提前授权的ONU的带宽请求则在周期最后统一进行带宽授权计算与集中授权操作。基于以上分析,提出一种提前授权的阈值计算方法,对空闲时隙可发送数据量进行预测,动态确定提前发送的ONU,其实现步骤如下。

1) 每个周期内,OLT端在本地存有关于ONU的数据发送历史记录,并根据网络流量的长相关性,利用历史记录对下一个周期的授权带宽进行预测。在第 $n-1$ 个周期收到所有ONU的报告帧后,根据带宽请求确定第 n 个周期可分配的带宽大小 B_n ,该值将在 $T_{min} R_N$ 与 $T_{max} R_N$ 之间。同时根据 $n-1$ 个周期的总授权带宽 B_{n-1} ,利用式(2),预测第 $n+1$ 个周期的总授权带宽为

$$B'_{n+1} = \alpha B_n + \beta B_{n-1} \quad \alpha + \beta = 1 \quad (2)$$

2) 根据空闲时隙长度与总周期长度的比例关系,得出在第 n 个周期内能够获得提前发送的ONU的数据量阈值为

$$Th_n = B'_{n+1} \frac{T_{idle} R_N}{B_n} \quad (3)$$

3) 第 n 个周期内,当OLT收到的ONU带宽请求小于 Th_n 时,根据当前空闲时隙可分配带宽立即对ONU进行带宽授权,并减小空闲时隙可分配带

宽的大小。重复该步骤直至空闲时隙可分配带宽为零, 则结束第 n 个周期的提前发送, 剩余所有ONU在周期结束进行统一带宽计算与授权。

3. 多业务带宽分配策略

根据网络业务时延特性, 将业务分为3类, 在下文分别用加速转发 (Expedited Forwarding, EF) 业务、保证转发 (Assured Forwarding, AF) 业务与尽力而为 (Best Effort, BE) 业务来进行表示。

根据下一个周期的可用带宽 B_{total} , 可计算出分给每个ONU的最小可保证带宽为

$$B_i^{\min} = B_{\text{total}} \mu_i \quad (4)$$

式中, μ_i 是基于用户的服务等级协议分配给一个ONU的权重, 该值根据每个ONU的需求预先进行设定, 保障某些关键ONU获得较大的最小保证带宽。

EF业务为实时性业务, 具有最高优先级, 时延要求最高, 将分配固定带宽, 即

$$G_{i, \text{EF}} = C_{i, \text{EF}} \quad (5)$$

式中, $G_{i, \text{EF}}$ 为分配给第 i 个ONU的EF业务的带宽; $C_{i, \text{EF}}$ 为预设的第 i 个ONU的EF业务的固定带宽值。

可得分配给所有AF业务和BE业务的剩余带宽总和为

$$B_{\text{left}, 1} = B_{\text{total}} - \sum G_{i, \text{EF}} \quad (6)$$

在对所有AF业务进行分配时, 如果AF业务请求小于可分配带宽综合, 即 $\sum R_{i, \text{AF}} < B_{\text{left}, 1}$, 则分配AF业务的带宽为

$$G_{i, \text{AF}} = R_{i, \text{AF}} \quad (7)$$

并按照式 (8)、式 (9) 和式 (10) 进一步对BE业务进行分配。

$$B_{\text{left}, 3} = B_{\text{left}, 1} - \sum G_{i, \text{AF}} \quad (8)$$

$$G_{i, \text{BE}} = \begin{cases} \frac{R_{i, \text{BE}}}{\sum R_{i, \text{BE}}} (B_{\text{total}} - \sum G_{i, \text{EF}} - \sum G_{i, \text{AF}}) & \sum R_{i, \text{BE}} \geq B_{\text{left}, 3} \\ R_{i, \text{BE}} & \sum R_{i, \text{BE}} < B_{\text{left}, 3} \end{cases} \quad (9)$$

$$G_{i, \text{AF}} = \begin{cases} R_{i, \text{AF}} & \sum R_{i, \text{BE}} \geq B_{\text{left}, 3} \\ R_{i, \text{AF}} + (B_{\text{left}, 3} - \sum R_{i, \text{BE}}) & \sum R_{i, \text{BE}} < B_{\text{left}, 3} \end{cases} \quad (10)$$

