

IBLUE: 一种新的主动队列管理算法

张义良

(萍乡高等专科学校 计算机系, 江西 萍乡 337055)

摘 要: 针对日益严重的网络拥塞现象, 在传统的 BLUE 算法的基础上建立了一种新的主动队列管理方法 (Immune clonal simulated annealing-based BLUE, IBLUE). 该方法重新定义队列长度变化范围以及丢包概率, 并且利用免疫克隆模拟退火算法来刻画队列长度变化情况. 其次, 以实际数据进行仿真实验, 深入分析了影响该方法的关键因素, 同时通过对比 BLUE 和 BLUE⁺ 算法性能, 结果表明 IBLUE 具有较好的适应性.

关键词: 主动队列管理; BLUE; 丢包; 平均队列长度; 免疫克隆模拟退火

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)10-0081-04

IBLUE: A Novel Active Queue Management Method

ZHANG Yi-liang

(Department of Computer Science, Pingxiang College, Pingxiang 337055, China)

Abstract: In order to mitigate the network congestion problem, a novel active queue management method (Immune clonal simulated annealing-based BLUE, IBLUE) is proposed by BLUE algorithm. In this method, the range of queue length and dropping rate are re-defined, and the average queue length is depicted by immune clonal simulated annealing. Then, a simulation with actual data was conducted to study key factor in IBLUE. The results show that, compared to BLUE and BLUE⁺, IBLUE has better adaptability.

Key words: active queue management; BLUE; dropping packet; average queue length; immune clonal simulated annealing

1 引言

随着 Internet 的迅速发展, 用户对网络服务质量提出了更高的要求^[1], 目前 TCP 所采用的端到端拥塞控制机制对保证网络的鲁棒性起到了关键性的作用, 但这种被动队列管理方式存在全局同步、死锁和延迟等问题. 一种有效的解决方法是进行主动队列管理^[2], 即通过预判将要发生的拥塞, 并将拥塞情况反馈给源端. 比较早的有代表性的主动队列管理方法是随机早期检测^[3]算法, 它根据平均队列长度来计算丢包概率. 在负荷很重、变化很快的情况下, 常常导致队长波动很大, 增加了丢包数和延迟抖动, 降低链路使用率.

对此, 提出了改进方法 BLUE 算法^[4], 它采用缓冲区溢出和链路空闲来管理队列, 并减小了丢包

率和对缓冲区的需求. 但是, BLUE 算法仍存在队列抖动较大以及参数设置敏感问题, 缺乏对实际环境的自适应调整能力. 为了解决 BLUE 算法存在的缺陷, BLUE⁺算法^[5]基于 TCP 中丢包率与连接数的关系, 通过采用平均队列长度对丢包概率参数 d_1 和 d_2 进行了动态设计.

针对 BLUE 算法中队列长度抖动较大的缺陷, 本文结合免疫克隆模拟退火算法^[6-7]对 BLUE 进行了改进, 该方法通过重新定义队列长度变化范围以及丢包概率增量的权重系数, 以此平滑队列抖动现象, 并且通过仿真实验验证该方法的可行性.

2 BLUE 算法

传统的 BLUE 算法基本思想是通过判断过去时刻的丢包概率和链路状态, 来对网络的拥塞情况

收稿日期: 2012-11-18; **修回日期:** 2013-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61173146); 江西省高等学校教学改革研究省级课题(JXJG-11-25-6)

进行管理. BLUE 维持了一个丢包概率 P 用来标记队列中的包, 当缓冲区溢出造成队列丢包时, BLUE 将增大丢包概率 P , 从而加快向发送端反馈拥塞信息的速度. 当链路空闲或者队列为空时, 那么就减小丢包概率 P , 从而减缓向发送端反馈拥塞信息的速度, 以此提高链路利用率. 具体的 BLUE 算法描述如下:

Step1: Upon link idle event

```
if((now-last_update)>freeze_time)
    P=P-d2
    Last_update=now
end
```

