

# 차세대 이동통신 패킷 수송망에서 서비스 품질을 고려한 효율적인 대역폭 재할당 기법

정회원 박재성\*

## An Efficient QoS-Aware Bandwidth Re-Provisioning Scheme in a Next Generation Wireless Packet Transport Network

Jaesung Park\* *Reguler Member*

### 요 약

본 논문에서는 차세대 이동통신 수송망에서 트래픽 클래스별 서비스 품질 요구 사항을 고려한 효율적인 대역폭 재할당 기법을 제안한다. 제안 기법은 유선망 트래픽 클래스를 실시간 클래스와 비실시간 클래스로 구분하여 무선망 계층에서 정의된 서비스 품질 클래스를 유선망 트래픽 클래스로 매핑시킨 후 실시간 트래픽 클래스가 비실시간 트래픽 클래스의 유휴 자원을 동적으로 사용하도록 한다. 제안 기법은 운영자가 지정한 패킷 손실율과 Auto-Regressive(AR) 시계열 모델을 이용하여 주기적으로 비실시간 트래픽 클래스의 향후 필요 대역폭을 예측하며 유휴 대역폭이 발생하는 경우에만 이를 실시간 트래픽 클래스에 동적으로 할당함으로써 비실시간 트래픽 클래스의 패킷 손실율을 보장함과 동시에 시스템의 대역폭 이용율을 향상시킨다. 본 논문에서는 실제 측정된 인터넷 트래픽을 비실시간 트래픽 클래스로 이용하여 제안 기법은 링크 대역폭의 효율을 증가시켜 실시간 트래픽의 수용량을 증가시키고 동시에 모든 시 구간에서 비실시간 트래픽 클래스에 원하는 패킷 손실율을 보장할 수 있음을 검증하였다.

**Key Words** : Bandwidth Management, Traffic Measurement, Quality of Service(QoS) Class, Autoregressive Model

### ABSTRACT

In this paper, we propose a QoS-aware efficient bandwidth re-provisioning scheme in a next generation wireless packet transport network. At the transport network layer, it classifies the traffic of the radio network layer into a real time class and a non-real time class. Using an auto-regressive time-series model and a given packet loss probability, our scheme predicts the needed bandwidth of the non-real time class at every re-provisioning interval. Our scheme increases the system capacity by releasing the unutilized bandwidth of the non-real time traffic class for the real-time traffic class while insuring a controllable upper bound on the packet loss probability of a non-real time traffic class. Through empirical evaluations using the real Internet traffic traces, our scheme is validated that it can increase the bandwidth efficiency while guaranteeing the quality of service requirements of the non-real time traffic class.

### I. 서 론

이동통신망의 사용자 데이터는 하부 수송 계층

망의 베어러(bearer) 서비스(BS)를 통해 전달된다. 무선 데이터를 유선망에 전달하게 되면 통신 프로토콜의 오버헤드(overhead)가 추가되어 동일 양의

\* 수원대학교 IT대학 인터넷정보공학과 (jaesungpark@suwon.ac.kr)  
논문번호 : KICS2005-04-171, 접수일자 : 2005년 4월 20일

데이터 전송을 위해 수송망은 무선링크에 비해 많은 양의 대역폭을 필요로 하게 된다. 따라서 수송망의 대역폭을 효과적으로 관리하는 문제는 경제성 있는 망 구축을 위해 선행되어야 할 과제이며 본 논문에서는 UMTS Release 5 이후의 패킷 수송망에서 효과적인 대역폭 재할당 기법을 제안한다.

대역폭을 할당하는 고전적인 방법은 가용 대역폭을 주어진 서비스 품질 요구사항에 따라 분할하여 각 트래픽 클래스에 정적으로 할당하는 것이다. 이 방법은 과거 트래픽 이력 정보를 이용하여 각 클래스별로 최대 부하 구간에 해당하는 대역폭을 할당해 줌으로써 구현이 간단하지만 최대 부하 이외의 구간에서는 대역폭이 사용되지 못하고 낭비되므로 망의 운용 비용을 증가시킨다. 정적인 대역폭 할당 기법의 문제점을 해결하기 위한 동적인 대역폭 할당 기법들은 주로 트래픽 모델에서 유도되었다. Wang과 Sharma의 연구에서는 시간에 따라 가변적인 포아송 트래픽 입력 모델을 이용한 nonstationary 큐를 fluid 모델을 통해 분석하였다<sup>[12]</sup>. 음성 트래픽과 데이터 트래픽의 채널 수를 동적으로 적응시키기 위한 movable boundary 기법이 제안되었으며<sup>[3]</sup>, B. Li는 이 기법을 확장시켜서 전체 대역폭을 음성과 데이터 트래픽이 공유할 수 있는 이중 임계치 대역폭 예약 기법을 제안하였다<sup>[4]</sup>. 그러나 이와 같은 트래픽 모델 기반 기법들은 온라인 제어기법으로 사용하기에는 계산량이 많으며, 망 트래픽 특성을 반영한다고 가정하는 트래픽 모델의 파라미터들을 제어가 이루어져야 하는 순간에 미리 알고 있어야 한다는 단점을 가진다. 최근 트래픽 측정에 관한 연구들을 통해 포아송 모델은 패킷 수준에서는 적용할 수 없으며<sup>[5]</sup>, 자기 유사성이 패킷 수준에서 다중화된 인터넷 트래픽의 고유한 특성이라는 것이 밝혀지고 있고<sup>[6]</sup>, 인터넷 트래픽은 큰 시간 구간에서 예측성을 가진다는 것이 알려졌다<sup>[7]</sup>. 이와 같은 트래픽 특성 분석에 관한 연구 결과를 이용한 대역폭 할당 연구들이<sup>[8][9]</sup> 최근에 제안되었으며 이들은 단일 트래픽 클래스에 대한 대역폭 할당을 위해 측정 트래픽을 바탕으로 향후 필요 대역폭을 예측하는 알고리즘들을 제안하고 있다. 그러나 예측을 기반으로 한 기법은 오류를 수반하게 되며, 오류가 정량적으로 해석되지 않는다면 예측 기반 기법들은 불필요하게 대역폭을 낭비하거나 주어진 서비스 품질 요구사항을 위배하게 된다.

