

「通信网络」

大电网安全稳定控制业务光传输通道模型与动态路由技术

文/北京智芯微电子科技有限公司 宋彦斌 张 强 鄢志平

针对现有大电网安全稳定控制业务通信网络中数据流的路径固定，自适应差的问题，提出了适应于大电网安全稳定控制业务的控制保护专用网网络拓扑结构和动态路由算法。该体系架构中每个子站由测量设备和稳控设备等终端，交换机和控制器构成，子站之间通过SDH传输网相连，该拓扑结构能够保障控制保护专用网的可靠性和实时性。提出的动态路由算法能够根据网络状况自适应改变，又能够保障业务流实时性需求。

针对现有大电网安全稳定控制业务通信网络中数据流的路径固定，自适应差的问题，本文提出了适应于大电网安全稳定控制业务的控制保护专用网网络拓扑结构和动态路由算法。

电网广域安全稳定控制的通信业务需求

1. 系统架构

本文提出的控制保护专用网的网络拓扑如图1所示，每个子站由测量设备和稳控设备等终端，交换机和控制器构成，子站之间通过SDH传

输网相连。该拓扑结构能够保障控制保护专用网的可靠性和实时性。

2. 一致性保障

网络中所有的控制器共同组成了整个网络逻辑上集中的控制平面。每个控制器中的核心控制器模块负责维护与交换机的连接。按照功能的不同，控制器分为两类，分别是超级控制器和普通控制器。与其他分布式控制器类似，每个普通控制器主要负责对网络中的部分交换机进行控制，并会对交换机的异步消息做出响应。与普通控制

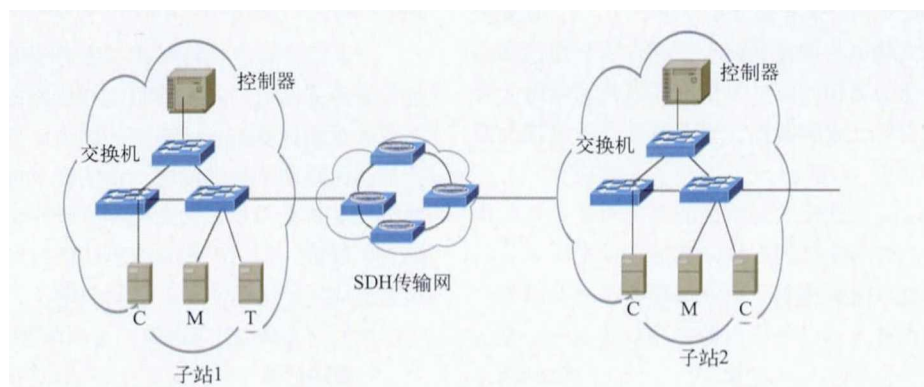


图1 控制保护专用网的网络拓扑

器不同,超级控制器并不会对交换机的异步消息做出响应,其主要功能是负责对普通控制器上的负载进行均衡。当超级控制器监测到控制器负载不均时,它会运行负载均衡算法,并对交换机在控制器间的迁移过程进行编排。需要指出的是,尽管超级控制器并不直接参与对网络中交换机的控制,然而在交换机迁移的过程中,超级控制器仍需要与交换机进行必要的交互以保证迁移的顺利进行。通常情况下,每个交换机只需与一个控制器保持连接,然而为了负载均衡的目的,网络中的交换机会至少同时与两个控制器保持连接状态。通过控制器间的协作,控制平面会为每个交换机指派一个普通控制器作为该交换机的Master控制器,而将连接的其他普通控制器设置为该交换机的Slave控制器。与普通控制器不同,超级控制器将始终作为交换机的Equal控制器,其目的是为了保证在交换机迁移过程中网络视图与网络状态的一致性。

3. 实时性保障

控制保护专用中的业务数据根据实时性的不同可以分为以下几类数据:

1) 周期性实时数据。用来进行闭环控制,在典型的现场总线控制系统EF和WorldFIP中,周期性实时数据被赋予了最高的优先级。

2) 突发性实时数据。用于传送报警和设备状态信号等,在EF和WorldFIP中,突发性实时数据在周期数据传送的空闲期内进行传输。

3) 一般消息。用于系统和节点初始化、网络监控和诊断以及高层交互操作等,一般无实时性要求。

针对网络中这三类数据的不同服务要求,在交换机中采用基于IEEE802.1p的非抢占式优先级调度方式。周期性实时数据,突发性实时数据和一般消息的用户优先级分别设为7, 6, 5。在交换机的输出端口,调度器赋予周期性实时数据最高优先级的信道访问权,当周期性队列为空时才可以传送突发性实时数据,仅当前两个队列都为空时才能传输一般消息。

