

# Wi-Fi 방송 서비스를 위한 방송 패킷 전송률에 따른 버스트 손실 특성 분석

김 세 미\*, 김 동 현\*, 김 종 덕<sup>o</sup>

## Analysis of Bursty Packet Loss Characteristic According to Transmission Rate for Wi-Fi Broadcast

Se-mi Kim\*, Dong-hyun Kim\*, Jong-deok Kim<sup>o</sup>

### 요 약

IEEE 802.11 무선 랜 기반 방송 서비스를 제공 할 때 한정적인 무선 자원을 이용하여 다수의 사용자들에게 원활하게 서비스하기 위해 유니캐스트 패킷 대신 방송 패킷을 이용한다. 방송 패킷은 일정한 대역폭을 사용하여 다수의 사용자들에게 동시에 패킷을 전송 할 수 있지만 손실 복원이 어려운 단점 있기 때문에 손실 특성 분석을 통한 효율적인 패킷 복원 방안이 요구 된다. 손실의 특성 중에서 일정 구간에서 다수의 패킷이 연속적으로 손실 되는 구간이 있는데 이를 버스트 손실 구간이라고 한다. 평균 패킷 손실율을 가지더라도 랜덤 손실과 버스트 손실의 특성에 따라 구간별 손실에 차이가 발생하기 때문에 같은 손실 복원 기법을 적용하더라도 복원율의 차이가 발생 한다. 따라서 손실의 본질을 분석 하고 이를 고려한 손실 복원 방안에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 전송률에 따른 Wi-Fi 방송 실험을 통해 생성된 실제 손실 패턴을 바탕으로 4-상태 마코프 모델을 이용하여 버스트 손실의 특성을 분석 하였다.

**Key Words** : WLAN, Broadcast, Bursty packet loss, Markov Model

### ABSTRACT

When the IEEE 802.11 wireless LAN-based broadcasting services, we use broadcast packets to broadcast multimedia contents to a large number of users using limited wireless resources. However, broadcast transmission is difficult to recover the loss packets compared with unicast transmission. Therefore, analysis of packet loss characteristics is required to perform efficient packet recovery. The packet loss in wireless transmissions is often bursty with high loss data rate. Even if loss patterns have the same average packet loss, they are different in the recovery rate of random loss and burst loss depending on the nature. Therefore, the analysis and research of the nature of the loss are needed to recover loss packets considering bursty characteristics. In this paper, we experimented Wi-Fi broadcast transmission according to transmission rate and analyzed bursty characteristics of loss patterns using 4-state markov model.

### I. 서 론

최근 스마트폰, 태블릿 PC, 노트북과 같은 무선 네트워크를 사용하는 이동 단말의 보급이 증가하면

※ 이 논문은 부산대학교 자유 과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

◆ 주저자 : 부산대학교 컴퓨터공학과 이동통신 연구실, kimshe@mobile.re.kr, 준회원

o 교신저자 : 부산대학교 컴퓨터공학과 이동통신 연구실, kimjd@pusan.ac.kr, 종신회원

\* 부산대학교 컴퓨터공학과 이동통신 연구실, dhkim1106@mobile.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-12-579, 접수일자 : 2012년 12월 31일, 최종논문접수일자 : 2013년 6월 27일

서 무선 네트워크를 이용한 고용량 멀티미디어 스트리밍 서비스에 대한 수요가 증가 하고 있다. 무선 네트워크에서 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공하기 위한 무선통신기술로는 3G, LTE(Long Term Evolution), IEEE 802.11 기반 무선 랜 등이 있다. 3G, LTE기술은 하나의 기지국으로 넓은 서비스 반경을 지원하지만 전송속도가 무선 랜에 비해 비교적 낮고 데이터 사용량에 따라 높은 비용이 발생한다. 무선 랜은 기술에 따라 수백Mbps까지 전송속도를 지원하면서 낮은 비용으로 방송(Broadcast) 서비스가 가능하기 때문에 개인 방송 서비스를 운용하고자 할 때 다른 통신기술에 비해 유리하다.

무선 랜을 이용하여 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공 하고자 할 때 다수의 사용자에게 한정된 무선 자원을 사용하여 안정적으로 서비스를 제공하는 것이 필요하다. 방송 패킷을 사용하는 Wi-Fi 방송 시스템은 하나의 방송 패킷을 이용하여 다수의 사용자에게 동일한 콘텐츠를 제공 할 수가 있기 때문에 사용자 수가 크게 늘어도 무선 자원 부족 문제가 발생하지 않는 장점이 있다. 그러나 무선 랜 환경에서는 노드들이 미디어 접근을 위해 서로 경쟁하는 방식을 갖기 때문에 노드가 무선망에 많이 존재하거나 각 노드에서 발생하는 트래픽이 증가할 경우 미디어 접근을 위한 경쟁으로 인해 높은 패킷 손실이 발생 한다. 방송 패킷은 유니캐스트 패킷과 달리 MAC(Medium Access Control) 계층에서 손실 패킷을 재전송 하지 않기 때문에 FEC(Forward Error Correction)와 같이 응용 계층에서 손실된 패킷을 복원 하는 기법을 적용 하는 것이 필요하다<sup>[1,2]</sup>.

일반적으로 FEC와 같은 손실 패킷 복원 기법을 적용 할 때 전체 손실율을 기반으로 여분 패킷의 비율을 결정한다. 하지만 실제 무선 랜 환경에서는 전송 중에 데이터가 갑자기 집중적으로 손실 되는 버스트(Burst) 손실이 발생 한다<sup>[3,4]</sup>. 그림 1은 무선 랜 환경에서 발생 하는 버스트 패킷 손실과 랜덤 패킷 손실에 대한 개념을 비교 한 그림이다.

