

무선환경에서 EWLN을 이용한 TCP 혼잡제어

TCP Congestion Control Using EWLN in Wireless Networks

조항기*, 최승준**, 김석훈*, 유인태*

Hang-Ki Joh*, Seung-Jun Choi**, Seok-Hoon Kim* and In-Tae Ryoo*

요약

유선네트워크 환경에서의 Transmission Control Protocol(TCP) 패킷 손실은 대부분 네트워크의 혼잡에 의해서 발생한다. 하지만, 무선네트워크 환경에서는 무선 네트워크의 특징 중 하나인 높은 Bit Error Rate (BER)에 의한 손실이 대부분 일어난다. 네트워크는 무선 신호 품질에 의한 패킷 손실을 혼잡제어에 의한 손실로 판단하여, 혼잡제어 메커니즘이 빈번하게 수행된다. 무선 환경의 패킷 손실율을 이용하여 Explicit Wireless Loss Notification (EWLN) 알고리즘에서 발생할 수 있는 비효율적인 Congestion Window의 크기를 보다 효율적으로 제조정함으로써, 기존의 EWLN 알고리즘을 개선하는 알고리즘을 제안한다.

Abstract

Most of network congestions are caused by TCP packet losses in the wired network ecosystems. On the contrary, high BER (Bit Error Rate), which is characteristic of the wireless networks, is a main factor in wireless network environments. Many wireless networks carry out the congestion control mechanisms frequently because they estimate that packet losses are not due to the wireless signal qualities but the congestion controls in their networks. To solve this problem, we propose the improved EWLN (Explicit Wireless Loss Notification) algorithm that more efficiently utilize the congestion window size to increase the wireless network throughput than legacy EWLN algorithm.

Key words : TCP, EWLN, Congestion Control, Wireless Network

I. 서론

사용자의 네트워크 환경은 유선네트워크 환경에서 무선네트워크 환경으로 변화되고 있다. 오늘날 인터넷은 대부분이 유선네트워크에 기반을 두고 있으며, 이러한 유선네트워크에 무선네트워크를 도입하여, 유무선 통합 네트워크의 사용이 증가하고 있다. 신뢰성 있는 연결을 보장하기 위한 TCP은 기존의 유

선네트워크 환경에 적합하게 설계되었다. 위와 같은 문제로 높은 지연, 핸드오프, 높은 Bit Error Rate(BER) 등과 같은 특징을 가진 무선네트워크에 기존의 유선 네트워크에 특화되어 있는 TCP 혼잡제어 알고리즘을 적용하면, 불필요한 메커니즘의 호출로 인하여 네트워크의 성능저하를 가져온다.

정상적인 유선환경에서의 패킷 손실율은 매우 낮기 때문에, 패킷 손실은 곧 혼잡제어에 의한 것으로

* 경희대학교 컴퓨터공학과(Dept.of Computer Engineering, Kyung Hee University)

** 공군본부 정보화기획실(Office of Information Planning ROK Air Force)

· 제1저자 (First Author) : 조항기, 교신저자 (Corresponding Author) : 김석훈

· 투고일자 : 2011년 3월 30일

· 심사(수정)일자 : 2011년 3월 30일 (수정일자 : 2011년 4월 25일)

· 게재일자 : 2011년 4월 30일

판단되었다. 하지만, 무선환경은 무선환경에서의 특징으로 인한 패킷 손실이 빈번히 일어나기 때문에 패킷 손실에 대한 원인을 수신단에서 파악하여 송신단으로 그에 대한 정보를 전송하여 적절한 메커니즘을 호출하는 알고리즘에 대한 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이와 관련된 연구로는 Explicit Congestion Notification(ECN) 및 Explicit Loss Notification(ELN)과 같은 기법들이 있다. 본 연구에서는 이에 2장에서 EWLN에 대한 내용을 살펴보고 이를 보고 3장에서 EWLN을 보완한 알고리즘에 대한 흐름도 및 처리 내용을 기술한다. 4장에서는 이를 시뮬레이션하기 위한 시뮬레이션 환경과 환경변수들 그리고, 시뮬레이션 결과에 대한 내용으로 구성되어 있다.

