

# 针对 CDMA 下行链路资源分配的优化算法

焦殿科

(辽宁工业大学 电子与信息工程学院, 辽宁 锦州 121001)

摘要: 第三代移动通信系统中需要设计合理的突发数据准入控制算法, 这对于有效利用宝贵的带宽资源以满足用户高速数据请求至关重要。对此该文在 CDMA2000 下行链路 MAC 层进行了探讨, 提出了一种基于蚁群优化算法的方案, 对突发的高速数据请求分配系统资源(即:信道)。仿真采用事件驱动并考虑了软切换, 与传统的基于“先到先服务”方案进行了对比, 结果表明平均吞吐率、平均时延均有改善。

关键词: CDMA; 准入控制; 蚁群优化; 突发数据; 资源分配

中图分类号: TN929.533 文献标识码: A 文章编号: 1000-7024(2008)17-4461-04

## Optimal algorithm for resource allocation based on CDMA downlink

JIAO Dian-ke

(College of Information Science and Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China)

**Abstract:** A judicious burst admission control algorithm is crucial for the third generation mobile communication system to effectively harness the precious bandwidth while satisfying the high data rate (HDR) requests from users. The downlink of CDMA 2000 in the MAC layer is considered. The proposed algorithm is based on ant colony optimization (ACO) to allocate valuable resources (i.e. channels) to burst HDR requests. The performance is evaluated by event-drive simulations which takes account of soft handoff. The result shown that the performance is improved by using average throughput and average packet delay, compared to the conventional “First Come First Serve” (FCFS) principle.

**Key words:** CDMA; admission control; ant colony optimization (ACO); burst data; resource allocation

### 0 引言

第三代移动通信采用码分多址(CDMA)技术, 提供语音和高速数据业务服务。由于数据业务具有突发性的特点, 即静止时间长, 业务量相对集中, 使得以往在语音服务中一些设计不再适用。因此突发数据业务的准入控制及资源(例如信道)优化分配就成为急需解决的问题。突发数据准入控制一般基于对信号功率和干扰的测量。文献[4,5]考虑了单用户突发数据请求, 文献[8]研究了多用户突发数据请求, 但对各用户没有区别对待。对于移动通信的资源分配, 既要考虑系统吞吐率, 还要考虑系统延迟(即公平)<sup>[1,2,9]</sup>。本文在 CDMA2000 下行链路的 MAC 层对多用户突发准入及资源分配进行空间维和时间维优化, 把系统平均吞吐率(最大化)和系统平均时延(最小化)作为优化目标, 并考虑了功率约束和软切换, 利用蚁群优化进行资源优化分配。仿真采用事件驱动方法, 并与 CDMA2000 先到先服务(FCFS)方案进行了对比。仿真结果表明本文提出的方案优于传统的资源分配方案。

### 1 突发数据的准入设计

CDMA 系统下行链路(基站到移动台)具有功率受限的特

点。一般来说, 下行链路多用户高速分组数据业务突发准入条件是: 数据用户突发请求被准入时, 所需的额外功率不能降低本小区或邻近小区正在工作用户的 QoS。因此, 需要确定 CDMA2000 下行链路突发数据的准入区域。

假设基本信道(FCH)的吞吐率, 扩频增益及传输速率不变, 在突发数据请求之前, 用户的基本信道已经建立起来, 且忽略建立补充信道的延迟。则基本信道的传输速率可作为基本速率, 令补充信道(SCH)与基本信道的传输速率分别为  $R_{SCH}$  和  $R_{FCH}$ , 二者之比记为  $m$

$$m = \frac{R_{SCH}}{R_{FCH}} \quad (m \in [0, M]) \quad (1)$$

即传输高速数据的补充信道速率  $R_{SCH}$  为  $m$  倍的基本速率  $R_{FCH}$ , 或者说高速数据用户分配到的补充信道数量是  $m$ 。当  $m=0$  时, 表示该用户的突发数据请求被拒绝。其中,  $M$  表示可分配的最大信道数量, 它取决于可用的正交扩频码(如 Walsh 码)。

