
ns-2에서 IEEE 802.11 확장 모듈의 오류 수정과 Error Rate를 적용한 시뮬레이션 및 성능분석

정진욱* · 진교홍**

Modification of Extended Version of IEEE 802.11 in ns-2 and Performance Analysis with Error Rate Using Computer Simulation

Jin-uk Jung* · Kyo-hong Jin**

이 논문은 2009년도 창원대학교 연구비를 지원받았음

요 약

Ns-2는 유·무선 네트워크의 성능을 평가하기 위해 광범위하게 활용되고 있는 검증된 시뮬레이터이다. Ns-2.33 버전은 IEEE 802.11의 PHY 계층과 MAC 계층의 핵심 기능들이 구현된 모듈들을 포함하는 확장 버전을 제공하고 있지만, 만약 이 확장 버전에 무선 네트워크 시뮬레이션의 중요한 성능 평가 파라미터 중의 하나인 Error Rate가 적용되면 몇몇 치명적인 오류로 인해 시뮬레이션이 중단되는 상황이 발생한다. 뿐만 아니라, 패킷 에러는 실제로 MAC 계층에서 감지되고 폐기되어야 하지만 이 버전에서는 PHY 계층에서 패킷 에러를 처리함으로써 에러가 발생된 패킷에 대한 정보를 확인할 수 없다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 위에서 언급된 문제들을 해결하기 위해 IEEE 802.11 확장 버전을 수정하였으며 IEEE 802.11p 기반의 차량 에드-혹 네트워크상에서 수정된 버전을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 Error Rate가 끼치는 영향을 분석하였다.

ABSTRACT

Ns-2 is a proven simulator which is widely utilized to evaluate the performance of wired and wireless network. Ns-2.33 version introduced the extended version including the modules which the core functions of existing 802.11 PHY and MAC layer are implemented. However, if the error rate, one of most important parameters to evaluate a performance of wireless network, is applied to the extended version, the simulation is ceased with several fatal errors. Furthermore, a packet error is detected and discarded on MAC layer in the traditional protocol architecture, but there is the problem which can't identify information about a packet with error by processing packet error on PHY layer in this version. In this paper, we modify the extended version to resolve the above mentioned problems. And also we perform ns-2 simulation using the modified version on the IEEE 802.11p based vehicular ad-hoc networks, and then analyze effects of error rate.

키워드

네트워크 시뮬레이터, 패킷 에러율, IEEE 802.11p, 차량 에드-혹 네트워크

Key word

Ns-2, Error Rate, IEEE 802.11p, VANET, Wireless Network

* 국립창원대학교 전자공학과

** 국립창원대학교 전자공학과 (교신저자, khjin@changwon.ac.kr)

접수일자 : 2010. 05. 04

심사완료일자 : 2010. 06. 07

I. 서 론

Ns-2(Network Simulator Version 2)는 유·무선 네트워크 상에서 TCP, 라우팅(Routing), 멀티캐스트 프로토콜과 같은 다양한 프로토콜들의 성능을 평가하기 위해 사용되는 대표적인 이산 이벤트 시뮬레이터(Discrete Event Simulator)이다[1].

최근에 무선 메쉬 네트워크(WMN: Wireless Mesh Networks), 모바일 애드-혹 네트워크(MANET: Mobile Ad-hoc Network), 그리고 차량 애드-혹 네트워크(VANET: Vehicular Ad-hoc Network)와 같은 무선 네트워크의 성능을 향상시키기 위한 다수의 연구들이 진행되고 있으며 ns-2는 IEEE 802.11 MAC 모듈과 PHY 모듈과 같은 무선 통신 모듈들을 제공하여 이러한 연구들의 시뮬레이션 및 성능 분석에 많이 사용되고 있다.

