

基于 NS2 的 BACnet 网络拥塞控制策略研究

周祖德 任 平 刘 泉

(武汉理工大学信息工程学院 武汉 430070)

摘 要 BACnet 标准没有规范具体的拥塞控制算法,并且不提供端到端的流量控制机制,常规的拥塞控制算法应用于 BACnet 网络并不合适。提出了一种新的 BACnet 网络拥塞控制策略,能够根据平均队列长度和报文的优先级计算丢弃概率,分布式地控制各个 BACnet 网络节点端到端的流量,通过主动拥塞控制机制达到拥塞避免和控制的目的。NS2 仿真实验结果表明,该策略减少了平均服务延时,降低了报文丢失率,提高了网络吞吐量,增强了网络可靠性,为研究基于无连接协议的控制网络拥塞控制算法提供了一种模型和方法。

关键词 拥塞控制, BACnet, RED 算法, NS2

Research on BACnet Network Congestion Control Strategy Based on NS2

ZHOU Zu-de REN Ping LIU Quan

(School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract BACnet standard does not regulate the specific congestion control algorithm, and does not provide end-to-end flow control mechanism, so the conventional congestion control algorithm is very inappropriate to be used in BACnet network. A new BACnet network congestion control strategy was proposed to calculate the drop probability according to the average queue length and the priority of message, control the end to end flux of each BACnet network station distributedly, and achieve the purpose of congestion avoidance and control by active congestion control mechanism. The NS2 emulation results show that this algorithm decreases the average service delay time, reduces the message loss rate, improves the network throughput, enhances the network reliability, and provides a model and method for congestion control mechanism of control network based on connectionless protocol.

Keywords Congestion control, BACnet, RED algorithm, NS2

1 引言

BACnet 是由美国供热、制冷与空气调节工程师学会 (ASHRAE) 资助的开放式楼宇自控网络数据通信协议, 该协议在 2003 年被国际标准化组织采纳为 ISO 正式标准^[1,2]。BACnet 的最大特点是其开放性和互操作性, 它的出现使楼宇控制领域走向标准化、规范化的道路; BACnet 的根本目的是提供楼宇自动控制系统实现互操作的方法, 为楼宇控制各个子系统的集成提供一个统一的平台。

BACnet 协议没有对拥塞控制的具体算法进行规范, 现有的 BACnet 网络拥塞控制算法都是通过简单的报文丢弃, 来解决 BACnet 路由器报文缓存溢出的问题。而 BACnet 本质上是一种基于无连接的协议, BACnet 网络没有端到端之间的流量控制机制, 这样即使发生了丢弃报文的情况, BACnet 网络也不能够通过调整端到端的发送速率来避免拥塞。因此, BACnet 网络需要有一种机制来暂时性地中止接收发送到某个指定网络或者所有网络的报文, 以及在拥塞发生时能够调整端到端的发送速率, 这就是 BACnet 网络的拥塞控制策略。

针对当前 BACnet 网络拥塞控制存在的问题, 本文提出

一种新的 BACnet 网络拥塞控制策略, 该策略采用分布式的控制方式, 从 BACnet 路由器的报文缓存溢出, 端到端的拥塞避免和 BACnet 路由器的主动拥塞控制这 3 个方面来解决 BACnet 网络的拥塞控制问题。最后通过网络仿真软件 NS2 对新策略进行了仿真, 结果表明新策略使 BACnet 网络性能得到了明显的改善。

2 BACnet 网络层协议分析

2.1 BACnet 网络层协议数据单元

BACnet 网络层协议数据单元 (NPDU) 是网络层对等实体间相互通信的信息单位, 它包括网络层协议控制信息 (NPCID) 和网络层用户数据 (NUD) 两部分, NPDU 结构如图 1 所示^[3]。

在控制域中, BACnet 规定了 4 种不同优先级的网络层报文, 按优先级由高到底分别为:

- 1) 生命安全报文
- 2) 关键设备报文
- 3) 紧急报文
- 4) 正常报文

到稿日期: 2008-04-16 本文受国家自然科学基金项目 (50675166), 国家科技部国际科技合作项目 (2006DFA73180) 资助。

周祖德 教授, 博士生导师, 主要研究方向为网络环境下的智能控制; 任 平 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统与网络通信、智能楼宇控制, E-mail: rp-2003@163.com; 刘 泉 教授, 博士生导师, 主要研究方向为非线性系统理论及应用、信号处理。