II. 관련 연구

2-1 Explicit Wireless Loss Notification(EWLN)

모바일 호스트가 송신자인 경우에 Base Station은 송신자로부터 수신한 패킷들 중 시퀀스가 불연속적인 시퀀스를 저장하고 있다가 수신자로부터 Duplicate Ack(DupACK)를 수신할 때 자신이 저장하고 있는 시퀀스와 동일한 시퀀스를 가진 DupACK를 발견하면 이 DupACK에 명시적으로 ELN 비트를 설정한다. 송신자는 이러한 ELN 비트가 설정된 DupACK를 수신하면 혼잡이 아닌 전송에러에 의해 패킷이 손실되었다고 간주하고 Congestion Window를 줄이지 않고 손실된 패킷을 재전송하게 된다.

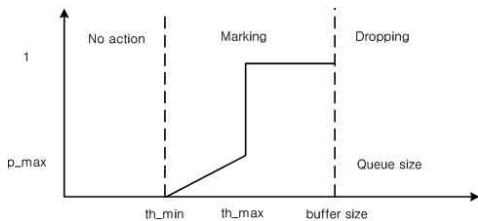


그림 1. ECN의 마킹 방법
Fig. 1. ECN Marking Method

III. 제안 사항

3-1 EWLN을 이용한 혼잡 제어의 문제점 보완 방안

EWLN은 무선네트워크의 특징 중 하나인 높은 Bit Error Rate(BER)로 인하여 패킷의 손실이 송신자에게 TCP 혼잡 제어 메커니즘을 시작하는 것을 방지하여 데이터 처리의 효율을 높이고자 제안되었다. 만약, 수신지에서 패킷의 손실이 발생하였을 경우, 그 원인이 네트워크의 혼잡에 의해 발생한 것이 아니라면 TCP의 헤더에 EWLN비트를 1로 변경하고, ACK에 EWLN 비트와 함께 구성하여, 패킷에 대한 재전송을 요청한다. 하지만 무선 신호의 상태가 일시적인 상태가 아니라 지속적으로 신호의 상태가 좋지 않다면, 계속되는 재전송 패킷으로 인해 네트워크의 효율이 감소하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 과부하가 여러 노드에서 발생한다면, 혼잡 상태가 되는 원인이 될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 무선 패킷의 에러율을 체크하여 Congestion Window의 크기를 조정하여 무선네트워크의 효율을 높인다. 본 연구에서는 이러한 방안을 어떻게 구현할 것인지에 대한 방안을 제시한다. 그림 2은 TCP Header에서의 EWLN bit의 위치를 보인다.

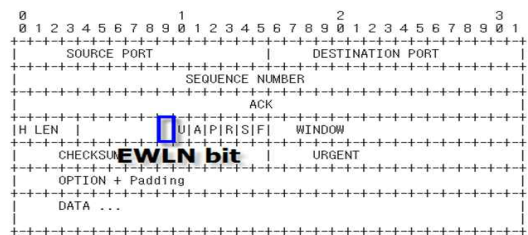


그림 2. TCP 헤더의 EWLN bit
Fig. 2. EWLN bit of TCP Header

송신자는 ACK를 수신하였을 때, 전체 ACK에 대한 카운트를 증가시키고 수신한 ACK의 EWLN bit가 1로 마킹되어 있는지 검사한다. EWLN bit가 1로 마킹되어 있다면, EWLN에 대한 카운트를 증가시키고, 해당 패킷을 재전송함으로써 EWLN에 대한 처리를 수행한다. EWLN에 대한 처리는 그림 3에서 볼 수 있듯이 [1]에서 제안하는 방법을 사용한다. 중복 ACK를 1 증가시킨 후에 중복 ACK가 1이라면 패킷을 재

전송한다. 중복 ACK가 1보다 크다면 중복 ACK에 1을 더 증가시키고 새로운 패킷을 전송한다.

