

# 무선링크에서 효과적인 로봇제어 데이터 전송 방법

정회원 조 동 권\*, 천 상 훈\*\*

## A Efficient Data Transmission Protocol for a Remote Controlled Robot in Wireless Links

Dong Kwon Cho\*, Sang Hun Chun\*\* *Regular Members*

### 요 약

발전된 형태의 통신망 제공은 광대역 멀티미디어 서비스를 가능하게 하고 있다. 네트워크 기반 지능형 이동 로봇 서비스가 새로운 서비스 중의 하나이다. 이때 네트워크 로봇을 원격으로 제어하기 위해서는 실시간 신뢰성 있는 로봇제어 데이터 전송이 필요하다. 본 연구에서 UDP 프로토콜에 기반을 둔 로봇 제어 데이터의 효과적인 전송방법을 제안한다. 제안한 기법은 로봇 제어 데이터에 우선순위를 부여하고 기지국에서 로봇 제어 데이터를 중복으로 전송하는 것이다. NS-2 모의실험을 통하여 제안한 제어데이터 전송 프로토콜 방법은 전송지연시간이 적으며 패킷 손실율도 매우 적음을 보인다.

**Key Words** : Robot control, Data transmission

### ABSTRACT

New emerging wireless broadband internet can make many broadband multimedia services. The networked intelligent mobile robot service is one of the new services. In the networked robot control, both the on-line real-time control and the reliability of control data transmission are very important. Considering the real-time control and data reliability, an efficient transmission method based on UDP protocol is proposed. The proposed method allocates the priority to the robot control data and the transmission of the robot data at the base station is carried out in duplicate manner. NS-2 simulation results show that the proposed scheme has a very low packet delay and low packet errors.

### I. 서 론

최근 광대역 네트워크 인프라 시설이 대폭 구축됨에 따라 네트워크 기반 로봇의 응용 시장이 매우 활성화되고 있다. 로봇의 기능에 홈네트워크, 차세대 이동통신, 음성인식, 인터넷보안, 생체인식, 무선인터넷 등을 접목하기 시작한 것이다. 로봇기능은 외부 환경을 감지하는 부분과 이에 대한 정보를 처리하는 부분, 이를 외부에 반응하는 부분으로 나눌 수 있다. 로봇의 기능을 네트워크로 연결하여 고성능 네트워

크 서버와 로봇간 기능을 분담한다면 독립적인 로봇의 능력을 크게 확대할 수 있고, 또한 네트워크 원격 제어로 거리의 한계를 뛰어 넘을 수도 있다. 이러한 네트워크 로봇은 네트워크상 하나의 단말로 생각할 수 있으며, 특별히 네트워크 종단을 무선으로 연결한다면 이동단말로도 취급되어 기존 무선단말 서비스에 로봇기능이 추가된 형태의 응용서비스 창출이 가능하다.

무선인터넷 기반 로봇의 응용은 다양하게 적용되고 있다. 무선인터넷 기반의 가정용 로봇을 통하여

\* KT 미래기술연구소 (dkcho@kt.co.kr), \*\* 재능대학 정보통신계열 (altari@mail.jnc.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-11-476, 접수일자 : 2005년 11월 23일, 최종논문접수일자 : 2006년 9월 4일

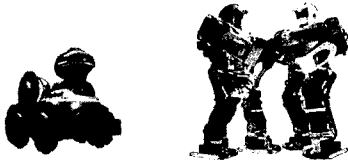


그림 1. 인터넷 기반 응용 로봇들(원격조정 집안 감시, 원격 제어 인간형 로봇게임)