主版本	1个字节
控制字段	1个字节
目的网络号	2个字节
目的MAC地址长度	1个字节
目的MAC地址	可变字节
源网络号	2个字节
源MAC地址长度	1个字节
源MAC地址	可变字节
转发计数	1个字节
报文类型	1个字节
厂商标识号	2个字节
网络层用户数据部分	N个字节

图1 BACnet网络层协议数据单元结构图

BACnet网络是控制网络,不同优先级的BACnet网络层报文表示了应用的紧急程度。BACnet路由器必须按照优先级的高低次序处理BACnet网络层报文,否则会影响到控制网络的可靠性。即使在BACnet网络发生拥塞的时候,也要最大限度地保证高优先级的报文不被丢弃和能够被优先处理,为此要不惜丢弃一些低优先级的报文。

2.2 BACnet协议中的拥塞控制机制

BACnet标准没有规定具体的拥塞控制算法,只给出了3种用来进行拥塞控制的路由器管理报文,这3种报文分别是:Router-Available-To-Network报文、Router-Busy-To-Network报文和Reject-Message-To-Network报文。

1) Router-Available-To-Network 报文

如果一个路由器发送Router-Busy-To-Network报文之后,希望能够重新接收报文,则广播一个Router-Available-To-Network报文,报文中含有一个2个字节网络号构成的列表,表示路由器现在能够接收发往这些指定DNET(目的网络)的报文。每个接收到Router-Available-To-Network报文的BACnet路由器,都会更新自己的路由表,指示报文中指定的DNET现在能够到达。

2) Router-Busy-To-Network 报文

如果一个路由器只是暂时性地不再接收发往一个或多个特定的DNET的报文,那么这个路由器可以使用广播MAC地址,广播一个Router-Busy-To-Network报文,报文中包含一个对应于这些DNET的网络号列表。如果路由器接收到一个Router-Busy-To-Network报文,则路由器将更新自己的路由表,指示报文中所指定的DNET暂时不能到达。

3) Reject-Message-To-Network 报文

如果一个路由器接收到的一个目标网络是DNET的报文,但由于拥塞控制而使此报文不能得到路由服务,则该路由器发送Reject-Message-To-Network报文,表示目前不能接收具有这个DNET的报文。当路由器接收到一个Reject-Message-To-Network报文,路由器就在自己的路由表中查找这个报文中所指定的网络号码,然后将这个网络号码的状态信息更新成暂时不能到达。

3 一种新的BACnet网络拥塞控制策略

3.1 拥塞控制策略的基本思想

当前,对网络拥塞控制问题的研究主要集中在改进路由器的拥塞控制算法上,而对于BACnet这样的面向无连接的协议,如果仅仅研究路由器的拥塞控制算法,对网络性能的改变并不很明显。因此,提出一种新的BACnet网络拥塞控制策略,不仅对于增强BACnet网络的性能有着重要的影响,而且对于研究其它面向无连接协议网络的拥塞控制问题有着很好的启示作用。

该拥塞控制策略的基本思想是采用分布式的控制机制,把对网络拥塞控制的任务分散到各个BACnet网络节点和BACnet路由器,这不但有利于减轻BACnet路由器的负荷,而且可以增强BACnet网络的实时性。BACnet网络拥塞控制策略由3个部分组成:基于优先级和RED算法的P-RED拥塞控制算法、BACnet网络节点的拥塞控制机制和BACnet路由器的主动拥塞控制方法。BACnet网络拥塞控制策略框图如图2所示。

该拥塞控制策略的基本思想是采用分布式的控制机制,把对网络拥塞控制的任务分散到各个BACnet网络节点和BACnet路由器,这不但有利于减轻BACnet路由器的负荷,而且可以增强BACnet网络的实时性。BACnet网络拥塞控制策略由3个部分组成:基于优先级和RED算法的P-RED拥塞控制算法、BACnet网络节点的拥塞控制机制和BACnet路由器的主动拥塞控制方法。BACnet网络拥塞控制策略框图如图2所示。