EWLN에 대한 처리를 마치면, EWLN의 수를 1 증가시키고, 전체 ACK의 수로 나누어서 전체 패킷에 대한 에러율을 산정한다. 전체 패킷에 대한 에러율을 산정한 뒤에 그 값이 임의의 값보다 크다면, Congestion Window 크기를 감소한다. EWLN bit가 1로 마킹되어 있지 않다면, EWLN의 수를 전체 ACK의 수로 나누어서 패킷의 에러율에 대한 값을 구하여 일정한 값보다 패킷의 에러율이 낮다면, 감소시켰던 Congestion Windows의 크기를 복구한다. 그 뒤에 일반적인 fast retransmission과 fast recovery를 사용하는 TCP의 알고리즘을 사용한다. 그림 4에 제안하는 구현 방안에 대한 알고리즘을 도식화하였다.

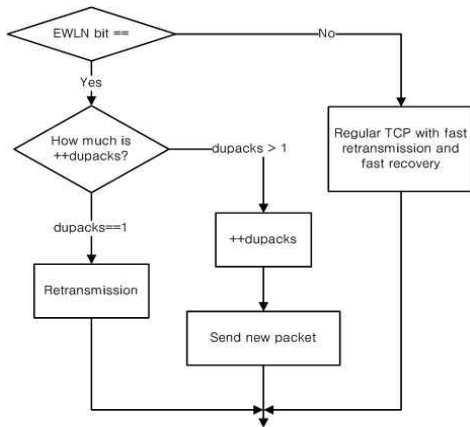


그림 3. EWLN 처리 과정
Fig. 3. Processing of EWLN

제안하는 알고리즘을 통하여 EWLN을 사용함으로써, 신호의 상태가 나빠지는 상황이 지속이 될 경우에도 Congestion Window의 크기를 줄이지 않고, 패킷을 재전송하여 발생할 수 있는 네트워크의 혼잡 상황을 피할 수 있다.

송신자가 A개의 패킷을 송신할 경우, 패킷의 오류율이 N%이면, 네트워크에 가중되는 트래픽은 다음과 같다.

$$(Packet\ Size + (ACK\ with\ EWLN\ Packet)) \times \frac{A \times 100}{100 - N} \quad (1)$$

위의 수식에 따라, 패킷의 Congestion Window를 줄이면 네트워크에 가중되는 트래픽이 줄어들게 된다.

다는 것을 알 수 있다. 이를 이용하여, 재전송 트래픽에 의한 혼잡 상태가 발생하는 것을 방지할 수 있다. EWLN을 적용한 네트워크에서 단일 노드의 재전송에 의한 트래픽의 증가는 미미하지만, 다중 노드가 접속해 있는 상황에서 Base Station(BS)의 Bit Error Rate(BER)이 갑자기 증가하고, 높은 Bit Error Rate(BER)을 계속 유지한다면, 각각의 노드들이 많은 재전송 트래픽을 유발하게 되고 네트워크는 혼잡 상태에 빠질 수 있다.

제안하는 알고리즘은 Congestion Window의 크기를 조정하여 네트워크에 발생하는 트래픽을 감소시키는 것을 목적으로 한다.

그림 4은 제안하는 알고리즘을 도식화한 것이다. 송신단에서는 ACK 패킷을 수신한 뒤 총 ACK 패킷에 대한 수를 1 증가시킨다. 수신한 ACK 패킷의 EWLN 비트에 1로 SET 되어 있는지 검사한 후 EWLN 비트에 1이 SET 되어 있다면 EWLN 처리를 수행하고, EWLN가 SET 되지 않았다면 TCP의 처리 절차를 수행한다. EWLN 처리를 수행한 뒤 EWLN에 대한 카운팅을 수행하고, ACK 카운팅과 EWLN 카운팅을 서로 나누어서 현재 네트워크의 상태를 파악한다. 네트워크의 상태를 통해 현재 Congestion Window의 크기를 조정한다.