Step2: Upon packet loss event

```
if((now-last_update)>freeze_time)
    P=P+d1
    last_update=now
end
```

其中, freeze_time 决定了连续改变丢包概率 P 的最小时间间隔, 使得 P 再次变化之前能有效发挥作用; d_1 决定了当缓冲区溢出时 P 的增加量, d_2 决定了当链路空闲或者队列为空时 P 的减少量, 通常情况下 d_1 要比 d_2 大很多. 这主要是由于当拥塞管理太保守或太激进时, 都会导致链路使用率很低; 而丢包只发生在拥塞管理太保守时. 通过赋予丢包事件更大的比重, BLUE 能够对流量大量迅速地增加很快地作出反应.

BLUE 算法的优点在于, 利用相对较小的缓冲区就能够完成拥塞控制, 减少了端到端延迟, 并提高了 TCP 流的吞吐量. 同时, BLUE 算法基于丢包事件和链路空闲事件的拥塞管理, 能够较好地估计拥塞程度, 从而作出适当的反应. 因此其标记包的比率相对较稳定, 这又使得队长也相对稳定, 减少了延迟抖动. 但是 BLUE 算法在缓冲区溢出和链路空闲这两种极值情况下进行丢包变化, 会造成队列长度波动幅度较大以及吞吐量下降, 同时队列长度的振荡使得端到端的延时抖动很大, 其网络的服务质量难以保证. 另外, 参数 d_1 和 d_2 缺乏适应性, 也容易导致吞吐量和队列长度波动较大.

3 IBLUE 算法

3.1 算法介绍

针对 BLUE 算法存在的队列长度波动较大的缺点, 本文在保持其丢包概率小的特点上提出了一种新的自适应主动队列管理算法 (Immune clonal simulated annealing-based BLUE, IBLUE). 该算法

通过设定队列长度最小阈值 $q_{\min}$, 一旦当前平均队列长度 q 小于 $q_{\min}$ 就立即减小丢包概率 P , 而不必等到队列长度为零时才进行处理. 这里采用平均队列长度来替代 BLUE 算法中的某时刻的队列长度, 其优势在于可以平缓因队列的突发所产生的抖动. 同时, 本文利用免疫克隆模拟退火算法来刻画当前平均队列长度 q 的动态变化, 以此能够对参数 d_1 和 d_2 进行自适应调整. IBLUE 算法描述:

Step1: if($q < q_{\min}$)

```
if((now-last_update)>freeze_time)
    P=P-wd2
    Last_update=now
end
```

Step2: if($q > B$)

```
if((now-last_update)>freeze_time)
    P=P+wd1
    last_update=now
end
```

其中, B 为缓冲区长度, w 为权重系数. 通过引入权重系数 w 来对参数 d_1 和 d_2 实现自适应动态调整, w 定义如下:

$$w = \frac{q}{B} \times \frac{\text{count}}{q + \text{count}} \quad (1)$$

这里, count 表示从上一时刻到当前时刻之间进入队列的包的个数 (即是队列长度增量). 如果发生缓冲区溢出则说明当前进入的包太多, 意味着 count 值越大, 那么对应的权重系数 w 将增大, 从而加大丢包概率 P . 相应地, 如果平均队列长度小于阈值 $q_{\min}$, 对应的权重系数 w 将减少, 从而减小丢包概率 P .

在上述算法中, 其关键在于如何能够准确地刻画下一时刻队列长度增量 count 的变化, 以便提前进行预操作, 提高拥塞处理效率. 以下将结合免疫克隆模拟退火算法来对平均队列长度的动态变化进行阐述.