본 논문에서는 차세대 이동통신 시스템의 패킷 수송망에서 각 서비스 클래스들의 서비스 품질 요

구 사항을 고려한 효율적인 대역폭 재할당 기법을 제안한다. 제안 기법은 우선 UMTS QoS 트래픽 클래스를 수송망 관점에서 우선 순위가 높은 실시간(real time: RT) 트래픽 클래스와 우선 순위가 낮은 비실시간(non real time: NRT) 트래픽 클래스로 구분하고 NRT 트래픽 클래스의 유휴 대역폭을 RT 트래픽 클래스에서 이용할 수 있게 함으로써 대역폭의 이용 효율을 증가시키고, 동시에 NRT 트래픽 클래스가 요구하는 최소한의 패킷 손실율을 보장함으로써 NRT 트래픽 클래스의 서비스 품질 요구사항을 만족시킨다. 제안 기법은 auto-regressive(AR) 시 계열 모델을 이용하여 입력 트래픽에 대한 가정 없이 패킷 측정만으로 NRT 트래픽 클래스의 다음 구간 대역폭 요구 사항을 예측한다. 매 주기마다 예측된 대역폭 요구 사항과 주어진 패킷 손실율에 따라 NRT 클래스의 유휴 대역폭이 결정되며 유휴 대역폭은 RT 클래스에서 다음 주기 동안 이용된다. 제안 기법은 실제 트래픽 특성을 반영하며 예측에 따른 오류 정량화를 통해 NRT 클래스의 패킷 손실율을 운영자가 지정한 수준으로 보장할 수 있다는 점에서 다른 연구들과 차별된다. 실제 인터넷 상에서 측정된 데이터<sup>[10]</sup> NRT 클래스로 이용한 실험을 통하여 제안 기법은 링크 대역폭의 효율을 증가시키고 동시에 모든 시 구간에서 NRT 트래픽 클래스에 원하는 패킷 손실율을 제공할 수 있음을 검증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 UMTS 망의 QoS 클래스와 패킷 수송망의 서비스 클래스간의 매핑 문제와 대역폭 할당 문제를 정의한다. 3장에서는 패킷 측정을 통한 효과적인 대역폭 재할당 기법을 제안하고 성능을 분석한다. 4장에서는 실제 인터넷 상에서 측정된 트래픽을 이용하여 제안 기법의 성능을 검증하고 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 대역폭 할당문제

### 2.1 QoS 트래픽 클래스별 매핑

3GPP는 종단간 QoS를 지원하기 위해 UMTS 각 모듈간에 계층별로 BS를 설정하는 계층적 QoS 제공 구조를 정의하였고, 지연의 민감도에 따라 제공 서비스를 4개의 QoS 클래스로 - conversational, streamlining, interactive, background - 구분하고 있다. Conversational 클래스와 streaming 클래스는 지연에 매우 민감한 IP 전화와 스트리밍 비디오와 같은 실시간 트래픽을 위해 사용되며 전송되는 정보

들 간에는 시간 관계가 유지되어야 한다. Interactive 클래스와 background 클래스의 경우에는 지연 시간 보다는 신뢰성 있는 데이터의 전송이 보다 중요한 서비스 품질 요구사항이 된다. Interactive 클래스에는 telnet이나 WWW와 같은 요청 및 그에 대한 응답 형태의 서비스가 해당되며, background 클래스는 email과 같은 응용 서비스에 적합하다.

중단간 서비스 품질이 보장되기 위해서 UMTS QoS 클래스는 유선망 구간에서 수송망의 서비스 클래스와 매핑되어야 한다. 이를 위해서는 각 클래스간 속성 값의 매핑과 트래픽 처리를 위한 메커니즘이 정의되어야 한다. 본 논문에서는 4가지 UMTS QoS 클래스를 지연 요구 사항에 따라 두 개의 수송망 서비스 클래스(실시간 (real-time: RT) 클래스와 비실시간(non real-time: NRT) 클래스)로 구분한다. RT 클래스는 conversational 클래스와 streaming 클래스에 매핑되고 이들의 엄격한 지연 요구 사항을 위해 RT 클래스의 자원은 각 플로우 별로 예약된다. Interactive 클래스와 background 클래스는 NRT 클래스에 매핑되고 수송망 자원은 이들간에 공유된다.