若所有ONU的AF请求带宽超出剩余可分配带

宽, 即 $\sum R_{i, \text{AF}} > B_{\text{left}, 1}$, 则按照公平性的原则进行带宽分配计算。

1) 部分ONU的AF业务带宽请求为重载, 部分ONU的AF业务带宽请求为轻载。

首先对轻载AF业务进行带宽分配, 如果 $R_{i, \text{AF}} < B_i^{\min} - G_{i, \text{EF}}$, 则这部分ONU的AF业务授权带宽为 $G_{i, \text{AF}} = R_{i, \text{AF}}$ 。

在分配完轻载AF业务后, 剩余可分配带宽对其余重载AF业务进行带宽分配。如果 $R_{i, \text{AF}} > B_i^{\min} - G_{i, \text{EF}}$, 则由式 (11)、式 (12) 可得该部分ONU的AF业务授权带宽为

$$B_{\text{left}, 2} = B_{\text{left}, 1} - \sum_j G_{j, \text{AF}} \quad \text{if } R_{i, \text{AF}} < B_j^{\min} - G_{j, \text{EF}} \quad (11)$$

$$G_{i, \text{AF}} = B_{\text{left}, 2} \frac{R_{i, \text{AF}}}{\sum R_{i, \text{AF}}} \quad (12)$$

2) 所有ONU的AF业务带宽请求全部为重载, 即 $R_{i, \text{AF}} > B_i^{\min} - G_{i, \text{EF}}$, 根据式 (13) 计算出分配给所有ONU的AF业务的授权带宽值, 即

$$G_{i, \text{AF}} = B_{\text{left}, 1} \frac{R_{i, \text{AF}}}{\sum R_{i, \text{AF}}} \quad (13)$$

根据以上AF业务的两种不同情况分配完带宽后, 无带宽剩余, 即

$$G_{i, \text{BE}} = 0 \quad (14)$$

仿真结果及性能分析

为便于说明, 将新算法命名为基于流量预测的动态带宽分配 (Traffic Prediction-Based Dynamic Bandwidth Allocation, TP-DBA) 算法, 并利用网络仿真软件OPNET仿真来验证该算法的可行性。仿真采用了EPON系统模型通用的设置, 由1个OLT和16个ONU组成, ONU与OLT的距离设为20 km, 光链路速率为1 Gbit/s, 其中不同ONU之间发送数据的保护间隔时间为1 μs , 负载取0.1~1.0。模型包含3种信号源, 分别模拟EF、AF和BE业务的发生源, 为简化模型, 信号源放置于ONU中。3个不同信息源中, EF业务模拟分组电路连接, 为固定的4.48 Mbit/s速率, AF业务模拟通用网络流量, 具有自相似特性, 其业务的帧长为64~1 518 B, BE业务代表网络流量, 模拟非实

时的数据业务传输^[12]。综合考虑网络各业务延时要求,将最大周期时长 $T_{\max}$ 设为2 ms,最小周期时长 $T_{\min}$ 设置为1.5 ms。算法仿真从冷起动开始,至OLT收到 5×10^6 个数据包结束。考虑到多业务的需求,由于IPACT算法在业务分类上存在局限性,而CPBA算法在多业务的支持与网络综合性能上具有更好的表现,因此对比算法采用CPBA算法与新算法进行对比。

