

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2017.03.012

# 一种考虑网络能效优化的队列管理方法

蒋丽丽<sup>1</sup>, 陈国彬<sup>1</sup>, 张广泉<sup>2, 3</sup>

(1. 重庆工商大学融智学院大数据研究所, 重庆 400033; 2. 苏州大学计算机科学与技术学院, 苏州 215006;  
3. 中国科学院计算机科学国家重点实验室, 北京 100080)

**摘要:** 针对网络数据传输过程中传输速率慢、网络能耗高等问题, 本文基于混合引力搜索算法 HGSA 提出了一种队列管理方法. 该方法首先给出了网络能效评价指标, 以此衡量网络的有效信息容量和传输速率. 同时利用混合引力搜索算法来对队列管理方法进行优化. 最后通过数学仿真, 分析了队列长度、数据包大小等对网络能效的影响, 结果证明了该方法具有较好的适应性.

**关键词:** 队列管理方法; 网络能效; 混合引力搜索算法; 队列长度

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2017)03-0499-05

## A queue management method based on optimized network energy efficiency

JIANG Li-Li<sup>1</sup>, CHEN Guo-Bin<sup>1</sup>, ZHANG Guang-Quan<sup>2, 3</sup>

(1. Big Data Institute of Rongzhi College, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400033, China;  
2. Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China;  
3. Computer Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract:** In order to promote the network data transmission rate and the energy efficiency of the network, a queue management method is proposed by hybrid Gravitational search algorithm. At first, the indexes of energy efficiency are defined, which are measured the effective information capacity and transmission rate. Then, the queue management method is optimized with hybrid Gravitational search algorithm. Finally, the mathematical simulation is conducted to analyze the influence of queue length and packet size on network energy efficiency. The results show that it has better adaptability.

**Keywords:** Queue management method; Network energy efficiency; Hybrid gravitational search algorithm; Queue length

## 1 引言

随着网络的飞速发展, 人们对于网络服务质量和网络能耗的要求日益增加. 然而传统的网路设计原则即超额的资源供给以及冗余设计, 造成网络链路的利用率和能效效率较低<sup>[1-5]</sup>. 因此, 网络能效优

化逐渐成为研究的热点和重点.

在保证网络服务质量的基础上, 关于网络能耗的改进方法也被提出. 文献[6]针对网络能耗问题提出了一种动态权重队列管理算法, 该算法针对单节点数据转发场景, 在保证业务流 QoS 的前提下, 有效地降低了系统的能效; 文献[7]针对网络全局

收稿日期: 2016-05-05

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目(KJ133103); 江苏省自然科学基金项目(BK2011152); 中国科学院计算机科学国家重点实验室开放课题(CSYSKF0908)

作者简介: 蒋丽丽(1981-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为网络优化和智能信息处理.

通讯作者: 陈国彬. E-mail: chen\_gb1982@163.com

研究网络整体能耗的算法,提出了 5 种网络能耗系统模型,并提出了相应的优化的节能路由算法,可以从网络路由的角度有效降低网络能耗;文献[8]针对传感器能量受限的特点,提出了一种多径流量路由分配算法 MFAR (Multipath Flow Allocating Routing),该算法能合理分配各路径流量,显著提高网络能量效率,在降低网络能耗的同时保证能耗分布均衡;文献[9]提出的无线传感器的动态规划路由算法能充分地利用有限的能量资源,较大的延长网络生存周期并降低节点的平均能耗;此外,常见的网络能耗优化算法还有区间多目标量子算法、睡眠-唤醒机制、博弈论等<sup>[10-13]</sup>。

此外,在网络流量管理方面,有效的措施是采取队列管理方法,可分为主动队列管理方式和被动队列管理方式.典型的主动队列管理方式是随机早期检测 RED(Random Early Detection)算法<sup>[14, 15]</sup>,它有效解决了全局同步问题,但存在着参数设置敏感问题.此外,常见的主动队列管理方式还有 BLUE、PID、CHOKe 等<sup>[16-18]</sup>,但这种方式增加了硬件开销,并存在响应滞后等缺点.而被动队列管理的典型代表方式是随机丢弃(Random Drop)、弃头(Drop Front)和弃尾(Drop Tail),其原理是当队列满时,分别从队列中部、首部和尾部丢弃数据包,以便新的数据包进入,但容易导致同步、死锁和满队列等问题。

