

SCTP에서 객체 정보를 이용한 오류 제어 기법의 호손율

최 원 근*

Blocking Probability of the Error Control Mechanism Using
Object Information in SCTP

Won-Keun Choi*

요 약

멀티미디어 객체 데이터는 각 미디어 객체의 통합이므로 통합된 관점의 오류 회복 기법이 필요하다. 우리는 SCTP상에서 객체 관계를 이용한 통합된 관점의 오류회복 기법을 설계하고, 제안하였다. 본 논문은 이전에 제안한 새로운 오류 회복 기법의 수학적 분석과 성능평가를 수행하였다. 새로운 오류 제어 기법은 기존 기법인 선택적 재전송 기법에 비해 호손율에 있어서 더 좋은 성능을 보임을 볼 수 있었다. 사용자의 요구사항을 만족시키면서도 재전송을 위한 대역폭 감소, 프로세싱 파워 감소, 프레임 버퍼 감소등과 같은 네트워크 자원의 효율적인 사용을 통한 효과적인 오류 제어 방식임을 증명하였다.

Key Words : Multimedia Object, Error Control, SCTP, Performance Evaluation, Blocking Probability

ABSTRACT

Because multimedia object data is an integrated abstraction of each media object, it is necessary to have the new error recovery mechanism as integrated view point. We had designed and proposed the new error recovery mechanism for SCTP based on object information. In this paper, we have investigated its blocking probability by mathematic analyses and queuing theory. The results show that it provides lower blocking probability than those of the SRER (selected repeat error recovery)as conventional error recovery. The proposed mechanism should have the reduction effect of the network resources such as bandwidth, processing power, frame buffer and as well as satisfy the user requirements.

I. 서 론

멀티미디어 객체 데이터는 여러 미디어 객체 데이터가 모여서 하나의 의미를 전달한다.

멀티미디어 응용들을 지원하기 위한 통신 프로토콜의 요구사항들과 UDP와 TCP가 지원하는 사항들은 논문^[1-3]에서 볼 수 있다

UDP와 TCP의 특징(특히 멀티스트리밍과 스트림

패키징)을 합한 새로운 전송 계층 프로토콜 즉 SCTP(Stream Control Transmission Protocol)^{[1],[2]}가 제안되었다. SCTP는 연결 지향 서비스를 제공하며 전이중 통신을 사용하고 신뢰성 있는 서비스를 위해서 확인응답 절차를 사용한다.

SCTP의 데이터 단위는 데이터 청크이며, 데이터 전송은 데이터에 청크를 부여하면서 제어한다. 전송 순서 번호를 이용하여 데이터 청크에 번호를 부여한

* 본 논문은 인하공업전문대학의 지원에 의하여 연구되었습니다.

• First Author (ORCID:0000-0002-4144-8632)Inha Technical College Department of Information & Communication Engineering, wkchoi@inhac.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 201806-B-132-RN, Received January 18, 2018; Revised June 28, 2018; Accepted June 28, 2018

다. 각 데이터 청크는 전송순서번호 (TSN : Transmission Sequence Number), 흐름 식별자 (SI: Stream Identifier), 흐름 순서 번호 (SSN, Stream Sequence Number) 세 개의 식별자를 필요로 한다. TSN은 누적 번호이고 흐름제어와 오류제어를 위해서 사용된다.

멀티미디어 데이터 전송 시 버스트 특성을 갖는 방대한 양의 데이터를 시간적인 중속 관계에 따라서 실시간으로 전송하여야 한다. 만약 시간적인 제약 조건이 없다면 멀티미디어 데이터도 일반 데이터와 같은 방법으로, 여러 번의 재전송을 통하여 아주 낮은 오류율을 갖도록 할 수 있다. 그러나 이런 오류 정정 기법은 화상 회의, 온라인 데이터 검색 등 멀티미디어 데이터를 실시간으로 전송하여야 하는 대부분의 응용 프로그램에서는 사용될 수 없는 기법이다^[1,2].