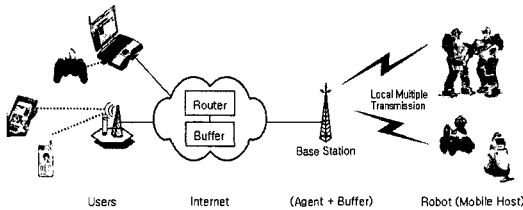


그림 2. 네트워크와 이동로봇간의 프로토콜

집안을 감시하거나, 로봇에 장착된 제어장치를 통하여 에어컨, TV 등 가전 생활기기를 원격에서 제어할 수 있다. 로봇의 응용은 오락에도 확장되고 있다. 오프라인에서 행해지던 로봇 격투게임, 로봇 축구게임, 로봇 전투게임 등이 온라인 공간으로 옮겨오고 있다. 그림 1은 네트워크 및 원격제어를 통한 가정용 로봇(원격감시용) 및 인간형 로봇게임(오락용)의 예시를 보이고 있다. 카메라를 장착한 이동 로봇이 움직임에 따라 집안 내부를 원격으로 들여다 볼 수 있고, 오프라인에서 무선조정기를 이용하던 인간형 로봇격투게임은 원격제어를 통한 네트워크 게임으로 발전할 수 있다.

이동단말의 응용서비스는 무궁무진할 것으로 기대되며 이를 실현할 유무선 통합 네트워크 구성 또한 다양하게 발전 할 것이다. 사용자의 네트워크 접속 방법은 컴퓨터 키보드, 무선조작 조정기, PDA, 핸드폰 등 유무선 장치들이 모두 동원이 될 수 있다. 그림 2는 이러한 네트워크 환경의 예시를 보이고 있다. 그림2의 네트워크 구성을 기술하면 사용자와 인터넷 망을 연결시켜주는 액세스망, 라우터와 버퍼로 구성된 인터넷망, 무선망과의 연결이 가능하도록 하는 베이스 스테이션, 그리고 무선단말인 이동 로봇 등으로 구성된다.

로봇과 네트워크간의 통신 프로토콜은 여러 계층의 프로토콜로 구성된다. 본 논문에서는 전송계층에서의 통신 프로토콜에 관심을 갖는다. 전송계층의 전송 프로토콜을 살펴보면, TCP는 인터넷의 유력한 신뢰성 전송 프로토콜로서 HTML 문서 같은 크기가 큰 데이터를 세그먼트로 잘라서 전송하도록 설계되

었다. TCP의 신뢰성은 패킷 수신의 확인을 통해 이루어지며, 패킷 손실 시에는 중단-대-중단 간의 재전송을 수행한다. 이러한 수신확인과 재전송은 전송지연을 초래한다<sup>1, 2</sup>. 또한 전송오류에 약한 무선링크가 인터넷에 추가된 경우에는 TCP의 성능은 크게 떨어지게 되며, 이를 해결하기 위한 기존의 연구결과를 살펴보면 TCP 성능이 개선될 수 있으나, 전송 지연 시간의 증가를 피할 수는 없다<sup>3, 4, 7, 8</sup>.

반면, UDP는 인터넷의 유력한 실시간 전송 프로토콜이다. 오디오나 동영상은 흔히 UDP를 이용하여 인터넷 실시간 전송을 하고 있는데, 이러한 데이터는 약간의 오류가 있어도 대개 사용 가능하기 때문이다. 또한 UDP 프로토콜은 64Kbyte 이하의 데이터를 자르지 않고 통째로 운반하도록 설계되었다<sup>2, 5</sup>. 이처럼 실시간으로 로봇제어데이터 같은 적은 데이터량 전송에 UDP가 유리하지만 오류에 매우 민감한 제어데이터의 운반을 위해서는 열악한 무선링크를 극복할 수 있는 방안이 필요하다.

로봇제어에 관한 기존의 연구는 신뢰성, 안전성, 지연보상 등의 분야에서 주로 산업용 로봇에 집중되어 있다<sup>9</sup>. 하지만 본 논문은 인터넷을 통하여 제어 데이터 전송의 신뢰성을 확보하면서 실시간으로 홈 네트워크 로봇을 제어하는 연구에 초점을 두었다. 본 논문에서 제시한 기법은 원격제어데이터의 중복전송에 근거한다. 착안점은 무선구간의 열악한 환경에 대처하기 위해 기지국에서 원격제어 데이터의 UDP 패킷을 중복 전송하는 것이다.

