**2.2 网络演算理论**

**2.2.1 概述**

**2.2.2 最小加代数运算理论**

**2.2.3基本工具和性能（改个题目）**

**2.2.4 现状分析**

网络演算是用于计算机网络性能分析的理论工具之一。网络性能分析理论的研究模型主要有两个——数据流量模型和节点服务模型。数据流量模型描述了数据流的到达特性，节点服务模型描述了网络中中各节点系统为数据流提供服务能力的大小。以确定网络演算为例时，这两个模型分别对应了确定网络演算中的两个核心概念：到达曲线和服务曲线。为了更好地分析网络性能，到达曲线和服务曲线必须具备以下五个基本性能：

（P．1）网络性能保障：当数据流量模型和几点服务模型确定后，数据流穿过单个节点获得的服务保障（比如队列积压和时延）可随之推导得到。

（P. 2）输出流的特性：数据流传输通过节点后的输出流的流量模型可以用和输入流同一类型的流量模型表示。

（P．3）串联特性：多个节点串联后的系统为数据流提供服务对应的服务模型可以用与单个节点为数据流提供服务的服务模型同一模型的服务模型来描述。

（P．4）余留服务：当多个流同时贯穿某个节点竞争该节点的服务时，节点为多条流中的某条流提供的服务能力与该节点提供给总数据流的服务能力是同一类型的。

（P．5）聚合特性：多条流聚合而成的总数据流可以用与单条数据流同一类型的数据流量模型里来描述。

加个节点服务模型图

以上图来描述网络演算中的关键物理量。在一个节点为数据流提供传输服务的模型系统里，我们用表示数据流的到达过程，即数据流在时刻是累积到达的数据量；系统为数据流提供的服务能力由服务过程描述，表示直至时刻系统为数据流提供的累积服务量；经由节点处理传输后的离开数据流由来表示，即到时刻为止，离开节点的累积数据流。这三个物理量都是广义递增函数，即对于任何的，总有,,。在网络演算中，有了这三个物理量就可以很自然地得到我们所需的性能值，结合图n来看，其中数据流在某节点上的流量积压可以用和之间的垂直距离来表示，即流量积压；同时传输时延可以用和之间的水平距离表示，即，其中是求集合下确界的运算。

通过以上介绍，我们发现、(与和有关)的确定关系到网络的性能参数结果的确定，而在实际网络分析过程中，其实他们的具体准确函数值时难以得到的，因此网络演算中引入了到达曲线和服务曲线这两个关键概念分别描述和。下面将首先介绍DNC中的到达曲线和服务曲线来说明前面的两个概念。

**定义（到达曲线）** 存在到达数据流，当满足时存在不为0的非负不减函数，使得，此时称拥有到达曲线。

**定义（服务曲线）**设数据流经由节点服务后的离开过程为，若存在非负不减函数

对于所有的都满足，此时称节点为数据流提供的服务曲线为。

通过以上两个定义很容易理解到，描述的是实际数据流的上界，但服务曲线的理解却不是那么容易，这里说明一下，的结果表示的是数据流经过一个服务能力为的线性服务系统后产生的输出流。这样定义2就能解释为实际数据流的离开过程是不会少于这个线性服务系统提供服务后的输出流的，这也代表了描述的是一个系统能够提供服务能力的下界。

有了到达曲线和服务曲线的含义后，我们可以重新理解流量积压和传输时延，即不会大于和两条曲线之间的最大垂直距离，不会大于和两条曲线之间的最大水平距离。

下面将回归到网络性能分析的五条基本性质，按顺序罗列出与之对应的五条定理。

**定理1（性能上界分析定理）**设数据流经过某个节点获得服务，其中数据流拥有到达曲线，节点能够提供的服务曲线为，则在此节点处流量积压满足，

其中表示和两条曲线之间的最大垂直距离。

传输时延满足

,

其中表示和之间的最大水平距离。

定理2（输出定理）

**定理3(串联等效定理)**设数据流依次经由H个网络节点获得服务，H个节点提供的服务曲线分别为,,…,,则该串联系统可看成一个整体为数据流提供的服务曲线满足。

**定理4(余留服务定理)** 假设两个数据流和同时竞争获得某个网络节点提供的服务，该网络节点提供总的服务曲线为，此时已知对应到达曲线为,则对应的离开过程满足

，其中。

**定理5（聚合流定理）**设数据流由多个子数据流，，…，聚合而成，即。若子数据流的到达曲线为,则聚合流的到达曲线为，即对所有的，都存在。

同样地，在随机网络演算中也有与五条基本性质相对应的五条基本定理，只是它们的表现形式不如确定网络演算中那样简单明了。后面会给出具体定理。

2.2 网络演算理论

2.2.1 概述

传统的排队论一度作为建模的分析方法，

传统排队论对网络分析时需要获取较为精确的流量和服务模型，对于当今日益复杂的网络体系和多样的业务特性来说，要想获得精确的流量和服务模型是比较困难。

网络演算是另一种可以用于网络性能分析的理论。最早于上世纪九十年代由Cruz在论文中提出。传统的排队论一般是获得稳态状态下的平均分析结果，且对到达流或者服务有着特定的限定分布，而网络演算关注的是用累积的数据到达流量和累积的服务量以获得性能边界，且并不需要限定到达流或者服务的分布。通过使用该理论模型，可以很容易得到网络的时延边界、需要的缓存大小还有吞吐量等性能参数。

由于服务保证

在网络演算中有一些约定俗成的规定，比如当只有在数据发分组的最后一个比特到达网络中单个节点时才认为该数据分组被接收，同理，只有在数据分组的最后一比特来开该节点才认为是数据分组离开此节点。

2.1 确定网络演算

2.2 随机网络演算

随机到达曲线和随机服务曲线是随机网络演算中的两个核心概念。

确定网络演算使用了基于确定边界的系统性能评价方法,而随机网络演算中用概率边界替代了确定网络演算的确定边界。确定服务保证可以用数学形式表达为:P{数据流的所有分组均满足要求的QoS指标}= 1;而随机服务保证可以类似地表达为:P{数据流的部分分组不满足要求的QoS指标}≤ ε,其中ε表示分组不满足所要求的QoS指标的最大允许概率。不难发现,确定服务保证是随机服务保证在ε = 0条件下的一个特例。

定义（随机服务曲线） 用表示时间内业务离开系统的输出累积量，如果对所有的，均有



则称系统提供边界函数为的随机服务曲线，记为，运算符代表了最小加卷积，即。

**2.2.2 最小加代数运算理论**

定义（广义递增函数）

定义（广义递增函数集合）

定义（水平偏差）

定义（垂直距离）

定义（）定义（）

定义（最小加卷积） 对于,两个函数和的最小加卷积定义为是s\t的限定



**2.2.3基本工具和性能（改个题目）**