图2~图4为CPBA算法和所提出的TP-DBA算法下3种优先级业务的延时性能比较图。3个不同图形下,从不同业务的平均包延时的数量级上可以看出,两种算法均能很好地对不同优先级业务进行区分,EF业务的包延时一直保持在1 ms左右,AF业务的包延时同样保持在1 ms, BE业务在低负载下的包延时为1 ms,重负载下则升至1 s。在网络轻负载和中等负载条件下,可以看到TP-DBA算法在延时性能方面有较为明显的提升。在低负载条件下,新的算法周期扩展为1.5 ms,相比CPBA算法将周期固定为2 ms,显著减少了空闲时隙的浪费,同时在满足了各个ONU的带宽请求之后,将剩余带宽继续分配给予中等优先级AF业务,有效提高AF业务带宽性能。在中等负载条件下,提前发送机制对提高业务性能发挥重要作用,在每个周期中,将小于预测阈值的请求信息给予提前授权,进一步减少上行信道空闲时隙,并且提高了带宽利用率。在高负载情况下,整体网络处于拥挤状态,本文提出的两个改进点均无法发挥作用,所以图中两种算法的性能基本相同,与理论分析一致。

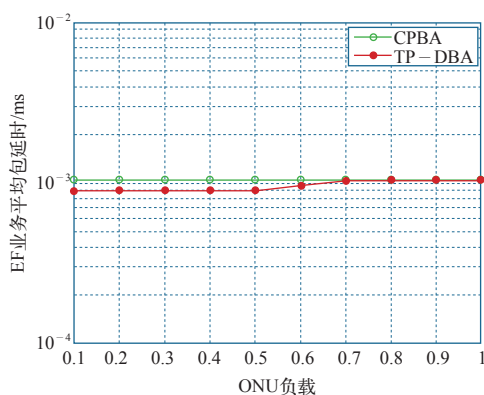


图2 EF业务平均延时性能

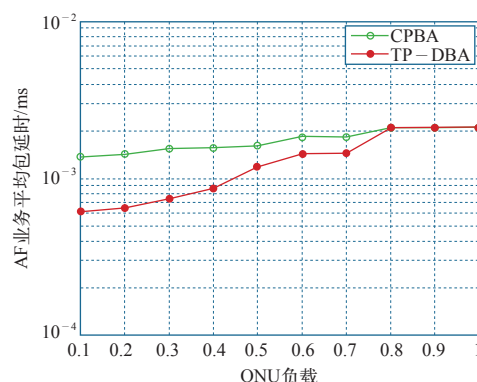


图3 AF业务平均延时性能

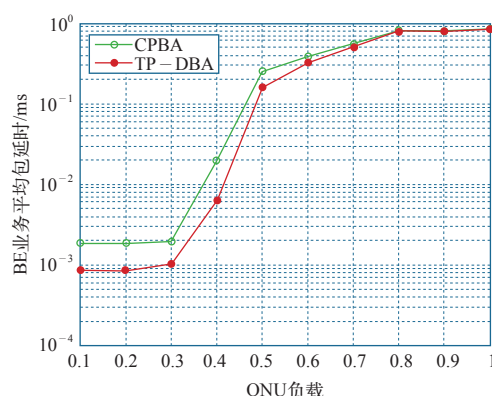


图4 BE业务平均延时性能

图5为网络丢包率曲线。当ONU负载低于0.4时,网络基本不存在丢包;当负载增大到0.5后,网络丢包性能开始恶化。仿真图像显示,在中等负载下(ONU负载位于0.5~0.7),TP-DBA算法的丢包率均优于CPBA算法,提前发送机制的使用,能够在闲置时隙里额外发送数据,整体上降低了网络丢包率。

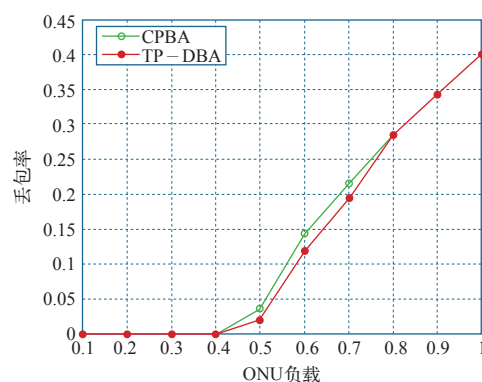


图5 丢包率性能

结束语

随着配电网建设的进一步开展,配电网调度、配电网用电信息集中抄表等一系列应用均需要高速可靠的通信网络支撑。基于以上考虑,提出了一种可应用于配电网通信的动态带宽分配算法,根据网络流量特性,授权周期灵活可变,利用预测模型,根据当前网络状况动态确定能够提前发送的阈值。同时结合配电网通信业务种类多的特点,将网络业务分为3种等级,综合考虑所有ONU的相同优先级业务请求大小情况,按照业务定义进行有区别地带宽授权。网络仿真表明,提出的动态带宽分配算法能够较好地提高QoS性能,降低网络丢包情况,整体提高网络业务性能。