### 2.2 대역폭 할당 문제

수송망의 전체 가용 대역폭을  $C_T$ , RT 클래스에 할당된 최소 대역폭을  $C_{RT}$ , NRT 클래스에 할당된 최대 대역폭을  $C_{NRT}$ 라고 하면 UMTS 수송망에서 대역폭 할당 문제는 NRT 클래스의 패킷 손실율을 일정 수준으로 보장하면서 가능한 많은 대역폭을 RT 클래스에 할당하여 전체 시스템의 경제성을 높이는 것으로 정의할 수 있다.

임의의 시간 동안 NRT 클래스의 트래픽 입력율을  $\lambda$ 라고 하고 NRT 클래스에 최소한  $\epsilon$ 의 패킷 손실율을 보장해 주어야 한다면 필요 대역폭  $B$ 는  $P_r(\lambda > B) \leq \epsilon$ 과 같이 주어진다. UMTS 패킷 수송망의 유선 링크는 다수의 트래픽이 다중화되므로 임의의 시구간 동안 NRT 클래스에 입력되는 트래픽은 중심 극한 이론에 따라 평균  $\mu$ , 분산  $\sigma^2$ 인 정규 분포를 따른다고 가정할 수 있다. 따라서  $Q(\cdot)$ 를 표준 정규 분포의 CCDF (complementary cumulative distribution function)라고 하면, 주어진 패킷 손실 요구 사항을 만족시키기 위한 대역폭은  $Q((B - \mu)/\sigma) \leq \epsilon$ 와 같이 주어진다.

$\eta = Q^{-1}(\epsilon)$ 로 정의하면 임의의 시 구간 동안 주어진 패킷 손실율 보장을 위해 필요한 대역폭은 식 (1)과 같이 구해진다.

$$B = \mu + \sigma\eta. \tag{1}$$

그러나 입력 트래픽 파라미터  $\mu$ 와  $\sigma$ 는 매 시 구간마다 변화하므로 대역폭을 할당해야 하는 시점에서 해당 구간의 트래픽 파라미터를 미리 알 수 없다. 따라서 서비스 품질을 고려한 NRT 클래스의 대역폭 결정 문제는 매 시 구간의 시작 시점에서 해당 구간의 트래픽 파라미터( $\mu$ 와  $\sigma$ )를 예측할 수 있는 방법과 이때 발생하는 오류의 정량화 문제로 재정의 할 수 있다.

이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 시간을 재할당 구간으로 분할하고 이전 구간에서 측정된 NRT 클래스의 트래픽 파라미터들에 auto-regressive (AR) 모델을 적용하여 다음 구간 NRT 클래스의 트래픽 파라미터를 예측하고, 예측된 파라미터들과 NRT 클래스가 요구하는 패킷 손실율을 바탕으로 필요 대역폭을 예측한다. 또한 AR 시 계열 분석법을 이용하여 각 트래픽 파라미터 예측시 발생하는 오류를 정량화하고 이들이 할당되는 대역폭에 미치는 영향을 분석한다.

### III. 패킷 측정을 통한 동적 대역폭 재설정 기법

본 논문에서 제안하는 패킷 측정 기반 대역폭 재할당 기법은 NRT 클래스의 트래픽 파라미터들을 예측하는 과정과 이를 이용하여 각 클래스별로 이전에 할당된 대역폭을 재조정하는 두 과정으로 이루어진다. NRT 클래스의 트래픽 파라미터들은 블록이라 불리는 일정 시 구간마다 예측되고, 매 블록의 끝에서 각 클래스의 대역폭은 NRT 클래스의 예측된 트래픽 파라미터들과 패킷 손실 요구 사항에 따라 재결정된다. 블록의 크기( $T_c$ )는 제어 기법이 이용되는 시구간 크기에 따라 운영자가 임의로 구성할 수 있는 파라미터이며 대역폭의 이용 효율과 망 트래픽의 예측 특성에 영향을 미친다. 블록 크기가 작을수록 예측 주기가 짧아지므로 트래픽 파라미터 예측기가 변화하는 트래픽 특성을 보다 정확하게 추적할 수 있다. 하지만 블록 크기가 너무 작으면, 트래픽 입력율의 급격한 변화로 인해 트래픽 부하를 예측할 수 없게 된다. 인터넷 트래픽 부하의 예측에 관한 연구들에서 인터넷 트래픽은 블록 크기가 수 초 정도에서도 예측성을 보인다는 것이 검증되고 있으며<sup>[7][11]</sup> 본 논문에서는 대역폭 관리 문제를 다루고 있으므로 수십 분의 블록 크기를 사용한다.