논문은 2장에서 제안한 중복전송 기법을 설명하고 3장에서 망 모델과 모의실험 환경을 설명하고, 네트워크 시뮬레이터를 통하여 TCP, UDP, 제안한 기법에 대하여 모의실험을 수행하여 그 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서 결론 및 추후과제를 제시한다.

## II. 효과적인 로봇제어 데이터 전송 프로토콜 방법

홈 로봇을 원격지 서버에서 실시간으로 정확히 제어하기 위해서는 로봇 제어 데이터를 손실 없이 신속히 전송해야 한다. 여기서 문제점은 신뢰성 확보의 어려움과 전송지연으로 구별할 수 있다. 최근의 라우터 기술의 진보로 유선구간에서는 신뢰성이 문제가 거의 되지 않으므로, 문제점 해결 방안은 큐잉 지연을 포함한 전송지연 해결과 무선구간의 신뢰성 확보로 나눌 수 있다.

로봇제어를 위해서는 보통 큰데이터량을 필요로 하지 않으므로 64kbyte이하로 보낼 수 있으며 실시간

전송에 유리한 UDP를 기본으로 선택할 수 있다.

무선구간의 신뢰성을 확보하기 위한 기존의 연구에 의하면, TCP의 경우 오히려 추가적인 전송지연을 수반하고 UDP만을 사용하는 경우에는 실시간 전송에 유리하나 무선구간의 전송오류 문제가 있다.

위와 같은 문제점들을 해결하고자 본 논문에서는 UDP를 기본으로 선택하고, 큐잉지연을 보완하기 위해 로봇제어데이터 전송에 우선순위를 부여하며, 무선구간의 신뢰성을 확보하기 위해 중복 전송하는 방법을 다음과 같이 제안한다.

2.1 우선순위 적용 방법

송신원은 데이터에 우선순위를 지정하여 로봇 제어데이터의 빠른 전송을 돕도록 한다.

2.1.1 송신원

송신원은 로봇 제어 UDP 패킷을 IPv6 IP 패킷의 우선순위 값을 15로 설정하여 전송된다.

2.1.2 유선구간 라우터

로봇 제어 UDP 패킷을 우선적으로 서비스하는 큐잉 메커니즘을 적용한다. 라우터에 도착한 로봇 제어 UDP 패킷은 우선순위 큐에 입력한다. 다른 패킷들은 일반 큐에 입력한다. 우선순위 큐에 있는 모든 패킷을 서비스한 후 일반 큐의 패킷을 출력한다. 그림 3은 이러한 과정을 보여준다.

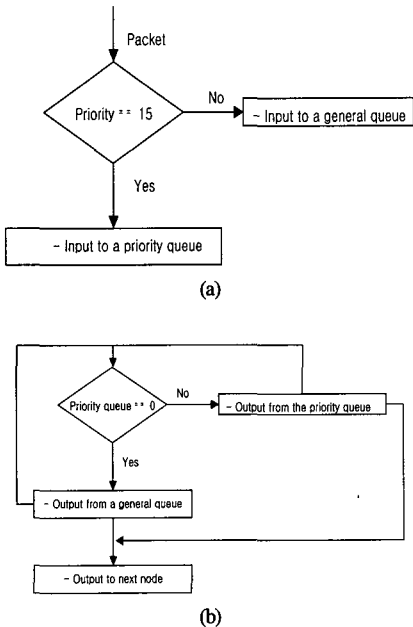


그림 3. 우선순위 큐잉 메커니즘 (a) enqueue (b) deque

2.2 중복전송 기법

중복전송 기지국과 수신원에서는 로봇 제어 데이터 여부를 판단하여 빠른 전달과 신뢰성을 확보하도록 한다.