尽管以上这些算法能在一定程度上优化网络能效,但随着人们对高速率网络的要求和对绿色网络的追求,仅仅局限于目前的队列管理算法是远远不够的,由此针对网络队列管理的能效优化问题,本文提出了一种新的混合引力搜索算法 HGSA (Hybrid Gravitational Search Algorithm),在保证数据传输速率快的同时降低系统的能耗,同时通过仿真实验验证该算法的性能状况。

## 2 队列管理模型

### 2.1 RED 队列管理方法

网络传输数据时往往会发生拥塞现象,当队列的长度达到限制时,路由器就会自动丢掉后到达的分组.为了提高传输效率,常常用到 RED 队列管理方法。

假设图 1 所示在  $t$  时刻有  $m$  个数据包,分类器将这些数据包进行分组,并按优先等级排序.设队列长度的最小门限和最大门限分别为  $Q_{\min}$  和  $Q_{\max}$ ,当每一个分组到达时 RED 就先计算平均队列长度

$q_{\text{avg}}$ ,并依据平均队列长度  $q_{\text{avg}}$  来计算分组丢包率  $P$ .平均队列长度  $q_{\text{avg}}$  可描述为

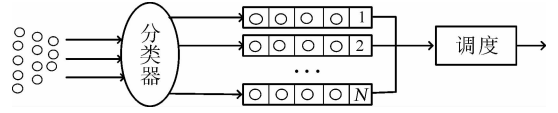


图 1 排队示意图

Fig. 1 The illustrations of queue

$$q_{\text{avg}} = \sigma q_{\text{avg}} + \frac{1 - \sigma}{2} q_1 \quad (1)$$

其中,  $\sigma$  为 0 到 1 之间的随机数,  $q_{\text{avg}}$  为  $t$  时刻之前的队列长度,  $q_1$  为当前队列长度样本.令  $C_{\text{num}}$  为新到达且未被丢弃的分组个数,则分组丢包概率计算公式,如下式所示。

$$P = \frac{(1 - \sigma) p_1}{1 - C_{\text{num}} \times p_1} \quad (2)$$

$$p_1 = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max} - q_{\text{avg}}} \times \frac{q_{\text{avg}} - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \quad (3)$$

RED 的目标是为了保持数据传输速率.同时,为了满足业务流质量,应保持各个业务流之间的时延差不变,令其为  $\epsilon$ ,当数据业务流到达时,系统解析出数据包的头部信息,按照服务等级的优先度进行排队.同时给每个队列  $n$  分配开始服务时间  $T_b(n)$  和结束服务时间  $T_e(n)$ ,它们满足下式。

$$(T_b(n, t) - T_e(n, t)) - (T_b(n-1, t) - T_e(n-1, t)) = \epsilon \quad (4)$$

同时,开始服务时间  $T_b(n)$  和结束服务时间  $T_e(n)$  满足

$$\begin{cases} T_b(n) = \max\{T_e(n) - 1, Vt(n)\} \\ T_e(n) = T_b(n) + \frac{q_{\text{avg}}(n)}{1 + \lambda} \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $\lambda$  为进程服务率;  $Vt(n)$  表示第  $n$  个分组的到达时间;  $q_{\text{avg}}(n)$  为第  $n$  个分组的平均队列长度.为了提高队列管理效率,这里考虑网络能效进行优化。