### 3.1 트래픽 파라미터 예측을 통한 대역폭 예상

AR(u) 모델을 이용하여 과거  $u$ 개의 블록에서 측정된 평균 트래픽 입력율로부터 다음 구간의 평균 트래픽 입력율을 예측하는 방법은 다음과 같다.  $k$ 번째 블록에서 NRT 클래스의 평균 트래픽 입력율을  $\mu_k$ 라고 하면 AR 모델에 의해  $\mu_k$ 는  $\sum_{i=1}^u a_i \mu_{k-i} + e_k^\mu$ 로 표현된다<sup>[12]</sup>.  $a_i$  ( $i=1,2,\dots,u$ )는 모델 파라미터이며,  $e_k^\mu$ 는 예측오류이고 AR 모델의 특성에 따라 예측오류는 평균이 0이고 분산이 다음 식 (2)와 같은 정규분포를 따른다<sup>[12]</sup>.

$$Var(e_k^\mu) = \sigma_{e_k^\mu}^2 = \sigma_{\mu_k}^2 (1 - \sum_{i=1}^u a_i \rho_{\mu_k, i}). \quad (2)$$

여기서  $\rho_{\mu_k, i}$ 는  $\mu_k$ 의 lag- $i$  자기상관계수이다. AR 모델의 장점은 모델 파라미터  $a_i$ 들을  $\rho_{\mu_k, h} = \sum_{i=1}^u a_i \rho_{\mu_k, h-i}$  ( $h=v, \dots, v-u+1$ )과 같이 과거  $v$ 개의 값을 사용한 간단한 선형 방정식으로 얻을 수 있으므로 온라인 제어 기법에 사용할 수 있다는 것이다.  $v$ 는  $u$ 와는 독립적이며 사용자가 구성 가능한 인자로서 통상 메모리 크기라 불린다.  $k$ 번째 블록에서 예측된 트래픽 입력율을  $\widehat{\mu}_k$ 라고 하면  $(k-1)$ 번째 블록의 끝에서 AR(u) 모델에 따라  $\widehat{\mu}_k$ 는 다음과 같이 예측된다.

$$\widehat{\mu}_k = \sum_{i=1}^u a_i \mu_{k-i}. \quad (3)$$

트래픽 입력율의 표준편차를 예측하기 위해서도 동일한 AR(u) 모델을 사용할 수 있다.  $k$ 번째 블록에서 NRT 클래스의 트래픽 입력율 표준편차를  $\sigma_k$ 라고 하면 AR(u) 모델에 따라  $\sigma_k$ 는 과거  $u$ 개의 측정값을 이용하여  $\sigma_k = \sum_{i=1}^u b_i \sigma_{k-i} + e_k^\sigma$ 로 표현된다. 평균 입력율에서와 마찬가지로  $b_i$  ( $i=1,2,\dots,u$ )는 모델 파라미터이며,  $e_k^\sigma$ 는 예측오류이고 AR 모델의 특성에 따라 평균이 0이고 분산이 아래 식 (4)와 같은 정규 분포를 가진다.

$$Var(e_k^\sigma) = \sigma_{e_k^\sigma}^2 = \sigma_{\sigma_k}^2 (1 - \sum_{i=1}^u b_i \rho_{\sigma_k, i}). \quad (4)$$

여기서,  $\rho_{\sigma_k, i}$ 는  $\sigma_k$ 의 lag- $i$  자기상관계수를 나타낸다.  $\widehat{\sigma}_k$ 를  $k$ 번째 블록에서 예측된 입력 트래픽의

표준편차라고 하면, AR(u) 모델에 따라  $\widehat{\sigma}_k$ 는 다음과 같이 예측된다.

$$\widehat{\sigma}_k = \sum_{i=1}^u b_i \sigma_{k-i}. \quad (5)$$

따라서  $k$ 번째 블록에서 주어진 패킷 손실율을 만족시키기 위한 NRT 클래스의 예상 필요 대역폭  $\widehat{B}_k$ 는 식 (1)에 의해  $\widehat{B}_k = \widehat{\mu}_k + \widehat{\sigma}_k \eta$ 로 주어지며 식 (3)과 식 (5)를 적용하면  $\widehat{B}_k$ 는  $\mu_k + \sigma_k \eta + e_k^\mu + e_k^\sigma \eta$ 로 표현된다. 대역폭 할당 과정에서 발생하는 오류를  $Z_k = e_k^\mu + e_k^\sigma \eta$ 로 표현하면  $(k-1)$ 번째 블록의 끝에서 주어진 패킷 손실율을 만족시키기 위한  $k$ 번째 블록의 NRT 클래스 대역폭은 다음과 같이 예측된다.

$$\widehat{B}_k = \mu_k + \sigma_k \eta + Z_k. \quad (6)$$

AR 모델의 특성에 따라 각 트래픽 파라미터의 예측 오류 ( $e_k^\mu, e_k^\sigma$ )는 평균이 0이고 분산이 식 (2)와 식 (4)와 같이 주어지므로 대역폭 예측과정에서 발생하는 오류  $Z_k$ 도 평균 0이고 분산이  $Var(Z_k) = \sigma_{Z_k}^2 = \sigma_{e_k^\mu}^2 + \sigma_{e_k^\sigma}^2 \eta^2$ 인 정규분포를 따른다.

