

3GPP 정책기반에서 호 수락 제어(CAC) 알고리즘 적용에 따른 QoS 성능개선

QoS Improvement Analysis Call Admission Control(CAC) Algorithm based on 3GPP PBNM

송복섭, 문정수, 김정호

국립한밭대학교 정보통신전문대학원 컴퓨터공학과

Bok-Sob Song(serve73@hanbat.ac.kr), Zheng-Zhu Wen(jsoo0116@hanbat.ac.kr),
Jeong-Ho Kim(jhkim@hanbat.ac.kr)

요약

본 논문에서는 다양한 서비스의 QoS를 제공하기 위하여 호 수락 제어(Call Admission Control : CAC) 알고리즘에 트래픽 혼합비를 적용했을 때 평균 데이터 전송율과 평균 패킷 지연시간을 비교 평가하였다. 우선권 기반의 트래픽 혼합비가 1:1:4:4일 때 호 수락 제어 알고리즘을 적용하지 않았을 경우 FTP 서비스는 0.4일 때, 웹 서비스는 0.6일 때, 스트리밍 서비스는 0.7일 때 패킷 지연 요구사항을 만족하지 못하는 것과는 달리 제안하는 호 수락 제어 알고리즘을 적용하였을 경우 성능 평가를 수행한 모든 도착률에 대해 모든 서비스의 패킷지연을 만족함을 보였다. 또한 WWW, FTP, Video, VoIP 서비스를 대상으로 호 수락 제어 알고리즘을 적용하여 트래픽 혼합비 환경에서 서비스의 QoS를 보장할 수 있음을 확인하였다.

■ 중심어 : | 3GPP | PBNM | CAC | CAC Algorithm | QoS | End-to-End QoS |

Abstract

In this paper, to provide various services of QoS, and moreover applying traffic ratio to CAC(Call Admission Control) algorithm tested how long average data rate and the average packet delay time. When CAC algorithm is not applied, traffic mixture ratio is 1:1:4:4, the FTP Service 0.4, web services 0.6, streaming service 0.7, the packet delay requirements are not satisfied. On the other hand CAC Algorithm is applied, all the service of packet delay are satisfied with arrival rate. Therefore, we can make sure that applying of CAC of traffic control WWW, FTP, Video, VoIP can guarantee the various services of QoS.

■ keyword : | 3GPP | PBNM | CAC | CAC Algorithm | QoS | End-to-End QoS |

1. 서론

인터넷 기술에 무선 통신이 도입되면서, 스마트폰 또는 무선 랜 등 휴대가 간편한 노트북 등에 연결하여 사용하는 이동통신 사용자가 급증하고 있다. 그러나 다양

한 멀티미디어 서비스를 제공하는데, 트래픽의 특성상 IP망을 이용할 경우, 최선형(Best-Effort) 방식으로 트래픽을 보내므로 End-to-End QoS(End-to-End Quality of Service) 보장을 위한 패킷 우선순위 및 자원예약에 관한 문제를 해결해야 한다. 이에 3GPP(Third

Generation Partnership Project)에서는 발신과 수신 사이에 요구되는 QoS(End-to-End QoS)를 보장하기 위해 정책기반 망 관리 기법(Policy Based Network Management : PBNM)을 적용할 것을 권고하고 있다 [1-5].

본 논문에서는 3GPP 정책기반에서 호 수락 제어 알고리즘에 트래픽 혼합비를 조정하여 WWW, FTP, Video, VoIP 환경에서 정책기반 서비스를 적용하여 수행하였다. 또한 다양한 QoS를 만족시키기 위해 트래픽 혼합비를 조정하였는데, 요청되는 트래픽은 인터랙티브, 최선형, 스트리밍, 대화형을 고려하며, 하나의 UE는 한 번에 하나의 서비스를 사용한다고 가정하였다 [4][6].

II. End-to-End QoS 자원관리

1. End-to-End QoS 보장 모델

End-to-End 양측의 통신개체(Mobile station, 상대 Node) 사이에 QoS를 제공하기 위해서는 각각의 접속망에서, 그리고 이들을 연결하는 외부 핵심망에서 QoS가 각각 보장되어야 하며, 양측의 QoS 파라미터와 제어기능을 정합시킬 필요가 있다. End-to-End QoS 신호의 전달과정을 [그림 1]에 나타내었다.

