Life is wonderfull KT

IP 기반 네트워크 계획을 위한
멀티서비스 손실 시스템 및 적용 사례

2008. 8

KT 플랫폼연구소

요 약

- 본 보고서는 멀티 서비스를 제공하는 프리미엄 IP 네트워크 계획을 위한 멀티서비스 손실 모델 및 이 모델을 적용한 network planning 사례를 소개함.

- 멀티서비스 손실모델은 K개의 서비스를 제공하는 네트워크의 상태를 기술하는 모델인데, 특징은 네트워크에 서비스 제공에 필요한 대역폭이 없을 경우 새로 도착하는 통화호를 블로킹하는 시스템임

  (이 문제는 크기가 C인 배낭에 K 종류의 물건(class *k*는 b_k의 크기를 가짐)을 가지고 어떻게 배낭을 채우는지 다루는 *stochastic knapsack* 문제와 동일).

- 멀티서비스 손실모델을 사용한 네트워크 계획 결과 기존의 Erlang-B 손실모델보다 약 19% 의 소요 대역폭이 감소하는 효과를 얻을 수 있음.

- 이 멀티서비스 손실모델 기반의 네트워크 계획 방법은 가입자 이용행태에 대한 모델링을 적용하므로 IP 가입자망 또는 무선 인터넷 기지국 설계 등 다양한 분야에 적용 가능함.

목 차

개 요
멀티서비스 손실 모델과 호 블로킹
2 종류 서비스 경우
4 종류 서비스 경우
네트워크 계획 프레임워크
Discussion

개 요

❑ 배경

- ❖ 기본적으로 IP 기반의 네트워크는 최번시 기준 *통상적으로* 전송하는 트래픽보다 큰 링크용량을 제공하는 방식인 overprovisioning에 의해 네트워크 계획을 수행
- ❖ 그러나, 최선형 데이터 트래픽을 전송하는 IP 네트워크에 **다양한 QoS 요구사항**을 갖는 멀티 서비스가 제공되는 경우 overprovisioning 방식의 네트워크 계획 방법은 검토가 필요
- ❖ SoIP, IPTV 등 **스트리밍 서비스 트래픽**이 전송되는 경우, 네트워크 계획 단계부터 개별 패킷의 전송 품질을 보장하기 위하여 적정 링크용량을 산출하고 네트워크를 설계할 필요가 있음.

❑ 목적

- ❖ 멀티서비스 손실 모델을 사용한 IP 프리미엄 네트워크 계획 기법 제안
- ❖ 제안 기법을 적용한 IP기반 가입자 망에서의 적정 링크용량 산출 및 네트워크 계획 수행
- ❖ 제안 기법의 한계 및 문제점 검토

가 정

❑ 주어진 조건

- ❖ 네트워크 계획 대상인 노드/링크에 수용되는 가입자 수
- ❖ 네트워크에서 제공하는 서비스 종류와 모드
- ❖ 멀티 서비스별 QoS 요구사항

❑ 응용서비스 트래픽

- ❖ 본 네트워크 계획기법에서 다루는 서비스 트래픽은 크게 탄성적 트래픽과 스트리밍 트래픽으로 구분됨
- ❖ 탄성적 트래픽은 주로 TCP 기반으로 전송되는 데이터 트래픽(예, 웹, 이메일 등)으로 전송속도는 가용한 네트워크의 대역폭에 적응적으로 조절되는 특징을 가짐
- ❖ 스트리밍 트래픽은 서비스 품질이 개별 패킷의 시간 지연, 지터, 손실과 같은 전송 특성에 영향을 받는 트래픽으로 IP전화, 네트워크 게임 또는 비디오 스트리밍과 같이 실시간 데이터를 전송하는 트래픽으로 구성됨

❑ 네트워크

- ❖ 본 네트워크 계획기법의 대상 네트워크는 계위에 상관이 없으나 보고서에서는 인터넷 접속구간을 대상으로 함.
- ❖ 특정 서비스가 네트워크 대역폭을 선점하지 않고 전체 대역폭을 공유하는 것을 가정.

네트워크 구성

❑ 대상 링크

- ❖ IP 기반 네트워크에서는 가입자로부터 Edge 라우터에 연결되는 구간임
- ❖ 이 구간은 인터넷 서비스를 제공하는 링크 이외에 미디어 서비스 제공에 필요한 링크 등이 추가되어 다양한 링크가 존재함.