식 (6)에서 보듯이 트래픽 파라미터 예측기는 각 파라미터 값을 예측 오류의 분산만큼 실제보다 작게 혹은 크게 예측할 수 있다. 특히 실제보다 작게 예측하는 경우에는 필요 대역폭이 부족하게 계산되어 운영자가 정한 NRT 클래스의 패킷 손실율을 보장하지 못할 수도 있다. 따라서 예측된 대역폭을 사용할 때 주의를 기울여야 하며 이와 같은 예측 오류는 다음과 같이 보상될 수 있다. 보상 계수를  $\psi$ 라고 하면, 예측 오류를 보상하여 대역폭을  $\widehat{B}_k = \mu_k + \sigma_k \eta + \sigma_{Z_k} \psi$ 와 같이 결정할 수 있다. 예를 들어 예측 오류는 정규 분포를 따르므로  $\psi=1.65$ 로 정하면 예측 오류의 95%를 보상할 수 있게 된다.

### 3.2 클래스별 대역폭 재할당

매 블록의 끝에서 수송망 서비스 클래스의 대역폭은 예측된 NRT 클래스의 대역폭 ( $\widehat{B}_k$ )에 따라 조절된다.  $(k-1)$ 번째 블록의 끝에서 NRT 클래스에 초기에 할당된 최대 대역폭  $C_{NRT}$ 와  $\widehat{B}_k$  중 최소값이  $k$ 번째 블록의 NRT 클래스에 할당되며, NRT 클래스에 유휴 대역폭이 발생하면 유휴 대역

쪽은 RT 클래스에 할당된다. 즉,  $k$ 번째 블록에서 NRT 클래스에 할당되는 대역폭을  $B_k$ , RT 클래스에 할당되는 대역폭을  $B_{RT}^k$ 로 나타내면  $(k-1)$ 번째 블록의 끝에서 이들은 다음과 같이 재조정된다.

$$B_k = \min(C_{NRT}, \widehat{B}_k). \quad (7)$$

$$B_{RT}^k = \max(C_{RT}, C_T - \widehat{B}_k). \quad (8)$$

RT 클래스는 사업자들의 주요 수입원이 되는 실시간 음성 서비스 등을 제공하므로 항상 최소  $C_{RT}$ 만큼의 대역폭이 보장되어야 한다. 따라서  $\widehat{B}_k \geq C_{NRT}$ 의 경우에도 NRT 클래스의 패킷 손실 확률을 만족시키기 위해 NRT 클래스에 대역폭  $\widehat{B}_k$ 를 할당하지 않는다. RT 클래스는 NRT 클래스에 대역폭의 여분이 발생하는 경우에만 ( $\widehat{B}_k < C_{NRT}$ ) 유휴 대역폭을 더 사용할 수 있게 된다. 식 (7)과 식 (8)에 따라 각 클래스의 대역폭을 동적으로 재조정함으로써 RT 클래스는 NRT 클래스의 유휴 대역폭을 이용하여 사업자의 주 수입원이 되는 RT 서비스를 보다 많이 수용할 수 있으며 운영자가 지정한 NRT 클래스의 최대 패킷 손실율을 보장함으로써 NRT 클래스 역시 적절한 서비스 품질을 보장 받을 수 있게 된다.

#### IV. 성능 실험 및 고찰

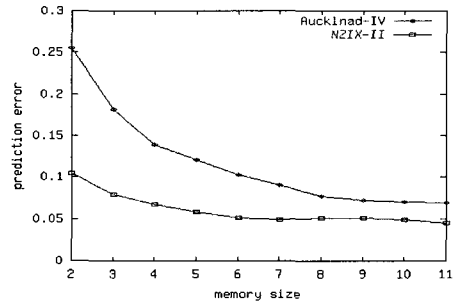
본 장에서는 UMTS 시스템의 패킷 서비스 구간인 Iu-PS 인터페이스에서 제안한 대역폭 재 할당 기법의 성능 실험 결과를 고찰한다. 현재 UMTS 시스템은 IP 기반 수송망으로 진화 중이므로 향후 제안 기법은 Iu-PS 구간뿐만 아니라 UMTS 시스템의 모든 인터페이스에서 적용할 수 있다. 각 입력 인자들이 제안 기법에 미치는 영향을 고찰하기 위해 NRT 서비스 클래스의 트래픽 종류, 블록의 크기, 최대 패킷 손실 확률 등을 변경시켜 가며 수 차례 실험을 반복하였다. 특히, 실제 측정된 인터넷 트래픽을 NRT 클래스의 입력으로 사용함으로써 실제 망 상황에서 제안 기법의 성능을 검증하였다. 실험에 사용된 패킷 데이터의 실측 값은 Auckland-IV trace와 NZIX-II에서 얻었다<sup>[10]</sup>. Auckland-IV 데이터는 DAG3 시스템을 이용하여 Auckland 대학의 인터넷 업링크에서 45일간 측정된 GPS 동기화된 IP 헤더 정보를 가지고 있으며 평균 입력율은

102.5Kbytes/sec이다. NZIX-II 데이터는 뉴질랜드 IX (Internet Exchange)에서 측정된 GPS 동기화된 IP 헤더 정보를 포함하고 있다. Auckland-IV 데이터를 사용하는 경우에는 24시간 동안, NZIX-II 데이터를 사용하는 경우에는 12시간 동안 실험 하였다.