由于 CDMA2000 的功率控制是在基本信道完成的, 因此, 用于传输高速分组数据补充信道的功率需要通过基本信道功率来计算。设在第  $k$  个 ( $k \in [1, K]$ ) 小区有  $N_a$  个高速数据用户提出准入请求, 基站  $k$  分配给其中用户  $j$  ( $j \in [1, N_a]$ ) 基本信道功率记为  $P_{j,k}^{FCH}$ , 假定每个补充信道发射功率都相同且与基本信道发

收稿日期: 2008-03-26 E-mail: diankejiao@163.com

作者简介: 焦殿科 (1953 -), 男, 副教授, 研究方向为计算机网络通信技术。

射功率相等。因此新加入的数据用户 $j$ 需要基站增加的额外功率 $\Delta P_{jk}^{SCH}$ 为

$$\Delta P_{jk}^{SCH} = m_j P_{jk}^{FCH} \quad (2)$$

当 $\Delta P_{jk}^{SCH} = 0$ 时表示基站 $k$ 不在用户 $j$ 的软切换集中。鉴于用户的移动性,需考虑用户的软切换。CDMA2000 在处理高速分组数据业务时,为了减轻下行链路负担,补充信道使用的软切换集为基本信道软切换集的子集,即在基本信道软切换集中选取导频强度( $E_c / I_0$ )最大的两个基站作为补充信道的软切换集。因此式(2)变为

$$\Delta P_{jk}^{SCH} = m_j P_{jk}^{FCH} \alpha_j \quad (3)$$

式中 $\alpha_j$ ——调整因子,通过链路层仿真可分别得到在基本信道软切换集下和补充信道软切换集下数据用户发射功率对照表,从而得到 $\alpha_j$ 。

$K$ (包括 $K-1$ 个相邻小区)个小区下行链路的突发数据准入条件为新加入的数据用户分配的额外功率不能影响现有用户(本小区及相邻小区)的QoS,即满足下面的功率约束

$$\sum_{j=1}^{N_u} \Delta P_{jk}^{SCH} = \sum_{j=1}^{N_u} m_j P_{jk}^{FCH} \alpha_j \quad P_{\max} - P_k \quad (k=1,2,3,\dots,K) \quad (4)$$

式中 $P_{\max}$ ——基站总的发射功率。 $P_k$ —— $k$ 小区现有用户使用的功率。下标 $k$ 表示基站号, $k=1$ 代表本小区基站,否则 $k$ 代表相邻小区基站(对于用户 $j$ 而言,相邻小区指的是在补充信道软切换集中的小区)。式(4)不等号左边记为

$$\sum_{j=1}^{N_u} \alpha_j P_{jk}^{FCH} m_j = Am \quad (5)$$

于是式(4)可表示为

$$Am \leq P \quad (6)$$

其中 $m = [m_1, m_2, \dots, m_{N_u}]'$ ,  $P = [(P_{\max} - P_1), (P_{\max} - P_2), \dots, (P_{\max} - P_K)]'$ ,  $A$ 为 $K \times N_u$ 矩阵,其元素为 $a_{jk} = P_{jk}^{FCH} \alpha_j$ 。式(6)中 $P_k$ 及 $P_{jk}^{FCH}$ 可由基站测得。在用户端,用户对接收到的导频信号强度 $E_c / I_0$ 进行测量,并通过反馈信道传送给基站,基站根据用户发送来的导频强度及相应的BER指标,利用式(6)判断是否给高速数据用户 $j$ 分配补充信道,即是否满足准入条件,以及对准入的高速数据用户 $j$ 分配补充信道的数量 $m_j$ ,从而确保新加入的高速数据用户不会影响本小区及相邻小区用户的QoS。

## 2 基于蚁群优化的突发数据准入的优化

突发数据用户只要满足式(6),即突发数据准入范围,系统就会分配分配相应的资源(即信道)。为了有效的利用无线资源,突发数据准入控制的优化目标一般是得到使平均吞吐率最大的资源分配,即 $m$ ,然而单纯追求平均吞吐率最大,会导致平均时延增加,系统有失公平,因此资源优化分配策略要兼顾平均吞吐率和平均时延两项性能指标。