❑ 제공 서비스

- ❖ 인터넷
- ❖ VoIP
- ❖ IP 미디어 등

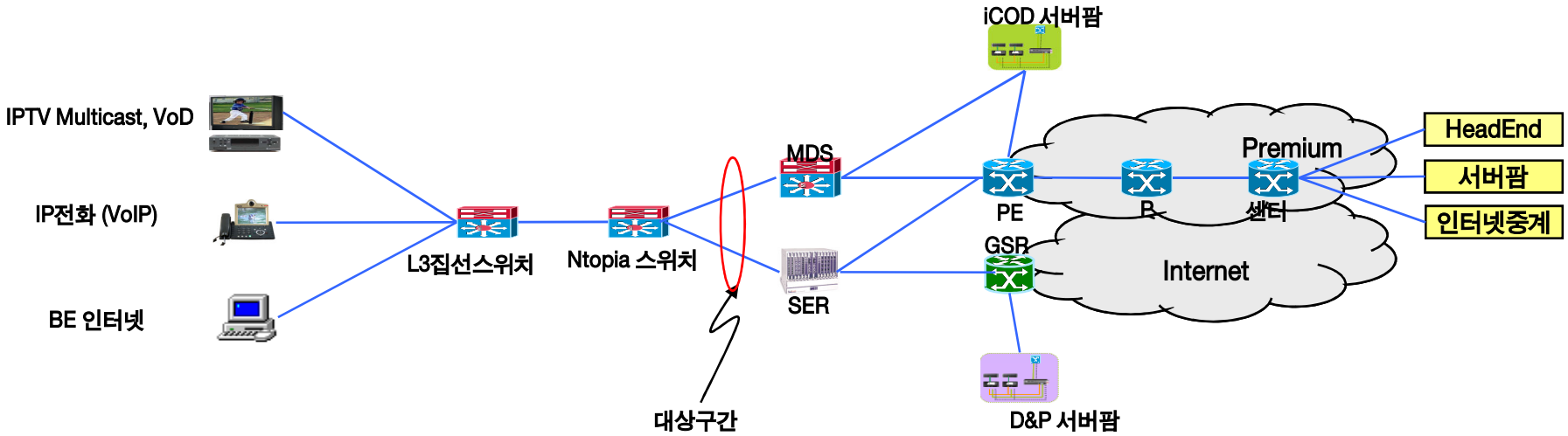


그림 1. 네트워크 구성 및 대상구간 링크 예시

트래픽 모델링

❑ 분류

❖ 탄성적 트래픽

- 전송속도가 가용한 네트워크 대역폭에 적응적(탄성적)으로 조절되는 트래픽
- 주로 TCP를 사용하여 전송되는 웹, 이메일과 같은 데이터 트래픽으로 구성됨
- 따라서 탄성적 트래픽을 전송하는 응용 서비스 품질은 전체 데이터를 전송하는데 걸리는 시간으로 표현됨

❖ 스트리밍 트래픽

- 개별 패킷의 시간지연, 지터, 손실과 같은 전송 특성에 영향을 받는 트래픽
- IP전화, 네트워크 게임 또는 비디오 스트리밍과 같이 실시간 데이터를 전송하는 트래픽으로 구성됨
- 따라서 적정한 QoS 파라미터는 앞서 설명한 시간지연, 지터, 손실과 같은 패킷의 전송 특성을 사용함.

❑ 모델링

❖ 호 기반의 트래픽 모델링

❖ 탄성적 트래픽은 백그라운드 트래픽 – Gaussian assumption

❖ 스트리밍 트래픽은 호 기반으로 발생 – Poisson assumption

멀티서비스 손실 시스템

❑ 개요

❖ 시스템 Behavior

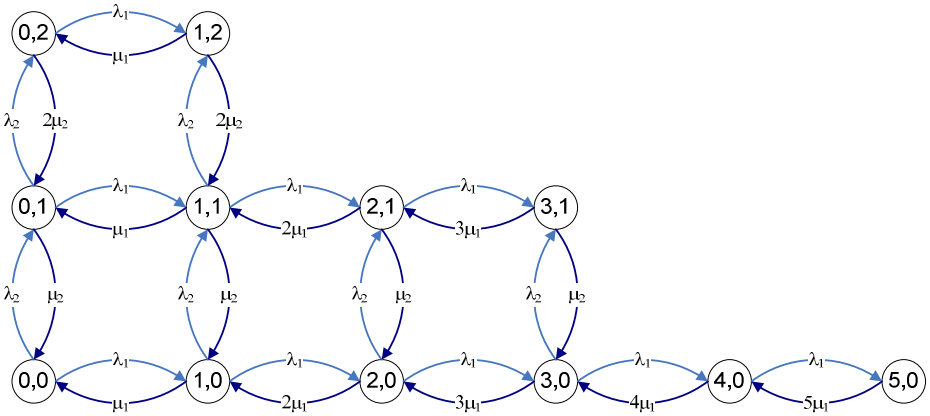
- K개의 서비스가 동일한 시스템 자원인 링크 대역폭 C를 공유하는 시스템
- 서비스 k의 호가 새로 도착했을 때 시스템에 이 호를 처리할 대역폭이 없을 경우 블로킹이 발생하고 서비스 k의 호는 시스템에 더 이상 영향을 주지 않음
- 서비스간 대역폭 공유정책은 각 서비스 제공에 필요한 전용 대역폭을 할당하지 않고 전체 대역폭을 공유한다고 가정 (Complete sharing policy)