2.2.1 중복전송 기지국

중복전송 기지국은 UDP 패킷을 수신하면 로봇 제어 데이터인지를 구분한다. UDP 패킷의 우선순위가 15이면 로봇 제어 데이터로 판정한다. 로봇 제어 데이터에는 n 바이트 크기의 임시번호를 붙이고 복사본을 만들어 버퍼에 저장한다. 원본은 로봇에 전송하고, 임의의 지연시간 후에 복사본을 전송한다. 그림 4는 중복전송 기법의 작동 흐름도를 나타낸다.

2.2.2 수신원

수신원은 UDP 패킷을 수신하면 로봇 제어 데이터 인지를 구분한다. UDP 패킷의 우선순위가 15이면 로봇 제어 데이터로 판정한다. 로봇 제어 데이터로부터 임시번호를 추출하고 이전에 수신한 임시번호와 같으면 중복 전송으로 간주하고 폐기한다. 그림 5은 수신원의 UDP 패킷 처리

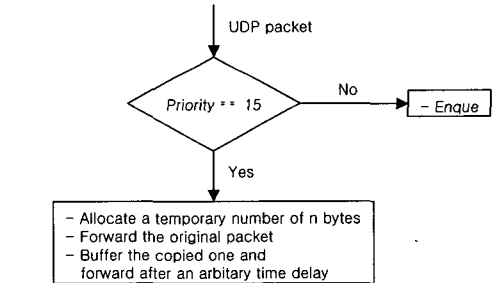


그림 4. 중복전송 기법의 흐름도

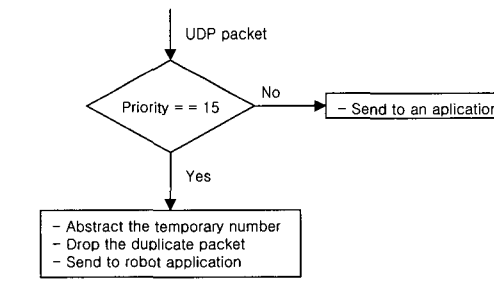


그림 5. 수신원의 UDP 패킷 처리

III. 모의 실험

그림 6은 시뮬레이션에 사용된 덤벨 (dumbell) 네트워크 구조를 나타낸다. 송신원 S1과 S2는 10Mbps

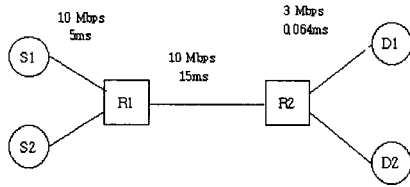
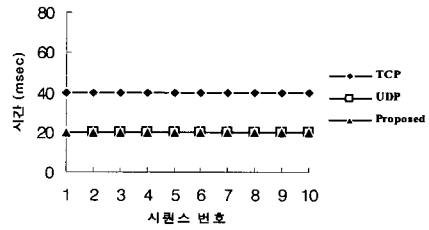


그림 6. 시뮬레이션 네트워크 환경

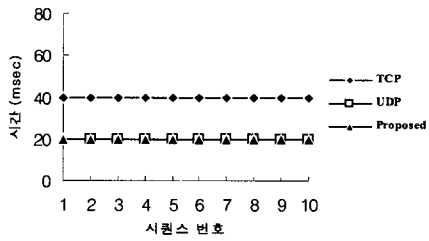
의 대역폭, 5ms의 지연을 갖는 링크를 통해 라우터 R1에 연결된다. 라우터R1은10Mbps의 대역폭, 15ms의 지연을 갖는 링크를 통해 라우터 R2에 연결된다.