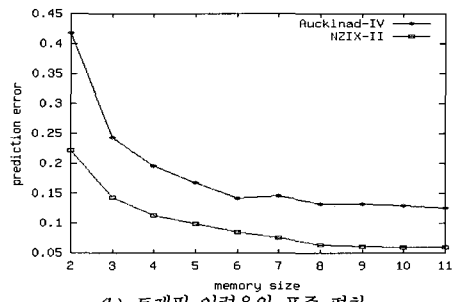
##### 4.1 AR 모델 메모리 크기

AR 모델의 메모리 크기는 모델 인자 결정에 필요한 계산 량과 결정되는 인자들의 정확성을 결정한다. 적정 메모리 크기를 결정하기 위해 메모리 크기가 예측값의 정확도에 미치는 영향을 고찰하였다. 그림 1-(a)와 1-(b)는 블록 크기가 20분일때, 각 인터넷 트래픽 트레이스의 각 트래픽 파라미터들에 대해 메모리 크기에 따른 예측 오류를 나타낸다.

일반적으로 메모리 크기가 클수록 예측 값의 정확성이 커지는 반면 계산량은  $O(n)$ 만큼 증가한다. 그러나 그림 1에서 보듯이 각 트래픽 파라미터들에 대해 메모리 크기가 증가하더라도 예측 오류가 거의 감소하지 않는 임계점이 존재한다. 즉, 과거 값을 일정 수준 이상 사용하게 되면 과거 값과 미래 값 간의 상관성은 작아지게 되어 계산량은 많아지지만 예측의 정확도가 거의 향상되지 않는다. 여러 실험 결과 각 트래픽 파라미터를 예측하는데 메모리 크기 5인 경우 제안 기법에 적합한 성능을 나타냈다.



(a) 평균 트래픽 입력율



(b) 트래픽 입력율의 표준 편차

그림 1. 메모리 크기가 각 트래픽 파라미터 예측에 미치는 영향

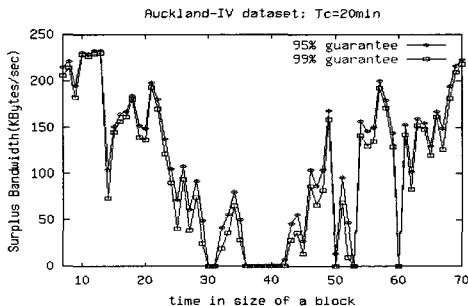
4.2 대역폭 재할당 이득

Auckland-IV 트레이스와 NZIX-II 트레이스에 대해 블록 크기 20분 ( $T_c=20$ ), 메모리 크기 5인 AR(1) 모델과, NRT 클래스의 최대 패킷 손실 확률 5%, 1% ( $\epsilon=0.05, 0.01$ ), 초기 NRT 클래스에 할당된 최대 대역폭 ( $C_{NRT}$ ) 250Kbytes/sec인 환경에서 제안 기법을 실험하였다. 즉, 제안 기법은 NRT 클래스의 패킷 손실율을 95%, 99% 보장하면서 매 20분마다 각 클래스별 대역폭을 재할당 한다. 그림 2-(a)와 2-(b)의 x축은 블록 크기 단위의 시간을 y축은 NRT 클래스의 유휴 대역폭으로부터 얻은 RT 클래스의 대역폭 이득을 나타낸다. RT 클래스는 예측된 NRT 클래스의 필요 대역폭 ( $\hat{B}_k$ )이 초기 할당 최대 대역폭 ( $C_{NRT}$ )보다 작은 경우에만 NRT 클래스의 대역폭을 이용할 수 있다. 예를 들어 Auckland-IV 트레이스의 경우 블록 시간 35에서 41까지는 NRT 클래스의 패킷 손실율을 만족시키기 위해 필요한 대역폭이 NRT 클래스에 할당된 최대 대역폭보다 크기 때문에 RT 클래스의 대역폭 이득은 없다. 하지만 Auckland-IV 데이터를 이용한 24시간 실험에서 RT 클래스는 패킷 손실 확률이 5%, 1%인 경우 각각 평균 113Kbytes/sec, 101Kbytes/

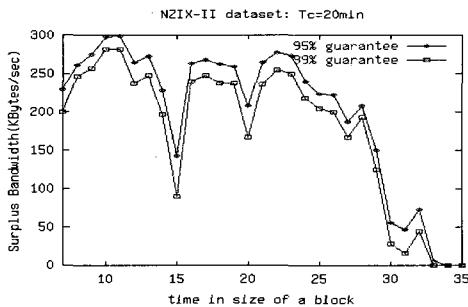
sec의 대역폭 이득을 얻을 수 있었으며, NZIX-II 데이터의 경우에는 평균 199Kbytes/sec, 176Kbytes/sec의 대역폭 이득을 각각 얻을 수 있었다.