❖ 시스템 Description

- 시스템 상태는 서비스 별로 연결된 호의 수로 정의
- 임의의 서비스 k에 대해 시스템에서 수용 가능한 호의 개수는 0, 1, ..., $\lfloor C/bk \rfloor$로 주어짐
- 따라서 본 네트워크 계획에서 사용하는 멀티서비스 손실 모델은 상태변수 $n = (n_1,...,n_k)$로 기술 가능함

❖ Multi-dimensional Markov Chain

- 멀티서비스 손실 모델은 K 차원의 Markov Chain에 의해 상태 변이를 기술할 수 있는데 2차원의 경우 아래의 형태로 표현됨



- 예제는 대역폭 C=10Mbps인 링크에 두 가지 서비스를 제공하는 경우를 표현한 상태 전이도로서, 각 서비스의 소요 대역폭은 b_1= 2Mbps, b_2= 4Mbps를 가정함.
- 상태간 전이는 서비스 요구의 도착이나 서비스 완료에 의해 이루어지는데 예제에서는 서비스 도착 및 완료가 각각 Poisson과 지수 분포를 따른다고 가정함. 이와 같은 조건에 대해서는 뒤에서 상태확률 계산에 관해 설명할 때 논의하기로 함.

멀티서비스 손실 시스템

❑ 상태확률 (State probability or Occupancy probability)

❖ 앞서 설명한 가정하에서 멀티서비스 손실 시스템은 시스템 용량 C와 대역폭 공유정책에 따라 다음과 같은 허용 가능한 상태의 집합 Ω를 가짐

$$\Omega = \left\{ (n_1, \ldots, n_K) \middle| \sum_{j=1}^{K} n_j \cdot b_j \le C \right\}$$

- 이 식은 시스템에서 수용하는 모든 서비스에 필요한 대역폭이 네트워크 대역폭 C보다 작다는 자명한 사실을 의미함.

❖ 이때 멀티서비스 손실 시스템에 임의의 상태 n에 있을 상태확률은 다음의 product form으로 주어짐

$$P(\mathbf{n}) = \frac{1}{\mathrm{G}(\Omega)} \prod_{j=1}^{K} \frac{a_j^{n_j}}{n_j!} \quad all\ \mathbf{n} \in \Omega$$

- 이 상태확률 계산에 관해서는 많은 설명이 필요하나 여기서 호 도착은 Poisson, 서비스 연결시간은 지수분포를 따를 때 성립한다고 가정.
- Product form 성질은 서비스 연결시간 분포가 rational Laplace transform을 가지면 항상 만족하고, 더 나아가 coordinate convex sharing policy 조건에서는 임의의 서비스 연결시간 분포에 대해 성립함.
- 위 식에서 a_j는 서비스 *j*가 시스템에 부과하는 offered traffic이고 G(Ω)는 모든 상태확률의 합이 1이 되도록 만드는 정규화 상수(normalization constant)임.
- 자원공유 정책은 G(Ω)에 의해서 상태 확률에 영향을 주며, 시스템의 허용 가능한 상태의 집합 Ω으로부터 계산되는 상수 G에 의해 서비스 블로킹 확률이 결정됨.
- 멀티서비스 손실시스템을 사용하여 IP 네트워크 계획을 수행하기 위해서는 G(Ω) 및 상태 확률을 계산한 다음 서비스 별 블로킹 확률을 계산할 수 있어야 함. 그런데 링크용량 C가 커지고 수용하는 서비스 개수 *K*가 증가하면, 멀티서비스 손실 시스템의 상태는 개략적으로 C^K에 비례하여 증가하는 문제가 있음.
- 컴퓨팅 환경이 고도로 발전한 현재에도 이 계산은 쉽지 않으므로 효율적인 계산 알고리즘이 필요함. 알고리즘에 대한 자세한 설명은 논문(A Study on Multi-Service IP Network Planning, *preprint*)을 참고.