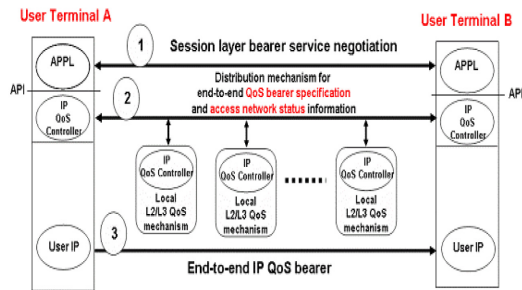


그림 1. End-to-End QoS 신호 전달 과정

End-to-End 서비스 제공을 위해 접속 망에서는 Access Bearer Service가 제공되며, Access Gateway를 통하여 외부 핵심망에 접속된다. 외부 핵심망들은

Border Router들을 통하여 트래픽을 전달하되, DiffServ 혹은 IntServ를 사용할 수 있다. 단말측에서 보면, 서비스 응용층(Application), QoS 기능모듈(QoS API), 접속 기능층(Access Functions)으로 나뉘어진다. 서비스 응용층은 통신상대와 응용신호(Session Initiation Protocol(SIP)) 방식에 의한 응용에 필요한 QoS 정보를 주고받고, QoS API를 이용하여 단말 QoS 기능모듈과 접속된다[7]. QoS 기능모듈은 상대측과 QoS 신호방식을 처리하는 계층이다. 예를들어 RSVP 등을 사용한다. 접속 기능층은 접속기술에 따라 접속 베어러 신호방식을 처리하여 QoS 요구조건에 맞는 접속을 지원한다.

2. 3GPP에서 End-to-End QoS

3GPP에서 End-to-End QoS를 만족시키기 위해 정책기반 망 관리 기법을 적용할 것을 권고하고 있다[1]. 3GPP에서 권고하는 정책 기반 관리 기법을 적용한 차세대 이동통신망의 구조는 [그림 2]와 같다[8].

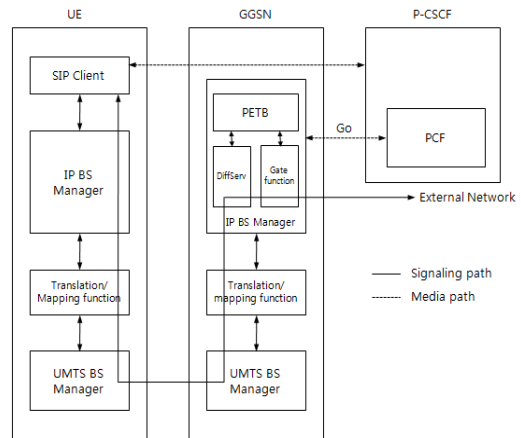


그림 2. 3GPP에 의해 제안된 정책 기반 망 관리 구조

망 운영자에게 의해 정의된 정책에 따라 망 자원을 관리함으로써 통신의 질을 높이고, 정책을 결정하는 정책 결정 지점(PDP)과 실제 실행하는 정책 실행 지점(PEP) 사이의 통신을 통해 이루어진다. 3GPP의 구조에서 End-to-End IP QoS를 만족시키기 위해서는 기존의

UMTS(Universal Mobile Telecommunications System) Bearer Service를 위한 QoS 관리 기능 요소들(QoS Management Functions)에 IP BS(IP Bearer Service)를 정책 기반으로 관리하기 위한 QoS 관리 기능 요소인 IP BS Manager와 PCF(Policy Control Function)를 첨부시켜야 한다. IP BS Manager는 UMTS 망과 통신하는 외부 IP BS를 제어하기 위해 사용된다.

IP QoS를 제공하는 다른 대표적인 방법인 IntServ 방식의 RSVP Endpoint로서의 기능도 제공할 수 있으나, 3GPP에서는 이를 사업자의 특성에 따라 옵션으로 제공할 수 있는 기능으로 하고 기본적으로는 DiffServ를 통해 QoS를 보장하도록 한다.

이들 PCF와 IP BS Manager 사이의 인터페이스는 Go 인터페이스로 정의 되는데 여기서 사용하는 프로토콜은 COPS프로토콜이다[1]. COPS는 IETF에서 정의된 프로토콜로서 정책 서버와 정책을 실행하는 망의 디바이스 사이에서 사용하는 프로토콜이다. 이때 사용되는 메시지로 REQ, EDC, RPT와 같은 것이 있다[9].