3.2 平均队列长度

免疫克隆模拟退火算法是将初试解进行分裂, 并基于抗原和抗体的亲和度函数对分裂获得的结果实现克隆变异、交叉选择, 从而产生新的抗体群. 同时, 免疫克隆模拟退火算法利用模拟退火准则判断当前的新抗体是否满足条件, 不断进行变异和交叉, 直至温度接近零. 本文将过去时刻的平均队列长度作为初试解, 并且在其他约束条件下对其进行克隆变异和交叉选择, 以获得进化之后的最优解. 具体描述如下:

(1) 根据某时刻网络的平均队列长度和约束条件,确定种群规模 n 、抗体群 C 、初始温度 t_j 、变异概率 p_a 和交叉概率 p_b 等参数;

(2) 令 q_a 表示当前队列长度,计算抗体群中第 j 个抗体的亲和度 $f(j)$:

$$f(j) = aq + bq_a \quad (2)$$

式中, $f(j)$ 表示抗原与抗体的匹配程度, a 和 b 为常数,并且 $a + b = 1$;

(3) 根据上述获得的亲和度 $f(j)$,由式(3)对第 j 个抗体进行克隆得到抗体群 C_1 :

$$n' = \sum_{j=1}^m \left[\frac{\eta_j}{j} \right] \quad (3)$$

式中, η 为克隆权重系数, n' 为规模数, $[\]$ 表示向下取整函数;

(4) 根据式(4)对抗体群 C_1 产生抗体 r 的子抗体 r_1 ,并定义其亲和差度 $\Delta f = f(r_1) - f(r)$,如果满足式(5)所示的模拟退火准则,则接受 r_1 作为当前最优解,执行克隆变异操作,产生临时抗体群 C_2 ,否则仍然将 r 作为当前最优解。

$$r_1 = p_a r + e^{-(1+\Delta f)} \text{rand}() \quad (4)$$

$$\min\{1, e^{-(\Delta f/1+t_j)}\} > 1 - \text{rand}() \quad (5)$$

式中, $\text{rand}()$ 为 0 到 1 之间的随机数;

(5) 判断交叉概率 p_b 与随机数 $\text{rand}()$ 之间的关系,如果 $p_b > \text{rand}()$,则由式(6)对抗体 C_2 内的抗体 r_1 和 r_2 执行交叉操作,获得子抗体 r_3 和 r_4 ,并根据模拟退火准则判断是否接受子抗体 r_3 和 r_4 ,如果接受则执行克隆交叉操作,产生新的抗体群 C_3 ,否则保持不变;

$$\begin{cases} r_3 = p_b r_1 + (1 - \text{rand}())r_2 \\ r_4 = p_b r_2 + (1 - \text{rand}())r_1 \end{cases} \quad (6)$$

(6) 判断当前温度是否为零,如果是则退火过程完成,此时得到的抗体群 C_3 即为下一时刻平均队列长度(由此可以计算队列长度增量 count),算法结束,否则令 $j = j + 1, t_{j+1} = t_j(1 - j/C_1)$,跳转到步骤(2)。

4 仿真实验

针对上述建立的 IBLUE 算法,这里采用 OPNET 和 MATLAB 进行联合仿真实验。首先,在 OPNET 中建立如图 1 所示的仿真结构图,其中 $S_n (n = 1, 2, \dots, 30)$ 为源端节点, $D_n (n = 1, 2, \dots, 30)$ 为目的端节点, R_1 和 R_2 为路由器, R_1 和 R_2 之间的链路带宽设置为 5 Mb/s,时延为 10 ms,各节点和路由器之间的链路带宽设置为 10 Mb/s,时延

为 5 ms,数据包大小为 500 b,缓冲区大小为 500 packets,队列下限阈值 $q_{\min}$ 为 50 packets。同时令初试时刻有 25 条 TCP 连接,5 条 UDP 连接。为了验证 IBLUE 算法的有效性,这里将其与 BLUE 算法以及文献[5]中建立的 BLUE⁺ 算法进行对比。在图 2 中显示了这三种算法在 100 s 仿真时间内有效传输数据包个数的情况。从图 2 可以看出,本文提出的 IBLUE 算法整体性能最佳,其次是 BLUE⁺ 算法。对其做数据分析发现,IBLUE 算法较 BLUE⁺ 和 BLUE 的性能分别提高了 3.28% 和 6.13%。