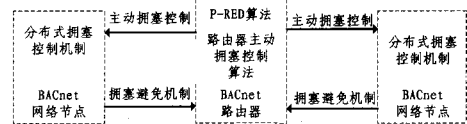


图2 BACnet网络拥塞控制策略框图

P-RED算法计算路由器的平均队列长度,当该长度大于队列的最小阈值和小于队列的最大阈值时,以一定的概率丢弃一部分报文,该概率与报文的优先级成反比,从而最大限度地保证高优先级报文的可靠传输。BACnet网络节点通过检测发送到路由器报文的丢失情况,动态调整发往路由器报文的速率,以避免拥塞情况发生。在拥塞发生时,BACnet路由器通过发送BACnet标准规定的3种网络拥塞控制报文,进一步控制从其它路由节点发送过来的报文速率,从而达到拥塞控制的目的。

3.2 拥塞控制策略的具体算法

3.2.1 基于优先级的P-RED算法

1) P-RED算法的背景

RED是一种使用最为广泛的路由器拥塞控制算法,通过监控路由器输出端口队列的平均长度来探测拥塞,一旦发现接近拥塞,就随机地选择连接来发出拥塞通知,使它们在队列溢出导致丢包之前减小发送窗口,降低数据发送速度,从而缓解网络拥塞^[4-6]。采用RED算法,BACnet路由器可以控制缓冲区被占据的百分比,并且路由器的缓冲区会始终预留一部分缓冲空间,这不但可以更好地处理突发性,还可以更好地支持实时应用。RED算法的特点,使它能够满足BACnet协议对于拥塞控制算法的基本要求。

但是,在拥塞即将发生时,RED算法不管报文优先级的高低,按照一定的概率丢弃所有到达的报文。在有些情况下,这样做会造成BACnet网络中出现某些紧急状况,甚至生命安全报文不能得到及时处理,严重危害BACnet网络的可靠性。因此,现有的RED算法应用于BACnet路由器时必须加以改进,一种基于优先级的P-RED算法能更好地满足要求。

2) P-RED算法的思想

P-RED算法通过调整不同优先级报文的丢弃概率和在队列中排列的位置,使优先级越高的报文被丢弃的概率越低和能够越早被处理,从而达到提高网络可靠性的目的。P-RED算法主要由网络报文优先级标记器、平均队列长度计算器、RED丢包器和优先级调度器4个部分组成,如图3所示。

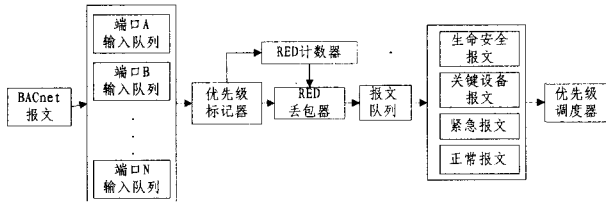


图3 P-RED路由器拥塞控制算法框图

优先级标记器标记各个报文的优先级,为在拥塞发生时计算丢弃概率提供依据。计算平均队列长度的目的是为了反映拥塞状况,根据拥塞的程度来计算丢弃包的概率,从而更有效地控制平均队列长度。优先级调度器将各个优先级的报文分成不同的队列,确保高优先级的报文被优先处理,最大限度地保证 BACnet 网络的实时性和可靠性。

3) P-RED 算法的定义

定义 1 BACnet 网络报文的优先级从高到低依次为生命安全报文 P_a , 紧急报文 P_b , 关键设备报文 P_c 和正常报文 P_d , 并且 $P_a > P_b > P_c > P_d$ 。 P_a, P_b, P_c 和 P_d 的值可以根据具体网络的需要做出调整,默认情况下, $P_a = 3, P_b = 2, P_c = 1, P_d = 0$ 。

定义 2 BACnet 网络的最大报文丢弃概率为 Max_p , 它的值随着各个报文优先级定义值的大小而变化。默认情况下, $\text{Max}_p = 0.5$,

$$\text{Max}_p = \frac{P_a}{P_a + P_b + P_c + P_d} \quad (1)$$

定义 3 BACnet 路由器缓存队列当前时刻的平均长度 q_i^t ,

$$q_i^t = (1 - \omega_q) \cdot q_i^{t-1} + \omega_q \cdot q \quad (2)$$

其中, q 为当前瞬时队列长度; q_i^t 和 q_i^{t-1} 为当前时刻和前一时刻的平均队列长度; ω_q 是一个权值, $0 < \omega_q < 1$ 。

定义 4 L_{\max} 为队列长度的最大阈值, L_{\min} 为队列长度的最小阈值, L_{\max} 和 L_{\min} 值的大小可以根据 BACnet 网络的配置情况做出调整。