그림 1에서 확인 할 수 있듯이 두 손실 데이터는 같은 수의 패킷이 손실 되었지만 손실이 발생하는 특성이 다르다. 버스트 손실이란 일반적으로 어떤 특정한 시간에 다수의 패킷이 손실 되어 높은 손실율을 보이는 구간을 뜻한다. 즉, 다른 구간에 비해서 패킷 손실율이 상대적으로 높은 구간을 버스트 손실 구간이라고 한다. 동일한 평균 패킷 손실율에

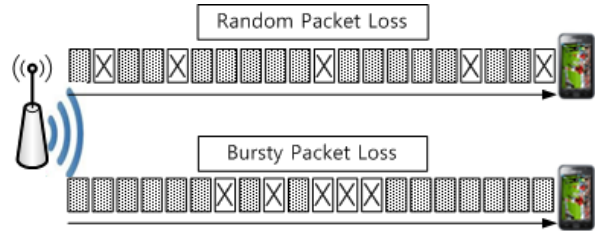


그림 1. 버스트 패킷 및 랜덤 패킷 손실 개념  
Fig. 1. The concept of burst packet loss and random packet loss

서 같은 FEC 비율을 적용 할 때 버스트 손실과 랜덤 손실의 특성에 따라 복원율의 차이가 발생 한다. 따라서 Wi-Fi 방송 시스템을 제공하기 위해 실제 실험을 통해 방송 패킷의 손실 특성을 분석 하고 그 특성에 따라 손실을 복원하는 방안 에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 IEEE 802.11 기반의 무선 랜 환경의 방송 패킷 손실 특성을 확인하는 것을 목표로 한다. 전송률에 따라 감도의 차이가 있기 때문에 전송률에 따라 무선 랜 손실 특성에 차이가 발생 할 것이라 예상 하고 전송률에 따른 방송 실험을 진행 하였다. 또한, 실험을 통해 발생한 실제 손실 데이터를 기반으로 전송률에 따른 무선 랜 방송 손실 특성을 분석하였다. 손실을 분석하기 위해 4-상태 마코프 모델을 이용하여 버스트 특성 지표를 도출 하고 이를 기반으로 확률적인 접근을 통해 실제 방송 패킷 손실 특성이 버스트 손실 특성을 가지는지를 확인 하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 버스트 손실을 고려한 선행 연구와 버스트 특성을 분석하기 위한 손실 분석 모델 및 특성 지표에 대해서 설명한다. 3장에서는 랜덤 손실 패턴과 버스트 손실 패턴에 따른 복원율의 차이를 보이고 실제 방송 서비스를 제공하기 위해서 방송 패킷 손실 특성 분석 및 이를 고려한 연구의 필요성에 대해서 이야기한다. 4장에서는 전송률에 따른 IEEE 802.11 기반의 방송 손실 특성을 분석하기 위한 실험 환경 및 방법을 설명하고 실험 결과를 분석한다. 또한 실제 방송 패킷의 특성을 확률적으로 분석 하고 버스트 특성을 고려한 FEC와 평균 손실을 고려한 FEC를 적용 하여 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 본 연구의 결론을 맺고 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 관련 연구

### 2.1. 버스트 손실 분석 모델

버스트 손실의 특성을 분석하기 위해서는 버스트 손실에 대한 정의 및 분석 방안이 필요하다. 본 논문에서는 IETF(Internet Engineering Task Force)의 RFC(Request for Comments)3611 - RTCP-XR (RTP Control Protocol Extended Reports)에서 VoIP(Voice over IP)의 음성 트래픽을 모니터링 하기 위해 정의한 버스트와 공백(Gap)의 개념을 이용한다<sup>[3,4]</sup>.

RTCP-XR에서는 버스트 구간을 결정하는 최소 값인 Gmin을 이용하여 버스트 구간을 정의한다. Gmin이란 손실 패킷과 손실 패킷 사이에서 연속적으로 정상 수신 될 수 있는 최대한의 패킷 수이다. 즉, 손실 패킷과 손실 패킷 사이에 연속적으로 정상 수신 된 패킷이 Gmin 값 보다 작을 때 그 구간을 버스트 구간이라고 하고 버스트 구간 이외의 나머지 구간은 공백 구간이 된다.

실제 손실 데이터를 바탕으로 손실을 분석하기 위해 분석 모델이 필요하다. 일반적으로 손실 분석을 하기 위해서 평균 손실율과 길버트(Gilbert)모델을 이용한다. 평균 손실율은 전체 패킷 중 손실된 패킷의 비율을 나타낸 것으로 가장 많이 쓰이는 손실 분석 지표이다. 길버트 모델은 2-상태 마코프 모델과 같은 개념으로서 두 가지 상태를 가진다. 상태 0은 정상적으로 수신된 상태, 상태 1은 패킷이 손실된 상태이며 각 상태에서 다른 상태로의 전이 확률을 통해 손실 데이터를 생성할 수도 있고 손실 데이터를 바탕으로 각각의 패킷에 상태를 할당하여 손실을 분석할 수 있다. 하지만 두 가지 상태를 가질 때는 연속적으로 손실이 일어나는 경우만 버스트 구간이 되기 때문에 실제 버스트 손실 구간을 명확하게 구분하기 어렵다.

버스트 손실 구간과 공백 구간을 구분하여 손실을 분석하기 위해서 우리는 다음 그림 2와 같은 4-상태 마코프 모델<sup>[6]</sup>을 이용한다.

4-상태 마코프 모델은 2-상태 마코프 모델과 유사하지만 손실 구간 내에서도 Gmin값 보다 적은 연속적인 정상 수신 상태가 존재하고 공백 구간에서도 상태 4와 같이 고립된 손실이 발생할 수 있다. 즉, 버스트 구간과 공백 구간으로 나뉘며 각각의 구간 내에서 손실과 수신 상태를 가진다. 각 상태에 대한 정의는 다음과 같다<sup>[8]</sup>.

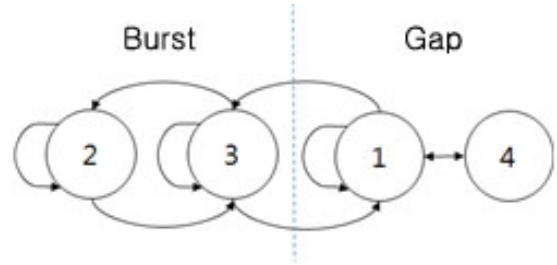


그림 2. 4-상태 마코프 모델  
Fig. 2. 4-state Markov model

- 상태 1 - 공백 구간 내 패킷 수신
- 상태 2 - 버스트 구간 내 패킷 수신
- 상태 3 - 버스트 구간 내 패킷 손실
- 상태 4 - 공백 구간 내 하나의 손실 발생

본 모델을 이용하여 손실 데이터를 바탕으로 그림 3과 같이 각각의 패킷의 상태를 정의할 수 있으며 Gmin값에 따라 버스트 구간과 공백구간을 나눌 수 있다.