Ns-2.33 버전은 기존의 MAC 모듈과 PHY 모듈을 개선한 IEEE 802.11 확장 버전(Extension-Version)[2]을 포함하고 있고 몇몇 논문에서 무선 네트워크의 동작을 평가하기 위해서 활용되었다[7-9]. 확장 버전은 Cumulative SINR(Signal to Interference Noise Ratio) Computation, Preamble과 PLCP(Physical Layer Convergence Procedure) Header Processing and Capture, 그리고 Frame Body Capture 등과 같은 새로운 특징들이 PHY 모듈에 포함되었으며, 새로 설계된 MAC 모듈에는 구조화되고 모듈화된 형태로 기본적인 IEEE 802.11 CSMA/CA 메커니즘이 설계되어 있다. 수정된 MAC 모듈과 PHY 모듈은 주어진 적절한 파라미터 셋팅을 통해 IEEE 802.11a, b, g와 현재 표준화가 진행 중인 IEEE 802.11p를 시뮬레이션 할 수 있다.

한편, 유선 네트워크와는 다르게 무선 네트워크의 성능은 전송된 신호의 멀티패스 페이딩(Multi-path Fading)때문에 발생하는 높은 BER(Bit Error Rate)이나 PER(Packet Error Rate)로 인해 크게 저하된다. 따라서 무선 네트워크 시뮬레이션에서는 Error Rate를 성능 평가의 중요한 파라미터로 고려되어야 할 것이다. [3]에서는 ns-2를 사용하여 무선 네트워크에서 음성(Voice) 트래픽과 비디오(Video) 트래픽을 전송할 때의 성능을 Error Rate에 따라 평가하였고 [4]에서는 Bursty Error Rate에 따른 DCF(Distributed Coordination Function)의 에너지 효율을 평가하였다. [5]에서는 IEEE 802.11 기반

의 멀티-홉 무선 네트워크(Multi-hop Wireless Network)에서 TCP 성능에 Channel Error Rate가 어떤 영향을 미치는지 조사하였다. 그리고 [9]는 ns-2에서 10%의 Packet Error Rate를 가지는 IEEE 802.11p 모델링의 결과를 보여주었다.

그러나 만약 Error Rate가 IEEE 802.11 MAC과 PHY의 확장 버전에 적용되면 ns-2 시뮬레이션은 치명적인 프로그램 오류들에 의해서 중단된다. ns-allinone-2.xx 패키지의 설치 이후에, 명령어 *validate*의 실행은 몇몇 논리적 오류들과 함께 위에서 언급된 것과 동일한 문제를 초래한다.

본 논문에서는 IEEE 802.11 MAC과 PHY 확장 버전(앞으로 Ext-Version으로 기술)의 에러 적용시 문제점을 수정하였다. 그리고 수정된 버전(앞으로 Modified-Version으로 기술)의 타당함을 증명하는 시뮬레이션 결과들도 제시하고 수정된 버전을 사용하여 차량 애드-혹 네트워크에서 Error Rate에 따른 성능을 분석하였다.

본 논문의 구성을 다음과 같다. 2장에서는 Error Rate를 포함하는 Ext-Version의 문제점들을 기술하였다. 3장에서는 개선된 Ext-Version에 대한 세부적인 내용을 기술하였고, 4장에서는 IEEE 802.11p 기반의 차량 애드-혹 네트워크 상에서 TCP(Transmission Control Protocol)의 성능(Delay와 Throughput)을 Error Rate에 따라 분석하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 제시하였다.

II. Ext-Version의 문제점들

그림 1은 ns-2의 일반적인 Mobile-Node의 구조를 보여주는 것으로 각 모듈은 C++와 OTcl(Object Tool Command Language)로 작성되었다. Mobile-Node의 구조는 Link Layer, Interface Queue, MAC Layer, 그리고 Propagation Model을 포함하는 Network Interface와 같은 컴포넌트들로 구성된 하나의 네트워크 스택이다. 이들 컴포넌트들은 상호연결되어 있으며, Mobile-Node를 채널과 연결하는 역할을 수행한다[1].

또 다른 문제점으로는 계층화된 프로토콜 아키텍처에서 패킷 에러는 MAC 계층에서 다루어져야하지만, Ext-Version을 사용하는 경우에 패킷들은 MAC 계층에 어떠한 공지도 없이 PHY 계층에서 폐기(Drop)된다. 그리고 Ext-Version의 MAC 모듈은 트레이스 파일(Trace Files)상에 에러들의 개수를 나타내거나 표시하지 않는다. 따라서 패킷 에러로 인해 패킷이 폐기되더라도 MAC 계층에서 확인할 수 없게 된다.