为保证周期性实时数据的服务质量,在每个通信节点对所发送的非周期数据,采用漏桶管制器对其进行流量控制。经过漏桶管制后,从每个发送节点进入网络的三类数据的到达曲线分别为 $A_7(\sigma_k, \rho_k)$, $A_6(\sigma_k, \rho_k)$ 和 $A_5(\sigma_k, \rho_k)$,其中k为发送设备的编号。

约定用微数据流代表来自某发送节点的同一类型数据的比特流,用数据流代表到达某交换机的同一类型的微数据流聚合成的比特流,用 $p(j)$ 代表为数据流和数据流的优先级。定义 $G_j = U_{\{i:p(i)=p(j)\}} F_i$ 和 $G_j^H = U_{\{i:p(i)>p(j)\}} F_i$ 分别为与 F_j 流优先级相同,比 F_j 优先级高的微数据流的聚合流。 $PG_j = U_{\{i:p(i)>p(j)\}} F_i$ 由 G_j 和 G_j^H 再次聚合而成。定义 $\beta_{\max} = \max\{li:p(i)<p(j)\}$ 为比被考察数据流优先级低的最长数据帧。设优先级为 $p(j)$ 的微数据流的到达曲线为 $a(t) = r_j t + b_j$,则 $A_j(t) = \sum_{\{i:p(i)=p(j)\}} a_i(t)$ 和 $A_j^H(t) = \sum_{\{i:p(i)>p(j)\}} a_i(t)$ 分别为 G_j 和 G_j^H 的到达曲线。

首先以数据流 G_j 为考察对象, G_j 和 G_j^H 以非抢占优先级方式接受交换机服务,推导 G_j 的服务曲线。设交换机的总的服务能力为 C ,即提供给所有数据流的总服务曲线为 $\beta_{R,T}(t) = C[t-0]^+$,因此交换机提供给聚合流 PG_j 的服务曲线为 $\beta(PG_j, t) = [\beta_{R,T}(t) - \beta_{\max}]^+$,数据流 G_j 的服务曲线为 $\beta(G_j, t) = [\beta(PG_j, t) - A_j^H(t)]^+$ 。则数据流 G_j 的服务速率和服务时延参数分别为 $R_j^G = C - \sum_{\{i:p(i)>p(j)\}} r_i$, $T_j^G = (\beta_{\max} + \sum_{\{i:p(i)>p(j)\}} b_i)/R_j^G$ 。

再以微数据流 F_j 为考察对象, G_j 中所有微数据流以FCFS(先到先服务)方式接受交换机服务,推到 F_j 的服务曲线,所以微数据流 F_j 的服务曲线为 $\beta[F_j, t] = \{\beta(G_j, t) - [A_j(t-\theta) - a_j(t-\theta)]\}^+$,由 $\beta_{R,T}, T_j^G = A_j(0) - b_j$ 可得 $\theta = T_j^G + [A_j(0) - b_j]/R_j^G$ 。

考虑交换机采用存储转发方式时,只有完全接受到整个数据帧后才能对其进行处理,相当于在服务节点的输出端加入了一个数据分包器。数据分包使服务时延增加一个数据帧的传输时间,从而微数据流 F_j 的服务速率和服务时延参数分别为 $R_j = R_j^G - \sum_{\{i:p(i)>p(j)\}} r_i + r_i$, $T_j = T_j^G + (\sum_{\{i:p(i)=p(j)\}} b_i - b_j)/R_j^G + l_j/R_j^G$ 。

面向电网广域稳定控制的动态路由

当前路径由于故障或者拥塞等原因不能满足控制业务需求时,就需要根据相应路由策略为控制业务重新计算路由。当新的路由计算完成后,还会遇到路由更新的问题。由于存在更新延迟问题,在更新过程中,转发路径上有些交换机已经拥有新规则,而另一些交换机还使用旧规则,仍然会造成规则更新不一致性的问题。在本文中,动态路由分为路由计算和路由更新两部分。