### 2.2 基于网络能耗的队列管理方法

为了提高网络传输效率,这里考虑引入网络能效来对队列管理方法进行改进.在网络中影响数据包传输能效的因素主要有控制资源开销、丢包率、重传次数等.假设传输一个数据包需要的总能耗为  $e_{\text{total}} = e_1 + e_2$ ,  $e_1$  为发送数据包所消耗的单位能耗,  $e_2$  为接收一个数据包所消耗的单位能耗.令

$$e_1 = \frac{\tau_1 q_s + \tau_2 q_s + (1 - P) q_r}{1 + \lambda R} + (\tau_1 + \tau_2) \sigma \epsilon \quad (6)$$

$$e_2 = \frac{\omega_1 q_s + \omega_2 q_r + P q_r}{(1+\lambda)R} + (\omega_1 + \omega_2)(1+\sigma)\epsilon \quad (7)$$

其中,  $\omega_1$  和  $\omega_2$  分别表示发送数据和接受数据的具有固有功率;  $q_s$  为传输数据包的队列长度;  $q_r$  接收数据包的队列长度, 平均队列长度  $q_{avg} = q_s + q_r$ ;  $R$  为数据传输的速率;  $u$  为帧负荷长度. 这里定义网络能耗比  $\rho$  为

$$\rho = \frac{((\omega_1 + \lambda M) + \sigma \omega_2)(1+u)}{e_1 + e_2}(1-p) \quad (8)$$

其中,  $M$  表示有效信息容量. 令网络的传输带宽为  $\lambda$ ; 干扰方差为  $\theta^2$ ; 网络覆盖半径为  $r$ ; 传输路径的衰减因子为  $\kappa$ ; 错误比特率为  $\varphi$ . 由此有效信息容量  $M$  为

$$M = \frac{\pi(1+r)^2 \lambda A(1-\varphi)}{1+\theta^2} \quad (9)$$

其中,  $A = \ln\left(\frac{1.5n\omega_0 + |\omega_1 - \omega_2|}{-r^{1+\kappa} \ln(5\varphi)\theta^2} + 1\right)$ ,  $\omega_0$  为网络中的传输 1 比特数据所需要的功率.

### 3 基于混合引力搜索算法的队列管理方法

为了优化网络能效, 提高网络的有效信息容量和传播速率, 这里结合混合引力搜索算法 HG-SA<sup>[19, 20]</sup> 来建立新的队列管理方法. 引力搜索算法模拟万有引力现象, 遵守牛顿第二定律, 且具有很强的全局搜索能力, 能很好的解决优化问题. 在 HGSA 中, 队列中的分组是有质量的无阻力的运动体, 每个分组会受到空间中其它分组对它的影响, 运动轨迹也遵守牛顿第二定律, 由万有引力公式  $F = \frac{GMm}{r^2}$  和牛顿第二定律  $F = ma$  得知, 质量小的组会在引力的作用下向着质量大的组运动, 这样质量小的组就能逐渐靠近质量大的组, 这样就能得出群体中的最优解, 找出最长的队列. 混合引力搜索算法步骤描述如下.

(1) 设在  $M$  维网络空间中有  $m$  个分组,  $Z_i = [z_i^1, z_i^2, \dots, z_i^M]$  表示网络中第  $i$  个组在  $M$  维网络中的坐标, 其中  $z_i^M$  为网络中第  $i$  组在  $M$  维坐标上的取值. 第  $i$  组在某一时刻  $t$  作用在网络中第  $j$  组上的引力  $F_{ij}^M(t)$  为

$$F_{ij}^M(t) = \frac{G(t) \times M_i(t) \times M_j(t)}{1+r_{ij}(t)} \quad (10)$$

其中,  $M_i, M_j$  分别为组  $i$  和  $j$  的惯性质量(这里将数据包能耗看作惯性质量);  $r_{ij}(t)$  为在  $t_1$  时刻  $i$  和

$j$  组之间的径向矢量(两个分组之间的距离);  $G_0$  为初始万有引力常量;  $G(t)$  表示  $t$  时刻万有引力的常量.

$$G(t) = \frac{G_0}{e^{\frac{t}{T}}} \quad (11)$$

(2) 根据队列管理方法, 建立网络能效  $\rho$  适应度函数表达式.

$$f = \frac{1}{1+e^\rho} \quad (12)$$

(3) 由于各组的质量是各组的一种属性, 是各组量的量度, 它是由适应度  $f$  决定, 由式(13)和式(14)来计算出每个分组的惯性质量  $M_i(t)$ , 如下式所示.