멀티서비스 손실 시스템

❑ 서비스 블로킹 확률

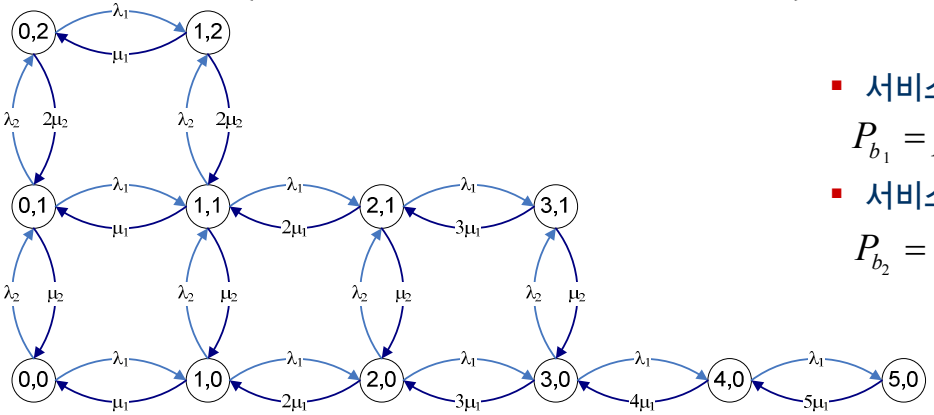
❖ 서비스 블로킹

- 멀티서비스 손실 시스템에서 서비스 블로킹은 서비스 k의 새로운 호가 도착했을 때 시스템에 이 호를 처리할 대역폭이 없는 경우 발생
- 앞서 설명한 상태 전이도를 가지고 설명하면 서비스 1의 경우 블로킹은 시스템이 (1,2), (3,1), (5,0) 상태에서 발생하고, 서비스 2의 경우 (0,2), (1,2), (2,1), (3,1), (4,0), (5,0) 상태에서 발생함
- 여기서 한가지 중요한 것은 소요대역폭이 큰 서비스 2의 블로킹 상태는 서비스 1의 블로킹 상태를 포함하고 있으며, 따라서 소요대역폭이 큰 서비스는 대역폭이 작은 서비스보다 블로킹 확률이 크게 된다는 사실임. 즉 소요대역폭이 큰 서비스가 더 많이 블로킹되기 쉽다는 것을 말함.

❖ 서비스 블로킹 확률

$$P_{\mathrm{B}_k} = \sum_{\mathbf{n} \in \mathrm{B}_k} P(\mathbf{n})$$

$$where\ \mathrm{B}_k = \left\{ (n_1, \ldots, n_K) \middle| C - b_k < \sum_{j=1}^{K} n_j b_j \le C \right\}.$$



- 서비스 1 블로킹 확률

$$P_{b_1} = p(1,2) + p(3,1) + p(5,0)$$

- 서비스 2 블로킹 확률

$$P_{b_2} = p(0,2) + p(1,2) + p(2,1) + p(3,1) + p(4,0) + p(5,0)$$

네트워크 계획 사례

❑ 목적

- ❖ 제안 방법에 의한 네트워크 계획 적용 및 검토
- ❖ 기존의 Erlang-B 손실 모델에 의한 네트워크 계획 결과와의 비교

❑ 시나리오

- ❖ 가상적인 네트워크 환경에서 서비스별 수용 용량 계산
  - 2종류 서비스
  - 4종류 서비스
- ❖ 가정
  - IP 기반의 서비스 통합망 환경을 전제
  - IP전화, IPTV 서비스(SD/HD) and/or 인터넷 등을 제공하는 경우를 대상으로 함
  - 네트워크 계획 단계에서 가변 데이터 전송률을 갖는 서비스 제공에 필요한 대역폭은 유효대역폭으로 계산

    유효대역폭 (Effective or Equivalent bandwidth)이란, 가변 비트율 코덱을 사용하는 서비스가 통화호 지속시간 동안 전송하는 데이터 양이 다르므로 평균적으로 전송하는 데이터율을 계산하기 위한 개념임.

❑ 실험 환경

- ❖ 하드웨어: Pentium 4 PC (CPU: 3GHz, M/M: 2GB)
- ❖ 소프트웨어: MATLAB 2007a (평가판)

서비스 2종류 케이스

❑ 개요

- ❖ 멀티서비스 손실시스템의 behavioral pattern을 파악하기 위한 시나리오
- ❖ 1Gbps의 링크를 통해 두 가지 서비스를 제공할 때 상태확률 및 서비스 블로킹 확률의 변화를 관찰

❑ 제공 서비스

- ❖ 대역폭
  - 서비스1: 1Mbps (e.g. VoIP 영상통화)
  - 서비스2: 8Mbps (e.g. IPTV HD영상)
- ❖ 부과 트래픽 (Offered Traffic)
  - 동일한 조건에서 서비스 블로킹 확률을 비교하기 위해 각 서비스가 네트워크에 부과하는 트래픽이 같도록 조정
  - 즉, 통화호당 많은 대역폭이 필요한 서비스2의 트래픽 세기(traffic intensity)는 낮고 작은 대역폭을 요구하는 서비스1의 트래픽 세기는 높게 설정하여, 각 서비스를 제공하는데 필요한 대역폭을 균등하게 배분.
  - Poisson assumption

    호 도착은 Poisson 분포, 서비스 지속시간은 지수 분포를 따른다는 가정 아래에서 트래픽 세기는 아래 식으로 주어지는데 이것은 네트워크에서 평균적으로 제공되는 서비스 통화호의 개수를 의미함.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \text{ [Erlang]}$$