라우터 R2와 수신원 D1은 3Mbps의 대역폭, 0.064ms의 전송지연, 그리고 전송오류를 갖는 무선링크를 통해 연결된다. 라우터R2와 수신원 D2는 3Mbps의 대역폭, 0.064ms의 전송지연을 갖는 링크를 통해 연결된다. 송신원 S1에는 성능 평가를 위한 트래픽이 연결되고, 송신원 S2에는 R1과 R2 링크에 병목현상을 도입하기 위한 배경 트래픽이 연결된다. 송신원 S1은 수신원D1으로, 송신원 S2는 수신원 D2로 데이터를 전송한다. 송신원 S1에는 패킷의 크기가 50 바이트이고 간격은 0.1초인 CBR (Constant Bit Rate) 트래픽을 발생시켰다. 송신원 S2에는 패킷의 크기가 500 바이트이고, 전송속도가5Mbps, 10Mbps, 20Mbps 인 CBR 트래픽을 발생시켰다. 다양한 손실 시나리오 하에서 제안한 기법의 성능을 검사하기 위해서 무선 링크의 패킷 오류율을 가변시켰다. 비교대상 기법에는 TCP, UDP, 제안한 우선순위를 적용한 중복전송 UDP를 포함시켰다.

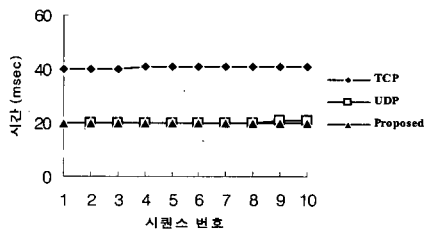
컴퓨터 시뮬레이션을 위해 버클리 소재 캘리포니아 주립대학의 Network Simulator-2 (NS-2)의 2.1b8 버전을 사용하였다<sup>[6]</sup>. 기법들을 평가하기 위한 측정치로 전송지연과 패킷손실을 사용하였다. 전송지연은 TCP의 경우 패킷의 송신원 출발시간과 이 패킷의 확인응답 ACK 패킷이 송신원에 도착한 시간 간의 차로 정의하고, UDP의 경우 패킷의 송신원과 수신원 간의 시간차로 정의한다. TCP 프로토콜의 경우 재전송 시간의 계산에 왕복지연시간을 이용한다. 오류에 의해 패킷이 손실되면 TCP의 경우 필연적으로 재전송을 수행해야 한다. 따라서 TCP의 경우 전송지연을 왕복시간으로 정의하였다. 반면에 UDP는 패킷의 오류에도 재전송을 수행하지 않으므로 전송지연을 일방시간으로 정의하였다. 패킷손실은 수신원에 도착하지 못한 패킷으로 정의한다. 패킷 오류율 1% 및 10% 하에서 TCP, UDP, 제안한 기법의 성능이 그림 7과 그림 8에 나타나 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 7. 무선링크 패킷 오류율 1%에서의 전송지연과 패킷손실. (a) 5Mbps (b) 10Mbps (c) 20Mbps

그림 7.(a) ~ 7.(c)는 라우터 R2와 수신원 D1의 무선링크의 패킷 손실률을 1%로 적용한 경우의 결과를 나타낸다. 그림 7.(a)는 송신원 S2의 전송속도를 5Mbps로 설정한 경우의 결과이다. 그림으로부터TCP는 약 40ms의 지연시간, UDP와 제안된 기법은 약 20ms의 지연시간을 나타냄을 알 수 있다. UDP의 경우엔 1번 패킷이 손실됨을 알 수 있다(시퀀스 1번에 해당되는 사각 모양의UDP 패킷의 표시가 없다). 그림 7.(b)는 송신원 S2의 전송속도를 10Mbps로 설정한 경우의 결과이다. 그림으로부터 5Mbps로 설정한 경우와 비슷한 결과를 보임을 알 수 있다. 그림 7.(c)는 송신원 S2의 전송속도를 20Mbps로 설정한 경우의 결과이다. 그림으로부터 TCP의 경우 4번 패킷부터 약간의 전송지연의 증가가 나타남을 알 수 있다. UDP는 1번 패킷이 손실되었고, 9번 패킷부터 약간의 전송지연을 나타낸다. 제안한 기법은 결과에 변화가 없다.