본 연구는 논문^[1]에서 제안한 기법에 대한 성능 평가에 관한 연구로써 수학적 분석과 시뮬레이션을 이용하여 기존 방식과 제안한 방식의 성능을 비교하는 방법을 사용하였다. 2장에서는 새로운 오류 기법의 설계 및 동작원리에 대해서 요약 설명하고, 3장에서는 제안한 기법의 성능평가를 위한 수학적 분석 및 평가 모델에 대해 설명하며, 4장에서는 시뮬레이션을 통한 두 기법의 호손율에 대한 결과를 상호 비교하며 분석을 할 것이다. 마지막으로 본 연구에 대한 결론 및 향후과제를 논할 것이다.

II. 새로운 오류 제어 기법

SCTP를 포함한 멀티미디어 통신 프로토콜은 데이터 전송 시 발생하는 각 미디어의 오류를 회복할 수 있는 기본적인 오류 회복 기법을 제공한다. 하나의 프레임은 구성하는 여러 미디어 데이터들을 전송하다가 오류가 발생한 경우, 이것은 해당 미디어 데이터의 오류이면서 동시에 멀티미디어 데이터 전체에 영향을 미치게 된다. 멀티미디어 통신상에서 발생하는 데이터 오류에 대해서, 멀티미디어라는 전체적인 측면에서 고찰된 오류 회복 방법을 제공해야 한다^[7-9]. 또한 이러한 두 기법은 하나로 통합(combined error recovery) 되어 운용되어야 한다^[10,11].

2.1 핵심객체(Key Object)

본 연구에서는 핵심 객체를 정의하였다^[1]. 핵심 객체들은 주로 사람사이의 의사전달에 있어서 중요한 객체들이다. 예를 들어서 축구 경기를 중계하는 경우, 사용자는 핵심 객체로서 축구공과 축구공 주위 사람

들을 핵심 객체들로서 지정할 수 있다. 그러므로 핵심 객체는 멀티미디어 통신에서 반드시 전송되어야 하는 객체(들)이며 미디어 특성보다는 데이터 특성이 강하다. 핵심 객체에 오류가 발생한 경우에는 재전송을 통해서 오류를 회복해야 한다.

2.2 통합 오류 기법

본 연구에서 제안한 새로운 기법에서는 오류 회복 방법을 적용하기 위하여 핵심 객체 오류와 미디어 오류의 개념을 도입한다^[1].

사용자는 미디어 채널을 오픈할 때, 객체 오류 및 채널 오류와 그 오류 회복 기법을 기술할 수 있다. 그리고 연결 내에서 자신이 허용하는 오류의 패턴 및 그 오류 회복 기법을 기술할 수 있다^[1].

그림 1에서 사용자가 한 프레임 동안 모든 채널 핵심 객체에 오류가 발생하는 것은 허용할 수 없다고 기술한 경우, i-2 프레임, i-1 프레임, i 프레임은 미디어 오류로 취급된다. 한 프레임 동안 여러 채널에 객체들의 오류가 발생하여 모든 채널의 객체들의 오류를 회복할 수 없을 경우에도, 사용자가 허용한 오류 패턴을 만족시킬 수 있는 채널의 객체 오류만을 회복함으로써, 사용자의 요구에 적합한 출력을 할 수 있다^[1].

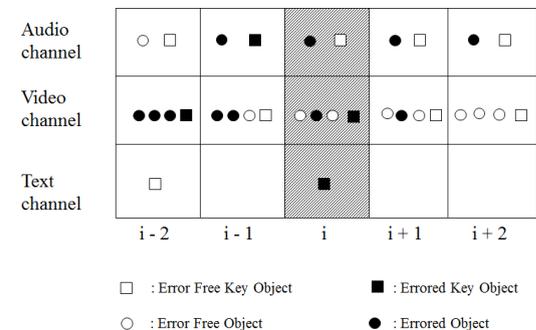


그림 1. 객체 오류, 핵심 객체 오류, 미디어 오류
Fig. 1. Object, Key Object, Media Error

III. 성능 평가

패킷에 하나 또는 그 이상의 비트 오류가 발생할 확률 P_{packet} 은 다음과 같이 계산 될 수 있다

$$P_{packet} = 1 - (1 - p_{bit})^{data+header} \quad (1)$$

P_{bit} : 전송채널 오류율, data: 데이터 크기, header: 헤더 크기, $(1-P_{bit})$: 임의의 비트가 오류가 없을 확률, $(1-P_{bit})^{data+header}$: 패킷의 모든 비트에 오류 없을 확률