III. Ext-Version의 개선

2장에서 언급된 Ext-Version의 문제점들은 C++로 작성된 wireless-PhyExt.cc(PHY 계층을 구현한 모듈)와 mac-802_11Ext(MAC 계층을 구현한 모듈)를 수정함으로써 해결할 수 있다. wireless-PhyExt.cc 파일에서는 5개 프로시저인 *handle_Txtimeout()*, *handle_RXtimeout()*, *handle_PreRXtimeout()*, *sendCSBusyIndication()*, 및 *sendCSIdleIndication()*를 수정하였으며 이들은 모두 MAC 모듈을 가리키는 새로운 포인터(*mac_*)를 생성한다. 에러 모듈이 존재하면 포인터 *mac_*가 MAC 모듈을 가리키지 않도록 수정하였다. MAC 모듈로 전달된 수신된 모든 패킷들과 몇몇의 통지 신호(Notification Signal)들은 그림 2의 포인터 *uptarget_*를 통해 전달된다. 즉 다시 말하면, ns-2의 일반적인 패킷 전달 방법을 사용하면서 MAC 계층에서 패킷 에러를 다루게 함으로써 PHY 계층에서 수행되는 패킷 에러 처리를 수정하였다.

그림 4는 wireless-PhyExt.cc을 수정한 예를 보여준다. Ext-Version에서 *mac_*는 항상 포인터 *uptarget_*가 가리키는 곳을 나타내지만, 수정된 버전에서는 먼저 에러 모듈이 있는지 확인한 다음 적절히 포인터 *mac_*의 값을 결정한다.

또한 ns-2에서 패킷을 수신하는 일반적인 방법은 *recv()* 프로시저를 이용하는 것이다. 그러나 Ext-Version에서는 새롭게 작성된 다른 프로시저를 이용한다. 이 프로시저가 정상적으로 동작하도록 하려면 함수 *handleRXEndIndication()*, *recv()*, 그리고 *discard()*를 수정해야만 한다.

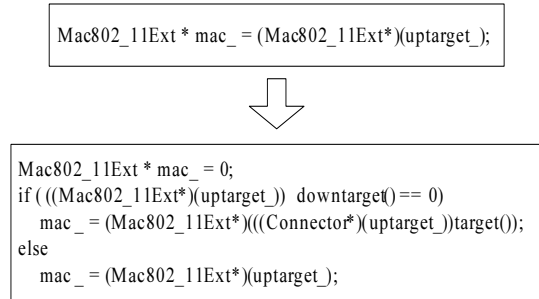


그림 4. Modified-Version에서의 수정 예
Fig. 4. An example of modification in Modified-version

그리고 패킷 에러는 트레이스 파일에서 확인할 수 있도록 DROP_MAC_PACKET_ERROR로 표시되고 폐기된다.

Modified-Version이 에러가 없는 환경에서 Ext-Version처럼 동작하는지를 증명하기 위해 간단한 ns-2 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션시나리오는 다음과 같다. 네트워크는 두 개의 모바일 노드들로 구성되며, 노드들은 서로 100m 떨어진 곳에 위치한다. 노드는 시속 50km로 움직이고 다른 한 노드는 50km에서 100km 사이의 속도로 움직인다. 그리고 각 노드는 매초마다 500바이트 크기의 패킷 100개 브로드캐스트하도록 하였으며 각 노드의 최대 전송 범위는 200미터로 설정하였다. 시뮬레이션에서 사용된 나머지 파라미터들은 [5]에서 설계된 IEEE 802.11p의 파라미터를 사용하였다. 각 시뮬레이션은 50초 동안 수행되며, 결과는 10번의 시뮬레이션을 수행하여 그 결과들의 평균을 구한 것이다.

Modified-Version과 Ext-Version의 동작을 비교하기 위해 성능 측정 파라미터로 지연시간(Delay Time), 패킷 손실(Packet Loss), 그리고 처리율(Throughput)을 사용하였다. 그림 5와 6, 그리고 7에서 일반적인 통신 환경에서 Ext-Version과 Modified-Version이 차이가 없음을 알 수 있었다.