蚁群优化是基于仿生学的一种优化方法,它利用人工蚂蚁来模仿自然界中蚂蚁觅食方法,寻找问题的最优解。每代蚂蚁在觅食路径上会留下一定量不断挥发的荷尔蒙(pheromone,一种挥发性的化学物质),最优路径上通常会聚集较多的荷尔蒙,较多的荷尔蒙进一步吸引下一代蚂蚁选择该路径,从而形成正反馈,经过若干代蚂蚁的选择得到问题的最优解<sup>[3]</sup>。每一代蚂蚁在选择下一个节点时是依概率进行的,这个概率受两种因素的影响,一是荷尔蒙强度 $\tau_{ij}$ ,二是该节点特

征参数 $\eta_{ij}$ ,概率计算公式<sup>[7]</sup>为

$$P_{ij} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in \epsilon} [\tau_{ik}]^\alpha [\eta_{ik}]^\beta} \quad (7)$$

式中 $j$ ——突发数据请求用户的序号, $j \in [1, N_u]$ 。 $i$ ——分配的信道数量, $j \in [0, M]$ 。 $\alpha$  $\beta$ 体现了荷尔蒙与节点特征参数的相对影响,故 $\alpha$ 取为1,通过 $\beta$ 来调节荷尔蒙与节点特征参数的相对影响<sup>[7]</sup>。节点的含义为信道的分配,即给用户 $j$ 分配 $i$ 个补充信道,例如 $\tau_{ij}$ 表示当蚂蚁选择给高速数据用户 $j$ 分配 $i$ 个补充信道时,蚂蚁留在这一节点(信道分配)的荷尔蒙值。 $\epsilon$ 为提出突发数据准入请求的用户集合。根据式(7)计算出的概率调整各节点的值 $\tau_{ij}$ 和 $\eta_{ij}$ 值。 $\tau_{ij}$ 调整分为两步:各节点荷尔蒙值减小(即挥发)。被选中的节点(概率最大)荷尔蒙值增加。方法如下

(1)各节点荷尔蒙挥发后的值为

$$\tau_{ij} = \tau_{ij}(1 - \rho) \quad (8)$$

(2)对于选中的节点,荷尔蒙值为

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \rho \frac{f(\mu)}{1 + f(\mu)} \quad (9)$$

式中 $\rho$ 为荷尔蒙的蒸发率, $f(\mu)$ 表示为

$$f(\mu) = \sum_{j=1}^{N_u} m_j \propto \sum_{j=1}^{N_u} R_j^{SCH} \quad (10)$$

由式(10)可看出 $f(\mu)$ 与吞吐率成正比,式(9)表明吞吐率较大时, $\tau_{ij}$ 值也较大。由式(7),概率值 $P_{ij}$ 也会较大(假定 $\eta_{ij}$ 相同),这样导致吞吐率较大的节点(信道分配)会被优先选中。

$\eta_{ij}$ 的调整采用下式

$$\eta_{ij} = w_j \quad (11)$$

式中 $w_j$ ——突发数据用户 $j$ 的延时时间(从发起呼叫到完成数据传输所耗费的时间)。由式(11)知,导致延时时间较大的节点,其 $\eta_{ij}$ 也较大,该节点被选中的概率值 $P_{ij}$ 也相应较大(假定 $\tau_{ij}$ 相同),被优先选中的节点应为延时较大的数据用户,这样的选择可降低系统的平均时延。

综上所述,概率值 $P_{ij}$ 由 $\tau_{ij}$ 及 $\eta_{ij}$ 共同决定,其中 $\tau_{ij}$ 由吞吐率决定, $\eta_{ij}$ 由延时决定,因此,二者共同作用的结果,使概率值兼顾了吞吐率最大化与延迟最小化,满足资源优化的要求。

本文采用20代蚂蚁来寻找最优解,每一代蚂蚁留下的荷尔蒙值,供下一代蚂蚁在计算概率时使用。 $\eta_{ij}$ 为当前的等待时间加上预期的传输时间,预期传输时间指以上一次分配的速率进行传输,需要的传输时间。蚁群优化的结束条件为:经历了20代蚂蚁搜索。连续3代蚂蚁的搜索结果相同,即分配的资源 $m$ 相同。基于蚁群优化的优化处理过程如图1所示。