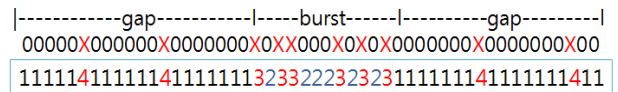


그림 3. 4-상태 마코프 모델을 이용한 버스트 분석의 예  
Fig. 3. The example of analysis of bursty packet loss using 4-state Markov model

그림 3은 Gmin 값이 5일 때 4-상태 마코프 모델을 이용하여 손실 패턴을 분석한 예이다. 첫 번째 손실 패킷과 두 번째 손실 패킷은 양 옆에 Gmin 값 이상의 연속적인 수신 패킷이 존재하므로 첫 번째, 두 번째 손실 패킷은 공백 구간 내 고립된 손실인 상태 4가 되고 나머지 정상 수신 상태는 모두 1로 표시된다. 세 번째 패킷이 손실 되고나서 네 번째 패킷이 손실 될 때 세 번째 손실이 버스트 손실에 속하는 상태 3임을 알게 되고 그 사이에 정상 수신된 패킷은 상태 2가 된다.

본 손실 모델을 통해 분석한 내용을 바탕으로 IETF RFC 3611에서 정의한 버스트와 공백 구간의 길이, 밀도, 비율 등을 고려하여 버스트 손실을 분석할 수 있다. 각각의 분석 지표는 다음과 같다.

- BL(Burst Length) : 버스트 구간 평균 길이
- BD(Burst Density) : 버스트 구간 내 평균 손실 패킷 밀도

- BR(Burst Rate) : 전체 손실 패킷 중 버스트 손실 패킷 비율
- GL(Gap Length) : 공백 구간 평균 길이
- GD(Gap Density) : 공백 구간 내 손실 패킷 밀도

그림 3에 대한 지표 값은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 4-상태 손실 모델과 다섯 가지 지표를 이용하여 손실 특징을 분석 하고 실제 Wi-Fi 방송 패킷 전송 중 버스트 패킷 손실의 발생 여부 확인한다.

표 1. 버스트 손실 지표를 이용한 분석의 예  
Table 1. The example of analysis of bursty characteristics using burst loss value

	Burst Length (pkts)	Burst Density (%)	Burst Rate (%)	Gap Length (패킷 수)	Gap Density (%)
2-state Markov Model	1.11	100	100	-	-
4-state Markov Model	12	50	60	19	10.53

2.2. 기존 연구 분석

무선 랜 환경에서 발생하는 버스트 손실과 관련된 다양한 분야의 선행 연구들이 진행 되고 있다. 영상, VoIP(Voice over IP), 방송과 같은 다양한 멀티미디어 서비스를 제공 할 때 버스트 패킷 손실이 발생 하는 것에 대해 주목 하고 이러한 버스트 패킷 손실이 품질에 미치는 영향에 대한 관심이 높다.

관련 연구<sup>7,8)</sup>에서는 무선 랜 환경에서 멀티미디어 데이터 전송을 할 때 발생하는 패킷 손실이 영상의 품질에 미치는 영향에 대한 연구이다. 이 때 랜덤 패킷 손실과 버스트 패킷 손실로 인한 영상 품질 저하의 차이가 발생 하는 것을 알 수 있다. 또한, 관련 연구<sup>9,10)</sup>에서는 영상에서 발생하는 패킷 손실을 복원하기 위해 지연 시간이나 FEC기법을 적용하여 패킷 손실을 복원 하는 방안을 제안한다. 하지만 관련 연구들은 시뮬레이션을 통한 분석이므로 실제 손실 특성을 고려한 분석 결과가 아니며 손실 복원 기법 또한 버스트 손실 특성을 고려한 복원 기법이 아니다.

본 논문은 IEEE 802.11 무선 랜 환경에서 비디

오를 전송 할 때 발생하는 버스트 손실을 고려한 적응적 FEC 기법을 제안한 관련연구<sup>11,12)</sup>를 기반으로 연구를 진행 하였다. 본 논문에서는 무선 랜 환경에서 발생하는 버스트 손실에 대해 버스트 손실 특성 지표를 바탕으로 버스트 손실을 분석 하고 특성 지표를 이용하여 손실 복원 기법을 제안하였다. 본 논문에서는 손실 패킷을 효율 적으로 복원하기 위해 FEC 기법 중 Reed-Solomon Erasure Coding 을 사용 한다. 그리고 FEC 인자 FEC(n, k)의 원본 패킷과 여분 패킷의 비율을 결정 할 때 버스트 손실 지표인 버스트 구간 평균 길이와 버스트 밀도 등을 활용하여 FEC 인자를 결정 한다. 본 관련연구에서 제안하는 FEC(n, k)의 FEC 블록 크기 n과 여분 패킷 n-k는 다음 수식 (1)과 같다.

$$XR: n = \text{BurstLength} + Gmin$$

$$n-k = \text{BurstLength} * \text{BurstDensity} \tag{1}$$

FEC 블록 크기 n은 평균 버스트 손실 길이에 Gmin을 더한 값을 제안하는데 그 이유는 버스트 손실상태 일 때 버스트 손실 구간에서 벗어나기 위해서는 최소 Gmin값 이상의 패킷이 정상 수신 되어야하기 때문에 평균 버스트 손실길이에 Gmin값을 더한 값을 FEC 블록 크기 n으로 결정한다. 또한 버스트 구간 내에 발생 하는 손실을 복원하기 위함 이므로 여분 패킷의 비율은 버스트 손실 구간 길이에 버스트 구간 내에 발생하는 손실 밀도를 곱한 값을 여분패킷으로 제안하였다.

그러나 관련 연구에서는 Gmin값을 RFC 3611 문서에서 권장하는 16으로 고정 하여 버스트 손실 구간 길이와 버스트 구간 내 손실 밀도를 통해서 인자를 결정한다. 실제 방송 패킷 전송 과정에서 15% 정도의 손실율을 가지는 패턴에서 Gmin값이 10 이상이 되면 전체 손실 패킷 중 약 90%의 손실 패킷이 버스트 손실로 간주 되게 된다.