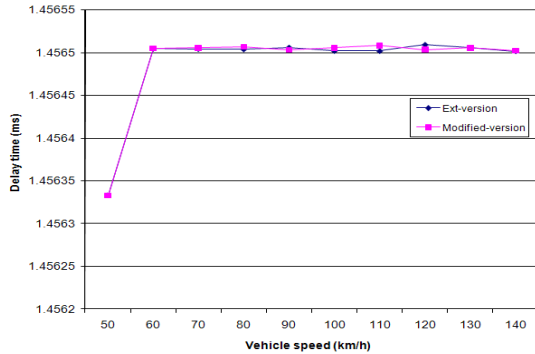


그림 5. Ext-version과 Modified-version간의 평균 지연시간 비교

Fig. 5. Comparison of average delay time between Ext-version and Modified-version

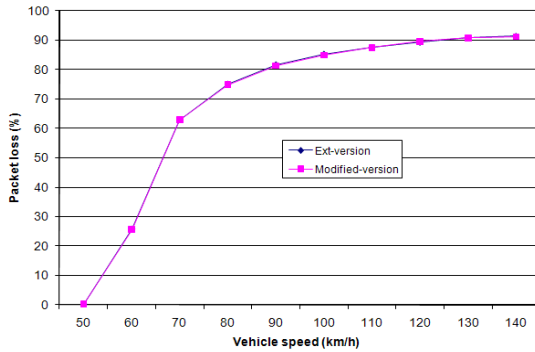


그림 6. Ext-version과 Modified-version간의 평균 패킷 손실 비교

Fig. 6. Comparison of average packet loss between Ext-version and Modified-version

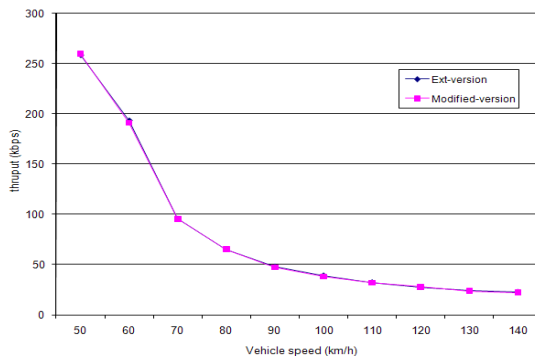


그림 7 Ext-version과 Modified-version간의 평균 처리율 비교

Fig. 7 Comparison of average throughput between Ext-version and Modified-version

IV. 성능 평가

무선 네트워크에서 패킷 에러율이 성능에 미치는 영향력을 분석하기 위해 ns-2를 사용하여 IEEE 802.11p 기반의 차량 에드-혹 네트워크에서 노드간의 TCP 통신을 시뮬레이션하였다.

(1) 시뮬레이션 환경과 설정

사용된 시뮬레이션 환경은 Cygwin에 설치된 allinone 버전의 ns-2.34이다. 그림 8과 같이 차량 에드-혹 네트워크상에서의 단순한 통신 시나리오를 고려하였다. 가로 3000m, 세로 20m 크기의 단일 차선에 차량의 개수는 2개에서 60개까지 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 각 차량의 속도는 시속 50km에서 100km사이에서 랜덤하게 선택되도록 하였고 통신 범위는 300m로 설정하였다.

이외에 다른 파라미터 셋팅은 [5]에서 설계된 IEEE 802.11p 파라미터들을 따랐으며 멀티-패스 페이딩 효과를 초래하는 장애물과 건물들이 존재한다는 것을 고려해서 나카가미 페이딩 모델(Nakagami Fading Model)을 사용하였다.