III. 호 수락 제어 알고리즘

호 수락 제어(CAC) 알고리즘은 수락 여부에 대한 제어를 통하여 QoS를 보장해 주는 중요한 기법이다. 시스템의 자원을 적절히 분배함으로써 시스템의 유효용량을 효과적으로 처리 할 수 있다. 우선권에 기반한 호 수락 제어 알고리즘은 시스템의 서비스 품질을 효과적으로 유지하고 자원을 효율적으로 활용한다. 특히, 본 논문에서 적용될 우선권에 기반한 호 수락 제어 방식은 서로 다른 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당하고 우선권이 할당된 호에 대해서는 특정된 자원을 미할당으로 시스템의 품질을 보장해 준다[10-12]. 이동통신 시스템에서 핸드오프 호의 호 절단률은 새로운 호의 호 차단률보다 서비스 품질에 미치는 영향이 훨씬 크다. 따라서 핸드오프 호에 더 높은 우선권을 할당하는 우선권기반의 호 수락 제어기법이 제안되었다. 우선권에 기반한 호 수락 제어 기법의 흐름도는 [그림 3]과 같다 [10-12].

이동통신 시스템에서 핸드오프 호에 우선권을 할당하는 호 수락 제어 알고리즘은 일정한 수의 채널을 핸드오프 호만을 위하여 할당하고 나머지 채널을 새로운 호와 핸드오프 호가 공유하는 방식의 핸드오프 호 우선권 기법이다[13]. 핸드오프 호 우선권 기법을 멀티미디어 환경으로 확대 및 트래픽 변화에 따라 동적으로 보호채널을 변화시키는 동적인 호 수락 제어기법을 제안하였다[12-14]. 동적 보호채널 알고리즘은 핸드오프 될 사용자의 수 혹은 대역요구량을 예측하고, 예측 값에 근거하여 보호채널을 변화시킨다.

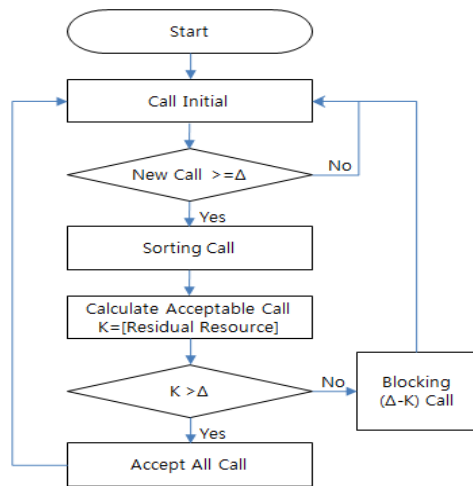


그림 3. 자원요구량에 기반한 우선권 할당 호 수락 제어 흐름도

[그림 3]에서 Δ는 매 차의 호 수락 제어에서 처리하는 새로운 호의 수를 나타내고 K는 시스템의 여유용량을 나타낸다. 우선권에 기반한 호 수락 제어 알고리즘은 호 신청을 하는 사용자의 수가 Δ에 이르면 Δ명의 사용자의 전체 시스템에서 (식 1)과 같이 자원요구량을 측정한다[14].

$$X_{y,n} = a(P^r) \left(1 + \sum_{n=1, n \neq i}^N X_{y,n} \right) = a(P^r) \left(1 + \frac{\sum_{n=1, n \neq i}^N P_{y,n}^{r, plot} / P_n^{r, plot}}{P_{y,i}^{r, plot} / P_i^{r, plot}} \right) \quad (식 1)$$

다음 Δ 명의 사용자를 호 신청을 한 선후순서가 아닌 전체 자원요구량에 근거하여 재 정렬하여 전체 자원요구량이 가장 적은 사용자에게 가장 높은 우선 순위를 할당한다. 만약 접속하려는 셀에 한명의 사용자만 받아들일 수 있는 여유용량이 있으면 Δ 명의 사용자들 중에서 가장 높은 우선권이 할당된 사용자만 받아들인다. 목표 셀의 특정된 이웃 셀에서 가장 높은 우선권을 할당 받은 사용자의 자원 요구량이 기타 ($\Delta-1$)명의 사용자의 자원 요구량보다 반드시 작은 값을 가진다고 할 수 없지만 가장 높은 우선권을 가진 사용자를 받아들이는 것은 전반 시스템 측면에서는 간섭을 줄일 수 있다.