RT 클래스는 NRT 클래스의 유휴 대역폭을 이용하여 VoIP와 같은 conversational 트래픽 클래스 서비스를 보다 더 수용할 수 있다. 예를 들어 VoIP 호가 Iu-PS 인터페이스에 평균 170calls/minute로 입력되고 각 호별 평균 지속 시간이 3분인 경우를 생각해 보면 UMTS 망 구조에서 VoIP는 수송 프로토콜 오버헤드를 포함하여 32.4Kbits/sec의 대역폭을 수송망에 요구하게 되므로 제안 기법 사용시 최대 31개의 VoIP 호를 더 수용할 수 있게 된다. 예를 들어 그림 2-(a)의 20번째 타임 블록의 경우 제안 기법을 사용하지 않고 대역폭을 정적으로 할당한다면 293개의 VoIP호가 수락되는 반면 제안 기법 적용시 동일 시스템은 25개의 VoIP 호를 더 받아들일 수 있다.

정적인 대역폭 할당 기법에 대한 제안기법의 효율성을 대역폭 이용 효율 면에서 고찰하였다. 공정한 비교를 위해 정적인 대역폭 할당 기법에서 각 클래스별 대역폭은 전체 트래픽 트레이스에 대해 NRT 클래스의 최대 패킷 손실율 (1%, 5%)을 보장할 수 있도록 정하였다. 표 1은 블록 크기와 패킷 손실율을 가변시킨 경우 제안 기법의 정적 대역 할당 기법에 대한 상대적인 대역폭 이용 효율을 나타낸다. 블록 크기, 사용한 트래픽 트레이스, 보장해야 할 최대 패킷 손실율과 무관하게 제안 기법은 정적 대역 할당 기법보다 NRT 클래스의 대역폭을 40% 이상 절감할 수 있다. 즉, 정적 대역 할당의 경우 40%의 NRT 클래스 대역폭은 사용되지 않고 낭비되지만 제안 기법을 사용하는 경우 이용되지 않는 NRT 클래스의 유휴 대역폭은 RT 클래스에서 이용되어 전체적으로 시스템의 호 수용 용량을 증가시키고 동시에 NRT 클래스의 서비스 품질도 운영자가 원하는 수준으로 보장해 준다.



(a) Auckland-IV trace



(b) NZIX-II trace

그림 2. NRT 클래스의 패킷 손실율별 RT 클래스의 대역폭 이득

표 1. 정적 대역 할당 기법에 대한 평균 대역폭 이득

Data Set	Block Size	Gain (5%)	Gain (1%)
Auckland-IV	10 min.	49.5%	44.3%
	20 min.	45.2%	41.3%
	30 min.	40.6%	36.8%
NZIX-II	10 min.	48.9%	39.6%
	20 min.	44.1%	39.1%
	30 min.	44.9%	39.5%

4.3 NRT 클래스의 패킷 손실율

그림 3-(a)와 그림 3-(b)는 각 시간 블록별 NRT 클래스의 패킷 손실 확률을 보여준다. 임의의 블록에서 주어진 패킷 손실율을 만족시키기 위해 예측된 NRT 클래스의 대역폭이 초기 할당된 최대 대역폭 이상이면 패킷 손실율은 해당 블록의 패킷 입력율에 의해 결정된다. 이 경우는 초기 망 구성시 대역폭 설정이 잘못된 경우로서 망 용량 설계 과정에서 문제를 바로 잡아야 한다. 그림 3이 나타내는 바와 같이 제안 기법은 요구하는 패킷 손실 확률이 1%인 경우라도 모든 타임 블록에서 이를 보장할 수 있다. NZIX-II 트레이스의 경우, NRT 클래스의 패킷 손실 확률은  $\epsilon=0.01$ 인 경우에도 0~0.29%로 항상 주어진 조건을 만족함을 볼 수 있다. 그러나 Auckland-IV 트레이스의 13번째 블록에서 패킷 손실율은  $\epsilon=0.01$ 인 경우 4.18%로써 원하는 패킷 손실 확률을 만족시키지 못하였다. 이와 같은 원인은 Auckland-IV 트레이스의 트래픽 입력율이 12번째 블록과 13번째 블록 사이에 10배 차이를 보이는 급격한 변화가 발생하기 때문이다. 즉, 이와 같은 급격한 변화로 인해 실제 트래픽 파라미터의 특성값을 예측하는데 많은 오류가 발생된다. 하지만 보상 계수를 도입함으로써 예측 오류를 95% 보상 할 수 있었다. 그러나 일반적으로 AR 모델을 이용한 대역

폭 예측기는 실제 트래픽의 변화 추세를 잘 반영하므로 다른 모든 실험 환경에서 제안 기법은 보상 계수의 추가 없이도 NRT 클래스에 설정된 최대 패킷 손실율을 만족시킨다.