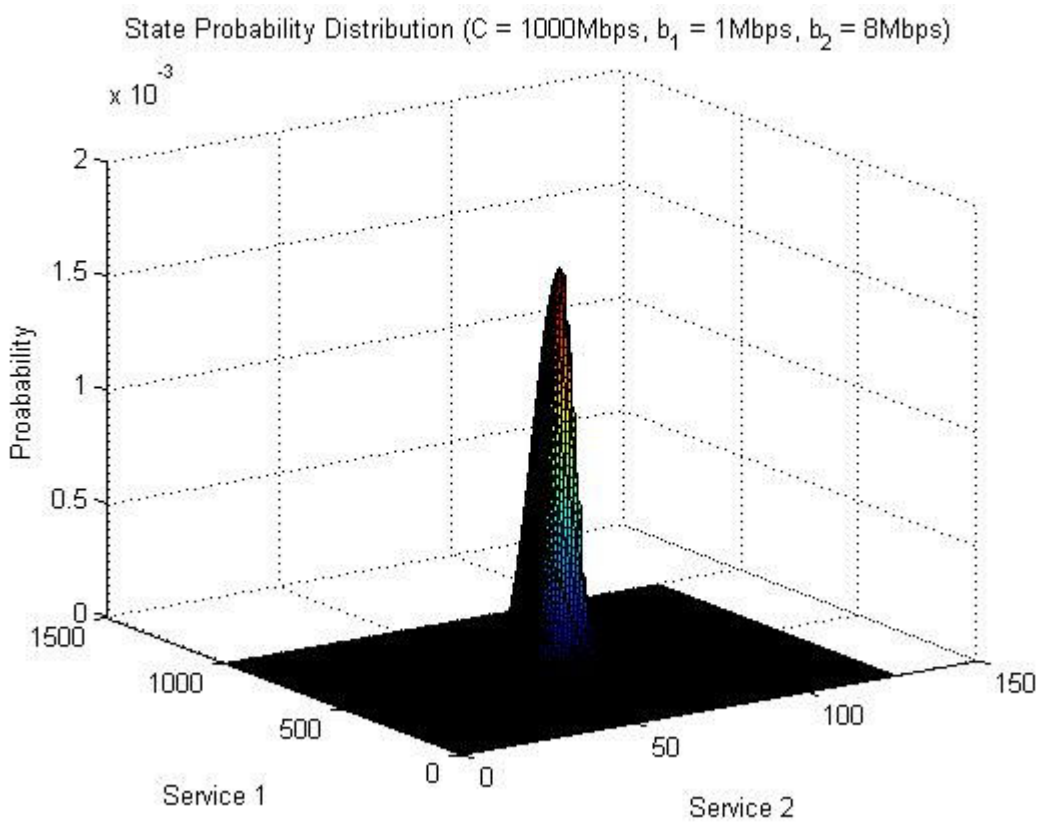
❑ 실험 파라미터

- ❖ b_1 = 1Mbps, b_2 = 8Mbps
- ❖ ρ_1 = 500, ρ_2 = 62.5

서비스 2종류 케이스

❑ 상태확률분포

❖ 멀티서비스 손실시스템이 각 상태에 있을 확률분포를 나타냄



- 이 예제의 링크에서 수용 가능한 서비스1 및 서비스 2의 통화호는 각각 1000개, 125개임
- 가장 큰 상태확률을 갖는 상태(n_1, n_2)는 (499, 62)와 (500, 62)임. 이것은 이 실험의 트래픽 세기인 ρ_1 = 500, ρ_2 = 62.5로부터 유추할 수 있음
- 블로킹 확률

  서비스 1 PB_1= 0.0116

  서비스 2 PB_2= 0.0933
- 이 네트워크 계획에서 QoS 요구사항이 서비스 블로킹 확률이 0.01 이하로 유지하는 것이라고 가정하면, 두 서비스의 블로킹 확률이 목표치보다 높으므로 더 큰 대역폭이 필요함
- 이 네트워크 계획에서 총 부과 트래픽은 1000Mbps인데 이중 94.75%가 전송되고 링크 이용률은 0.9475임.

서비스 4종류 케이스

❑ 개요

- ❖ BcN 환경에서 VoIP, IPTV (SD/HD VOD 서비스) 및 인터넷 서비스를 제공하는 경우
- ❖ 100Mbps 링크에서 네 가지 서비스를 제공할 때 부과 트래픽의 변화에 따른 서비스 블로킹 확률의 변화를 관찰

❑ 제공 서비스

- ❖ 대역폭
  - 서비스1: 0.1Mbps (VoIP 음성통화)
  - 서비스2: 1Mbps (VOIP 영상통화)
  - 서비스3: 4Mbps (IPTV SD 영상)
  - 서비스4: 8Mbps (IPTV HD 영상)
- ❖ 부과트래픽 (Offered Traffic)
  - 모든 서비스 부과트래픽의 합계인 총 부과트래픽이 0.1 – 2.5의 범위에서 변화
  - 각 서비스가 네트워크에 부과하는 트래픽이 동일하도록 트래픽 세기를 설정
  - Poisson assumption