$$M_i(t) = \frac{1+m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (13)$$

$$m_i(t) = \frac{f_i(t) - f_b(t)}{f_a(t) - f_b(t)} \quad (14)$$

其中,  $f_i(t)$  表示  $t$  时刻第  $i$  个分组的适应度值;  $f_a(t)$  和  $f_b(t)$  分别为  $t$  时刻第  $i$  个分组的最佳适应度和最差适应值;  $f_a(t) = \min_{i \in \{1, 2, \dots, N\}} f_i(t)$ ,  $f_b(t) = \max_{i \in \{1, 2, \dots, N\}} f_i(t)$ . 同时产生新的寻优节点  $Z_{opt}$ .

$$\delta = \frac{R(1+\text{rand}())}{e^M} \quad (15)$$

$$Z_{best} = z_{i_e}^{1+Q} \quad (16)$$

其中,  $R$  为两个最优解之间的径向矢量;  $\text{rand}()$  为取 0 到 1 之间的随机数;  $\delta$  为产生新解的变化因子.

(4) 由于引力  $F$  的变化, 由牛顿第二定律可知加速度  $a$  在不断的变化, 粒子  $i$  在  $M$  维网络空间

中的加速度  $a_i^M(t) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N \text{rand}() \times F_{ij}^M(t)}{e^{1+M(t)}}$ , 因此各组的在队列中的移动速度和位置更新公式如式(17)和式(18).

$$V_i^M(t+1) = (1-\text{rand}())v_i^M(t) + e^M a_i^M(t) \quad (17)$$

$$z_i^M(t+1) = z_i^M(t) + (1+e^M)v_i^M(t) \quad (18)$$

(5) 更新分组的移动速度和在网络中的位置, 直到  $T_{best}(t)$  达到一定的精度, 计算出在不同时刻数据包队列的平均长度  $q_{avg}$ , 应用引力公式计算出两个分组之间的距离, 利用移动速度来计算出分组到达的时间, 且根据求导定律计算出全局最优能耗  $\rho$ . 否则跳转到步骤(2)重新执行上述步骤.

### 4 仿真实验

根据图 1 所示的排队环境, 这里利用仿真实验

来验证上述队列管理算法的有效性. 令最小门限  $Q_{\min}=20$ , 最大门限为  $Q_{\max}=120$ ,  $C_{\text{num}}=5$ ,  $q_{\text{avg}}=50$ ,  $\varphi=0.002$ ,  $\tau=2048$ ,  $\omega_0=20$ ,  $\kappa=0.002$ ,  $\omega=3$ ,  $\alpha=10^{-3}$ ,  $\xi=1.2 \times 10^{-3}$ . 由以上能效分析可知, 队列平均长度对效能有一定的影响, 取  $a_i$  表示速度变化权重值, 令  $a_1=0.2$ ,  $a_2=0.4$ ,  $a_3=0.6$ , 图 2 显示了不同速度权重值下的能耗结果, 从图 2 中可以看出, 随着队列长度  $L_{AV}$  的增大能耗也在不断的增加, 增加趋势随着队列长度的增大也变得越来越陡峭. 由图中还能看出在相同的队列长度当时, 数据的传输速率越大它的能耗也越大; 在速度变化权重值相同的情况下, 队列长度越长它的能耗也越高.