즉, Gmin값이 16이상 일 땐 손실 패킷 중 약 99%의 손실 패킷이 버스트 손실로 간주되고 버스트 길이 값이 증가 하여 거의 모든 패킷이 버스트 구간으로 판단되기 때문에 5%~20% 이내의 손실율을 가지는 패턴에서 다양한 Gmin값에 대해 버스트 특성을 분석하는 것이 필요하다. 또한 관련 논문은 ns-2 시뮬레이션을 통해 생성한 데이터를 기반으로 분석한 결과이기 때문에 실제 무선 랜 환경의 방송 손실 특성을 분석 하여 적용한 결과라고 보기 어렵다.

따라서 본 논문에서는 실제 무선 랜 방송 실험을 통해 무선 랜 환경에서 발생하는 전송 손실 특성을 Gmin값에 따라 분석 하고 버스트 손실 지표를 활용하여 버스트 손실 특성 발생 여부를 확인하고 실제 방송 패킷의 손실 특성에 따라 복원 기법을 적용 하는 것을 목표로 한다.

### III. 손실 특성 분석의 필요성

일반적으로 FEC를 적용 할 때 평균 손실율에 따라 여분 패킷의 비율을 결정한다. 하지만 동일한 평균 손실율을 가지는 패턴에 같은 FEC 비율을 적용 하더라도 손실이 발생하는 특성에 따라 복원율이 달라진다.

다음의 표 2는 동일한 손실율을 가지는 두 패턴에 동일한 FEC를 적용 했을 때 손실 패턴에 따른 복원 후 손실율을 비교 한 표이다. 실제 랜덤 손실 패턴과 버스트 손실 패턴에 따라 복원율에 차이가 발생 하는 것을 확인하기 위해 앞서 설명한 손실 모델을 이용하여 손실 패턴을 생성하였다. 전체 20000개의 패킷 중 5, 10, 15%의 손실율을 가지는 랜덤 손실 패턴과 버스트 손실 패턴을 각각 생성 하여 동일한 FEC 비율을 적용 한 후 복원 후 손실율을 구하였다. 본 표 2에서 PLR(Packet Loss Rate)은 평균 손실율, RPLR(Recovery Packet Loss Rate)은 복원 후 평균 손실율을 뜻하고 R/B의 R은 랜덤 손실 패턴, B는 버스트 손실 패턴을 뜻한다.

표 2. 손실 패턴에 따른 FEC 복원율 비교  
Table 2. The comparison of FEC recovery rate according to packet loss pattern

R/B	PLR (%)	RPLR(%)				
		FEC (15,10)	FEC (14,10)	FEC (13,10)	FEC (12,10)	FEC (11,10)
R1	5	0	0	0	0	0.49
R2	10	0	0	0	0.06	2.32
R3	15	0	0	0.39	1.50	6.68
B1	5	0.37	1.26	1.76	2.59	3.48
B2	10	2.18	3.52	4.50	5.84	7.45
B3	15	4.21	6.05	7.38	8.91	11.16

표 2에서 확인 할 수 있듯이 동일한 손실율을 가지더라도 랜덤 손실에 비해 버스트 손실 발생 할 경우 같은 비율의 FEC를 적용 했음에도 불구하고 손실 패킷 복원율에 차이가 발생하는 것을 확인 할

수 있다. 일반적으로 손실된 패킷을 복원하기 위해 FEC의 비율을 정할 때 평균 패킷 손실율을 고려하여 여분 패킷의 비율을 정하는 방법을 사용한다. 원본 패킷의 비율을 10으로 정하고 여분 패킷의 비율을 1에서 5로 증가 시켰을 때 랜덤 손실에 비해 버스트 손실의 복원이 제대로 이루어지지 않는 것을 볼 수 있다.

표 2의 10%의 손실을 가지는 R2, B2 패턴을 비교 해 볼 때 전체 10개의 패킷 중 10%의 패킷 손실이 발생 될 것을 고려하여 FEC(12,10)을 적용하여 2개의 여분 패킷을 더 붙여 전송 하였을 때 랜덤 손실 패턴의 경우 복원 후 손실율이 0.06%로 복원율이 높지만 버스트 손실 패턴의 경우에는 5.84%로 절반도 채 복원 되지 못한 것을 알 수 있다. 즉, 실제 무선 랜을 통해 방송을 제공 하고자 할 때 버스트 패킷 손실이 발생 할 경우 손실 특성을 고려하지 않은 평균 패킷 손실율에 따른 복원 방법은 비효율적임을 확인 할 수 있다.

실제로 2장에서 설명했던 수식 (1)을 이용하여 버스트 손실 특성을 고려한 FEC를 적용 하는 방법이 효율 적인지 확인하기 위하여 표 2의 R2, B2 패턴에 수식 (1)을 적용 하여 FEC 비율을 결정 하면 다음 표 3과 같다.

표 3. 버스트 특성을 고려한 FEC 복원율 비교  
Table 3. The comparison of FEC recovery rate according to burst loss characteristics

R/B	Gmin	BL	BD	n	n-k	RPLR (%)
R2	3	3.15	63.41	6	2	0
	9	13.43	22.16	22	3	0.12
	15	130.84	11.52	146	15	0.23
B2	3	8.00	68.55	11	5	1.65
	9	35.79	42.83	57	17	0.57
	15	42.76	40.54	56	17	1.53

표 3은 R2, B2 패턴의 버스트 손실 특성 지표를 활용하여 FEC 블록 크기와 여분 패킷의 비율을 결정 하고 이러한 비율을 적용 하였을 때 복원 후 손실율을 나타낸 것이다. Gmin 값에 따라 버스트 손실 특성 지표의 크기가 달라지기 때문에 FEC 비율도 달라지는 것을 확인 할 수 있다. 랜덤 손실 패턴의 경우 Gmin값이 9에서 15로 증가함에 따라 버스트 길이가 증가하면서 FEC 비율이 급격 하게 변하는 것을 볼 수 있다. 하지만 버스트 손실의 경우

실제 일정한 구간에 다수의 손실이 일어나는 특성이 있기 때문에 일정 Gmin값 내에서는 따라 버스트 길이와 FEC 비율이 급격 하게 변하지 않는 것을 확인 할 수 있다.