❑ 실험 파라미터

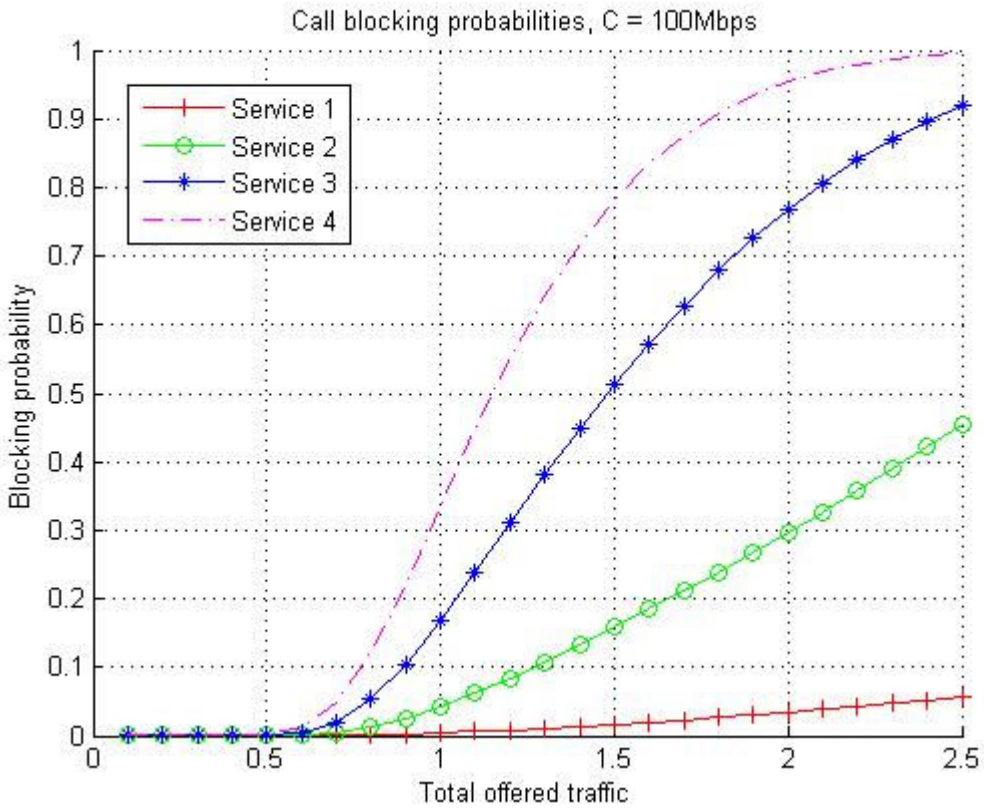
- ❖ 예: 총 부과 트래픽이 100Mbps일 때 트래픽 세기

$\rho_1 = 250$, $\rho_2 = 25$, $\rho_3 = 6.25$, $\rho_4 = 3.125$

서비스 4종류 케이스

❑ 서비스 블로킹 확률 변화

❖ 총 부과 트래픽의 변화에 따른 서비스 블로킹 확률의 변화를 관찰

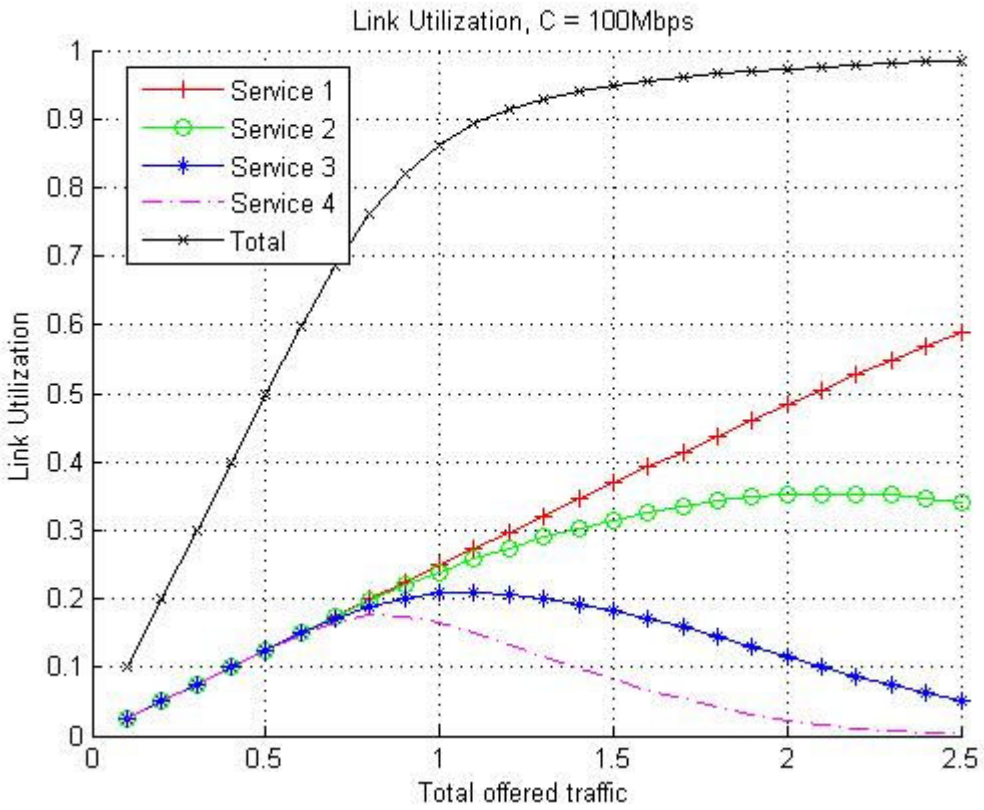


- 이 예제에서 수용 가능한 서비스별 통화호는 각각 1000개, 100개, 25개, 12개임
- 총 부과 트래픽이 낮으면 각 서비스의 블로킹은 낮게 유지되나, 총 부과 트래픽이 증가함에 따라 한 통화당 큰 대역폭을 필요로 하는 서비스 4의 블로킹이 급격하게 증가함
- 따라서, 총 부과 트래픽이 증가함에 따라 서비스간의 균등한 링크 이용을 위해서는 적절한 호 연결제어 정책이 필요함

서비스 4종류 케이스

❑ 링크 이용률 변화

❖ 총 부과 트래픽의 변화에 따른 링크 이용률 변화를 관찰



- 총 부과 트래픽이 낮을 때는 서비스별 링크 이용률에 큰 차이가 없음
- 총 부과 트래픽이 네트워크 대역폭에 근접하게 되면 (ρ=1), 통화당 소요 대역폭이 큰 서비스는 블로킹이 증가하고 해당 서비스 제공에 사용하는 대역폭이 감소하므로 링크 이용률이 낮아짐