参考文献

- [1] 张晓平,余南华.智能配电网的通信系统建设与发展分析[J].广东电力,2011,24(11):59-65.
- [2] 刘贞毅,何瑞文.配电网可靠性评估新进展[J].广东电力,2011,24(8):7-11.
- [3] 何锦雄,朱广名,安向阳.茂名供电局配电网自动化技术研究与应用[J].广东电力,2012,25(9):95-98.
- [4] 骆书剑. EPON系统中动态带宽分配算法研究[D].北京:华北电力大学,2012.
- [5] Glen Kramer, Biswanath Mukherjee. IPACT: A dynamic protocol for an ethernet PON (EPON) [J]. IEEE Communication Magazine, 2002 (2): 74-80.
- [6] Su-il Choi, Seung Jin Yoo. SLA aware Dynamic Bandwidth Allocation for EPONs [J]. ICACT, 2010 (2): 258-261.
- [7] Su-il Choi. Cyclic polling-based dynamic bandwidth allocation for differentiated classes of service in ethernet passive optical networks [J]. Photonic Network Communication, 2004, 7 (1): 87-94.
- [8] 甘苹. EPON带宽分配算法设计原则研究 [J]. 半导体光电, 2008, 29 (2): 247-251.
- [9] Tuan Dung Nguyen, Thaere Eido. An enhanced QoS-enabled dynamic bandwidth allocation mechanism for ethernet PON [J]. Computer Society, 2009 (20): 135-140.
- [10] 李莉莉,符建.一种轮询周期受限的EPON双级动态带宽分配算法 [J]. 光电工程, 2006, 33 (9): 110-114.
- [11] 王东,邱昆.支持QoS的EPON上行动态带宽分配算法设计 [J]. 电子科技大学学报, 2004, 33 (6): 63-69.
- [12] 格伦·克雷默.基于以太网的无源光网络 [M]. 北京:北京邮电大学出版社,2007.

(收稿日期:2014-03-10) **EA**

信息动态

上海工业自动化仪表研究院荣获“安全生产培训合格单位”称号

日前,上海工业自动化仪表研究院(以下简称“自仪院”)荣获上海市安全生产协会颁发的“安全生产培训合格单位”称号。为顺应行政审批制度的改革,进一步加强市场监管、社会管理和公共服务职能,保证安全生产培训工作开展,上海市安全生产协会依据相关文件要求,组织行业专家对82家上海市安全生产培训机构进行现场条件核实。经核查,上海50家培训机构获得第一批“安全生产培训合格单位”称号。

国家安全生产监督管理总局于2010年和2012年相继颁布了《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》(30号令)及《安全生产培训管理办法》(44号令),将防爆电气作业纳入特种作业工种,明确相关作业人员

需持证上岗。2013年,自仪院经上海市安全生产监督管理局批准,成为二级安全培训机构,是上海以及全国唯一一家可以开展电工作业(防爆电气)的机构。在上海市安监局及上海市安科所的支持下,2014年,自仪院成功举办两期安全生产“防爆电气”培训,实现了上海率先开展“防爆电气”特种作业人员培训的目标,填补了本市乃至全国防爆电气特种作业人员规范化培训的空白。在今后的工作中,自仪院将积极努力,规范开展安全生产防爆电气培训,为涉及电气、电力设施安装、检修和维护等岗位的电气防爆技术人员的持证上岗提供保障,推进防爆电气科学化、规范化的安全作业和管理,为安全生产保驾护航。