두 패킷 모두 수식(1)을 적용하여 FEC를 적용하였을 때 복원 후 손실율은 2% 미만으로 80% 정도의 손실을 복원 한 것을 확인 할 수 있지만 FEC 블록의 크기와 여분 패킷의 비율이 달라지기 때문에 본 기법을 사용 할 경우 방송 환경에 맞는 적절한 FEC 비율을 결정해야 한다. 안정적인 방송을 제공하기 위해서는 실제 방송 전송 과정에서 발생하는 손실 특성을 분석 하고 랜덤 손실 특성을 보이는 경우와 버스트 손실 특성을 구분 하여 각 특성을 고려한 효율적인 손실 복원 방안에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 실제 Wi-Fi 방송 패킷 전송 과정에서 발생 하는 손실 특성이 버스트 손실 특성인지를 확인하기 위해 각각의 버스트 특성 지표를 구하고 확률적인 접근을 통해 손실 특성을 분석하는 것을 목표로 한다. 또한 실제 방송 패킷의 손실 특성에 따라 FEC 기법을 적용 하고 효율을 알아본다.

#### IV. 실험 및 결과 분석

##### 4.1. 실험 환경

본 논문에서는 Wi-Fi 방송 시스템의 전송률에 따른 버스트 특성을 알아보기 위해 테스트 베드를 구성 하였다. 테스트 베드는 방송 서버, 방송 AP, 그리고 방송 수신을 위한 수신 단말기로 구성 된다. 서버와 AP는 유선으로 연결하고 단말기는 무선구간을 통해 데이터를 전송 받는다.

하드웨어는 Alix(AMD Ceode LX based system boards) 임베디드 보드를 사용 하였고 테스트베드 구성 환경에 따른 불안정한 링크의 품질을 높이기 위해 Omni 안테나를 사용하였다. IEEE 802.11g 무선 랜 기술을 지원하는 Atheros 칩셋 무선 랜 카드를 사용 하였다. 단말기의 랜 카드는 노트북 내장 칩셋인 Intel(R) PRO/Wireless 3945ABG Network Connection을 이용하였다.

소프트웨어는 Pyramid Linux kernel 2.6.19.2을 이용하였고 MadWiFi 0.9.4를 수정하여 전송률을 1-54Mbps로 변경 하여 전송 할 수 있도록 하였다. 또한 실제 실험을 통해 발생한 손실 패턴을 이용하여 버스트 손실에 대해 분석하기 위해 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 C언어 기반으로 일반 손실,

길버트 모델, 4-상태 마코프 모델을 이용하여 실제 데이터를 분석 할 수 있고 각각의 모델과 확률을 통해 손실 패턴을 생성 할 수 있도록 구현 하였다. 본 프로그램은 2장에서 설명했던 것처럼 각 패킷의 상태를 할당하여 버스트 구간과 공백 구간을 결정 하고 각각의 구간에 대한 손실 특성 지표를 도출 할 수 있다.

##### 4.2. 실험 내용

IEEE 802.11g에서는 1-54Mbps 무선 랜 전송률을 이용할 수 있다. 하지만 현재 상용 AP의 경우 방송 패킷의 전송 속도가 1Mbps로 고정 되어있다. 전송률에 따른 감도의 차이가 발생하기 때문에 전송률에 따른 손실 특성에 차이가 발생 할 것을 기대하고 전송률을 다양하게 변경 할 수 있도록 테스트베드를 구현 하였다.

본 논문에서는 방송 패킷의 무선 랜의 물리적 전송률에 따른 버스트 손실 특성을 분석하기 위해 1Mbps부터 54Mbps까지 전송률에 따른 패킷 전송 실험을 하였다. 실험결과 전송률이 높아질수록 20% 이상의 손실율을 보였으며 이 때 Gmin값이 높아지면 90% 이상의 패킷이 버스트 구간으로 간주되는 것을 확인하였다. 따라서 약 5%~20% 사이의 손실율을 가지는 1-18Mbps 사이의 결과 값에 대해서만 버스트 특성을 분석하였다.

본 실험은 전송률에 따른 버스트 손실 특성을 알아보기 위한 실험이므로 다른 전송 인자들은 고정 값으로 실험을 진행하였다. 패킷의 Payload 크기는 1024byte로 고정 하고, 방송 트래픽의 평균 데이터율은 800kbps를 기본으로 설정하였다. 실험은 다른 트래픽의 간섭을 피하기 위해 심야시간대의 실험실 내에서 진행되었으며 평균 기본 트래픽은 100kbps 이하의 값을 보였다. AP와 노트북의 거리는 직선거리 50M이며 실험은 전송률에 따라 각각 30분씩 10회씩 실험 되었다. 각각의 값들은 10회 실험의 평균값을 나타낸 것이다.

##### 4.3. 실험 결과

전송률에 따른 Wi-Fi 방송 실험 결과 각각의 전송률에 대해 1Mbps에서는 8.65로 약 8.5%, 6, 12, 18Mbps에서는 각각 15.48%, 16.19%, 16.44%로 약 16%의 평균 손실율을 보였으며 전송률이 높아질수록 손실율이 높아지는 것을 확인 할 수 있었다.

각 실험을 통해 생성된 손실 패턴을 분석하기 위해서 4-상태 마코프 모델을 이용하여 버스트 특성

분석 지표를 도출 하였다. 버스트 특성 분석 지표 값은 Gmin값에 따라 달라진다. 따라서 본 논문에서는 다양한 분석을 하기 위해 Gmin값을 1부터 16까지 증가 시키면서 버스트 특성을 분석 하였다.

4.3.1. 버스트 지표

버스트 특성을 분석하기 위해 실제 손실 데이터를 이용하여 Gmin값에 따른 버스트 길이와 버스트 밀도 지표를 계산하면 다음 표 4와 같다.

표 4. 전송률과 Gmin값에 따른 버스트 특성 지표  
Table 4. The burst characteristic according to transmission rate and Gmin

Transmission Rate (Mbps)	Burst Length(pkts)			Burst Density(%)		
	Gmin			Gmin		
	5	10	15	5	10	15
1	4.54	14.24	26.07	47.80	25.37	19.01
6	8.11	28.39	84.00	43.12	25.16	19.92
12	9.02	28.65	85.13	43.81	27.94	22.11
18	10.16	28.86	86.52	46.08	28.44	23.83

표 4는 전송률에 따른 손실 패턴이 Gmin값이 5, 10, 15일 때의 평균 버스트 구간의 길이와 버스트 구간내의 평균 손실 패킷 밀도를 나타낸 값이다. 표 4에서 볼 수 있듯 전송률에 따라 손실율의 차이가 발생하기 때문에 전송률에 따른 특성보다는 손실율에 따라서 각각의 지표의 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다.