- 이 현상은 총 부과 트래픽이 증가할수록 심화되는데 ρ=2.5인 경우, 전체 네트워크 대역폭 중 60%는 서비스 1 제공에 사용됨.
- 따라서 총 부과 트래픽이 네트워크 대역폭에 근접하거나 클 경우 서비스간의 균등한 링크 이용을 위해 적절한 호 수락제어 정책을 적용해야 함.
- **이 그래프에서 한가지 주목할 만한 사실은 링크 이용률을 50% 이하로 유지하는 환경에서는 특별한 제어 메커니즘이 없더라도 모든 서비스가 전체 대역폭을 균등하게 이용하고 원하는 QoS 요구사항을 만족시킨다는 것임 (ρ=0.5).**

네트워크 계획 프레임워크

❑ 개요

❖ 보고서에서 소개한 멀티서비스 손실시스템을 적용한 IP기반의 통합망 계획

❖ 입력

- 계획 시점에서의 목표 가입자수
- 서비스별 대역폭 및 부과 트래픽 (또는 트래픽 세기)
- 서비스별 QoS 요구사항 (스트리밍 트래픽은 서비스 블로킹 확률, 탄성적 트래픽은 패킷 손실률에 대한 목표치)

❖ 출력

- 주어진 QoS 요구사항을 만족하는 최소 네트워크 대역폭

❑ 방법

❖ 스트리밍 트래픽

- 멀티서비스 손실시스템 모델링에 의한 소요대역폭 산출

❖ 탄성적 트래픽

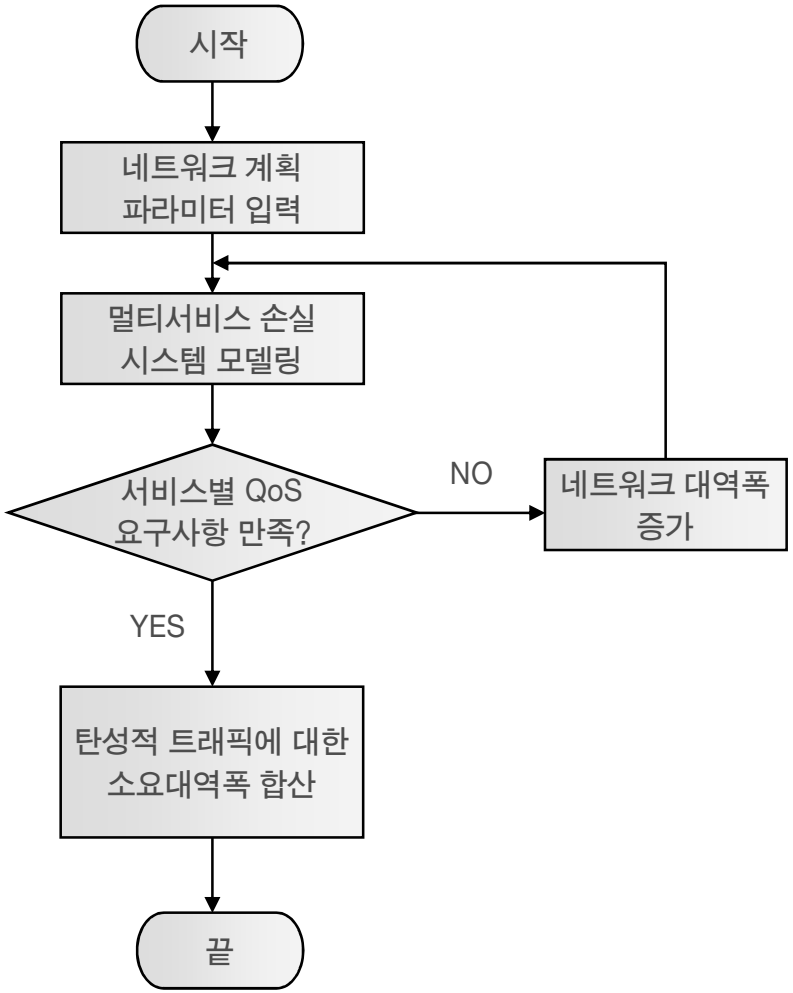
- 최번시 가입자당 트래픽 산출 및 네트워크 계획 연도의 목표 가입자수에 의한 소요대역폭 예측