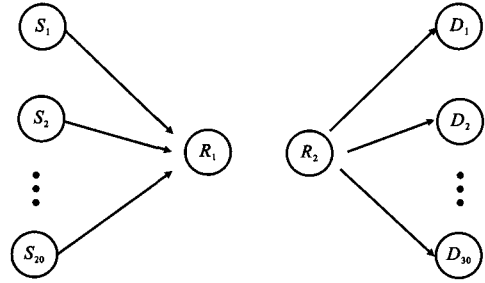


图1 网络仿真结构图

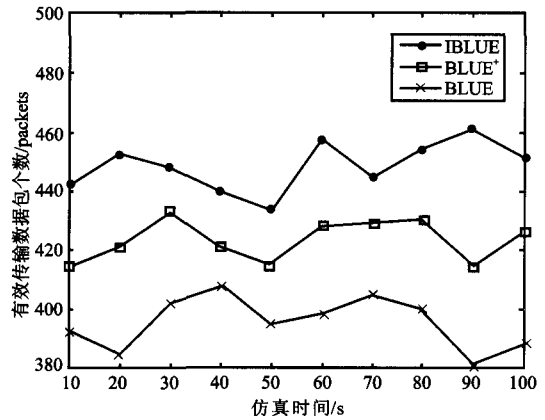


图2 有效传输数据包个数比较

其次,在图 3 中显示了这三种算法链路利用率与 UDP 连接数之间的关系。从图中可以看出,随着 UDP 连接数的增加,IBLUE 算法和 BLUE⁺ 算法的链路利用率始终保持在较高位,而 BLUE 算法却下降得比较严重。这是由于 UDP 非适应流的增加,导致网络中数据包的突发现象比较明显,BLUE 算法中丢包处理对应的队列长度范围较大,而 IBLUE 算法和 BLUE⁺ 算法分别设置了队列丢包下限,因此有效地避免了队列抖动造成的利用率降低情况。

由于本算法是利用免疫克隆模拟退火算法来刻画平均队列长度,为了深入研究其性能状况,这里对参数进行变化。针对不同初始温度 t 下,图 4 中给出了平均队列长度的变化情况。从图 4 可以看出,在初始时刻初始温度 t 越小对应的平均队列长度越小,

而在仿真后期初始温度 t 越大对应的平均队列长度越小. 这说明低温对降低短期的平均队列长度起着更大作用, 但是当系统趋于平稳时, 高温反而能够保持较低的平均队列长度.

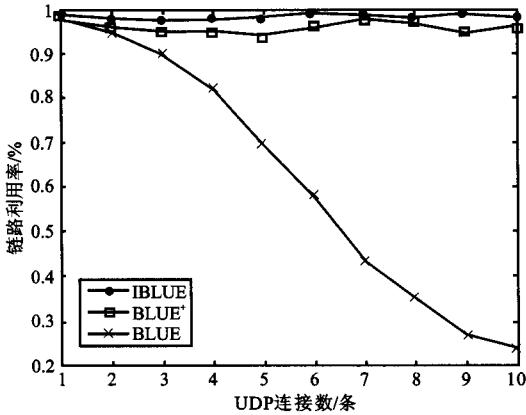
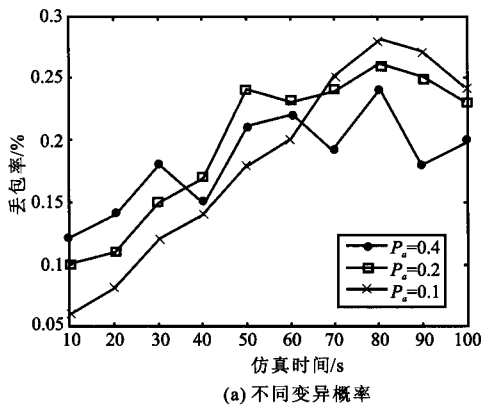