약 8.5%의 손실율을 가지는 1Mbps의 경우 다른 15%정도의 손실율을 보이는 전송률에 비해서 낮은 버스트 손실 길이를 가지고 비슷한 손실율을 가지는 경우에는 거의 유사한 값을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 버스트 밀도의 경우에는 전송률과 손실율의 차이에 비해서 큰 차이를 보이지 않고 거의 유사한 값을 가짐을 알 수 있다.

4.3.2. 공백 지표

표 5는 전송률에 따른 손실 패턴이 Gmin값이 5, 10, 15일 때의 평균 공백 구간의 길이와 평균 공백 구간 내 평균 고립 손실의 밀도를 나타낸 값이다. 앞선 버스트지표와 마찬가지로 전송률에 따라 손실율의 차이가 발생하기 때문에 전송률에 따른 특성보다는 손실율에 따라서 각각의 지표가 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다.

표 5. 전송률과 Gmin값에 따른 공백 지표  
Table 5. The gap characteristic according to transmission rate and Gmin

Transmission Rate (Mbps)	Gap Length(pkts)			Gap Density(%)		
	Gmin			Gmin		
	5	10	15	5	10	15
1	45.93	34.88	35.11	4.08	1.80	0.96
6	19.20	18.79	22.31	3.81	0.92	0.23
12	18.79	18.45	21.88	3.79	0.91	0.27
18	17.56	18.02	21.41	3.68	0.90	0.26

평균 공백 구간 길이는 버스트 손실과 반대로 손실율이 낮을수록 길어지며 비슷한 손실율을 가지는 경우에는 유사한 값을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 공백 밀도의 경우에는 고립 손실만을 포함하기 때문에 전송률과 손실율의 차이에 비해서 큰 차이를 보이지 않고 5% 이하의 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 Gmin값이 커질수록 공백 구간에 속하는 손실 패킷보다 버스트 손실에 속하는 손실 패킷이 증가 하는 것을 알 수 있다.

Gmin값에 따른 버스트 특성 분석 지표들의 변화를 확인하기 위해서 다음 그림 4와 같이 Gmin값을 1에서 16까지 증가시켰을 때 지표 값을 나타내었다.

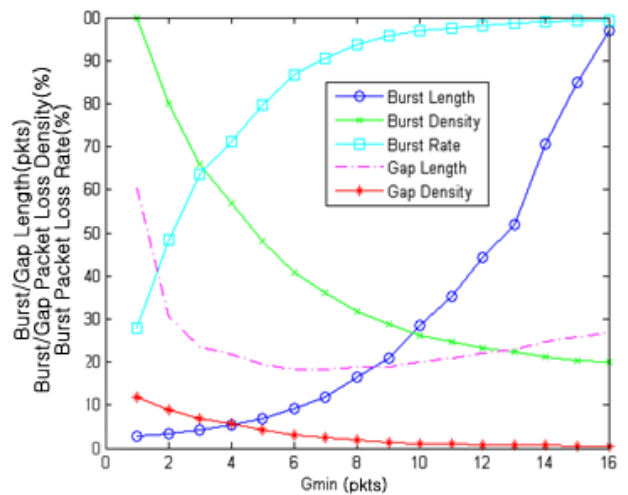


그림 4. Gmin값에 따른 버스트 손실 특성 지표 변화(전송률=6Mbps, PLR=15.48%)  
Fig 4. The burst characteristic according to Gmin (Transmission Rate=6Mbps, PLR=15.48%)

그림 4에서 확인 할 수 있듯이 버스트 길이와 전체 손실 패킷 중 버스트 손실 패킷의 비율은 Gmin값이 커질수록 증가하고 버스트 구간 내 손실 밀도와 공백 구간 내 고립 손실 밀도는 Gmin값이 증가

함에 따라 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 공백 구간 길이는  $G_{min}$  값에 의해 차이 크게 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 손실율에 따른 값의 크기는 차이가 있었지만 전송률이 달라도 각 특성의 증감 그래프의 형태는 유사함을 확인 하였다.

4.4. 결과 분석

실험 결과를 토대로 볼 때 전송률에 따른 특성보다는 손실율에 따라 버스트 지표 값이 달라지는 것을 확인 하였다. 또한  $G_{min}$  값에 의해 버스트 손실 지표가 결정 되는 것을 확인하였으나 실제 버스트한 손실 특성을 보이는데에 대한 확인은 불가능하다. 따라서 실제 무선 랜 환경에서 방송 패킷을 전송하는 실험을 통해 생성된 손실 패턴이 버스트한 특성을 가지는 지에 대한 여부를 분석하기 확실적인 접근이 필요하다.

어떤 임의의 손실 패킷에 대하여 해당 패킷이 버스트 손실로 평가될 확률을 토대로 실험결과가 버스트 특성을 가지는지를 분석한다. 즉, 확률로 실제 Wi-Fi 방송 실험을 통해 나온 손실 결과가 버스트 특성을 보이는지 아니면 일반적인 랜덤 손실의 특성을 보이는지에 대한 여부를 판단 할 수 있다.

어떤 임의의 손실 패킷이 버스트 손실로 평가되기 위해서는 그 손실 패킷 앞으로  $G_{min}$  값, 뒤로  $G_{min}$  값 내에서 하나 이상의 손실이 발생 할 때 버스트 하다고 평가 된다. 따라서 앞, 뒤로  $G_{min}$  값 이내에 손실이 존재 하지 않아서 버스트 손실로 평가 되지 않을 확률을 빼면 버스트 손실로 평가될 확률이라고 판단 할 수 있다. 즉, 임의의 손실 패킷에 대하여 해당 패킷이 버스트 손실로 평가될 확률인  $P_p$ 를 수식으로 나타내면 다음 수식 (2)와 같다.

$$PB=1-(1-P)(G_{min}*2) \quad (2)$$

수식 (2)의  $P$ 는 평균 손실율을 뜻한다. 즉,  $1-P$ 는 손실이 일어나지 않을 확률이므로 앞, 뒤로  $G_{min}$  값 이내에 손실이 존재 하지 않아야 버스트로 판단되기 때문에  $G_{min}*2$  만큼의 패킷이 손실이 일어나야 하지 않아야 한다. 수식 (2)을 이용하여 평균 손실율에 따라 임의의 손실 패킷이 버스트 손실로 평가될 확률을 계산하여 나타 낼 수 있다.

