

# 基于 Overlay Network 的网格虚拟端到端带宽分配问题研究

曹怀虎<sup>1</sup> 余镇危<sup>1</sup> 沙嘉祥<sup>2</sup> 王银燕<sup>1</sup>

(1.中国矿业大学北京校区机电与信息工程学院,北京,100083)

chhu@cumtb.edu.cn

(2.华北科技学院,河北燕郊,101601)

**[摘要]** 该文提出了基于 Overlay Network 的服务网格(SGON)的概念,以此来生成和部署网络增值服务。带宽分配问题是在 Overlay Grid 上部署和运行增值服务的<sup>关键问题</sup>,为了解决这个问题,Overlay Grid 在已存在的数据传输网络的上部建立了一个逻辑的端到端的服务传输基础,通过双边的服务水平协议(SLA),提供 QoS 约束的带宽。给出包含 SLA、服务 QoS、流量需求分布、开销等因素的带宽分配问题的模型,同时提供了静态和动态带宽分配问题的分析模型和近似解,最后设计了一种启发式自适应在线动态带宽分配算法,实验仿真结果表明该算法是可行的。

**[关键词]** 服务网格 Overlay network 端到端 QoS 带宽分配算法

中图分类号: TP393

## Research on Virtual Grid End to End Bandwidth Provisioning Based on Overlay Network

CAO Huai-hu<sup>1</sup>, YU Zhen-wei<sup>1</sup>, SHA Jia-xiang<sup>2</sup>, WANG Yin-yan<sup>1</sup>,

(1. China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing, 100083)

(2. North China Institute Of Science and Technoldgy,101601)

**[Abstract]** This paper proposes the notion of service grid on overlay network(SGON) as an effective means to facilitate the creation and deployment of value-added services.To solve the bandwidth provisioning problem for SGON which is critical to the cost recovery in deploying and operating value-added services over the SGON. A SGON provides bandwidth with certain QoS guarantees from individual network domains via bilateral service level agreement (SLA) to build a logical end-to-end service delivery infrastructure on top of existing data transport networks.The bandwidth provisioning problem was mathematically formulated , taking into account various factors such as SLA, service QoS, traffic demand distributions,and bandwidth costs. Analytical models and approximate solutions are developed for both static and dynamic bandwidth provisioning.A heuristic adaptive online dynamic bandwidth provisioning algorithm was designed,and simulations of this algorithm are also presented.Numerical experimental simulations have supported the feasibility of the model and the algorithms.

**[key word]** service grid, overlay network, QoS, bandwidth provisioning algorithm

### 1. 引言

一个成熟的网格系统必须提供非平凡的 QoS 服务,但目前的 Internet 基础设施所提供的<sup>主要是支持尽力而为的链路服务</sup>,由于历史的原因,Internet 是由许多网络域组成的,例如各种各样属于不同管理实体的自治系统。从一个用户到另一个用户的流量要穿过多个域。为了流量交换,从而实现全球连接,网络域之间产生了不同的双边交易关系(如提供商和用户,对等关系)。由于它们交易关系的自然属性,每一个网络域仅仅关心它自己域内的网络性能,并且为它的用户的服务合约负责。建立包含多个域的多边关系是困难的,部署超出尽力而为的端到端的服务,这需要多个网络域的支持,一直都没有实现,这实际上阻止了利用端到端的 QoS 实现网格系统的非平凡 QoS。

本文提出基于 Overlay Network 的服务网格 SGON(service grid on overlay network),来实现一些增值服务,如 Video-on-Demand 以及其它的 QoS 敏感服务。通过双边的 SLA(service level agreement),在底层数据传输网之上,建立一个逻辑的端到端的服

务传输基础，通过服务合约，用户使用 SGON 提供商的增值服务，用户直接向 SGON 提供商付费。

图 1 展示了 SGON 的逻辑拓扑结构。一个 SGON 是通过网格代理连接在一起的，网格代理实现数据转发和控制功能。两个网格代理之间的逻辑链路是由底层网络域提供的，该网络域拥有带宽和 QOS 合约，这些合约是被 SGON 和网络域之间的双边 SLA 详细说明的。这个体系结构绕过了网络域内的对等点，这样就避免了一些与它们相关的问题。