각 미디어 채널이 하나의 프레임 객체 데이터를 1번 전송하고, 이에 대해 응답을 받을 때의 평균 오류 P_{object} 은 다음과 같다.

$$P_{data} = n_{frame} \times (1 - (1 - p_{bit})^{l_{dd} + l_{dh}}) \quad (2)$$

단, P_{data} : n_{frame} 개의 패킷에 하나 또는 그 이상의 비트 오류가 발생할 확률, n_{frame} =프레임 객체 데이터 크기 / 데이터 패킷 크기(S_{frame}/S_{data}), l_{dd} =패킷 데이터 크기, l_{dh} =패킷 헤더크기

$$P_{ack} = 1 - (1 - p_{bit})^{l_{dack} + l_{dack}} \quad (3)$$

P_{ack} :응답 패킷에 하나 또는 그 이상의 비트 오류가 발생할 확률, l_{dack} =응답 패킷의 데이터 크기, l_{hack} =응답 패킷의 헤더 크기

그러므로 프레임 한 객체의 오류 확률 P_{object} 은 다음과 같다.

$$P_{object} = P_{data} + P_{ack} - P_{data} \times P_{ack} \quad (4)$$

또한 k번의 전송이 완료된 후, 발생한 객체의 오류는 최대 허용 오류율 이하이어야 하므로 다음 식을 만족하여야 한다.

$$\frac{P_{object}^k}{K} < \log_{P_{object}}(P_{cha}) \quad (5)$$

단, P_{cha} :허용된 최대 채널 오류

3.1 기존 기법의 수학적 분석

미디어 채널은 각각 서로 다른 미디어 오류확률을 갖는다. 또한 동일한 미디어에서도 객체의 크기는 객체마다 다르므로 한 객체의 오류확률 또한 다르다. 객체의 수가 N개로 이루어진 프레임을 가정하자. 이 프레임을 전송할 때 프레임의 오류확률은 다음과 같다.

$$P_{frame} = \sum_{i=1}^N P_i - \sum_{i < j} P_i P_j + \dots + (-1)^{N+1} P_1 P_2 P_3 \dots P_n$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i) \quad (6)$$

(N: 프레임의 총 객체 수, i,j,...n :객체번호)

3.2 새로운 오류 제어 기법의 수학적 분석

전체 객체의 개수가 N개인 한 프레임에서 사용자가 미디어 오류로 지정한 객체의 개수를 M($M < N$)개라고 하자. M개의 객체에서 오류가 발생할 프레임 오류확률 즉, 새로운 기법을 적용시켰을 때 프레임의 오류확률 P_{SCTP} 는 다음과 같다. (k,l,m,...은 사용자가 미디어 오류로 지정한 객체번호이다)

$$P_{SCTP} = (P_k + P_l + P_m + \dots) - (P_k P_l + P_l P_m + P_m P_k + \dots) + (P_k P_l P_m + \dots) - \dots + (-1)^{M+1} (P_k P_l P_m \dots) / M$$

$$= 1 - (1 - P_k)(1 - P_l)(1 - P_m) \dots / M \quad (7)$$

한편 한 프레임의 데이터 크기 (S_{frame} bits)는 모든 객체들의 데이터(bits)로 구성된다.

$$S_{frame} = \sum_{i=1}^N S_i \quad (8)$$

$$N_{frame} = \frac{S_{frame}}{S_{packet}} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{S_{packet}} = \sum_{i=1}^N N_i \quad (9)$$