- (1)初始化 $\tau_{ij}$ ,  $\eta_{ij}$ ,  $\epsilon$
  - (2)计算及概率 $P_{ij}$
  - (3)取概率 $P_{ij}$ 的最大值
  - (4)计算功率 $\Delta P_{jk}^{SCH}$ ,判断功率约束条件  
若满足功率约束  $m_j = m_j + 1$   
若不满足功率约束:去掉 $j$ 用户,返回(3)
  - (5)更新 $\tau_{ij}$
  - (6)ant\_age=ant\_age+1
  - (7)若ant\_age>20或 $m$ 连续3次相同,更新 $\epsilon$ ,结束蚁群优化。否则,返回(2)。

图1 基于蚁群优化的处理过程

蚁群优化中参数有 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\rho$ ,其中 $\alpha$ 、 $\beta$ 用于调整荷尔蒙与节点特征参数的相对影响,因此 $\alpha > \beta$ 表示荷尔蒙对概率的影响相对于节点特征参数的影响更大,节点概率受荷尔蒙的影响更大。 $\alpha = \beta$ 表示荷尔蒙与节点特征参数的作用相同。 $\alpha < \beta$ 表示节点的选择受节点特征参数的影响较大。本文 $\alpha$ 取为1,通过 $\beta$ 来调整相对影响。在开始5代取节点特征参数相对影响因子 $\beta = 2$ ,以加强 $\eta_{ij}$ 的影响,引导最初5代蚂蚁搜索。在荷尔蒙值逐渐积累到一定程度后,取 $\alpha = \beta = 1$ ,荷尔蒙值与节点特征参数的影响相同,蚂蚁在荷尔蒙与节点特征参数的双重引导下进行搜索,由于节点特征参数不利于蚁群优化算法的收敛<sup>[7]</sup>,因此在最后的5代 $\beta$ 取为0(仍为1),节点特征参数的影响不存在,这样在搜索后期蚂蚁仅在荷尔蒙的引导下进行搜索。 $\rho$ 值表示荷尔蒙蒸发率,搜索初期,取较低的蒸发率,这样有利于荷尔蒙的积累,而在搜索的后期,蒸发率应该较大,以加快算法收敛,因此取

$$\rho = 0.025 * e^{ant-age-1} \quad (12)$$

式中 $ant-age$ ——蚂蚁的代数,值为1到20之间的整数。

### 3 仿真分析

在仿真分析中,小区的分布如图2所示,小区结构为正六边形(3扇区)的蜂窝小区,基站设在小区的的中心,距离损耗采用 $d^{-\alpha}$ ,阴影衰落采用Mawira模型<sup>[6]</sup>。其它参数如表1所示。

表1 物理层参数

路径损耗指数( $\alpha$ )	4
码片速率	7.3728 Mcps
FCH速率	14.4 kbps
SCH速率	14.4 kbps - 1.8432 Mbps
$E_b / I_0$ [FCH]	7 dB
$E_b / I_0$ [SCH]	13 dB
BER[FCH]	$10^{-2}$
BER[SCH]	$10^{-4}$

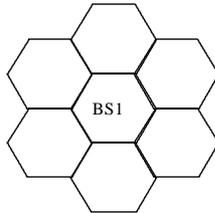


图2 小区分布

高速数据用户均匀分布在小区内,数据用户到达服从几何分布,其均值为1.5 user/slot。每个数据用户在每个数据突发期的信息包数量也服从几何分布,均值为15 packets/user,每个信息包长度为896字节。为与功率控制相配合,取时隙长度为1.25 ms。

假定在每个时隙内,数据用户功率,语音用户功率,软切换保持不变。在每个时隙开始时,检查是否有事件产生,包括:数据用户到达事件,数据用户离开事件,软切换到达事件,软切换离开事件等,为便于比较,认为语音用户的持续时间远大于高速数据用户的持续时间,于是可假定数据用户传输期间语音负载不变,文中也给出了几种语音负载(如表2所示)下的比较。

表2 语音负载分组

	ACO(a)	CDMA2000(a)	ACO(b)	CDMA2000(b)
负载/%	50	50	80	80

仿真中,取100个时隙为一个突发期,并假定在100个时隙后不再有新的数据用户到达,通过事件驱动仿真收集相关数据,如吞吐率、时延等,然后采用每10个时隙为一个时间段,计算平均吞吐率和平均时延。表2给出了两种语音用户负载

情形以便对比。a组为语音用户负载适中的情形,b组为语音用户负载较重的情形。ACO表示本文基于蚁群优化的方案,CDMA2000表示基于CDMA2000先到先服务的方案。