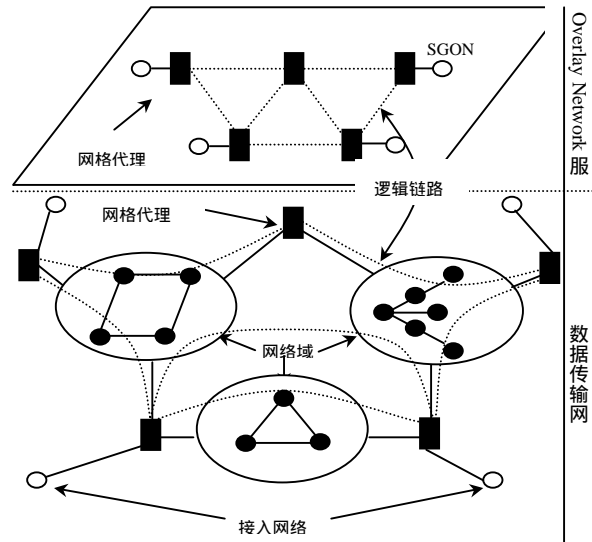


图1 SGON 逻辑拓扑结构

依靠双边 SLA 通过特定的资源管理和合理的规定，一个 SGON 能够提供端到端的 QOS 敏感的服务。

作为基于 Internet 提供 QOS 敏感服务的手段，Overlay Network 的概念已经广泛应用于通信和数据网领域。例如，内容分发网和应用层组播网已经用于多媒体流。SGON 是对传统网格技术的一个简化，这篇文章重点是 SGON 带宽分配问题，提出的方案和模型不同于传统电话网的容量控制策略，我们考虑了各种各样的因素，如 SLAs，QOS，流量需求分配等。

## 2. SGON 的前提和带宽分配问题

这一节，首先描述简化了服务 QOS 条件，使用管道 SLA 的情况下，一个 SGON 的逻辑拓扑表示，随后介绍动态和静态带宽分配模式。

### 2.1 SGON 和服务 QOS

管道 SLA 模型是一个 Internet 中通用的 SLA 模型，使用管道模型，一个 SGON 能在任何两个跨网络域的网络代理之间请求带宽合约（见图 1），换句话说，带有某种带宽合约的管道是跨网络域的两个网络代理分配的。为了强调服务网络代理和底层网格的关系，一个网络代理  $u$  跨网络域  $D$  到临近的网络代理  $v$ ，用  $\langle u, v; D \rangle$  来表示，并且指出这是一个  $u$  和  $v$  之间跨  $D$  的逻辑链路。注意，在 SGON 和接入网之间，管道 SLA 模型中，对于进出 SGON 的流量，假定 SGON 源和目的之间的流量用于带宽预留。我们可以将每一个网络  $A$  看作假想的服务网络代理  $u_A$ ，然后，我们可以说  $u_A$  和邻居网络代理  $V$  跨过  $A$  的链路为  $\langle u_A, V; A \rangle$ 。

指定一个逻辑链路  $l = \langle u, v; D \rangle$ ，一个 SGON 提供商将和网络域  $D$  签订合同，分配某种带宽保证  $c_l$ 。SGON 的带宽分配问题是：对于每一个链路  $l = \langle u, v; D \rangle$ ，如何分配所要求的带宽，也就是：

- 1) 服务所要求的端到端的 QOS 能被充分地支持。

## 2) 网络整体的收入最大化。

对于所提供的服务, SGON 所支持的 QoS 多种多样, 如带宽、延迟、延迟抖动等等, 提供这样一种保证, 最重要的是控制链路的应用水平, 也就是, 保证某条链路上的负载不超过某些特定的条件。为了利用带宽, 我们设想将 QoS 保证需求映像到链路利用极限。对于每一个链路  $l$ , 我们设想链路利用极限  $n_l$  是特定的, 为了确保服务 QoS, 链路  $l$  上的带宽  $c_l$  必须得到保证, 那么平均链路利用率要始终在  $n_l$  以下。