N_{frame} : 한 프레임에서 셀들의 총 개수

N_i : 주어진 프레임의 한 객체의 셀들의 총 개수

헤더를 포함한 패킷의 오류 확률을 P_{packet} 이라고 하면, 프레임오류 확률 P_{frame} 및 객체 오류 확률 P_i 는 다음과 같다.

$$P_{frame} = 1 - (1 - P_{packet})^{N_{frame}}, P_i = 1 - (1 - P_{packet})^{N_i} \quad (10)$$

식10으로부터, 각 객체 오류 확률과 프레임 오류 확률과의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$P_i = 1 - (1 - P_{frame})^{n_i/n_{frame}} \quad (11)$$

식11의 방정식을 이용하면, 식7 방정식의 사용자가 정의한 어떠한 오류의 조합도 확률적으로 계산이 가능하다. 계산된 프레임 오류 확률 P_{scpt} 는 P_{frame} 를 대체하고 $q_{frame} = 1 - P_{SCTP}$ 로 바뀐다.

제안된 오류 회복 기법에서 사용자는 각 미디어 채널에서 객체 오류와 채널 오류 회복 기법을 정의 할 뿐 아니라 미디어 오류와 미디어 오류 회복 기법을 정

의할 수 있다.

예를 들어서 한 사용자가 다음과 같이 오류를 정의하고 오류 회복 기법을 선택했다고 가정하자.

- 1) 미디어 오류 = “비디오 2,3번 객체 및 텍스트 채널의 오류”
- 2) 오류 회복 = “비디오 2번을 통한 오류 회복”

미디어 채널별로 오류 확률은 서로 다르다. 즉, 비디오 객체2, 3번의 오류 확률과 텍스트 채널 오류 확률은 서로 다르다. 비디오 2번 객체의 오류 확률을 P_{m2} , 3번 객체의 오류 확률을 P_{m3} , 텍스트 데이터의 오류 확률을 P_t 라고 하면 식11에 의해서 제안된 기법을 적용시킨 오류 확률 P_{sctp} 의 확률이 계산된다.

즉 $P_{sctp}=(1-P_{m2})(1-P_{m3})(1-P_t)$ 이 된다.

사용자가 지정한 미디어 오류 이외의 객체들은 오류가 발생하여도 오류로 취급하지 않으며 오류 회복에 관한 모든 과정을 처리하지 않는다. 결과적으로 제안된 오류 회복 기법을 적용한 프레임 오류 확률 P_{sctp} 는 p_{frame} 보다 매우 작은 값이 된다. 그러므로 제안한 회복 기법을 사용함으로써 오류가 아주 작게 발생한 것과 같은 효과를 갖는다.

오류 회복은 단지 비디오 객체2번 데이터만을 재전송 받음으로써 사용자의 요구를 만족시킬 수 있다. 그러므로 사용자가 정의한 오류 회복 객체들만의 재전송 즉, 비디오 객체 2번 데이터의 오류 확률이 된다. 즉 $P_{sctp}=1-(1-P_{m2})$ 이 됨으로써, 결국 제안한 오류 회복 기법은 오류 회복을 위한 프로세싱 시간을 감소시키는 커다란 장점을 갖고 있다.

3.3 성능평가 모델

그림 2는 프로토콜 구조에 기초한 성능 평가 모델을 보여준다^[11-15].

그림 2에서 λ_n 는 각 계층의 입력 도착율을 표시하며

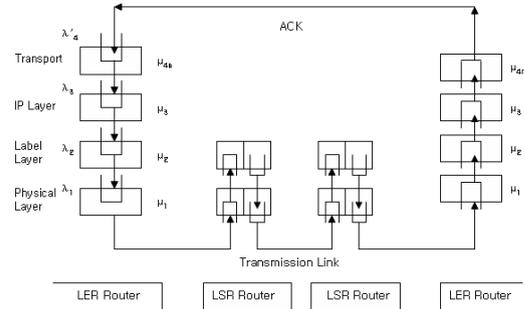


그림 2. 성능 평가 모델
Fig. 2. Performance Evaluation Model

다음과 같다.