图3 链路利用率与UDP连接数之间的关系

进一步地, 针对不同变异概率 p_a 和交叉概率 p_b , 图5分别给出了丢包率的变化趋势. 从图5(a)来看, 在初始时刻变异概率 p_a 越大对应的亲和度差



(a) 不同变异概率

度越大, 抗体满足模拟退火准则的可能性就越小, 从而导致对应的丢包率将越大; 而在仿真后期, p_a 越大对应的亲和度差度越小, 抗体满足模拟退火准则的可能性就越大, 从而导致对应的丢包率将越小. 同样, 在图5(b)中也出现类似情况, 在初始时刻交叉概率 p_b 越大对应的丢包率越大, 后期则出现跳变.

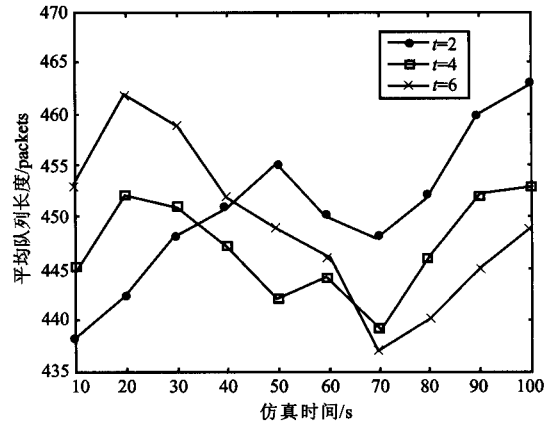
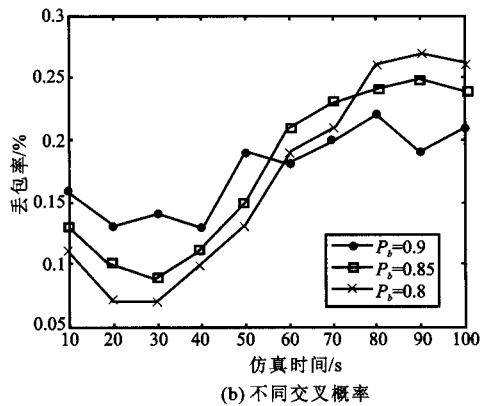


图4 平均队列长度变化情况



(b) 不同交叉概率

图5 丢包率变化情况

图6中给出了丢包率与克隆权重系数 η 之间的关系. 从图6可以看出, 随着克隆权重系数的增加, 丢包率先呈现出上升后呈现下降趋势. 这是由于在克隆权重系数比较小时, 增 η 加使得进化的种群规模数量增加, 从而影响退火收敛速度减缓, 当前的队列长度增量由此受到影响, 造成丢包率增加. 但是当达到极大值后, 克隆权重系数进一步增大造成质变, 此时抗体之间得以充分交叉操作, 从而影响丢包率降低.

5 结束语

为了解决 BLUE 算法中队列抖动较大的缺陷, 本文结合免疫克隆模拟退火算法提出了一种新的主

动队列管理算法 IBLUE. 该方法通过重新定义队列

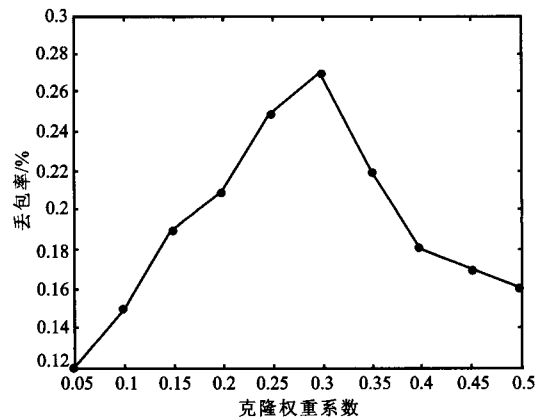


图6 丢包率与克隆权重系数之间的关系

为电网动态的潮流进行监控,结合现在光纤媒介在通信网的优点,极大的将实际电网资源的优化处理,为最终实现全光传通信网络打下坚实的基础。

6 结束语

DPON 技术在高效配电光纤网通信系统的应用,凭借着其数据传递量大、处理数据快的优点,并具有高强度的环网安全性和可靠性,能在建成安全、可靠地、高信息化的配电通信网平台的建设过程中发挥主导作用。