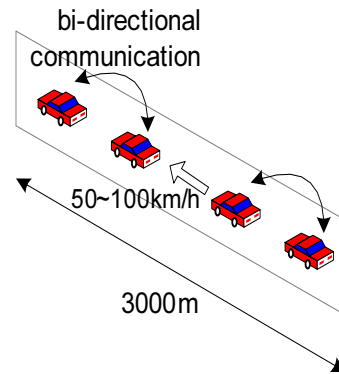


그림 8. 시뮬레이션 시나리오(50~100km/h의 속도로 움직이는 두 대의 차량 간 통신)

Fig 8. Simulation Scenario (coupled vehicles are moving with a speed of 50~100km/h communicating with each other)

차량들은 두 대씩 짝을 지어 양방향 음성 통신과 비디오 통신을 실행한다. 음성 트래픽과 비디오 트래픽

은 각각 8kbps의 CBR(Constant Bit Rate) 플로우와 128kbps의 CBR 플로우로 모델링되었다. 이들 CBR 트래픽의 하위 계층에는 전송 계층 프로토콜로 TCP를 사용하였으며 CBR 트래픽의 PDU(Protocol Data Unit)의 크기는 1000바이트로 설정하였다. 전송률은 IEEE 802.11p의 기본 전송률인 3mbps로 설정하였으며 각각의 시뮬레이션을 30초 동안 15번씩 수행하여 그 결과의 평균을 구한 것이다.

(2) 시뮬레이션 결과

차량 에드-혹 네트워크에서 Error Rate의 효과를 검증하기 위해, 성능 평가의 척도로 지연시간과 처리율을 사용하였다. 지연시간은 MAC 계층에서 패킷 전송 시간과 수신 시간의 차이이며, 처리율은 수신된 패킷들의 사이즈를 모두 합한 후에 전송한 노드(만약 플로우의 수가 2이면, 전송 노드의 수는 4임)의 수로 나누어 계산하였다.

8kbps CBR 트래픽에서 3mbps의 전송률을 고려했을 때 이론적으로 가능한 가장 낮은 지연시간은 약 2.667msec(=8000bits / 3,000,000 bits/sec)이다. 그러나 그림 9와 같이 대부분의 지연시간은 4msec 이상이고 특히, Error Rate가 0.20인 경우에는 6.0msec 이상의 지연시간을 보여준다. 시뮬레이션을 수행할 때 Error Rate를 제외한 모든 파라미터를 동등하게 사용하였기 때문에 이러한 지연시간의 차이가 Error Rate 때문에 발생한 것이라는 것을 쉽게 유추할 수 있다.

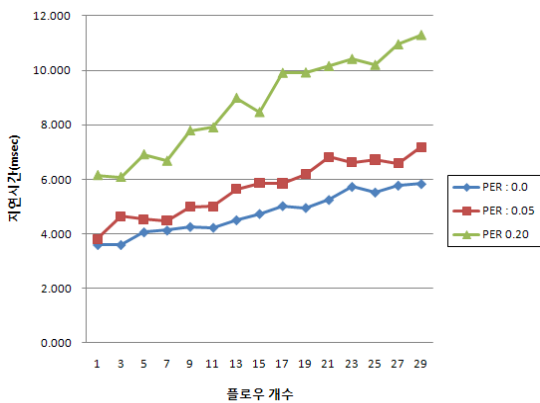


그림 9. 평균 지연시간(8kbps CBR traffic)
Fig. 9. Average delay time(8kbps CBR traffic)

그림 10은 각 노드가 128kbps CBR 트래픽을 전송하는 경우에 발생하는 지연시간을 나타낸 것으로 앞서 말한 가장 낮은 지연시간보다 더 높은 것을 알 수 있다. 그 이유는 네트워크상에 노드들은 CSMA/CA MAC 프로토콜을 사용하여 패킷을 전송하기 때문에, 패킷 충돌이 발생하게 되어 MAC 계층에서 재전송을 시도하기 때문이다. 그리고 PER 적용으로 MAC 계층에서 발생하는 패킷 에러로 인한 재전송 역시 이 지연시간에 영향을 미치기 때문이다.