定义 5 BACnet 网络的报文丢弃概率 P 是平均队列长度的分段函数,并能随着报文优先级值的不同而动态改变,

$$P = D(q_i^t) = \begin{cases} 0, & 0 \leq q_i^t < L_{\min} \\ \text{Max}_p \cdot \left(\frac{q_i^t - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} \right) + \frac{P_{n(n=a,b,c,d)}}{P_a + P_b + P_c + P_d}, & L_{\min} \leq q_i^t < L_{\max} \\ 1, & L_{\max} \leq q_i^t < L_{\text{limit}} \end{cases} \quad (3)$$

其中, L_{limit} 为队列的最大长度亦即缓存大小。

4) P-RED 算法的描述

(1) 当有新的 BACnet 报文到达路由器时,首先将它存放在各输入端口的队列中,然后优先级标记器根据报文中“控制域”的优先级,对生命安全报文、紧急报文、关键设备报文和正常报文分别用 P_a, P_b, P_c 和 P_d 进行标记。

(2) 经过标记的 BACnet 报文经由 RED 丢包器处理, RED 丢包器根据计算得到的平均队列长度 q_i^t 和标记的优先级 P_n 计算该报文的丢弃概率。

(3) 未被丢弃的 BACnet 报文按照标记的从高到低的优先级次序存放在 RED 队列中。

(4) 优先级调度器扫描 RED 队列,根据标记的优先级,将

BACnet 报文存放在不同的优先级队列中,并按照从高到低的优先级次序输出报文。

3.2.2 BACnet 网络节点拥塞控制机制

BACnet 是面向无连接的协议,不提供端到端的流量控制机制,因此在拥塞发生时,会大大增加 BACnet 路由器的负荷,从而使报文的传输延时增大,网络的可靠性降低。为此,本文引入了一种机制,即在拥塞发生时,使各个 BACnet 网络节点能够主动地降低发送报文的速率,从而减轻网络拥塞程度。

BACnet 网络节点拥塞控制机制是基于窗口的端到端的闭环控制,其核心思想是每个数据源决定链路带宽中的可用带宽大小,并根据此带宽大小发送可以安全到达的数据包,以及动态调整拥塞控制机制启动的阈值。

1) 算法的定义

定义 1 *SilenceTimer*, 用于计量 BACnet 网络处于静止时间的定时器; $T_{\text{replay_timeout}}$, BACnet 网络站点等待应答超时的最小时间,典型值为 255ms (不同的实现模型可以用更大的值,但不要超过 300ms);

定义 2 BACnet 网络节点在单位时间内发送的报文数量为 N_{send} , 在单位时间内收到应答的报文数量为 N_{ack} , 报文被丢弃的概率为 P_{discard} ,

$$P_{\text{discard}} = \frac{N_{\text{ack}}}{N_{\text{send}}} \quad (4)$$

定义 3 拥塞控制机制启动的阈值为 P_{und} , P_{und} 的值根据 BACnet 网络的节点数量和网络负载分布情况而定,并且与网络性能成正比。

定义 4 BACnet 网络节点单位时间内能够发送的报文数目为 $N_{\text{max_info_frame}}$ 。

2) 算法的描述

(1) 当一个新的报文被确认时,

If $P_{\text{discard}} < P_{\text{und}}$

$$P_{\text{und}} = P_{\text{und}} / 2 + 1;$$

$$N_{\text{max_info_frame}} = N_{\text{max_info_frame}} + 1; // \text{慢启动}$$

Else

$$N_{\text{max_info_frame}} = N_{\text{max_info_frame}} + 1 / N_{\text{max_info_frame}}; // \text{拥塞避免}$$

(2) 如果传输超时,

$$P_{\text{und}} = P_{\text{und}} / 2; N_{\text{max_info_frame}} = 1; // \text{快速恢复}$$

3.2.3 路由器主动拥塞控制方法

当发生拥塞情况时, BACnet 路由器主动发送 Router-Busy-To-Network 报文和 Reject-Message-To-Network 报文; 当拥塞情况解除时, BACnet 路由器主动发送 Router-Available-To-Network 报文, 该算法描述如下:

1) $L_{\min} \leq q_i^t < L_{\max}$

当平均队列长度 q_i^t 大于最小阈值 L_{\min} 小于最大阈值 L_{\max} 时, BACnet 路由器以概率 P 丢弃收到的 BACnet 报文。对于丢弃的报文, BACnet 路由器记录其 DNET 和 SNET, 向接收到这个报文的端口发送 Router-Busy-To-Network 报文。收到此报文的路由器更新各自的路由表, 指示报文中指定的 DNET 暂时不可到达, 暂停向该路由器发送 BACnet 报文。如果在特定的时间没有收到该路由器发送的 Router-Available-To-Network 报文, 可以重新向该路由器发送报文。

$$2) L_{\max} \leq q_i^n < L_{\text{limit}}$$

当平均队列长度 q_i^n 大于最大阈值 L_{\max} 小于队列的最大长度时, BACnet 路由器丢弃所有的报文。这时 BACnet 路由器启动主动拥塞控制机制, 向除本身外的所有端口发送 Reject-Message-To-Network 报文。收到此报文的的路由器暂停向该路由器发送 BACnet 报文, 直到收到该路由器发送的 Router-Available-To-Network 报文或经过特定的延时以后, 才能再向该路由器发送报文。

4 NS2 仿真及性能分析

4.1 NS2 的扩展

NS2 是一个基于离散事件的网络仿真器, 具有丰富的构件库, 能够仿真网络运行的全过程^[7]。NS2 中的网络环境包括对各层及其应用和协议的支持, 但还不支持对 BACnet 网络的仿真, 也没提供相关的路由协议。因此, 本文在 NS2 原有资源基础上, 增加 BACnet 路由协议, 并改进 RED 拥塞控制算法, 使其支持 BACnet 网络仿真。

由于本次仿真主要针对 BACnet 网络的拥塞控制, 不涉及具体的 BACnet 设备、数据链路层类型及应用层数据。因此, 在设计本次仿真的 BACnet 网络层分组头时, 对 BACnet 标准分组头进行了简化, 只采用仿真中将用到的部分包括 Control, DNET, SNET, Hop Count, Message Type。具体在 C++ 中的定义如下:

```
struct BACnet_Net{
    un_char control; //控制域
    addr_t dnet; //目的网络
    addr_t snet; //源网络
    un_char hop_count; //转发计数
    un_char message_type; //报文类型
    inline un_char& control () { return control; }
    inline addr_t& dnet () { return dnet; }
    inline addr_t& snet () { return snet; }
    .....
}
```

4.2 仿真环境的建立

仿真环境包括拓扑结构模型和通信流量模型。不同的设置提供不同的网络环境和负荷, 将直接影响到最终生成文件中的数据结果。NS2 是一个离散事件模拟器, 事件规定了系统状态的改变, 状态的改变只在事件发生时进行^[8]。典型的事件包括分组到达、时钟超时等。仿真模型中设定了 2 个 BACnet 子网, 经过 2 次路由达到远端的网络节点。仿真模型中的拓扑结构如图 4 所示。

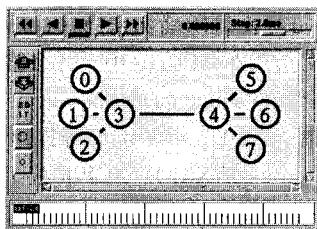


图 4 NS2 仿真 BACnet 网络拓扑结构图

流量发生使用 NS2 中的 CBR_traffic, 给每个 BACnet 子网中的节点都绑定一个 BACnet_agent, 再将每一个 BACnet_

agent 上都绑定一个 CBR, CBR 按照一个确定的速率产生数据, 数据的长度是一个固定值, 根据实际应用中报文的平均大小来确定。BACnet_agent 从 Agent 继承而来, 其中定义了一个 BACnet_table 类实例 BAC_table, 用以在 BACnet_agent 中访问路由表; 一个指向 Trace 类的指针, 用以记录仿真过程中所需要记录的信息。另外, 对 BACnet 报文的处理也是在 BACnet_agent 中完成的。