### 2.2 带宽分配模式

我们考虑管道模型的两模型: 静态的和动态的。静态带宽分配模式中, 一个 SGON 预先从底层网络域约定和购买了固定带宽, 这些带宽是为服务网格代理的逻辑链路准备的, 换句话说这个带宽分配是长期不变的。在动态带宽模型中, 除了能预先为每一个链路购买带宽外, 每一个 SGON 也能够动态地从底层的网络域请求带宽满足它的流量需求, 相应的支付动态带宽。为了对支持动态分配的开销记帐, 底层的网络域将对动态和静态分配带宽分别记帐。SGON 带宽分配的重要问题是: 在满足服务 QoS 需求的同时, 决定合适的带宽被预先购买, 同时使整个 SGON 收入最大化。

### 2.3 流量需求服务收入和带宽开销

我们设想流量总是源于接入网止于接入网, 指定一个源节点  $s$  和目的节点  $d$ , 为了简化我们设想一系列的链路  $s$  和  $d$  组成的固定的路由  $r$ , 是用来从  $s$  到  $d$  转发流量的。  $R$  表示源和

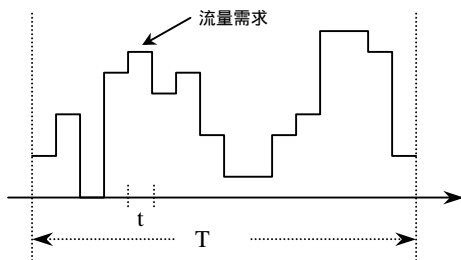


图 2 流量需求

目的节点的路由集合。SGON 的流量需求能够被这些路由之上的需求所代表: 对于每一个  $r \in R$ ,  $P_r$  代表路由  $r$  在一定时期内测量到的平均流量需求 (见图 2)。动态带宽分配时间  $t$  与静态时间  $T$  相比较, 是很短的, 可以是几秒或几分钟, 而  $T$  可以是几个小时, 几天, 甚至更长。集合  $\{P_r: r \in R\}$  代表单位时间内测量到的 SGON 的带宽需求, 将表示为 SGON 带宽需求矩阵。带宽需求总是在单位时间内被测量。为了捕捉流量需求波动, 我们设想路由  $r$  的流量需求  $P_r$  服从某种分布 [7], 通过对  $P_r$  微分得到流量需求  $P_r$  分布的密度函数,  $x$  时间单位以上的带宽需求为  $\int_x^\infty d_{Pr}$ ,  $\bar{P}_r = \int_0^\infty P_r d_{Pr}$ , 表示长期的路由  $r$  静态带宽分配的流量需求 [1,2]。

在这里我们将考虑到 Internet 流量自相似特性, 见 [3,4]。

对于每一个路由  $r$ , 我们设想一个 SGON 在每个单位时间内, 执行一个单位流量需求, 收入为  $e_r$ 。另一方面, 对于每一个链路两个网格代理的逻辑链路或管道  $l$ , 从底层网络预留带宽  $c_l$ , 一个 SGON 必须支付的开销为  $\Phi_l(c_l)$ , 对于每单位时间, 我们将  $\Phi_l$  作为链路  $l$  的带宽开销函数。

### 3 静态惩罚带宽分配

在静态带宽分配模式中, 带宽供应和流量需求波动度相适应。静态带宽分配的重要的问题是决定带宽分配量的最优值。为了适应长期平均流量波动, 我们引进了一个参数  $f_l \geq 0$ 。这

个分配参数定义如下：只要链路  $l$  上的整体流量负载不超过它的长期平均负载  $f_l$ ，我们将分配一定数量的带宽，服务 QOS 能被维持在某个水平，也就是这个链路的利用率被保持在某个门限值  $n_l$ 。这个问题定义如下：

**定义 1:**  $\overline{P}_l = \sum_{r:l \in r} \overline{P}_r$ ，这里  $l \in r$  表示链路  $l$  存在于路由  $r$  中， $\overline{P}_l$  表示  $l$  上的平均流量需求， $\overline{P}_r$  表示  $r$  上的平均流量需求。然后

$$\overline{P}_l(1 + f_l) = (1 + f_l) \sum_{r:l \in r} \overline{P}_r \leq n_l c_l, \forall l \in L \quad (1)$$

这里  $L$  是 SGON 上的所有链路集合。

现在考虑如何优化指定流量需求分配的分配参数，我们将研究当实际流量要求超出目标链路利用率时，潜在的 QOS 违反问题。为了这个目的，我们设想当目标利用率超出时，一个 SGON 可能遭受惩罚，因此服务 QOS 可能潜在被违反。这个模型称为惩罚静态带宽分配模型，简称为静态惩罚模型。