λ_4 는 SCTP계층의 데이터 도착율을 표시하고, λ_3 는 IP계층, λ_2 는 label계층, 그리고, λ_1 은 물리계층의 입력특성을 나타낸다.

송신측 노드의 상위 계층에서는 SCTP로 새로운 입력 데이터들을 전달한다. 도착하는 데이터들은 각 미디어 데이터의 합(λ_4)과 오류 회복을 위한 재전송 데이터들의 총계적 특성(λ'_4)을 갖는다.

3.4 중단간 지연의 수학적 분석

프레임의 한 객체가 $K(1 \leq K \leq M_4)$ 번 전송 후에 오류 없이 전송되었다고 가정하면 그림 2모델에서의 중단간 프레임 전달 지연의 Laplace 변환은 다음과 같다. (단 ACK는 오류가 없다고 가정한다.)

다음 식들은 간략화를 위한 식이다.

- 1) $F_{4u,t}^*(s)$ 는 원천지 SCTP에서 사용자가 정의한 오류 채널 데이터를 전송하는데 소비된 시간의 Laplace 변환, 2) $S_{4u}^*(s)$ 는 중단간 타임아웃 시간의 Laplace 변환이다. 3) $F_{3u}^*(s)$ 는 IP계층, 4) $F_{2u}^*(s)$ 는 Label계층, 5) $F_{1u}^*(s)$ 는 물리 계층, 6) $G_{1u}^*(s)$ 는 MPLS^[15] 라우터에서의 전송 지연 시간의 Laplace 변환이다. 그리고 7) $F_{4u,e}^*(s)$ 는 목적지 SCTP의 오류 처리를 위해서 소

$$A_{4u}^*(s) = \sum_{k=2}^{M_4} [q_{4u} p_{4u}^{k-1} \{F_{4u,t}^*(s) S_{4u}^*(s)\}^{k-1} F_{4u,t}^*(s) F_{3u}^*(s) \{F_{1u}^*(s) G_{1u}^*(s) F_{2u}^*(s)\}^l F_{4u,e}^*(s)]$$

$$1 / \left(\sum_{k=2}^{M_4} q_{4u} p_{4u}^{k-1} \right) = \sum_{k=2}^{M_4} \{q_{4u} p_{4u}^{k-1} S_{4u}^*(s)^{k-1} F_{4u,t}^*(s)^k F_{3u}^*(s) F_{2u}^*(s)^l F_{1u}^*(s)^l G_{1u}^*(s)^l F_{4u,e}^*(s)\} \tag{12}$$

$$1 / \left(\sum_{k=2}^{M_4} q_{4u} p_{4u}^{k-1} \right) = \frac{1}{\sum_{k=2}^{M_4} q_{4u} p_{4u}^{k-1}} F_{2u}^*(s)^l F_{1u}^*(s)^l G_{1u}^*(s)^l F_{4u,e}^*(s) B_{4u}^*(s)$$

$$C_i = 1 / \left(\sum_{k=2}^{M_4} q_{4u} p_{4u}^{k-1} \right), \quad B_{4u}^*(s) = \sum_{k=2}^{M_4} \{q_{4u} p_{4u}^{k-1} S_{4u}^*(s)^{k-1} F_{4u,t}^*(s)^k\} \tag{13}$$

비되는 시간의 Laplace 변환이다.

또한 중단간 프레임 전송을 위한 평균 전송 지연은 다음과 같다.

$$T_0 = -A'_{4u}|_{s=0} = -F'_{3u}|_{s=0} - lF'_{2u}|_{s=0} - lF'_{1u}|_{s=0} - lG'_{1u}|_{s=0} - F_{4,c}|_{s=0} - B'_{4u} / C_u|_{s=0} \quad (13)$$

IV 성능평가 및 분석

4.1 시뮬레이션 가정

사용자가 지정한 핵심 객체의 개수는 한 프레임에서 발생하는 평균 객체들의 개수에 10%, 30%, 50%라고 가정한다. 핵심 객체의 수가 1개 미만인 경우는 핵심 객체의 개수를 1개라고 가정하고, 사용자가 지정한 핵심객체는 오류 없이 전송되어야한다. 허용된 재전송 이후에도 핵심 객체에 오류가 있는 프레임은 프레임 오류로 처리한다. 각 계층에서 사용되는 평균 프로토콜 처리 시간은 모두 같다고 가정한다.