4.3 性能评估的方法

BACnet 网络拥塞控制策略的性能从平均服务延时、报文丢失率和网络吞吐量这 3 个方面来评估。平均服务延时是指从请求消息到达客户端的发送队列到从服务器发送过来的响应消息到达客户端的接收队列的时间; 消息丢失率是指丢失的消息数目在所有发送的消息中所占的比重; 网络吞吐量是指在单位时间内 BACnet 网络发送和接收的数据量。在本文中, 通过比较不同网络负荷条件下平均服务延时、网络吞吐量和消息丢失率的大小来判断该拥塞控制策略对网络性能是否有改善, 设网络负荷为 G ,

$$G = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{T_i} \quad (5)$$

其中, G 的值在 0 到 1 之间, 并且随着网络负荷的增加而逐渐增大; L_i 表示节点 i 所产生报文的平均长度; B 是数据传输速率 (bit/s); N 表示整个仿真模型中 BACnet 节点的个数; 每一个主站点根据泊松分布随机产生消息, 产生消息的时间间隔用 T_i 表示, T_i 被用来调整网络负荷 G 的大小。

4.4 仿真结果分析

通过该仿真模型一共进行了 3 组实验, 将得到的 trace 文件经过分析得到如下结果:

1) 拥塞控制策略对平均服务延时的改善

第一组实验显示了拥塞控制策略对平均服务延时的改善, 实验结果如图 5 所示。

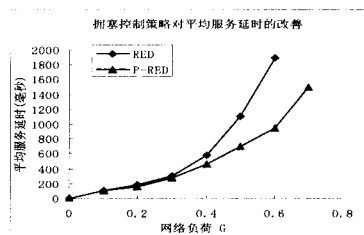


图 5 拥塞控制策略对平均服务延时的改善

从图中可以看到, 随着网络负荷 G 的增加, 平均服务延时逐渐增大。这是因为网络负荷 G 的值越大, 路由器缓存队列中等待转发的报文也越多, 路由器处理完这些报文需要的时间也就越长。所以, 整个 BACnet 网络的平均服务延时也就逐渐增大。当采用 RED 算法时, G 的值在 0.3~0.4 之间, 平均服务延时增大的速率开始加快; 当采用基于 P-RED 的新策略时, G 的值在 0.4 以后, 平均服务延时增大的速率才开始加快。另外, G 的值越大, 该拥塞控制策略对平均服务延时的改善越明显。

2) 拥塞控制策略对消息丢失率的改善

第二组实验显示了拥塞控制策略对报文丢失率的改善, 实验结果如图 6 所示。

从图中可以看到, 该拥塞控制策略对报文丢失率的改善

(下转第 44 页)

到它应得的公平分配的带宽。

用仿真软件 NS-2 来试验 RTT 对于链路利用率的影响如图 2 所示。采用一个单瓶颈的网络拓扑结构,设置瓶颈链路的带宽为 160Mbps,RTT 从 1ms 到 1500ms。通过图 2 可以看出 VCP 协议在大多数情况下,瓶颈链路的利用率保持在 90%左右。

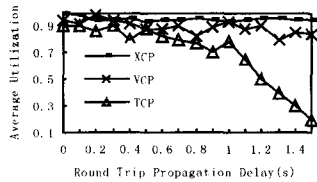


图 2 RTT 变化时 3 种协议的性能

RTT 非常小的时候比如 1ms,由于 VCP 的 RTT 参数的比例调整对于小的 RTT 值敏感导致了平均队列长度增加到大约为缓冲区大小的 15%,最大值为缓冲区大小的 45%。在 RTT 大于 800ms 时,VCP 协议的链路利用率为 85%~94%,这是由于路由器端的负载计算间隔为 200ms 与流的 RTT 值相比太小的原因。在所有情况下,VCP 协议的丢包率为 0。

结束语 VCP 协议联合使用 ECN 机制的两个二进制来编码拥塞信息。根据来自接收端的拥塞信息,VCP 协议的发送端选择 MI, AI 和 MD 其中的一个拥塞窗口控制算法来响

应拥塞信号。通过原理与仿真分析,我们发现 VCP 协议在体系结构上是路由器检测拥塞,源主机调整算法,VCP 协议在高的链路利用率,小的队列长度和丢包方面的性能接近于 XCP。同时也要指出 VCP 协议收敛速度比较慢,这个问题有待进一步完善解决。

参考文献

- [1] Xia Y, Subramanian L, Stoica I, et al. One More Bit is Enough// Proceedings ACM SIGCOMM'05, August 2005
- [2] Katai D, Handley M, Rohrs C. Congestion Control for High Bandwidth-delay Product Networks. ACM SIGCOMM Computer Communications Review, 2002, 32(4): 89-102
- [3] Golestani S J, Sabnani K. Fundamental Observations on Multicast Congestion Control in the Internet. INFOCOM, New York, NY, Mar. 1999
- [4] Ramakrishnan K, Floyd S. A Proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP. IETF RFC2481, Jan. 1999
- [5] Floyd S, Fall K. Promoting the use of End-to-End congestion control in the Internet. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1997
- [6] Yang Y, Lam S. General AIMD Congestion Control// ICNP'00, November 2000
- [7] Speakman T, et al. PGM Reliable Transport Protocol Specification. IETF RFC 3208, Dec. 2001