当沿着这个路由的服务 QOS 被潜在地违反时，对于每一个路由  $r$ ，用  $\pi_r$  表示单位时间内单位流量需求所遭受的平均惩罚。指定一个流量需求矩阵  $\{P_r\}$ ，用  $B_r(\{P_r\})$  表示路由  $r$  的服务潜在被违反的概率，也就是它的链路之一的利用率被超出。然后对于指定流量需求矩阵  $\{P_r\}$ ，整个 SGON 的网络收入能够表示如下：

$$W(\{P_r\}) = \sum_{r \in R} e_r P_r - \sum_{l \in L} \Phi_l(c_l) - \sum_{r \in R} \pi_r P_r B_r(\{P_r\}) \quad (2)$$

上面，我们用  $W(\{P_r\})$  强调整体收入对流量需求矩阵  $\{P_r\}$  的依靠。用  $d\{P_r\}$  表示流量需求矩阵的  $\{P_r\}$  的链路概率密度函数。这里 SGON 期望的网络收入，在流量需求分布  $\{dP_r\}$  下，如下：

$$E(W) = \int \int_{\{P_r\}} W(\{P_r\}) d_{\{P_r\}} \quad (3)$$

这里  $\int \int_{\{P_r\}}$  表示在链路流量需求分布  $\{dP_r\}$  的多重积分。

现在我们提出这个静态带宽供应问题，也就是在满足 (1) 式的情况下，

$$\text{求 } \max_{\{f_l\}} E(W) \quad (4)$$

这个优化问题的精确解通常是很难得到的。它依靠流量需求分布  $d\{P_r\}$  的特殊形式和服务 QOS 违反概率  $B_r$ 。代替这个精确解，基于一个更低范围的  $E\{W\}$ ，我们将得到一个近似解，在我们介绍这近似解之前，我们需要介绍一系列概念。定义一个小的实数  $\delta > 0$ 。对于每一个路由  $r$ ，设  $\widehat{P}_r > \overline{P}_r$ ，那么  $\int_{\widehat{P}_r}^{\infty} P_r dP_r \leq \delta$  (5)，因为

$$\int_{\widehat{P}_r}^{\infty} P_r dP_r \geq \widehat{P}_r \int_{\widehat{P}_r}^{\infty} dP_r = \widehat{P}_r p_r \{P_r \geq \widehat{P}_r\}, \text{ 这里 } p_r \{P_r \geq \widehat{P}_r\} \leq \delta / \widehat{P}_r. \text{ 流量需求}$$

超出的概率  $\widehat{P}_r$  是非常小的，可以忽略不记。下面我们将提供  $E(W)$  更小的范围：

$$\begin{aligned}
E(W) \geq & \sum_{r \in R} e_r \bar{P}_r - \sum_{l \in L} \Phi(c_l) - \\
& \sum_{r \in R} \pi_r \bar{P}_r B_r(\{\hat{P}_r\}) \quad (6) \\
& - \sum_{r \in R} \pi_r \delta \left(1 + \sum_{r' \neq r} \frac{\bar{P}_{r'}}{\hat{P}_{r'}}\right)
\end{aligned}$$

这里  $B_r$  是服务 QOS 违反的概率，也就是至少一个链路是超载的：

$$B_r = 1 - \prod_{l \in r} (1 - B_l) \quad (7)$$

(6) 式右边的用  $V$  来表示，那么  $E(W) \geq V$ ，我们得出  $\max_{\{f_r\}} E(W) \geq \max_{\{f_r\}} V$