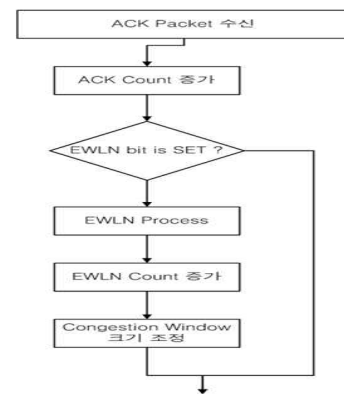


그림 4. 제안하는 알고리즘
Fig. 4. Proposed Algorithm

IV. 성능 평가 및 분석

본 연구의 성능 평가는 OPNET을 사용하여 이루

어졌다. 기존의 구현되어 있는 환경에서 EWLN 알고리즘을 구현하였으며, EWLN에 제안한 알고리즘을 구현하였다. 그림 5는 OPNET에서 무선 환경 구축한 그림이다.

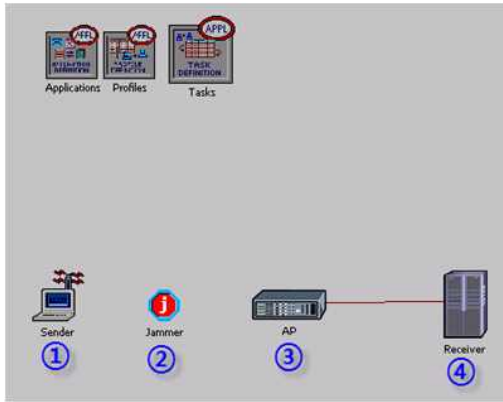


그림 5. OPNET 환경에서의 무선 환경
Fig. 5. Wireless Environment in OPNET

무선 환경을 구축하여, ①송신단에서 ③BS를 거쳐 ④수신단으로 연속적인 TCP 패킷을 전송할 때, 일정 시간 이후에 ②Jammer에서 송신단과 동일한 주파수 대역으로 패킷을 전송하여 일정한 시간동안 높은 Bit Error Rate(BER)을 유지하여, 무선 환경의 성능 저하를 발생시킨다. 무선 환경의 성능저하가 오면, 각 알고리즘 별로 Congestion Window의 크기를 비교하여, 성능향상 여부를 확인할 수 있다.

본 시뮬레이션에서 수정 및 추가한 사항은 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 하나는 무선 랜의 MAC Layer로 Access Point에서 무선 신호에 의한 패킷 손실이 있을 때 수신노드로 TCP의 헤더에 EWLN 비트를 추가하는 과정이다. 다른 하나는 송신 노드의 TCP의 Congestion Window의 값을 조정하거나 ACK with EWLN 패킷의 수와 ACK 패킷의 수를 계산하는 과정, 수신 노드에서 TCP의 헤더에 EWLN 비트가 설정되었을 경우 ACK 패킷에 EWLN 비트를 설정하여 송신하는 과정이다. 이러한 작업을 처리하기 위해서는 다음과 같은 작업을 수행하여야 한다. 그림 6은 제안하는 무선 랜의 모듈이다. 시뮬레이션을 수행하기 위해서 ① EWLN_RECV 프로세서와 ② EWLN_SEND 프로세서를 생성하였다. EWLN_RECV 프로세서는 wireless_lan_mac 프로세서로부터 패킷을

받아서 ACK에 EWLN 비트가 설정되어 있는지 확인하는 프로세서이다. EWLN_SEND 프로세서는 MAC 계층에서 무선신호에 의한 패킷의 손상이 있을 경우에 사용한다.