IV. 시뮬레이션 및 성능평가 해석

UMTS망에서 지연시간에 따른 민감도(Delay Sensitivity)에 따라 트래픽을 크게 인터랙티브(Interactive), 최선형(Best-Effort), 스트리밍(Streaming), 대화형(Conversational)의 네 개의 클래스로 구성한다. 인터랙티브 클래스와 최선형 클래스는 비실시간 트래픽을 위한 클래스이다. 예를 들어 인터랙티브 클래스는 주고받는 패턴을 따르는 트래픽을 위한 클래스로 WWW 서비스에서 주고받는 데이터와 같은 트래픽을 위한 것이고, 최선형 클래스는 지연시간 보장에 가장 영향을 덜 받는 FTP의 다운로드와 같은 트래픽을 위한 것이다. 스트리밍 클래스와 대화형 클래스는 실시간 트래픽을 위한 클래스로 지연시간에 민감한 클래스이다. 예를 들어 스트리밍 클래스는 Video On Demand (VOD) 서비스의 스트리밍 비디오와 같은 지연시간에 약간 덜 민감한 트래픽을 위한 것이고 대화형 클래스는 전화서비스의 음성 트래픽과 같은 지연시간 보장이 중요한 트래픽을 위한 클래스이다[2].

1. 성능평가 망 구성

무선접속 구간인 UTRAN(Universal Terrestrial Radio Access Network)과 SGSN(Serving GPRS Support Node) 부분이 생략된 구조로 트래픽을 요구하고 발생시키는 6개의 UE와 IP망을 통해 전달될 때 이

들을 처리하는 GGSN 그리고 정책 결정을 위한 P-CSCF로 구성되어 있다. GGSN(Gateway GPRS Support Node)은 DiffServ를 지원하는 일반적인 IP 라우터와 같은 노드이다. 따라서 GGSN은 DiffServ에서 지원하는 패킷 스케줄링, 큐 관리, 트래픽 컨디셔닝 등의 기능을 수행한다. GGSN 이후의 End-to-End 에서는 여러 개의 라우터를 거칠 수 있으나, 여러 개의 라우터를 거치는 여부와 상관없이 병목지점 출력 링크의 영향이 크므로 GGSN 이후의 복잡한 라우터 구조를 코어 라우터 하나로 대체 하였다. 정책이 적용되기 위해서는 병목 지점의 링크에 과도한 트래픽을 보내어 혼잡이 발생하도록 해야 하므로 병목지점의 링크 대역폭을 10Mbps로 하였다. 이에 따라 성능평가 트래픽 특성을 적용하는 망 구조는 [그림 4]와 같다. [그림 4]는 트래픽을 요구하고 발생 시키는 UE가 6개 있다. 각 UE에서 DiffServ의 특정 PHB에 해당하는 트래픽을 발생시키도록 한다. UE1, UE2는 각각 음성, 비디오 서비스를 위한 UDP 트래픽을 발생시킨다. 따라서 UE1은 UMTS의 대화형 클래스인 12.2Kbits/s Adaptive Multi-Rate (AMR) 코덱의 음성 트래픽을 발생시키고, UE2는 UMTS의 스트리밍 클래스인 평균 28 Kbits/s의 H.263 비디오 코덱의 스트리밍 비디오 트래픽을 발생시킨다. 이들 UE1, UE2에서 발생하는 트래픽은 NS-2에서 제공하는 지수분포를 이용하였다.