因此我们对于优化问题 (4)，可以用  $V$  来代替  $E(W)$  作为近似解，设  $\{f_l^*\}$  是优化问题

$$\max_{\{f_r\}} V \text{ 的解，} \{f_l^*\} \text{ 能被下式解出 } \frac{\partial \Phi_l(c_l)}{\partial c_l} = \hat{s}_l, \forall l \in L \quad (8)$$

$$\hat{s}_l = \sum_{r: l \in r} \pi_r \bar{P}_r \prod_{k \in r, k \neq l} [1 - B_k(\hat{P}_k, c_k)] s_l \quad (9)$$

$$\text{这里，} s_l = -\frac{d}{d c_l} B_l(\hat{P}_l, c_l)$$

#### 4 动态带宽分配

我们设想对于每一个链路，为了预留带宽  $c_l$  的开销是  $\Phi_l(c_l)$ ；动态预留同样的带宽的开销是  $\Phi'_l(c_l)$ ，这里  $\Phi'_l(c_l) \geq \Phi_l(c_l)$ 。指定的价格微积分，对于 SGON 的重要问题是，对于每一个链路，多少带宽应当优先被静态地预留来满足某种基础的流量需求，当动态地分配带宽来满足额外的流量需求时。目标是再次优化整体的长期 SGON 网络收入期望值。

为了将精力集中于动态带宽分配问题，我们设想底层网络拥有丰富的带宽，SGON 总能够满足动态请求额外的带宽。在这个假设条件下，对于指定流量需求矩阵  $\{P_r\}$ ，计算期望的动态分配来满足流量需求的额外带宽需求是可能的。在下面我们将描述近似的基于 SGON 的链路流量需求边际分布的模型，给出一个基于在线流量测量的动态带宽分配自适应启发式算法。

##### 4.1 近似模型

设想每一个链路  $l \in L$ ，带宽  $c_l$  已经被预先静态分配。指定一个流量需求矩阵  $\{P_r\}$ ，对于期望的额外带宽必须被动态地分配给流量需求，我们作如下的近似：

$$\Delta c_l = \left\{ \frac{P_l}{n_l} - c_l \right\} \quad (10)$$

对于指定的流量需求矩阵  $\{P_r\}$ ，一个 SGON 所产生的全部网络收入近似为：

$$\begin{aligned} \tilde{W}(\{P_r\}) = & \sum_{r \in R} e_r P_r - \sum_{l \in L} \Phi_l(c_l) \\ & - \sum_{l \in L} \Phi'_l(\Delta c_l) \end{aligned} \quad (11)$$

将上式两端对  $d\{P_r\}$  积分，得

$$\begin{aligned} E(\tilde{W}) = & \sum_{r \in R} e_r \bar{P}_r - \sum_{l \in L} \Phi_l(c_l) - \\ & \sum_{l \in L} \int \cdot \int \Phi'_l(\Delta c_l) d_{\{P_r\}} \end{aligned} \quad (12)$$

这个带宽优化问题如下：

$$\max_{\{c_l\}} E(\tilde{W}) \quad (13)$$

如静态带宽分配问题，这里没有作任何的 QOS 或目标利用率约束，这是因为我们设想链路的目标利用门限将被超出，额外的带宽应当动态地分配给链路来满足服务 QOS。我们将(13)作为一个动态带宽供应的近似模型。下面，对于这个动态带宽供应问题的模型，我们将提供一个近似的解答。

设想两个带宽开销函数是线性的，也就是说对于任意  $l \in L$ ， $\Phi_l(c_l) = \phi_l c_l$ ，并且  $\Phi'_l(\Delta c_l) = \phi'_l c_l$ ，这里对于任意  $l$ ， $\phi_l \leq \phi'_l$ ，设  $P_r\{P_l > n_l c'_l\} = \phi_l / \phi'_l$ ，那么集合  $\{c'_l\}$  是此问题的一个近似解。也就是说对于指定流量需求矩阵  $\{P_r\}$ ，由(10)指定的  $c'_l$  是链路上应当静态分配的带宽数量，当部分  $c'_l$  被动态地分配给链路时，其中的  $c_l$  将被  $c'_l$  代替时。

上面结果的一个直观解释是，在动态带宽分配模型下，我们需要至少在每一个链路  $l$  上预留带宽  $c'_l$ ，这里链路  $l$  上的总的负载超出静态预留带宽  $c'_l$  的概率等于  $\phi_l / \phi'_l$ 。特殊情况下  $\phi_l = \phi'_l$ ，也就是动态分配的带宽的单位价格和静态预留的相同，我们得到  $c'_l = 0$ 。因此，在这种情况下，没有静态带宽需要预留。