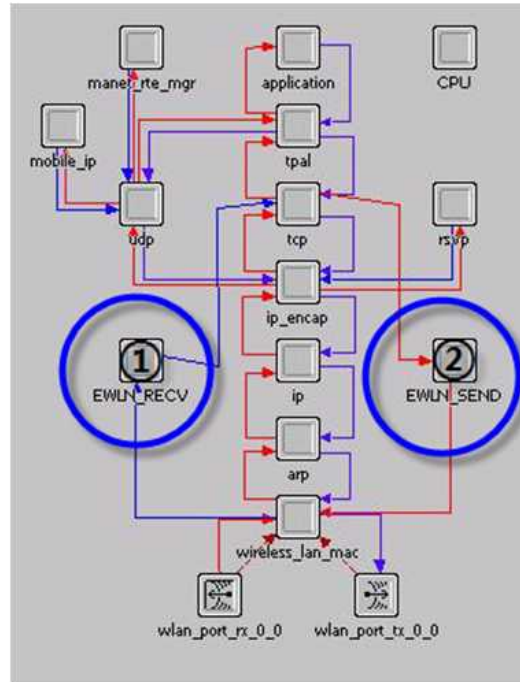


그림 6. 제안하는 무선 랜 모듈
Fig. 6. Proposed WLAN Module

무선 랜의 MAC 계층에서는 그림 7과 같은 프로세스를 추가하였다. 추가된 프로세스는 Max Retry Count에 도달한 패킷을 폐기하지 않고 EWLN 비트를 설정한 후 수신단으로 전송하였다. 만약 Max Retry Count에 도달하지 않았다면 재전송을 요구하는 프로세스로 전이하였다. 이러한 작업은 Global Statistic 및 Local Statistic 변수를 통하여 이루어지며, 프로세스간 전이는 상태 참조를 하는 Header Block에서 처리가 이루어진다. EWLN 프로세스의 상태는 그림에서 볼 수 있듯이, (RETRY_COUNT) 와 (EWLN_BIT_SET)을 통하여 전이된다. 무선 랜의 MAC 계층에서는 그림 7과 같은 프로세스를 추가하였다. 추가된 프로세스는 Max Retry Count에 도달한 패킷을 폐기하지 않고 EWLN 비트를 설정한 후 수신단으로 전송하였다. 만약 Max Retry Count에 도달하지 않았다면 재전송을 요구하는 프로세스로 전이하였다. 이러한 작업은 Global Statistic 및 Local Statistic 변수를 통하여 이루

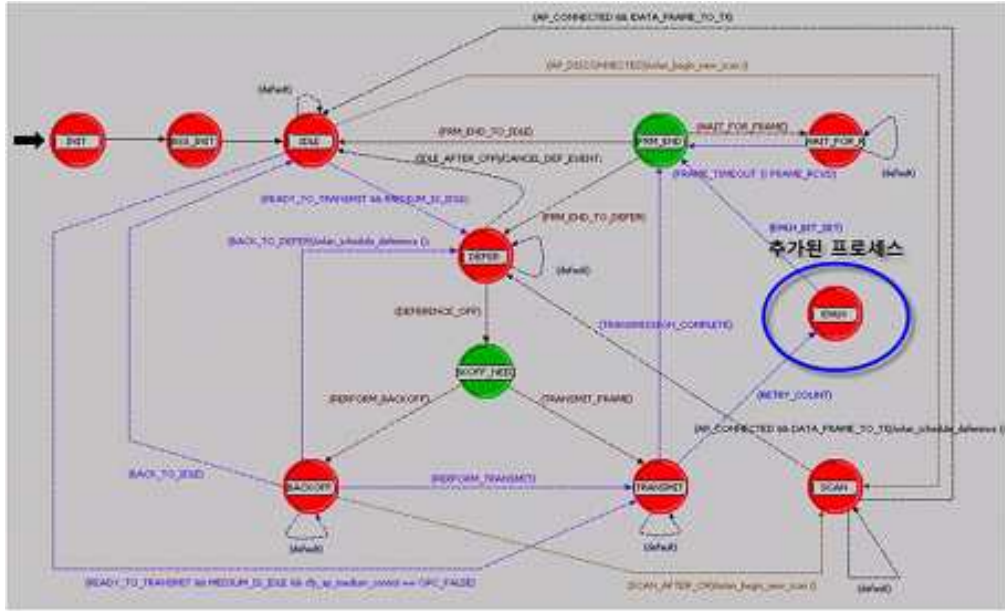


그림 7. TCP 프로세스 모델
Fig. 7. TCP Process Model

어지며, 프로세스간 전이는 상태 참조를 하는 Header Block에서 처리가 이루어진다. EWLN 프로세스의 상태는 그림에서 볼 수 있듯이, (RETRY_COUNT) 와 (EWLN_BIT_SET)을 통하여 전이된다.