비트오류율(BER: bit error rate)은 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} 을 가정하였다. 허용된 최대 재전송 횟수 $M_4=2$, 이 가정은 멀티미디어 데이터의 지연 민감성에 기초한다. 버퍼의 개수는 K 보다 충분히 크게 하였으며, 2개의 LSR라우터가 있다고 가정하였다.

4.2 성능 비교

그림 3-5에서 수평축은 원천지 노드에서의 SCTP의 트래픽 밀도 λ_1/μ_1 를 나타낸다. 수직축은 프레임 호손율(frame blocking probability)을 나타낸다.

그림 3은 비교적 오류가 많은 경우로 볼 수 있다. 모든 트래픽 밀도에 대해서 제안된 오류 제어 기법이 기존의 오류 제어 기법에 비해 작은 호손율을 가지고 있음을 볼 수 있으며, 트래픽 밀도가 높아질수록 호손

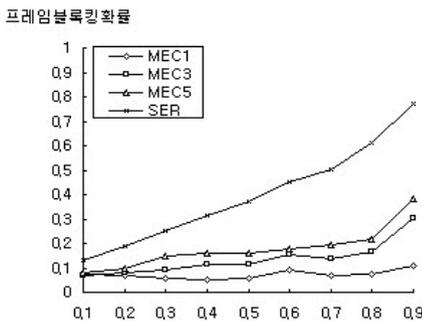


그림 3. BER이 10^{-4} 일때의 호손율
Fig. 3. Blocking Probability in BER= 10^{-4}

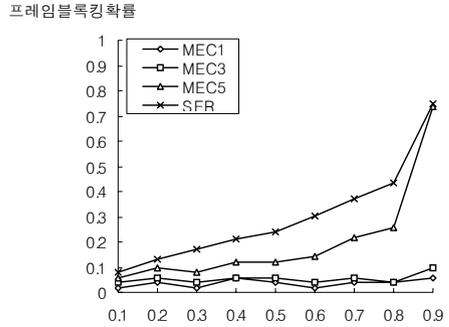


그림 4. BER이 10^{-5} 일때의 호손율
Fig. 4. Blocking Probability in BER= 10^{-5}

율의 차이가 많이 나는 것을 볼 수 있다. 핵심 객체의 비율이 많아질수록 호손율이 높아지는 것을 볼 수 있다. 그만큼 꼭 전송해야하는 객체가 많아져서 프레임 호손율이 높아짐을 알 수 있다.

그림 4는 비트 오류율 10^{-5} 에 대한 두 기법의 호손율의 비교이다. 두 가지 오류 회복 기법의 평균 프레임 호손율이 비트 오류율이 10^{-4} 인 경우 보다 상대적으로 두기법의 호손율의 차이가 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 비트 오류율이 10^{-6} 인 경우이다. 두 기법이 아무런 차이를 보이지 않는다. 즉 오류율이 낮은 경우, 호손율에 영향을 미치는 요소는 오류 회복 기법과 큐잉 기법보다는 트래픽 밀도가 더 커다란 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 오류율이 매우 작아서 두 기법의 차이는 볼 수 없었다.