#### 4.2 动态在线带宽分配算法

为了建立这个近似的动态带宽分配模型，我们设想预先知道平均流量需求，为了决定额外带宽，它必须动态分配来满足流量需求。这个近似的模型具有非常好的计算和执行特性，但通常流量需求矩阵预先是不知道的。在这里我们提供了一个启发式在线带宽分配算法，来改进这个近似动态带宽供应模型。对应于 SGON 上的流量需求的测量值，这个在线动态模型动态地调整链路上的带宽分配。

如前面，设  $\bar{P}_r$  表示路由  $r$  上的长期平均流量需求，并且  $\bar{P}_l = \sum_{r: l \in r} \bar{P}_r$ ，表示链路  $l$  上长期平均流量需求。基于链路的测量值，我们的目标是确定应当被预先静态地分配来满足某种基础流量需求的带宽  $c_l$ ，带宽  $\Delta c_l$  应当被动态地分配来满足 SGON 中动态的流量需求。

设  $t$  表示一个固定时间间隔。在在线动态模式，在每一个时间间隔内的平均流量需求  $P_l$ ，

是在一个时间间隔最后计算的。基于测量的平均流量需求和所约定的服务 QOS，这个分配到每一个链路上的带宽将在一个时间间隔最后作相应的调整，此外这个带宽在下一个时间间隔内保持连续。换句话说，这个带宽只在最后一个测量时间间隔调整。为了减小分配额外带宽或去除额外带宽的频率，这是由短期流量波动引起的。带宽将以一定配额进行分配，这里将以大块带宽进行分配。下面，我们将用  $Q$  表示一个配额的大小。

设  $c_l$  表示已经预先在链路  $l$  上分配的静态带宽，在动态在线模式， $c_l$  以下面这种方式进

行选择，如果链路上的平均流量需求没有超出  $\bar{P}_l$ ，那么  $c_l = \left(\frac{\bar{P}_l}{n_l Q}\right)^Q$ ，(14)

下面我们讨论在任意链路  $l$  上分配或去除额外带宽。为了减少服务 QOS 被违反的概率，只要平均流量需求接近目标链路利用水平门限，而不是超出，在线模式将分配一个额外带宽（一个新的配额）。设  $l_f$  表示一正数， $C_l$  表示一个链路  $l$  上的目前所有带宽。即

$C_l = c_l + \Delta c_l$ 。然后只要  $P_l > C_l n_l - l_f$ 。 $l_f$  称为前向门限，用于分配一个新的配额， $l_b$  称为后向门限，用于去除一个额外的配额，仅当  $P_l < (C_l - Q) n_l - l_b$ 。下面是启发式在线动态模式的伪代码：

1. Set initial static bandwidth  $c_l = \left(\frac{\bar{P}_l}{n_l Q}\right)^Q$
2. At the end of each measurement interval:
3.   **for** each link  $l$ :
4.      $C_l$ : current total bandwidth on link  $l$
5.     Calculate the average traffic demand  $P_l$
6.     **if**  $P_l > C_l n_l - l_f$
7.          $C_l = C_l + Q$
8.     **else if**  $P_l < (C_l - Q) n_l - l_b$
9.          $C_l = \max\{c_l, C_l - Q\}$

因为在线动态模式仅仅在测量间隔最后调整带宽，在间隔过程中，服务 QOS 有可能被违反。如第 3 节所介绍的静态带宽分配，

某种惩罚将应用在这种情况下。设  $\pi_r$  表示单位时间内单位流量所受到的平均惩罚。一个测量间隔内在线动态模式的收入是：

$$\bar{V} = \sum_{r \in R} e_r P_r - \sum_{l \in L} \Phi(C_l) - \sum_{l \in L} \Phi_l(\Delta C_l) - \sum_{r \in R} \pi_r P_r, P_l / C_l > n_l : l \in r \quad (15)$$

### 4.3 实验及分析

我们对在线动态模式算法进行了仿真，图 3 代表了平均流量需求（每 4 分钟）和相应的在线动态模式情况下分配的带宽。为了比较，我们也给出近似动态模型的带宽分配行为。从这个图我们能看出相对应于链路上流量需求的动态性，在线动态模型能够调整链路带宽，且保证对短期流量需求波动的敏感性（见图时间 21，23 和 46），近似动态模式比在线动态模式对流量需求的波动有更高的敏感性。