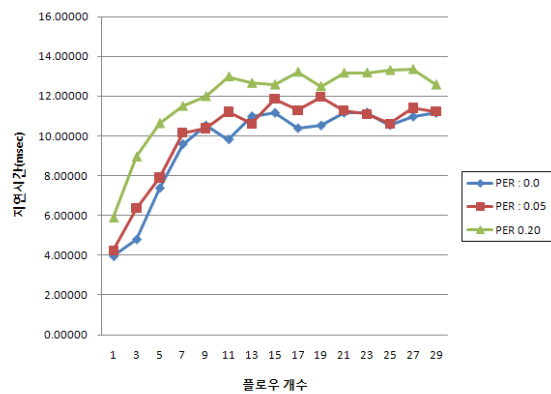


그림 10. 평균 지연시간(128kbps CBR traffic)
Fig. 10. Average delay time(128kbps CBR traffic)

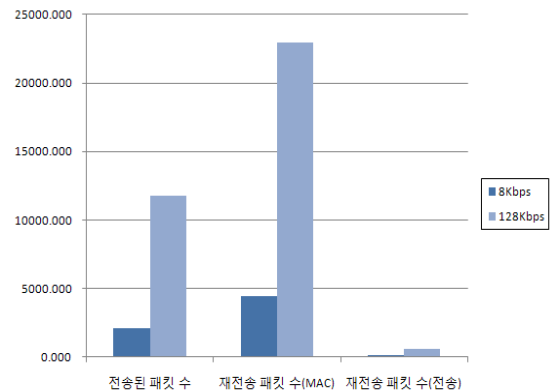


그림 11. MAC 계층에서 전송된 패킷 수와 재전송된 패킷 수, 그리고 전송 계층에서 재전송된 패킷 수 (10Flows, PER=0.20)

Fig. 11. The number of sent and retransmitted packets in MAC layer and retransmitted packets in transport layer (10Flows, PER=0.20)

그림 11에서 128kbps CBR 트래픽 상황에서 재전송된 패킷의 수가 8kbps CBR 트래픽 상황에서 발생하는 재전송 패킷들의 수보다 약 5배 정도 많다는 것을 알 수 있다. 이렇게 재전송되는 패킷 수의 차이는 128kbps CBR 트래픽 시뮬레이션에서 발생하는 지연시간이 8kbps CBR 트래픽 시뮬레이션에서 발생하는 지연시간보다 더 크기를 설명해 준다.

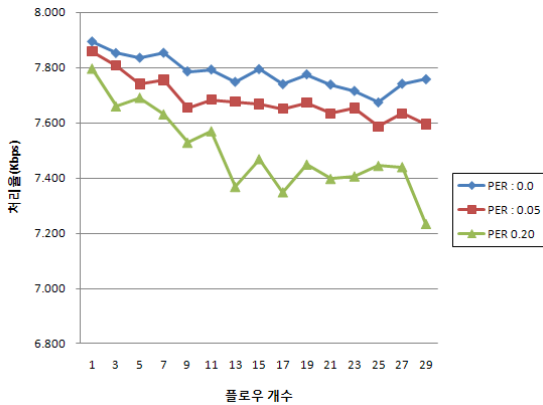


그림 12. 평균 처리율(8kbps CBR Traffic)
Fig. 12. Average throughput(8kbps CBR Traffic)

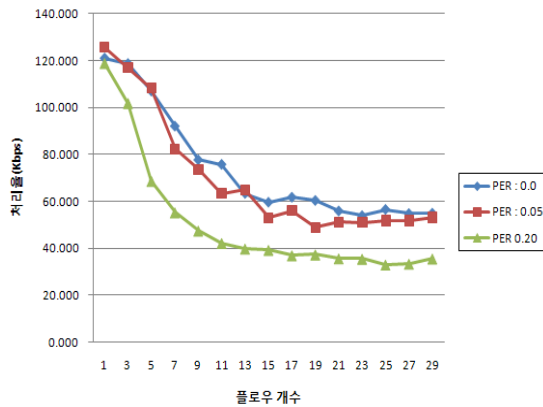


그림 13. 평균 처리율(128kbps CBR Traffic)
Fig. 13. Average throughput(128kbps CBR Traffic)

그림 12와 13은 플로우의 개수에 따라 8kbps CBR 트래픽의 처리율과 128kbps CBR 트래픽의 처리율을 각각 보여준다. 예상했던 것처럼, 처리율은 플로우의 개수가 증가함에 따라 감소된다.