그림 8.(a) ~ 8.(c)는 라우터 R2와 수신원 D1의 무선링크의 패킷 손실률을 10%로 적용한 경우의 결과

를 나타낸다. 그림 8.(a)는 송신원 S2의 전송속도를 5Mbps로 설정한 경우의 결과이다. 그림으로부터 TCP는 1번 패킷의 전송지연이 6초나 된다. 이것은 1번 패킷이 손실되어 이의 재전송 등에 기인한 결과로 추측된다. 또한 7번 이후의 패킷의 경우 ACK 패킷의 수신이 확인되지 않는 경우가 나타난다. UDP와 제안된 기법은 약 20ms의 지연시간을 나타냄을 알 수 있다. UDP의 경우엔 1번, 4번 ~ 6번, 10번 패킷이 손실됨을 알 수 있다. 제안한 기법의 경우 1번과 4번 패킷이 손실됨을 알 수 있다.

그림 8.(b)는 송신원 S2의 전송속도를 10Mbps로 설정한 경우의 결과이다. 그림으로부터 TCP의 전송 지연 특성은 그림 6.(a)와 마찬가지로의 결과를 보인다. 그러나 이 경우엔 5번 이후의 패킷에 대한 ACK 패킷의 수신이 확인되지 않음이 나타난다. UDP와 제안된 기법은 약 20ms의 지연시간을 나타냄을 알 수 있다. 둘 모두 UDP의 경우엔 1번 패킷이 손실됨을 알 수 있다.

그림 8.(c)는 송신원 S2의 전송속도를 20Mbps로 설정한 경우의 결과이다. 그림으로부터 TCP의 전송 지연 특성은 그림 6.(a)와 마찬가지로의 결과를 보인다. 그러나 이 경우엔 3번 이후의 패킷에 대한 ACK 패킷의 수신이 확인되지 않음이 나타난다. UDP와 제안된 기법은 약 20ms의 지연시간을 나타냄을 알 수 있다. UDP의 경우엔 1번, 2번, 5번, 10번 패킷이 손실됨을 알 수 있다. 제안한 기법의 경우 1번 패킷이 손실됨을 알 수 있다.

모의 실험결과 제안한 기법은 1%의 패킷 오류율 정도에서는 송신원의 트래픽 패턴과 같은 모양의 전송 특성을 보이고 비교적 오류율이 높은 10% 오류율에서도 간헐적으로만 패킷 드롭이 관측된다.

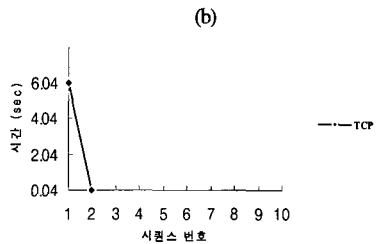
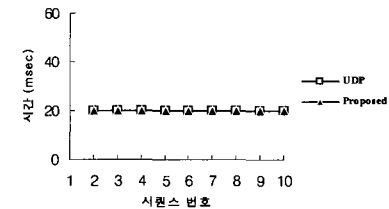
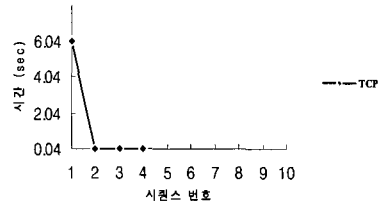
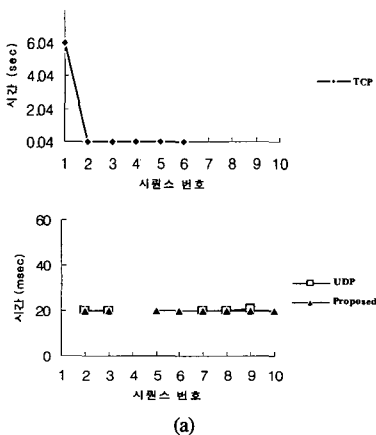