(上接第 41 页)

最为明显。这是因为引入了 BACnet 网络节点拥塞控制机制和 BACnet 路由器主动拥塞控制算法。BACnet 网络节点在检测到报文丢失率达到一定阈值的时候,开始主动降低报文的发送速率;BACnet 路由器在拥塞情况发生的时候,主动发送 Router-Busy-To-Network 报文和 Reject-Message-To-Network 报文,降低从其它路由器转发过来的报文的速率,从而减轻了 BACnet 路由器的负荷,加快了拥塞恢复的进度,降低了 BACnet 报文的丢失率。

3) 拥塞控制策略对网络吞吐量的改善

第三组实验显示了拥塞控制策略对网络吞吐量的改善,实验结果如图 7 所示。

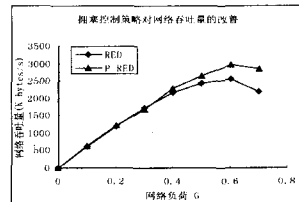
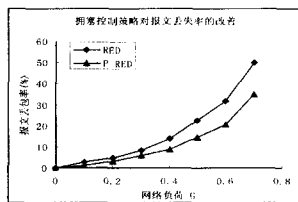


图 6 拥塞控制策略对报文丢失率的改善 图 7 拥塞控制策略对网络吞吐量的改善

从图中可以看到,当 G 的值在 0~0.3 之间的时候,这两种拥塞控制算法下的网络吞吐量大致相等,随着网络负荷 G 的增大,都是呈上升趋势。当 G 的值逐渐增大到 0.3 以后,基于 P-RED 的新拥塞控制策略对网络吞吐量的改善逐渐明显;当 G 的值增大到 0.6 以后,网络吞吐量开始下降。这是因为当 G 的值大于 0.3 时,该拥塞控制策略对报文丢失率的改善开始变得较为明显;当 G 的值大于 0.6 时,报文丢失率变得越来越大,很多报文都被丢弃了,所以网络负荷开始逐渐减

小。

结束语 基于 NS2 的 BACnet 网络拥塞控制策略,从路由器和 BACnet 网络节点两个方面入手,引入了基于 BACnet 协议端到端的流量控制方法,提出了基于 RED 的 BACnet 路由器拥塞控制算法。在保证 BACnet 网络吞吐量的同时,尽可能地提高 BACnet 网络的实时性和可靠性。这不但很好地解决了 BACnet 路由器的拥塞控制问题,而且对于研究其它面向无连接协议的拥塞控制机制有着重要的启示作用。

参考文献

- [1] Liu Quan, Ren Ping. Study on the Congestion Control Arithmetic of BACnet Routers// ICIEA2008, Singapore, 2008
- [2] Tae Jin P, Won Seok S, Seung Ho H. Experimental performance evaluation of BACnet MS/TP protocol. International Journal of Control, Automation and Systems, 2007, 5(5): 584-593
- [3] Wu Shubin, Liu Xiande, Wang Zhongming. Congestion Control in BACnet Networks Based on RPRED Algorithm. SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2005, 6022 I; 602218
- [4] 李方敏,周祖德,彭小兵,等. 区分服务环境下 TCP 拥塞控制机制研究. 系统仿真学报, 2003, 15(6): 832-836
- [5] Analoui M, Jamali S. Congestion control in the internet: Inspiration from balanced food chains in the nature. Journal of Network and Systems Management, 2008, 16(1): 1-10
- [6] 唐伟,郭伟,苏俭. 一种适用于 Ad Hoc 网络的拥塞控制算法. 计算机科学, 2005, 32(10): 41-43
- [7] 王庆辉,潘学松,王光兴. 基于带宽估计的 ad hoc 网络拥塞控制机制. 通信学报, 2006, 27(4): 42-48
- [8] 徐跃东,关治洪,王华. 基于仿真的 TCP 拥塞控制研究. 计算机工程, 2004, 30(23): 85-86