V. 결론

UMTS 시스템은 영상전화, 음성전화, 스트리밍 비디오, 인터넷 브라우징 등 다양한 서비스 품질과 대역폭을 요구하는 멀티미디어 서비스를 효과적으로 제공하기 위해 진화하고 있다. 본 논문에서는 이와 같은 연구 추세에 따라 UMTS 시스템의 수송망 계층에서 다양한 응용 서비스들의 서비스 품질을 고려한 효율적인 대역폭 재할당 기법을 제안하고, 성능을 분석한 후 실제 트래픽 상황에서 실험, 검증하였다. 제안 기법은 NRT 클래스의 유휴 대역폭을 주어진 최대 패킷 손실율을 고려하여 예측하고 이를 RT 클래스에서 이용할 수 있게 함으로써 RT 클래스의 가용 대역폭을 증가시킴과 동시에 NRT 클래스의 패킷 손실율을 원하는 수준으로 보장해 준다. 실제 인터넷 링크에서 측정된 패킷 트레이스를 NRT 클래스의 입력 트래픽으로 이용한 실험을 통해 전체 대역폭이 동일한 경우 제안 기법은 RT 클래스의 서비스를 보다 많이 수용할 수 있으며, NRT 클래스가 대역폭을 RT 클래스에 제공하는 동안에도 NRT 클래스의 패킷 손실율이 보장됨을 보였다.

제안 기법은 입력 트래픽에 대한 가정 없이 패킷 측정을 통해 구현이 가능하며, AR 모델을 이용하므로 알고리즘 구현이 간단하여 온라인 제어 기법으로도 사용할 수 있다. 제안기법은 현재 Iu-PS 구간에만 적용되었으나 UMTS 시스템은 IP 기반 수송망으로 진화 중이므로 향후 제안 기법은 Iu-PS 구간뿐만 아니라 UMTS 시스템의 모든 인터페이스에서 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Wei-Ping Wang, et. al., "A simple approximation for modeling nonstationary queues", *IEEE Infocom'96*, pp. 255-262, March 1996.
- [2] S. Sharma, and D. Tipper, "Approximate models for the study of nonstationary queues and their applications", *IEEE ICC'93*, pp. 352-358, June 1993.

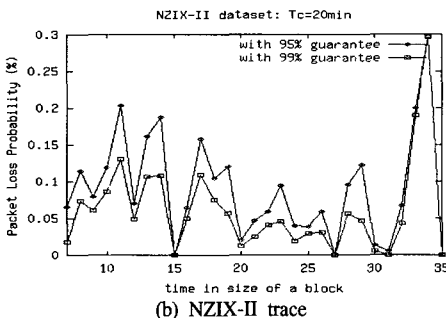
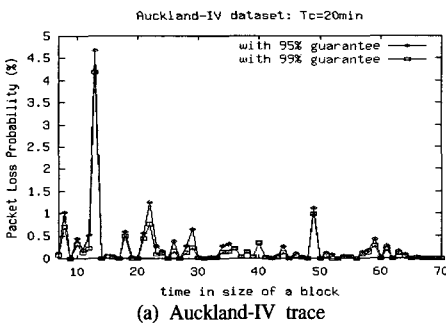


그림 3. 시간 블록별 NRT 클래스의 패킷 손실 확률

- [3] Y. Huang et al., "Performance analysis for voice/data integration on a finite mobile systems", *IEEE Trans. on vehicular technology*, vol. 49, pp. 367-378, March 2000.
- [4] B. Li et al., "Call admission control for voice/data integrated cellular networks: performance analysis and comparative study", *IEEE JSAC*, Vol. 22, pp. 706-718, May 2004.
- [5] V. Paxson, and S. Floyd, "Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 3, no. 3, pp. 226-244, June 1995.
- [6] W. E. Leland, and M. S. Taqq, W. Willinger, and D. V. Wilson, "On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol 2, Issue 1, pp. 1-15, February, 1994.
- [7] Aimin Sang, and San-qi Li, "A Predictability Analysis of Network Traffic", *IEEE Infocom2000*, Vol. 1, pp. 342-351, March 2000.
- [8] Balaji Krithikaivasan, et. al., "Adaptive Bandwidth Provisioning Envelope based on Discrete Temporal Network Measurements", *IEEE Infocom 2004*, Vol. 3, pp. 1786-1796, March 2004
- [9] Hung Tuan, and Thomas Ziegler, "On the Adaptive Bandwidth Provisioning Schemes", *IEEE ICC 2004*, Vol. 2, pp. 1123-1128, June 2004.
- [10] <http://pma.nlanr.net/Traces/long>
- [11] Baek-Yong Choi, et. al., "Adaptive Random Sampling for Load Change Detection", University of Minnesota, Technical Report, TR-01-041, 2001.
- [12] John M. Gottman, "Time-series Analysis", Cambridge University Press, 1981.

박재성 (Jaesung Park)

정회원



1995년 2월 연세대학교 전자공학  
학과 졸업

1997년 2월 연세대학교 전자공  
학과 석사

2001년 2월 연세대학교 전기,  
전자공학과 박사

2001년 3월~2002년 4월 U of  
M. PostDoc.

2002년 6월~2005년 2월 LG전자 선임연구원

2005년 3월~현재 수원대학교 인터넷정보학과 전임강사  
<관심분야> WiBro System, Mobility Management,

Wireless Mesh Network