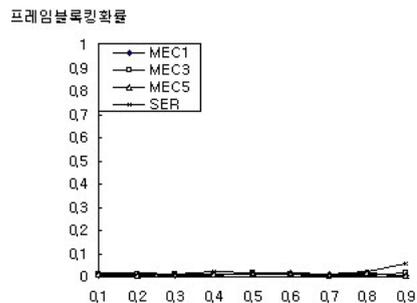


그림 5. BER이 10^{-6} 일때의 호손율
Fig. 5. Blocking Probability in BER= 10^{-6}

V. 결론

멀티미디어 객체들로 구성된 프레임들을 SCTP 프로토콜을 이용하여 객체들을 전송하는 경우, 재전송을

포함해서 전송에 실패한 프레임들의 평균 호손율은 오류율이 낮을수록 작은 호손율을 갖는 것을 볼 수 있었다. 오류율이 높은 경우에 제안한 기법이 기존 기법보다 작은 호손율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 새로운 오류 제어 제안한 기법은 사용자의 요구 사항을 만족하면서도 재전송을 위한 프레임 버퍼, 프로세싱 파워, 대역폭의 감소등과 같은 통신자원의 효율적인 사용을 통한 효과적인 오류제어 방식임을 증명하였다.

앞으로의 과제는 무선통신망에서의 응용을 위한 연구가 진행될 것이다.

References

[1] W. K. Choi, "New error control mechanism for multimedia objects in SCTP," *J. KICS*, vol. 42, no. 8, pp. 1702-1707, Aug. 2017.

[2] W. K. Choi, "The effective combined error control method for SCTP based on multimedia characteristics information," *J. IEIE*, vol. 54, no. 2, pp. 151-156, Feb. 2017.

[3] B. A. Forouzan and F. Mosharraf, *Computer Network A Top-Down Approach*, McGrawHill, 1st Ed., pp. 722-736, 2012.

[4] W. K. Choi, "Resource adaptive QoS management for Q-MOTP in MPLS network," *IEIE*, vol. 51, no. 12, pp. 204-209, Dec. 2014.

[5] W. K. Choi, "A study of transfer delay of Q-MOTP for multimedia object streams in MPLS network," *J. KICS*, vol. 38, pp. 28-32, 2013.

[6] W. K. Choi, "Effective multimedia object data transport protocol in MPLS network using Q-CBQ method," *J. KICS*, vol. 37, pp. 180-184, 2012.

[7] W. K. Choi, "Performance evaluation of Q-MOTP for multimedia object data transfer in MPLS network," *J. KICS*, vol. 37, no. 1, pp. 175-179, 2012.

[8] W. K. Choi, "Performance evaluation of Q-CBQ method for multimedia streams in MPLS Router," *J. KICS*, vol. 37, no. 1, pp. 1-8, 2012.

[9] W. K. Choi, "Effective QoS supporting scheme for multimedia streams in MPLS

router," *J. KICS*, vol. 34, no. 8, pp. 260-266, 2009.

[10] W. K. Choi and S. S. Ahn, "Performance analysis of multimedia-oriented error control mechanism over ATM network," *J. KISS(A)*, vol. 26, no. 7, pp. 827-838, 1999.

[11] W. K. Choi and S. S. Ahn, "An adaptive QoS management based on resource information for multimedia streams over ATM," *J. KISS(A)*, vol. 25, no. 6, pp. 593-605, 1998.

[12] H. W. Lee and J. W. Mark, "ATM network traffic characterization using two types of On-Off sources," *INFOCOM'93*, pp. 152-159, Mar. 1993.

[13] G. Armitage, "MPLS: the magic behind the myths," *IEEE Commu. Mag.*, pp. 124-131, Jan. 2000.

[14] C. Lin and E. C. Lim, "Dynamic queue length thresholds for scheduling real-time in ATM traffic," in *Proc. ICC'99*, pp. 869-874, 1999.

[15] G. M. Lee and J. K. Choi, "Flow-based admission control for multiple service classes in ATM-based MPLS network," in *Proc ICATM'01*, pp. 37-41, 2001.

최 원 근 (Won-Keun Choi)



1982년 2월 : 아주대학교 전자공학과 졸업
 1986년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
 1999년 8월 : 고려대학교 전자공학과 박사
 1991년 9월~현재 : 인하공업전문대학 정보통신과 근무

<관심분야> 멀티미디어 통신, QoS, 트래픽 분석 및 관리