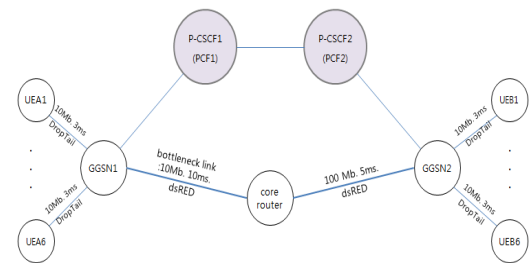


그림 4. 성능평가를 위한 UMTS망 구조

UE3에서 UE5까지의 세 개 UE는 WWW 데이터 트래픽을 위한 TCP 트래픽을 발생시키는데, 이들은 각각 UMTS의 인터랙티브 클래스에 해당된다. 트래픽은 각각 64Kbits/s, 144Kbits/s, 384Kbits 속도를 가지는 트

래픽이다. UE6는 64Kbits/s, 144Kbits/s, 384Kbits 속도의 데이터 트래픽이 합쳐진 TCP 트래픽으로 UMTS의 최선형 클래스에 해당하는 트래픽을 발생시킨다. UE3에서 UE6까지의 트래픽은 모두 NS-2에서 제공하는 파레토 분포(Pareto Distribution)를 이용하여 데이터 트래픽으로 발생시킨다.

2. 성능평가 해석

호 수락 제어에 트래픽 혼합비(1:1:1:1 및 1:1:4:4)를 적용했을 때 평균 데이터 전송율과 평균 패킷 지연시간 적용한 트래픽 시간은 10,000초를 수행하였으며, 초기 천이 과정의 데이터를 배제하기 위하여 0초에서 2,000초까지의 데이터는 반영하지 않았다. 요청되는 트래픽은 인터랙티브, 최선형, 스트리밍, 대화형을 고려하며, 하나의 UE는 한 번에 하나의 서비스를 사용한다고 가정하였다[6]. 트래픽 혼합비는 WWW, FTP, Video, VoIP 순으로 1:1:1:1 및 1:1:4:4인 환경에서 성능평가를 적용하여 수행하였다.

[그림 5]는 트래픽 혼합비가 1:1:1:1일 때의 UE의 서비스 시간 당 도착률에 따른 평균 데이터 전송률을 나타낸다. 앞서 제시한 호 수락 제어 알고리즘을 적용하였을 경우 적용하지 않았을 경우에 비해 낮은 평균 데이터 전송률을 보인다. 이는 무선 접속망의 혼잡 상황을 방지하기 위해 호 수락 제어 알고리즘이 요청 호의 일부를 거절하였기 때문이다.

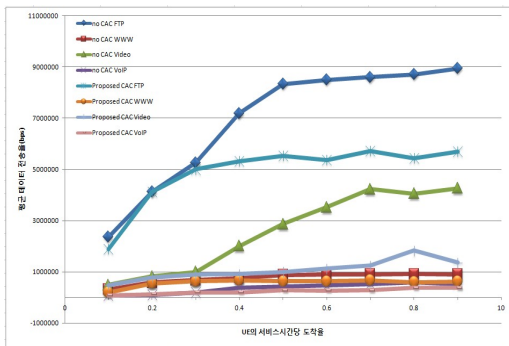


그림 5. 트래픽 혼합비가 1:1:1:1일 때의 평균데이터 전송률

[그림 6]은 트래픽 혼합비가 1:1:1:1일 때 평균 패킷

지연을 나타낸다. 호 수락 제어 알고리즘을 적용하지 않았을 경우 FTP 서비스가 0.3일 때, 스트리밍 서비스가 0.7일 때 패킷 지연 요구사항을 만족하지 못함을 보였다. 그러나 제안하는 알고리즘을 적용하였을 때에는 0.9일 매우 높은 트래픽 부하에서도 실시간 서비스뿐만 아니라 비실시간 서비스의 패킷 지연 요구 사항까지 만족함을 보였다.

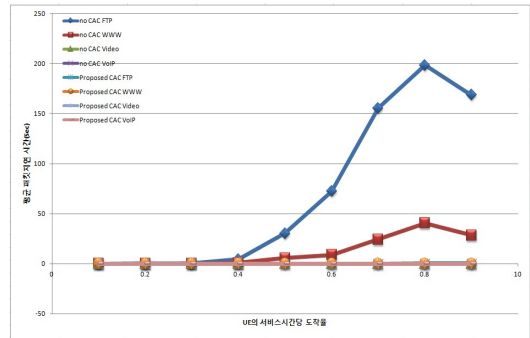


그림 6. 트래픽 혼합비가 1:1:1:1일 때의 평균 패킷 지연

[그림 7]은 트래픽 혼합비가 1:1:4:4일 때의 변화에 따른 평균 데이터 전송률을 나타낸다. 트래픽 혼합비가 1:1:4:4일 경우 네 개의 서비스 종류 중 가장 큰 데이터 크기를 가지는 FTP 서비스의 발생 비율이 낮아졌기 때문에 최대 데이터 전송률이 트래픽 혼합비가 1:1:1:1일 경우에 비해 약 1.1Mbps 낮게 나타난다.