표 1. 무선 LAN의 Parameter
Table 1. WLAN Parameter

항목	값
Data Rate(bps)	11Mbps
RTS Threshold	None
Transmit Power(W)	0.005
Short retry limit	5
Long retry limit	6
Buffer Size(bits)	256000

표 2. TCP의 Parameter
Table 2. TCP Parameter

항목	값
Delayed ACK Mechanism	Segment/Clock Based
Maximum ACK Delay(sec)	0.2
Fast Retransmit	Enable
Duplicate ACK Threshold	3
Initial RTO(sec)	3.0
Minimum RTO(sec)	1.0
Maximum RTO(sec)	64

Congestion Window를 비교하기 위해, TCP의 알고리즘은 Tahoe와 Reno, EWLN 그리고 제안하는 EWLN 알고리즘을 사용하였다.

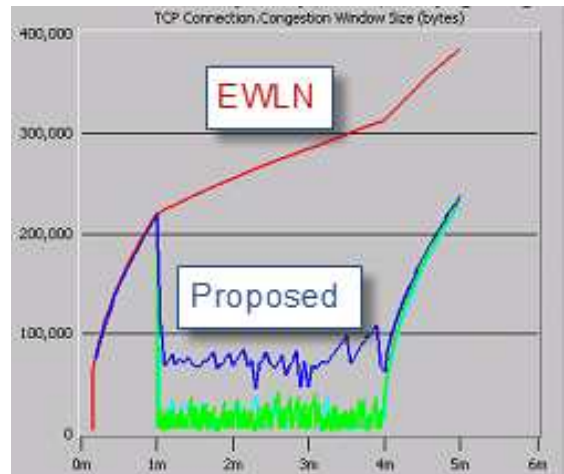


그림 8. Congestion Window 크기 변화
Fig. 8. Change of Congestion of Window Size

그림 8은 시뮬레이션을 수행한 후 시간에 따른 Congestion Window의 크기(바이트)를 다른 알고리즘과의 비교 그래프로 나타낸 것이다. 그림 8의 그래프에서 확인할 수 있듯이 1분에서 4분 사이에 기존의 EWLN 알고리즘은 무선 링크의 상태가 악화되었음에도 Congestion Window의 크기가 줄어들지 않음을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘은 패킷의 손실률에 의해 Congestion Window 크기가 적절하게 감소하지만 기존의 Tahoe나 Reno 알고리즘에 비해서는 Congestion Window의 크기가 큰 것을 알 수 있다.

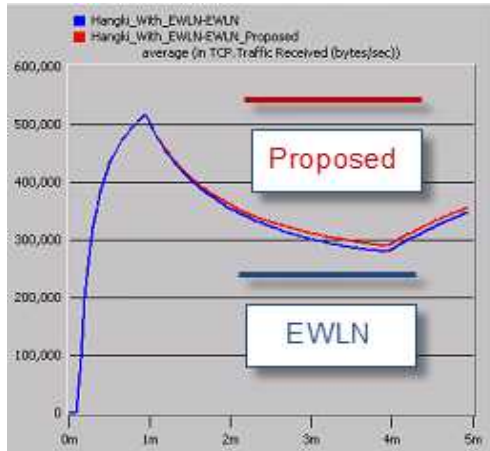


그림 9. EWLN과 알고리즘과의 트래픽 비교
Fig. 9. Traffic of EWLN and Proposed Algorithm

그림 9은 EWLN과 제안하는 알고리즘과 트래픽에 대한 평균을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 9에서 볼 수 있듯이, 제안한 알고리즘에서 기존 EWLN 알고리즘 보다 Throughput이 증가한 것을 볼 수 있다. 이러한 증가는 제안하는 알고리즘이 Congestion Window의 크기를 감소시켜 높은 BER에 Payload 크기가 증가하는 것을 방지한다.