표 6은 평균 손실율에 따라 임의의 손실 패킷이 버스트 손실로 평가될 확률을 계산 하여 정리 한 것이며 이는  $G_{min}$  따른 평균 버스트 비율과 같은 값을 가진다.

표 6. 임의의 손실 패킷이 버스트 손실로 평가 될 확률  
Table 6. The probability of any loss packet is proved to bursty loss packet

PLR (%)	PB (%)		
	$G_{min}=5$	$G_{min}=10$	$G_{min}=15$
8	56.56	81.13	91.80
9	61.06	84.84	94.09
15	80.31	96.12	99.24
16	82.51	96.94	99.46

표 7. 실제 Wi-Fi 방송 손실 패턴의  $G_{min}$ 에 따른 평균 버스트 비율  
Table 7. The burst rate of Wi-Fi broadcast loa pattern according to  $G_{min}$

Transmission Rate (Mbps)	PLR (%)	Burst Loss Rate(%)		
		$G_{min}=5$	$G_{min}=10$	$G_{min}=15$
1	8.65	56.94	81.71	93.52
6	15.48	82.53	97.33	99.64
12	16.19	84.16	97.55	99.68
18	16.44	86.04	97.84	99.72

표 7은 실제 Wi-Fi 방송 실험결과 값을 기반으로  $G_{min}$  값에 따라 평균 버스트 비율 값을 나타낸 표이다. 표 6의 값과 표 7의 값을 비교하였을 때 손실율에 따라 거의 유사한 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 실제 무선 랜 환경의 Wi-Fi 방송 패킷에서 발생하는 손실 패턴은 버스트 손실 특성 보다는 랜덤 손실에 가까운 특성을 가지는 것을 확인할 할 수 있다.

표 8. 실제 Wi-Fi 방송 손실 패턴의 버스트 특성을 고려한 FEC 복원율 비교

Table 3. The comparison of FEC recovery rate according to burst loss characteristics of Wi-Fi broadcast loss pattern

Transmission Rate (Mbps)	$G_{min}$	BL	BD	n	n-k	RPLR (%)
1	3	4.54	47.80	8	2	0.02
	9	14.24	25.37	23	4	0.24
	15	26.07	19.01	41	5	0.49
12	3	9.02	43.81	12	4	0.68
	9	28.65	27.94	38	8	0.66
	15	85.13	22.11	100	19	0.47



표 8은 실제 방송 실험을 통해 생성된 손실 데이터의 버스트 특성을 고려한 FEC를 적용하기 위해 수식 (1)을 이용하여 FEC 비율을 결정하고 복원 후 손실율을 나타낸 것이다. 3장에서 랜덤 손실 패턴의 경우 Gmin값이 증가 할수록 FEC 비율이 급격하게 증가 하는 것을 확인 할 수 있었다. 12Mbps의 경우를 예로 들면 Gmin값이 9에서 15로 증가함에 따라 FEC 블록 크기 n값이 2배로 증가함을 볼 수 있다. 따라서 실제 Wi-Fi 방송 환경에서 발생하는 손실 특성은 랜덤 손실 특성의 성질이 더 높은 것을 확인 할 수 있다. 또한, 랜덤 손실의 특징을 가지지만 수식 (1)에서 버스트 손실을 고려한 FEC 복원 방법을 적용 할 경우에도 높은 복원율을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

평균 패킷 손실율을 PLR, 원본 패킷 수를 k, 여분 패킷 수를 n-k 라고 할 때 일반적으로 FEC Block Erasure Code 기법에서 복원이 이루어지기 위해서는 최소 k개 이상이 패킷이 수신 되어야 되어야 한다. 따라서 FEC 비율은  $(k / (k+(n-k)))$ 로 나타낼 수 있으므로 수식 (3)과 같다.

$$k/(k+(n-k)) = 1-PLR \quad (3)$$

$$(n-k) = (k*PLR)/(1-PLR) \quad (4)$$

수식 (3)로부터 FEC 여분 패킷의 수 n-k은 수식 (4)에 의해 결정 된다<sup>[13]</sup>. 수식 (4)에서 확인 할 수 있듯 여분 패킷의 양은 패킷 손실율과 밀접한 관계가 있다. 따라서 랜덤 손실 특성을 가지는 실제 방송 패킷 특성에 다음과 같은 수식을 활용하여 k가 20라고 가정 할 때 FEC를 적용 하면 다음 표 9와 같다.

표 9 . 버스트 특성을 고려한 FEC 복원율 비교  
Table 9. The comparison of FEC recovery rate according to burst loss characteristics

Transmission Rate (Mbps)	PLR (%)	n	n-k	RPLR
1	8.65	22	2	1.80
6	15.48	24	4	2.29
12	16.19	24	4	2.34
18	16.44	24	4	2.57

실제 Wi-Fi 방송 환경에서 발생하는 손실 특성에 수식(4)를 적용하여 FEC를 적용 해 본 결과 약 16%의 평균 손실율을 가질 때 복원 후 손실율은 약 2.5%임 것을 확인 할 수 있었다. 즉, 실제 방송 패킷의 손실 특성이 랜덤 손실 특성을 보이기 때문에 평균 손실율을 고려한 FEC를 적용 하여도 패킷 복원이 효율적으로 이루어지는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 실제 방송 패킷에서 버스트 손실의 특성이 크게 나타나지 않지만 평균 손실을 고려한 FEC 기법 보다 버스트 손실을 고려한 FEC 적용 기법을 적용 하였을 때 더 높은 복원율을 보이기 때문에 추후 실제 방송 서비스를 제공 하고자 할 때 실제 방송 패킷의 손실 특성을 고려한 효율적인 복원 방안에 대한 연구가 필요하다.

## V. 결 론

본 논문에서는 Wi-Fi 방송 서비스를 제공하기 위해 실제 무선 랜 환경의 손실 특성 중에서 전송 중에 데이터가 갑자기 집중적으로 손실이 발생 하는 버스트 손실 특성에 주목하였다. Wi-Fi 전송률에 따른 버스트 손실 특성을 알아보기 위해 실제 전송률을 1M-18Mbps로 변화 시키면서 실험 하였다. 그리고 그 결과를 4-상태 마코프 손실 모델을 이용하여 버스트 구간과 공백 구간으로 손실을 분리하고 각각의 길이, 밀도, 비율과 같은 특성에 대해서 분석을 하였다.