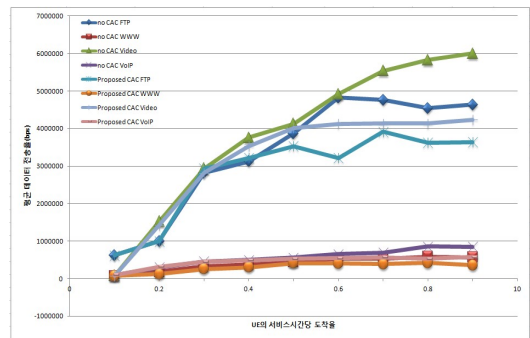


그림 7. 트래픽 혼합비가 1:1:4:4일 때의 평균 데이터 전송률

[그림 8]은 트래픽 혼합비가 1:1:4:4일 때의 평균 패킷 지연을 나타낸다. 호 수락 제어 알고리즘을 적용하지 않았을 경우 FTP 서비스는 0.4일 때, 웹 서비스는 0.6일 때, 스트리밍 서비스는 0.7일 때 패킷 지연 요구사항을 만족하지 못하는 것과는 달리 제안하는 호 수락 제어 알고리즘을 적용하였을 경우 성능 평가를 수행한 모든 도착률에 대해 모든 서비스의 패킷지연을 만족함을 보였다.

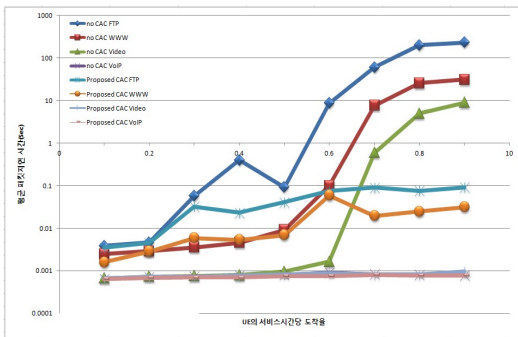


그림 8. 트래픽 혼합비가 1:1:4:4 일 때의 평균 패킷 지연

V. 결론

본 논문에서는 3GPP 정책기반에서 호 수락 제어 (CAC) 알고리즘 적용에 따른 QoS 성능해석으로 호 수락 제어 알고리즘에 트래픽 혼합비를 적용했을 때 평균 데이터 전송율과 평균 패킷 지연시간을 비교 했다. 성능해석은 버클리 대학의 NS-2를 사용하였으며, 트래픽 혼합비는 WWW, FTP, Video, VoIP 순으로 1:1:1:1 및 1:1:4:4인 환경에서 시뮬레이션 하였다. 평균 데이터 전송률은 트래픽 혼합비가 1:1:4:4일 경우 네 개의 서비스 종류 중 가장 큰 데이터 크기를 가지는 FTP 서비스의 발생 비율이 낮아졌기 때문에 최대 데이터 전송률이 트래픽 혼합비가 1:1:1:1일 경우에 비해 약 1.1Mbps 낮은 평균 데이터 전송률을 보인다. 이는 무선 접속망의 혼잡 상황을 방지하기 위해 호 수락 제어 알고리즘이 요청 호의 일부를 거절하였기 때문이다. 평균 패킷 지연은 혼합비가 1:1:1:1일 때 호 수락 제어 알고리즘을 적용

하지 않았을 경우 FTP 서비스가 0.3일 때, 스트리밍 서비스가 0.7일 때 패킷 지연 요구사항을 만족하지 못함을 보였다. 그러나 제안하는 알고리즘을 적용하였을 때에는 0.9인 매우 높은 트래픽 부하에서도 실시간 서비스뿐만 아니라 비실시간 서비스의 패킷 지연 요구 사항까지 만족함을 보였다. 트래픽 혼합비가 1:1:4:4일 때 호 수락 제어 알고리즘을 적용하지 않았을 경우 FTP 서비스는 0.4일 때, 웹 서비스는 0.6일 때, 스트리밍 서비스는 0.7일 때 패킷 지연 요구사항을 만족하지 못하는 것과는 달리 제안하는 호 수락 제어 알고리즘을 적용하였을 경우 성능 평가를 수행한 모든 도착률에 대해 모든 서비스의 패킷지연을 만족함을 보였다.