그림 8. 무선링크 패킷 오류율 10%에서의 전송지연과 패킷 손실. (a) 5Mbps (b) 10Mbps (c) 20Mbps

반면 TCP는 오류율이 높아질수록 전송패턴이 송신원의 그것과는 거리가 먼 불규칙함을 보이고 전송 지연도 증가함을 보인다. UDP도 오류율이 높을수록 패킷 드롭이 빈번하여 송신원에 도달하지 못하는 패킷이 점점 증가함을 알 수 있다.

#### IV. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 UDP 프로토콜에 기반을 둔 로봇 제어 데이터의 효과적인 전송기법이 제안되었다. 제안한 프로토콜은 UDP를 기본으로 기지국에서 로봇 제어 데이터를 중복 전송한다. NS-2 시뮬레이션을 통하여 본 논문이 제안한 프로토콜 방법은 제어 데이터 전송지연이 상당히 적고 무선링크 오류에도 불구하고 패킷 손실률이 매우 적음을 보였다. 패킷 오류율이 1%인 경우에는 간헐적으로 패킷드롭이 발생하지만, 중복전송으로 복구되어 수신원에는 해당 패



킷이 도달함을 알았다. 그리고 높은 패킷 오류율 (10%)하에서도 일반적인 UDP 프로토콜에 비해 패킷 손실률이 상당히 감축됨을 보였다. 그러나 제안한 방법에도 여전히 나타나는 패킷손실은 중복전송 횟수를 무선링크의 오류율에 따라 조절하는 진보된 메커니즘 연구를 통해 개선이 될 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

[1] J. B. Postel, "Transmission Control Protocol," *RFC 1793*, September 1981.

[2] W. R. Stevens, *TCP/IP Illustrated*, Volume 1 (Addison-Wesley, Reading, MA, November 1994).

[3] J. Hu, G. Feng, and K. L. Yeung, "Hierarchical cache design for enhancing TCP over heterogeneous networks with wired and wireless links," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 2, no. 2, pp. 205-217, Mar. 2003.

[4] R. Caceres and L. Ifode, "Improving the Performance of Reliable Transport Protocols in Mobile Computing Environments," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 5, no. 13, pp. 850-857, June 1994.

[5] J. B. Postel, "User Datagram Protocol," *RFC 1793*, August 1980.

[6] VINT Project, "The Network Simulator ns-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

[7] H. Balakrishnan, S. Seshan, and R. H. Katz, "Improving reliable transport and handoff performance cellular wireless networks," *ACM Wireless Networks*, vol. 1, no. 4, pp. 469-481, Nov. 1995.

[8] 조용범, 원기섭, 조성준, "무선 링크에서 TCP 처리율 향상을 위한 Enhanced Snoop 프로토콜," *한국통신학회 논문지*, vol. 30, no. 6B, pp. 396-404, June 2005.

[9] W. Zhang, M. S. Branicky, and S. M. Phillips, "Stability of networked control systems," *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 1, no. 21, pp. 84-99, 2001.

조 동 권 (Dong Kwon Cho)

정회원



1986년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업  
 1989년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사  
 1994년 8월 한국과학기술원 전기전자공학과 박사  
 1994년 11월~현재 KT 미래기술

연구소 수석연구원

<관심분야> 무선응용, 네트워크기반 제어, 유비쿼터스

천 상 훈 (Sang Hun Chun)

정회원



1990년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업  
 1992년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사  
 2000년 2월 인하대학교 전자공학과 공학박사  
 2000년 3월~현재 재능대학 정보

통신계열 조교수

<관심분야> 트래픽 제어, 초고속 통신, 컴퓨터 네트워크, 유비쿼터스