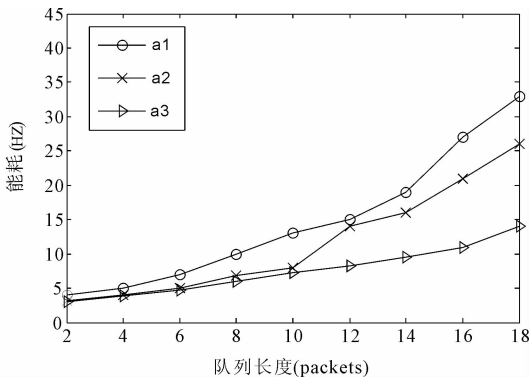


图 2 队列长度与能耗的关系

Fig. 2 The relation between queue length and energy consumption

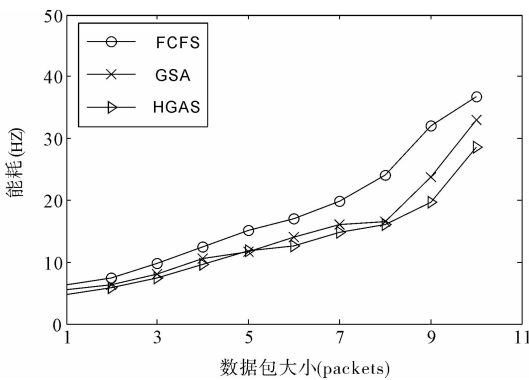


图 3 数据包大小与能耗的关系

Fig. 3 The relation between packets and energy consumption

其次, 这里取相同的速度变化权重值, 将数据包大小进行变化, 图 3 显示了 FCFS、GSA、HGSA 四种队列管理方法的网络能耗情况. 从图 3 中可以看出, 大小不同的数据包, 其网络能耗变化差异较大. 在同一种队列管理中, 数据包大小越大它的网络能耗也越大; 在数据包大小相同的情况下, HGSA 队

列管理的网络能耗最小, GSA 队列管理次之, FCFS 队列管理的网络能耗最大.

同时, 图 4 给出了时延与能耗之间的关系. 从图 4 可以看出, 随着时延增加, 三种队列管理方法的网络能耗都在不断减少, 但减少最明显的是 HGAS, 在时延 45 ms 仍然没有停减的趋势. 同时还可以观察到不同调度策略下, 不同时延的网络能耗是不同的, 且时延越大网络能耗越低; 在不同的队列管理方法中, 但时延相同的情形下, HGAS 的网络能耗比其他两种队列管理方法的网络能耗低.

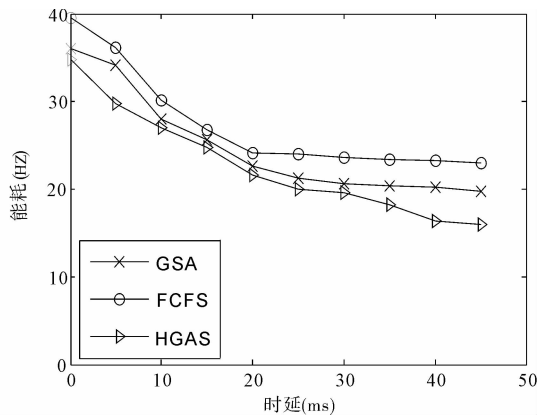


图 4 时延与能耗的关系

Fig. 4 The relation between time delay and energy consumption

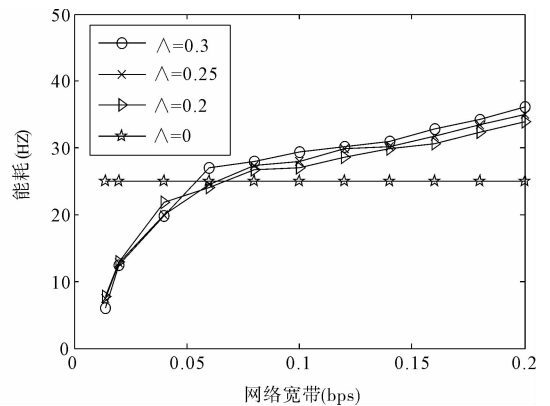


图 5 网络带宽与能耗的关系

Fig. 5 The relation between network bandwidth and energy consumption

最后, 图 5 给出了网络带宽与能耗的关系, 从图中能直观的看出当带宽因子  $\lambda=0$  时, 网络的能效为一个定值; 在输出功率一定的情况下, 网络能耗受带宽因子的影响, 随着带宽的因子  $\lambda$  的不断增大能耗也在不断的增大; 在带宽因子一定的情况下, 网络能耗受输出功率的影响, 输出功率越大能耗越大. 所以在进行网络能效优化时应全面考虑,

选取最合适的带宽  $\lambda$  和输出功率. 从以上图中能看出 HGAS 调度策略在网络能耗优化中的优势, 由此证明了该队列管理方法的有效性.