또한 실제 Wi-Fi 방송 패킷 전송 실험을 통해 생성 된 손실 패턴이 버스트한 특성을 보이는지를 판단하기 위해서 확률 적인 접근으로 분석을 하였다. 임의의 손실 패킷을 선택했을 때 그 손실 패킷이 버스트 손실로 평가될 확률을 구하여 전체 손실 패킷 중 버스트 구간에 속한 손실 패킷의 비율과 비교 한 결과 거의 유사한 값을 보였다. 따라서 실제 무선 랜 환경의 W-Fi 방송 패킷 전송 과정에서 발생하는 손실 패턴은 버스트 손실 특성 보다는 랜덤 손실에 가까운 특성을 보이는 것을 확인 하였다. 또한 실제 손실 패턴에 버스트 손실을 고려한 FEC와 평균 손실율을 고려한 FEC를 적용 하였을 때 두 방법 모두 높은 복원율을 보임을 확인 하였다.

다양한 관련 연구에서 무선 랜 환경에서 발생하는 버스트 손실 특성에 대한 연구를 진행 하고 있다. 실제 본 논문의 실험 환경은 제한 적인 환경과 제한적인 인자로 실험하였기 때문에 추후 Wi-Fi 방송 패킷 전송 과정에서 발생 하는 버스트 손실 특

성을 보다 정확히 분석하기 위해서는 다양한 환경을 고려한 실험이 필요하다. 또한, 관련 연구에서 제안하였던 버스트 손실을 고려한 FEC 인자 결정 방법 또한 Gmin값을 고정 하여 유동적인 손실 복원을 하기 어렵다. 따라서 추후 버스트 손실을 고려한 보다 더 효율적인 FEC 인자 결정 방법 제시가 요구된다. 또한 추후 연구를 진행 하면서 RS Code 이외에도 터보부호나 LDPC 부호와 같은 타 복원 기법을 고려한 버스트 손실을 복원 연구가 필요하다.

### References

[1] IEEE 802.11 Working Group, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical layer(PHY) specifications*, ANSI/IEEE Std. 802.11, Mar. 2007.

[2] L. Rizzo, "Effective erasure codes for reliable computer communication protocols," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Review*, vol. 27, no. 2, pp. 24-36, Apr. 1997.

[3] T. Friedman, R. Caceres, and A. Clark, "RFC 3611 - RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP-XR)," *IETF*, Nov. 2003.

[4] A. Clark and A. Pendleton, "RTCP XR - IP Video metrics report blocks draft-clark-avt-rtcpxr-video -00," *IETF (Internet draft expires June 2006)*, Jan. 2006.

[5] C. Perkins, O. Hodson, and V. Hardman, "A survey of packet loss recovery techniques for streaming audio," *IEEE Network*, vol. 12, no. 5, pp. 40-48, Sep.-Oct. 1998.

[6] A. Clark, "Modeling the effects of burst packet loss and recency on subjective voice quality," in *Proc. IP Telephony Workshop*, pp. 123-127, Geneva, Switzerland, Mar. 2001.

[7] Y. J. Liang, J. G. Apostolopoulos, and B. Girod, "Analysis of packet loss for compressed video: does burst-length matter?," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. (ICASSP)*, vol. 5, pp. V-684-7, Hong Kong, China, Apr. 2003.

[8] C.-H. Lin, C.-H. Ke, C.-K. Shieh, and N. K. Chilamkurti, "The packet loss effect on MPEG video transmission in wireless networks," in

*Proc. 20<sup>th</sup> Int. Conf. Advanced Inform. Networking Applicat. (AINA)*, pp. 565-572, Vienna, Austria, Apr. 2006.

[9] M. Johanson "Adaptive forward error correction for real-time internet video," in *Proc. 13th Int. Packet Video Workshop*, pp.196 -205, Nantes, France, Apr. 2003.

[10] A. Nafaa, T. Ahmed, and A. Mehaoua "Unequal and interleaved FEC protocol for robust MPEG-4 multicasting over wireless LANs," in *Proc. IEEE Conf. Commun. (ICC)*, vol. 3, pp. 1431-1435, Paris, France, June 2004.

[11] G. Convertino and S. L. Oliva, "Adaptive FEC for 802.11 burst losses reduction," in *Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Mobile Multimedia Commun. Conf. (MobiMedia)*, Article no. 20, Alghero, Italy, Sep. 2006.

[12] G. Convertino, S. L. Oliva, F. Sigona, and L. Anchora, "MMC05-1: an adaptive FEC scheme to reduce bursty losses in a 802.11 network," in *Proc. IEEE Global Telecommun. Conf. (GLOBECOM)*, pp. 1-6, San Francisco, U.S.A., Nov.-Dec. 2006.

[13] O. Alay, T. Korakis, Y. Wang, and S. Panwar, "An experimental study of packet loss and forward error correction in video multicast over IEEE 802.11b network," in *Proc. 6<sup>th</sup> IEEE Consumer Commun. Networking Conf. (CCNC)*, pp. 1-5, Las Vegas, U.S.A., Jan. 2009.

[14] S.M. Kim, D.H. Kim, and J.D. Kim, "A study of the quality measurement considering Burst Loss in Wi-Fi broadcasting system," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. (KICS ICC)*, pp. 463-464, Jeju Island, Korea, June 2012.

김 세 미 (Se-mi Kim)



2011년 2월 부산대학교 정보  
컴퓨터공학부 졸업  
2013년 2월 부산대학교 컴퓨  
터공학과 석사  
<관심분야> 무선통신

**김 동 현 (Dong-hyun Kim)**



1998년 2월 동의대학교 공과대  
학 전자통신공학과 졸업  
2004년 2월 동의대학교 대학  
원 정보통신공학과 석사  
2008년 3월~현재 부산대학교  
컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> 무선통신

**김 종 덕 (Jong-deok Kim)**



1994년 2월 서울대학교 계산통  
계학과 졸업  
1996년 2월 서울대학교 전산과  
학과 석사  
2003년 2월 서울대학교 컴퓨터  
공학과 박사  
2004년 2월~현재 부산대학교

정보컴퓨터공학부 부교수  
<관심분야> 무선통신