表 1 给出了近似动态模式和在线动态模式的平均收入，从表可以看出，虽然近似动态模式比在线动态模式，拥有更高的单位时间平均收入，但是在线模式不要求预先知道流量需求矩阵，因为要预先获得流量需求矩阵是极其困难的，所以在线动态模式是对近似动态模式的一个比较好的改进，具有更高的可行性。

表 1. 单位时间内的收入

	近似模式	在线模式
平均收入	4795	3982

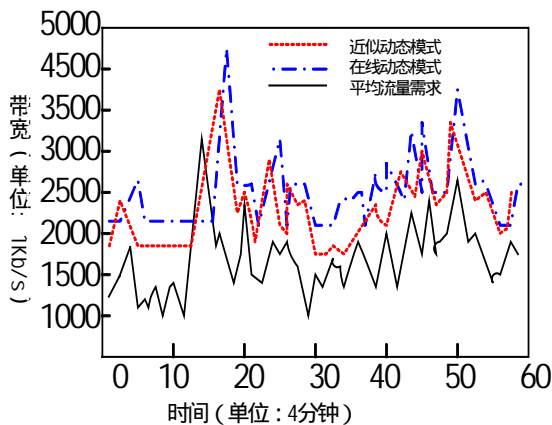


图 3 动态带宽分配比较

### 5. 结论

该文研究了 SGON 带宽供应问题，考虑了静态和动态供应模式，并且给出了考虑各种因素如服务 QOS，流量需求分配和带宽开销的 SGON 的带宽分配问题的公式。所提出的近似优化解，针对不同的流量需求边际分布，对于静态带宽分配问题，是普遍适用的，如果流量需求变化大，那么静态带宽管理将是无效的，在这种情况下，动态带宽分配模式虽然花费了更多的网络资源管理，但它的性能将超过静态模式。该文提出了一种自适应的在线动态模式的带宽分配启发式算法，实验结果表明，该算法与近似动态模式带宽分配算法拥有相似的性能，但具有更高的可行性。同时，该文研究了各种参数对 SGON 收入的影响，如静态和动态带宽开销，这对于如何更有效地利用 SGON 的资源，具有一定的指导作用。



## 参考文献：

- [1] M. Parulekar, A.M. Markowski. M/G/1 input processes: A versatile class of models for network traffic.[C]. In Proc. IEEE INFOCOM, pages 419–426, Kobe, Japan, April 1997.
- [2] V. Paxson, S. Floyd. Wide area traffic: The failure of poisson modeling.[C] In Proc. ACM SIGCOMM, pages 257–268, August 1994.
- [3] Z. Duan, Z.-L. Zhang, Y. T. Hou. Bandwidth provisioning for service overlay networks.[C]. In *Proceedings of SPIE ITCOM (Scalability and Traffic Control in IP Networks) 2002*, Boston, MA, July 29 – August 1 2002.
- [4] Z. Duan, Z.-L. Zhang, Y. T. Hou. Service overlay networks: SLAs, QoS and bandwidth provisioning.[R]. Computer Science Department, University of Minnesota, February 2002.
- [5] Z. Duan, Z.-L. Zhang, Y. T. Hou. Service overlay networks: SLAs, QoS and bandwidth provisioning.[R]. Computer Science Department, University of Minnesota, February 2002.
- [6] Z.-L. Zhang, Z. Duan, Y. T. Hou. Fundamental trade-offs in aggregate packet scheduling.[C]. In *Proceedings of IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, Riverside, CA, November 2001.
- [7] Y. Chawathe, S. Fink, S. McCanne, E. Brewer. A proxy architecture for reliable multicast in heterogeneous environments.[C]. In *Proceedings of ACM Multimedia*, Bristol, U.K., September 1998.
- [8] Z.-L. Zhang, Z. Duan, Y. T. Hou. On scalable design of bandwidth brokers.[J]. *IEICE Transaction on Communications*, E84-B(8), August 2001.

## 表格

第一作者	其他作者				联系地址	邮编	省市	电话	E- mail	稿件名称	投稿方向
曹怀虎	余镇危、沙嘉祥、王银燕	不	填	写	北京海淀区学院路丁11号中国矿业大学机电学院博03	100083	北京	100083	chhu@cu mtb.edu .cn	基于Overlay Network 的网格虚拟端到端带宽分配问题研究	