V. 결 론

본 논문은 무선 통신 환경에서 Error Rate를 지원하기 위해 Ext-Version의 문제점들을 개선한 IEEE 802.11 MAC 모듈과 PHY 모듈의 Modified-Version에 대한 연구 결과이다. 이 Modified -Version은 ns-2의 IEEE 802.11 MAC과 PHY 확장 모듈을 수정하여 Error Rate 적용 시 문제점을 해결하였고, 패킷 에러를 MAC 계층에서 처리할 수 있도록 하였다.

Modified-Version의 동작을 확인하기 위해, Extended-Version과 비교하는 시뮬레이션을 수행하였으며 시뮬레이션을 통해 무선 네트워크상에서 Error Rate가 지연 시간과 처리율에 상당한 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

본 논문에서 소개한 Modified-Version은 차량 네트워크와 같은 무선 네트워크의 연구에 많은 도움을 줄 것으로 예상된다. 향후 ns-2에서 IEEE 802.11p 기반의 IEEE 1609.4의 멀티채널 기능을 구현하여 실제와 같은 모빌리티 시나리오에서 TCP와 UDP의 성능을 분석할 것이다.

참고문헌

- [1] "Network Simulator ns-2" <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [2] Qi Chen, Felix Schmidt-Eisenlohr, Daniel Jiang, "Overhaul of IEEE 802.11 Modeling and Simulation in NS-2," in Proc. of the 10th ACM Symposium on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems(MSWiM'07), Crete Island, Greece, pp159-168, 2007
- [3] Bilal Munir, Naveen K Chilamkurti, Ben Soh, "A Comparative Study of Voice over Wireless Networks Using NS-2 Simulation with an Integrated Error Model," in Proc. of the Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM2006), pp1-5, Sept., 2006
- [4] Jun Yin, Xiaodong Wang, and Dharma P. Agrawal, "Energy Efficiency Evaluation of Wireless LAN over Bursty Error Channel," in Proc. of Globecom 2005, Vol.6, pp3628-3632, Dec., 2005

- [5] Xia Li, Peng-Yong Kong, Kee-Chaing Chua, "TCP Performance in IEEE 802.11-Based Ad Hoc Networks with Multiple Wireless Lossy Links," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 6, No. 12, pp1329-1342, Dec., 2007
- [6] Balkrishna Sharma Gukhool, Soumaya Cherkaoui, "IEEE 802.11p modeling in NS-2," in Proc. of IEEE Conference on Local Computer Networks, pp622-626, Oct., 2008
- [7] Moritz Killat, Hannes Hartenstein, "An empirical model for probability of packet reception in vehicular ad hoc networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009, p.1-12, January 2009
- [8] Jens Mittag, Felix Schmidt-Eisenlohr, Moritz Killat, Jérôme Härri, Hannes Hartenstein, "Analysis and design of effective and low-overhead transmission power control for VANETs," Proceedings of the fifth ACM international workshop on Vehicular Inter-NETworking, pp39-48, Sept., 2008,
- [9] Moritz Killat, Felix Schmidt-Eisenlohr, Hannes Hartenstein, Christian Rössel, Peter Vortisch, Silja Assenmacher, Fritz Busch, "Enabling efficient and accurate large-scale simulations of VANETs for vehicular traffic management," Proceedings of the fourth ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, pp29-38, Sept., 2007
- [10] IEEE WG, IEEE 802.11p/D2.01, Draft Amendment to Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE), March, 1997

저자소개

정진욱(Jin-uk Jung)



2004 동의대학교 멀티미디어 공학과 공학사
2006 동의대학교 디지털미디어 공학과 공학석사

2008 창원대학교 전자공학과 박사과정 수료
※관심분야: 데이터 통신, 무선 센서 네트워크, VANET

진교홍(Kyo-hong Jin)



1991 부산대학교 컴퓨터공학과 공학사
1993 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사

1997 부산대학교 컴퓨터공학과 공학박사
1997 ~ 2000 국방과학연구소 선임연구원
2000 ~ 2004 동의대학교 멀티미디어공학과 조교수
2004 ~ 현재 창원대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야: 데이터통신, 센서 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, VANET