1. 路由计算

网络业务大致分为有QoS保证的业务和BE业

务, QoS路由为支持QoS业务的重要方向, 因此本文在QoS路由的研究基础上, 设计多类型QoS路由协议, 在保证QoS业务流接入成功率的同时, 提高BE流量的性能。QoS业务流典型的需求为带宽需求, 本课题主要研究带宽需求QoS流量与BE流量综合流量网络下的自适应路由协议。

目前普遍使用的动态路由算法大都采用一维约束参数进行网络路由计算, 比如“最短路径算法”, 并没有考虑到业务应用或用户的差异性需求, 各种不同属性的业务流只能依据同样的路由原则进行转发, 使得互联网的传输无法实现业务的QoS保证。QoS路由技术的核心思想就是依据网络上可利用的实际资源和业务的QoS需求参数, 采用多维约束参数进行满足业务QoS要求的路由选择, 这些参数可以是端到端时延要求、可用带宽、资源占用量、链路利用率以及跳数等QoS参数。

控制业务通信网络中的流量由不同类型的业务流组成, 可分为有QoS保证的业务和BE业务, 有QoS保证的业务又可分成不同等级的QoS业务。多种类型流量共享着有限的网络链路资源。多类型的路由协议主要研究不同类型流量路由之间的相互影响, 在保证高优先级业务流性能的前提下, 最小化高优先级选路对低优先级流量的影响, 提高低优先级业务的性能, 从而实现不同类型业务的动态资源共享, 保证网络服务的公平性, 提高网络的吞吐量和资源利用率。

实现多类型路由通用的解决方案是, 用低优先级流量的状态信息来指导高优先级流量的选路, 在能够满足高优先级流量需求的路径集合中, 选择对网络低优先级流量总体性能影响较小的路径。从而避免了高优先级业务流的选路导致低优先级流量的性能迅速下降, 甚至低优先级流量的饥饿现象。一种可行的实现方式是, 对于不同类型的流量采用不同的链路开销, 链路开销的设计考虑流量的需求, 以及对低优先级流量的影响。将链路开销设计成由不同的因素构成, 首先考虑链路满足高优先级流量需求的能力 $Cost_L^1$, 然后考虑接入高优先流量对该链路其他所有低优先级流量的影响因子 $Cost_L^i$, 为链路开销的不同组成方面设置不同的权重 w_i , 使路由计算所选择的路径必定能够满足高优先级流量需求。路径的开销

为路径上链路开销之和, 基于所设计的开销计算方案, 使用最短距离路径算法, 可以以传统路由协议相当的计算复杂度计算出优化多种类型流量资源共享的路径。

$$Cost_L = w_1 Cost_L^1 + w_2 Cost_L^2 + \dots + w_n Cost_L^n \quad (1)$$

$$Cost_P = \sum_{L \in P} Cost_L \quad (2)$$

算法关键是设计合适的链路开销方案, 既考虑链路的剩余带宽资源信息, 又考虑链路上BE流量信息, 用链路上BE流量的拥塞程度指导QoS流量的选路, 尽量避开BE流量较拥塞的链路。链路开销由两部分组成, QoS流量开销和BE流量开销, QoS流量开销表示链路满足连接请求QoS需求的能力, BE流量开销反映链路上BE流量状态。

$$Cost_L = Cost_L^{qos} + Cost_L^{be} \quad (3)$$

2. 路由更新

采用两阶段提交方式来更新规则: 第1阶段, 当某个路由规则需要更新时, 控制器询问每个交换机是否处理完对应旧规则的流, 并对处理完毕的所有交换机进行规则更新。第2阶段, 当所有交换机都更新完毕时, 才完成更新, 否则将取消该更新操作。为了能够使用两阶段提交方式更新规则, 在预处理阶段, 对数据包打上标签以标示新旧策略的版本号, 在转发过程中, 交换机将检查标签的版本, 并按照对应版本的规则执行相应的转发动作。当数据包从出口交换机转发出去时, 则去掉标签。然而, 这种方式需要等待旧规则的数据包全部处理完毕才能处理新规则的数据包, 这样会造成规则空间被占用进而产生较高的成本。增量式一致性更新算法可以解决规则空间成本较高的问题, 该算法将规则更新分成多轮进行, 每一轮都采用二阶段提交方式更新一个子集, 这样可以节省规则空间, 达到更新时间与规则空间的折中。

结束语

本文提出的控制保护专用网拓扑结构能够保障控制保护专用网的可靠性和实时性。提出的动态路由算法能够根据网络状况自适应改变, 又能保障业务流实时性需求。EA

(收稿日期: 2017.08.30)

(编辑: 白文亭)