성능해석을 통해 알 수 있듯이 호 수락 제어 알고리즘을 적용함으로써 WWW, FTP, Video, VoIP 서비스의 QoS를 보장할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 3GPP TS23.228 v5.4.0, "IP Multimedia (IM)Subsystem : Stage2 (R5)," 2002(4).
- [2] B. Farhang and R. Kopeikin, "Policy-based quality of service in 3G networks," BellLabs Technical Journal Vol.9, Issue.1, pp.31-40, 2004(5).
- [3] 3GPP TS29.207 v1.5.0, "Policy control over Go interface(R5)," 2002(5).
- [4] 송복섭, 김정호, "PBNM과 DiffServ 적용한 3GPP 서비스의 QoS 해석", 한국콘텐츠학회논문지, 제 11권, 제12호, pp.570-577, 2011(12).
- [5] 최현아, 송복섭, 김정호, "실시간 트래픽 전송을 위한 RTP/RTCP의 TFRC 흐름제어 기법", 한국콘텐츠학회논문지, 제8권, 제8호, pp.57-64, 2008(8).
- [6] 배성재, 최범곤, 이진주, 권성오, 정민영, "패킷 지연 보장을 위한 LTE 시스템의 호 수락 제어 알고리즘", 한국통신학회논문지, Vol.34, No.6, pp.458-467, 2009(6).
- [7] 최성규, 전경우, "3G 네트워크상에서 정책기반

End-to-End QoS 지원을 위한 DiffServ-aware MPLS”, 한국통신학회논문지, Vol.31, No.4B, pp.349-354, 2006(4).

[8] 3GPP TS23.107 V5.0.0, “QoS concept and architecture,” 3rd Generation Partnership Project, 2001(4).

[9] A. Westerine, “Terminology for Policybased Management,” IETF RFC3198, 2001(11).

[10] O. Yu and V. Leung, “Adaptive resource allocation for prioritized call admission over an ATM-based wireless PCN,” IEEE JSAC, 15, pp.1208-1225, 1997(9).

[11] H. Chen, S kumar, and C. Juo, “Dynamic Call Admission Control Scheme for QoS priority handoff in multimedia Cellular Systems,” WCNC2002, Vol.1, pp.114-118, 2002(3).

[12] Y. Ko, S. Park, C. Chun, H. Lee, and C. Cho, “An adaptive QoS provisioning distributed call admission control using fuzzy logic control,” ICC 2001, Vol.2, pp.356-360, 2001.

[13] 박세권, 박용완, “CDMA시스템에서 전체 자원요 구량에 근거한 새로운 우선권기반의 호 수락제어 알고리즘”, 한국통신학회논문지, Vol.29, No.12A, pp.1298-1308, 2004(12).

[14] H. Chen, S. Kumar, and C. Juo, “Dynamic Call Admission Control Scheme for QoS Priority handoff of Multimedia Cellular Systems,” WCNC2002, Vol.1, pp.114-118, 2002(3).

정보통신전문대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
 <관심분야> : 데이터통신, 컴퓨터네트워크, 통신서비스, 정보보호

문 정 수(Zheng-Zhu Wen) 정회원



- 2007년 7월 : 중국연변대학 전자공학과(공학사)
 - 2010년 2월 : 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
 - 2010년 3월 ~ 현재 : 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 컴퓨터공학과 박사과정
- <관심분야> : 데이터통신, 컴퓨터네트워크, 통신서비스

김 정 호(Jeong-Ho Kim) 종신회원



- 1980년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
 - 1983년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 - 1994년 2월 : 단국대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1983년 ~ 1996년 : 한국전자통신연구소 책임연구원, 실장
- 1989년 : 정보처리기술사
- 1990년 : 공업계측제어기술사
- 1991년 : 정보통신기술사
- 1996년 ~ 현재 : 국립한밭대학교 정보통신·컴퓨터공학부 교수
- <관심분야> : 데이터통신, 컴퓨터네트워크, 통신서비스

저 자 소 개

송 복 섭(Bok-Sob Song) 정회원



- 2005년 2월 : 국립한밭대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 국립한밭대학교