参考文献:

- [1] 朱瑞杰,于昉,夏增极,等. EPON 技术在配电网自动化中的应用[J]. 电力建设, 2011, 32(6): 49-53.
- [2] 张振良,仇英辉. 电力 GPON 系统的可行性研究[J]. 电力系统通信, 2011, 32(220): 51-55.
- [3] 李天蔚,付嘉渝. EPON 技术在电力配电通信网中的应

用[J]. 技术应用, 2011, 134(2): 134-135.

- [4] 李祥珍,何清素,孙寄生,等. 智能配电网通信组网技术研究及应用[J]. 中国电力, 2011, 44(12): 79-81.
- [5] 毛凯. 基于拓扑结构的计算机网络稳定性分析[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(12): 72-74.
- [6] 潘志宏,林永傍,黄红斌,等. 10G+GPON 技术研究及实现方案[J]. 通信技术, 2011, 34(5): 1-4.
- [7] 王时雨,贺占庄,张盛兵. 基于 FPGA 的以太网 MAC 控制器的实现[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(2): 171-175.

作者简介:

刘美容 女, (1977-), 博士后, 讲师. 研究方向为电网技术、电路故障诊断等。

李向新 男, (1982-), 硕士. 研究方向为电网通信网络及电能质量。

何怡刚 男, (1966-), 博士生导师, 教授. 研究方向为电网络技术、电路故障诊断等。

(上接第 84 页)

长度变化阈值范围以及丢包概率增量的权重系数, 以此平滑队列抖动现象, 并且通过实际数据对比研究了 BLUE、BLUE⁺ 等算法之间的性能差异, 同时深入分析了影响 IBLUE 算法的关键因素, 给出了链路利用率、丢包率、平均队列长度和变异、交叉概率等之间的关系. 结果表明本文提出的 IBLUE 算法具有较好的性能. 在后续研究中, 可以考虑结合被动队列管理等方法来建立一套完整的拥塞控制方法, 以此减少系统开销并能够有效解决网络拥塞。

参考文献:

- [1] 林闯,李寅,万剑雄. 计算机网络服务质量优化方法研究综述[J]. 计算机学报, 2011, 34(1): 1-14.
- [2] 汪浩,李晓明,严伟,等. 具有最小时间加权平方误差积分的主动队列管理算法 ISTE-PI[J]. 计算机学报, 2012, 35(5): 951-963.

- [3] Zhang W, Tan L, Peng G. Dynamic queue level control of TCP/RED systems in AQM routers[J]. Computers & Electrical Engineering, 2009, 35(1): 59-70.
- [4] 吴春明,姜明. SBlue: 一种增强 Blue 稳定性的主动式队列管理算法[J]. 通信学报, 2005, 26(3): 68-74.
- [5] 徐佳,殷新春,杨云. 一种精确度加强的主动队列管理算法 BLUE⁺ [J]. 计算机应用研究, 2006, 23(9): 23-26.
- [6] 许鹏飞,苗启广,李伟生,等. 基于函数复杂度的自适应模拟退火和禁忌搜索新算法[J]. 电子学报, 2012, 40(6): 1218-1222.
- [7] 左斌,胡云安,李静. 基于混沌退火的参数扰动递归神经网络极值搜索算法及其应用研究[J]. 电子学报, 2009, 37(12): 2651-2656.

作者简介:

张义良 男, (1978-), 讲师. 研究方向为计算机网络。