## 5 结 论

本文针对网络数据传输过程中网络能效优化问题, 提出一种基于混合引力搜索算法的队列管理方法, 该方法结合网络能效函数对网络进行能效优化, 能提高网络的有效信息容量和传播速率, 具有强大的全局搜索能力, 能更加灵活的分配各类网络业务的服务速率. 同时通过数学仿真, 证明了该方法该调度策略的可行性和科学性. 在此后的研究工作中, 可以考虑结合多种调度策略与能耗优化算法来建立一套完整的评价体系.

## 参考文献:

- [1] Ken C, Pedro R, Bruce N, *et al.* IEEE 802.3az: the road to energy efficient Ethernet [J]. IEEE Commun, 2010, 48(11): 50.
- [2] Bianzino A P, Chaudet C, Rossi D, Rougier J L. A survey of green networking research [J]. IEEE Commun Surv Tut, 2012, 14(1): 3.
- [3] Zou Y, Zhu J, Zhang R. Exploiting network cooperation in green wireless communication [J]. IEEE Trans Commun, 2013, 61(3): 999.
- [4] Zhang Y, Chowdhury P, Tornatore M, *et al.* Energy efficiency in telecom optical networks [J]. IEEE Commun Surv Tut, 2010, 12(4): 441.
- [5] 罗娅, 陈文. 一种安全的无线传感器网络分布式决策融合方法 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2015, 52(3): 499.
- [6] 谢泽华, 周金和, 唐志军. 面向网络能效优化的动态权重队列管理方法 [J]. 计算机应用, 2016, 36(4): 889.
- [7] 张法, Antonio F A, 王林, 等. 网络能耗系统模型及能效算法 [J]. 计算机学报, 2012, 35(3): 603.
- [8] 郝晓晨, 贾楠, 刘彬. 基于能效优化 WSNs 多径流量分配路由算法 [J]. 电子与信息学报, 2011, 33(7): 1568.
- [9] 彭利民, 刘浩. 无线传感器网络中的能效优化路由算法 [J]. 计算机应用研究, 2010, 27(6): 2198.
- [10] 郭一楠, 王春, 刘海媛, 等. 基于区间多目标量子文化算法的无线传感器网络覆盖能效优化 [J]. 控制与决策, 2015, 30(3): 425.
- [11] 伍元胜, 郭兵, 沈艳, 等. 面向核心网的多层网络能耗优化方法 [J]. 计算机学报, 2013, 36(7): 1539.
- [12] Jammal M, Singh T, Shami A, *et al.* Software defined networking: state of the art research challenges [J]. Comput Networks, 2014, 72(11): 74.
- [13] Parekh A K, Gallagher R G. A generalized processor sharing approach to flow control in intergrated services networks: the multiple node case [J]. IEEE/ACM Trans Network, 1994, 2(2): 137.
- [14] Liu S, Basar T, Srikant R. Exponential-RED: a stabilizing AQM scheme for low-and high-speed TCP protocols [J]. IEEE/ACM Trans Network, 2005, 13(5): 1068.
- [15] Christiansen M, Jeffay K, Ott D, *et al.* Tuning RED for web traffic [J]. IEEE/ACM Trans Network, 2001, 9(3): 249.
- [16] 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.
- [17] Wu T B, Liu Z R, Wang J N. Optimizing PID parameters based on improved chaos algorithm [J]. J Elec Measur Instr, 2007, 21(4): 59.
- [18] Wen S S, Fang Y G, Sun H R. Differentiated bandwidth allocation with TCP protection in core routers [J]. IEEE Trans Parallel Distr, 2009, 20(1): 34.
- [19] 毕晓君, 刁鹏飞, 肖婧. 基于混合策略的引力搜索算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(11): 2308.
- [20] 张英杰, 龚中汉. 基于阈值统计学习的差分进化引力搜索算法 [J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(10): 2187.