对比基于蚁群优化的方案与CDMA2000先到先服务方案,图3和图4给出了两种语音负载情况下仿真结果。上述两图都表明,基于蚁群优化的突发准入算法比传统的CDMA2000先到先服务方案具有一定的优越性。由图3可以看出尽管不同负载对先到先服务方案影响较小,但基于蚁群优化的优化方案使系统平均吞吐率较先到先服务方案有了提高,例如分配的信道数量最大值分别为7和13,而基于先到先服务方案信道分配的最大值仅为4。此外,基于蚁群优化优化方案曲线都在先到先服务方案曲线的上方,也表明平均吞吐率有了普遍提高。关于延迟时间,图4说明基于蚁群优化优化方案具有较大优势,这是由于蚁群优化不是按照数据到达的先后次序来组织发送,而是综合了信道状况(SIR),功率限制,用户等待时间等因素选择发送次序,因此,它能够充分利用信道的带宽,使平均吞吐率,平均时延等性能指标有了改善。

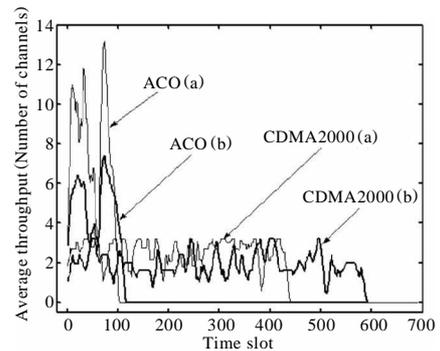


图3 平均吞吐率的比较

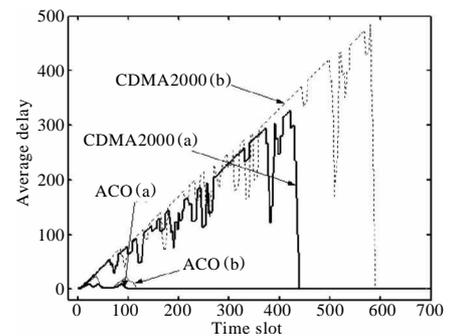


图4 平均时延的比较

表3给出两种算法在不同的语音负载下(如表2所示),完成同样长度的突发数据所耗用的时间,仿真中仅截取100个时隙的数据,并假设100个时隙后没有新的数据到达。表3中前两项为中等负载,后两项为重负载,负载加重时,完成时间均有所增加,这是可以理解的。相同负载时,基于蚁群优化方案的完成时间分别比先到先服务方案的完成时间缩短76%(a

表3 完成时间的比较

	CDMA2000(a)	ACO(a)	CDMA2000(b)	ACO(b)
完成时间(slot)	438	103	589	116

组)和80%(b组)。需要说明的是,由于系统处理能力上的限制,数据全部处理完需要的时间大于了100个时隙,对于超出100个时隙的数据处理还应该考虑100个时隙后新加入的数据并一同进行基于蚁群优化的资源分配,但总的来说,表3说明了基于蚁群优化的方案较先到先服务的方案在数据处理时间上大大缩短。

#### 4 结束语

本文提出了基于蚁群优化的突发数据准入及资源分配优化方案。在CDMA2000环境下,综合功率约束以及BER、软切换等因素,得到下行链路突发数据的准入范围。在MAC层用蚁群优化对信道资源进行优化分配。并与先到先服务方案作了对比,仿真结果表明系统的平均吞吐率及平均时延两项指标均有改善,证明本文提出的方案是可行的且优于传统的先到先服务方案。

#### 参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Levine D A, Joe I. A slotted CDMA protocol with BER scheduling for wireless multimedia networks [J]. IEEE ACM Trans Networking, 1999, 7(2): 146-158.
- [2] Cao Y, Li V O K. Scheduling algorithms in broadband wireless networks [J]. IEEE, 2001, 89(1): 76-87.