네트워크 계획 프레임워크

❑ 순서도

❖ 단계

- 서비스 트래픽 분류
- 멀티서비스 손실시스템 모델링
- 대역폭 초기값에 대해 서비스별 QoS 계산
- 스트리밍 서비스의 QoS 요구사항을 만족시키지 못할 경우, 대역폭을 Δ 만큼 증가시킨 다음 QoS 계산 반복
- 모든 스트리밍 서비스의 QoS 요구사항을 만족시키면 iteration 종료
- 탄성적 트래픽에 대한 소요대역폭을 합산.



Erlang-B 손실모델과의 결과 비교

❑ Erlang-B 손실모델

❖ 네트워크에서 제공하는 모든 서비스에 대해 각각 소요 대역폭을 산출하고 합산하는 방식

❖ 각 서비스는 다음의 Erlang-B loss formula에 의해 대역폭을 계산 (여기서 *m*은 서버의 수)

$$p_m = \frac{\rho^m / m!}{\sum_{k=0}^{m} \rho^k / k!}$$

❑ 4종류 서비스에 대한 네트워크 계획 결과비교

❖ 가정

- 서비스별 소요대역폭은 0.1, 1, 4, 8 Mbps이고 트래픽 세기(부과 트래픽)는 각각 250, 25, 6.25, 3.125 Erlang.
- QoS 목표: 서비스 블로킹확률 0.01 이하로 유지

❖ 소요대역폭

- 멀티서비스 손실모델: 151.0 [Mbps]
- Erlang-B 손실모델: 179.3[Mbps]

❖ 검토

- Erlang-B 손실모델은 필요한 대역폭보다 약 19% 정도 더 산출함
- Erlang-B 손실모델에 의한 네트워크 계획은 제공하는 서비스 종류가 증가할수록, 각 서비스가 대역폭을 균등하게 이용할수록 필요한 대역폭 보다 더 많은 소요대역폭을 산출함
- 멀티서비스 손실모델에 의한 대역폭 감소는 제공하는 모든 서비스를 고려하여 시스템 상태를 정의하므로 서비스간의 대역폭 공유를 설명할 수 있기 때문에 발생.

Discussion

❑ 이슈

❖ 유선 IP 네트워크에서 보다 정확한 네트워크 계획/설계 방법이 필요한가?

- 기존의 overprovisioning 설계에 의한 KORNET 및 IP 프리미엄망은 큰 문제 없이 잘 동작함
- 4종류 서비스 케이스에서 언급한 바와 같이 링크이용률을 50%이하로 유지하는 정책을 적용한 네트워크에서는 복잡한 설계 및 제어와 같은 엔지니어링이 반드시 필요하지 않으며 overprovisioning이 가장 간단하고 손쉬운 방법임
- 따라서 본 보고서에서 소개한 네트워크 계획 방법을 포함한 네트워크 엔지니어링은 무선 네트워크와 같이 가용 대역폭에 많은 제약이 있는 환경에서 필요한 방법이라 하겠음.

❖ 네트워크 계획에 필요한 파라미터는 어떻게 계산하나?

- 멀티서비스 손실 시스템 기반의 네트워크 계획을 수행하기 위해서는 등의 사용자 기반의 서비스 모델링(서비스별 호 도착률, 평균지속시간 또는 부과 트래픽 등)이 필요함
- 이와 같은 파라미터는 서비스별 트래픽 모델링에 의해 산출 가능.

❖ 산출한 네트워크 계획 결과의 검증은?

- 이와 같이 산출한 네트워크 계획 결과를 적용하기 이전에 산출한 용량의 적정성 및 서비스 별 QoS 요구사항의 만족 여부를 검증할 필요가 있음
- 네트워크 계획 결과의 검증은 계획 기법과는 별개의 연구개발 분야이며 향후 이에 관한 적정한 연구가 필요함.