V. 결 론

시뮬레이션 결과를 통하여 보인바와 같이 무선 신호에 의한 패킷 손실이 긴 시간동안 지속이 되었을 경우 기존의 EWLN 알고리즘보다 Congestion Window 크기를 효율적으로 제어하여 제안하는 알고리즘이 보다 나은 성능 향상을 확인하였다.

제안하는 방안으로 무선 환경의 링크상태가 지속적으로 악화되었을 경우, Congestion Window 크기를 줄여 망의 효율을 증가 시키는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-(C1090-1111-0001))

참 고 문 헌

- [1] Oyunchimeg Shagdar, Mahdad N. Shirazi, Bing Zhang, "Improving ECN-based TCP Performance over Wireless Networks Using A Homogeneous Implementation of EWLN", *Telecommunications*, 2003. ICT 2003. 10th International Conference on. pp.812-817
- [2] N.K.G. Samaraweera, "Non-congestion packet loss detection for TCP error recovery using wireless links", *IEE Proceedings online no. 19990597*, Vol. 146. No. 4, August 1999. pp.222-230
- [4] K. K. Ramakrishnan, Sally Floyd, "A proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", Internet Draft-kksjif-ecn-03.txt, Oct, 1998. *Congestion Notification*, *Computer Communication Review*, V.24 N.5, October 1994, p.10- 23.
- [5] T.V. Lakshman, Upamanyu Madhow, "The Performance of TCP/IP for Networks with High Bandwidth-Delay Products and Random Loss", *IEEE/ACM Transactions on Networking Editor D. Mitra*. February 25, 1997.
- [6] POSTEL, J.: 'Transmission control protocol'. Information Sciences Institute, *University of Southern California*, RFC 793 (status - Standard), 1981
- [7] JACOBSON, V.: 'Congestion avoidance and control'. *Proceedings of SIGCOMM '88*, 1988, (ACM), pp. 314-329
- [8] SAMARAWEERA, N., and FAIRHURST, G.: 'Explicit loss indication and accurate RTO estimation for TCP error recovery using satellite links', *IEE Proc., Commun.*, 1997, 144, (1), pp. 47-53
- [9] PIROVANO, A., and MARAL, G.: 'Congestion avoidance in TCP/IP applied to LAN interconnection over satellite links'. *Proceedings of Final workshop of COST 226 integrated space/terrestrial networks, Budapest, Hungary*, 1995, pp. 79-87
- [10] SAMARAWEERA, N., and FAIRHURST, G.: 'Robust data link protocols for connection-less service over satellite links', *Int J. Satell. Commun.*, 1996, 14, (5), pp. 427-437

조 항 기 (趙恒起)



2004년 2월 : 경희대학교 전자
정보학부 (공학사)
2004년 2월 : 삼성전자 연구원
2006년 8월 : 경희대학교 대학원
컴퓨터공학과 (공학석사)
2006년 9월 : 경희대학교 대학원
컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : IPTV, Crosslayer Design, QoS/QoE

김 석 훈 (金碩勳)



2000년 2월 : 경희대학교 전자계산공학과
(공학사)
2004년 8월 : 경희대학교 전자계산공학과
(공학박사)
A 2006년 7월 : IPOne, Inc. 선임연구원
2009년 5월 : Neowave, Inc. 선임연구원
2009년 6월 ~ 현재 : 경희대학교
살감형 유비쿼터스 IPTV 연구센터 연구교수

관심분야: Cloud Computing, Future Internet, QoS/QoE, 4G

최 승 준 (崔承俊)



1983년 3월 : 공군 사관학교 전자공학
(학사)
1992년 2월 : 연세대학교 대학원
전자공학 (공학석사)
2001년 3월 : 한국항공대학교 대학원
컴퓨터공학과 박사과정
관심분야 : USN, IEEE 802.16e

유 인 태 (柳寅太)



1989년 2월 : 연세대학교 (공학석사)
1994년 2월 : 연세대학교 (공학박사)
1997년 2월 : 동경대학 (Ph.D)
1997년 3월 : 삼성전자 선임연구원
2003년 4월 : 경희대학교 전자정보학부 교수
관심분야 : 인터넷 기술, IPTV,
QoS/QoE, 트래픽 관리