(上接第4460页)

大,并且其丢包率也比较高。改进后的WRED算法有效地降低了丢包率的波动范围,而且减少了丢包率,说明对于异质网络环境下利用来自不同拥塞观测变量的信息灵活改变概率丢失函数中多个参数变量对拥塞反应具有一定的缓解作用。

WRED改进算法能提供更强的分级控制,当网络拥塞发生时能有效的利用分级保证传往不同性质网络分组都能较好的传送。基于以上对比和分析,我们认为WRED改进算法较适合在不同类型网络连接点处使用。

#### 4 结束语

本文在分析了RED及其变种算法的基础上,改进了RED算法的概率丢失函数来融合来自不同网络不同拥塞观测变量的分组信息,用仿真试验对RED算法与改进后的WRED算法的性能进行了简单的比较,结果表明这种改进后的WRED算法具有更好的稳定和公平性,有利于高速路由器的性能优化。由于在RED算法中添加了参数,算法的效率还有待提高。

#### 参考文献:

- [1] Steven H Low. TCP congestion controls: Algorithms and models [R]. New Orleans, USA: Tutorial Slides, Presented in IEEE ICC, 2000.
- [2] 任丰原,林闯,黄小猛,等.主动队列管理算法的分类器实现[J].电子学报,2004,12(11):1796-1800.
- [3] Hollot C V, Misra V, FTowsley D, et al. A control theoretic analysis of RED [C]. Anchorage, Alaska, USA: Proc of INFOCOM, 2001: 1510-1519.

- [3] Dorigo M, Maniezzo V. A colony ant system: Optimization by a colony of cooperating Agents [J]. IEEE Trans Syst Man Cybern, 1996, 26(1): 29-41.
- [4] Knisely D N, Kumar S, Laha S, et al. Evaluation of wireless data services: IS-95 to CDMA2000 [J]. IEEE Commun Mag, 1998, 36(10): 140-149.
- [5] Kumar S, Nanda S. High data-rate packet communications for cellular networks using CDMA: algorithms and performance [J]. IEEE JSAC, 1999, 17(3): 472-492.
- [6] Mawira A. Models for the spatial correlation functions of the (log)-normal component of the variability of VHF/UHF field strength in urban environment [C]. Proc Third PIMRC, 1992: 436-440.
- [7] Merkle D, Middendorf M, Schmeck H. Ant colony optimization for resource-constrained project scheduling [J]. IEEE Trans Evol Comput, 2002, 6(4): 333-346.
- [8] Nanda S, Balachandran K, Kumar S. Adaptation techniques in wireless packet data services [J]. IEEE Commun Mag, 2000, 38(1): 54-64.
- [9] Ng T S E, Stoica I, Zhang H. Packet fair queuing algorithms for wireless networks with location-dependent errors [C]. Proc INFOCOM'98, 1998: 1103-1111.

- [4] Carl S Marshall. Cartoon rendering [C]. Mark A. Deloura Game Programming Game. America: Posts & Telecommunications Press, 2003: 376-388.
- [5] Johan Claes, Fabian Di Fiore, Gert Vansichem. Fast 3D cartoon rendering with improved quality by exploiting graphics hardware [C]. Annecy, France: Proceedings of the 3rd International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering, 2004: 129-137.
- [6] Anjum F, Tassiulas L. Fair bandwidth sharing among adaptive and nonadaptive flows in the internet [C]. New York, USA: Proc of IEEE INFOCOM, 1999: 1412-1420.
- [7] Bodin U, Schelen O, Pink S. Load tolerant differentiation with active queue management [C]. USA: SIGCOMM Computer Communication Review, 2000, 30(3): 4-19.
- [8] 李黎,朱光喜,刘建.一种适用于无线通信网络的随机提前检测算法[J].计算机应用研究,2007,24(3):302-304.
- [9] Floyd S, Gummadi R, Shenker S. Adaptive RED: An algorithm for increasing the robustness of RED'S active queue management [DB/OL]. [http://www.icir.org/floyd/Papers\\_adaptive\\_RED.pdf](http://www.icir.org/floyd/Papers_adaptive_RED.pdf).
- [10] Feng W, Kandlur D, Saha D. A self configuring RED gateway [J]. IEEE INFOCOM'99, 1999, 5(3): 1320-1328.
- [11] Floyd S. Recommendation on using the "gentle"-variant of RED [DB/OL]. <http://www.acin.org/floyd/red/gentle.html>.
- [12] McCanne S, Floyd S. ns-LBNL Network Simulator [CP/OL]. <http://www-nrg.ee.lbl.gov/ns/>.