

IEEE 802.15.3 고속 무선 PAN(Personal Area Network)에서 링크상태에 따른 동적 채널할당

준회원 곽동원*, 정회원 이승형**

Dynamic Channel-Time Assignments based on the link status in IEEE 802.15.3 High-rate WPAN

Dong-won Kwak* Associate Member, Seung-hyong Rhee** Regular Member

요약

무선통신에서의 전송 매체인 air interface는 주위의 여러 환경적인 요인에 의해서 다양한 에러가 존재할 수 있다. 이러한 조건에서는 채널에 대한 신뢰도가 유선일 때보다 크게 떨어지며 더욱이 ad hoc 환경인 IEEE 802.15.3 High-rate WPAN에서는 이러한 에러에 대한 의존도가 더욱 클 수 있다. 이미 WLAN에서 이와 관련된 연구가 있었으며 그 중 하나가 각 무선 노드들의 큐 상태에 따라서 큐의 크기가 크다면 채널 상태가 나쁘다고 판단하고 그 무선 노드에게 할당할 리소스를 줄이는 방법이나, 이는 중앙의 controller가 항상 각 노드들을 모니터링하고 있어야 하는 단점이 있다^[1]. 그래서 이러한 단점을 보완하고자 본 논문에서는 무선 이동노드의 위치에 의해 달라지는 링크의 에러 상태에 따라 controller가 노드들에게 할당하는 채널 시간의 크기를 동적으로 변화시켜서 piconet 전체의 throughput을 향상시킬 수 있는 MAC을 제안한다.

Key Words : 802.15.3, WPAN, link status, Dynamic channel time assignment

ABSTRACT

Various types of error are caused due to many factors of various environment in air interface channel of wireless communications. In this case, the reliability of the channel is much lower than that of wired case. IEEE 802.15.3 high-rate WPAN, which operates in an ad hoc networking environment, is more susceptible to such errors. The problem has been investigated for wireless LANs, for example, as follows. If the queue size of a certain node is longer than that of other nodes, the node estimates that its channel state is bad and the resource of the node is decreased. However this method has a disadvantage that a central controller must always monitor the status. To avoid this disadvantage, in this paper, a new MAC protocol that the throughput of overall piconet is increased by LDS (Link-status Dependent Scheduling) is proposed.

I. 서론

IEEE 802.15.3 표준은 10m 내의 개인 주변 영역(POS: Personal Operating Space)에서 소비자 가전 또는 통신 디바이스들 간에 저 복잡도, 저 비용, 저

소비전력, 고속의 무선 연결을 위한 PHY, MAC 규격을 제공한다. IEEE 802.15.3 High rate WPAN은 10m 이내의 무선 환경에서 실시간 비디오 및 고품질 오디오, 대용량 파일 전송을 가능케 하는 기술이다.

* 광운대학교 전자공학과 무선네트워크 연구실(rednjs@dreamwiz.com), ** 광운대학교 (shrhee@daisy.kw.ac.kr)
논문번호 : #040052-0202, 접수일자 : 2004년 2월 2일

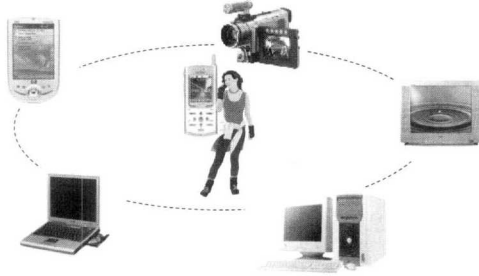


그림 1. 무선 PAN의 개요
Fig. 1. Concept of Wireless PAN

그림 1처럼 무선 환경아래 디지털 캠코더에서 TV 스크린으로 재생하거나 비디오 파일을 PC 등으로 저장하는 경우를 생각할 수 있다. 이 기술은 기본적으로 각 무선 노드들이 경쟁을 통해서 채널을 사용하는 Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)^[2]와 주기적인 Contention Free Period(CFP)구간을 이용해서 중앙의 컨트롤러 역할을 하는 PicoNet Coordinator(PNC)가 타임 슬롯을 할당하며 할당 받은 타임 슬롯을 이용해서 데이터 전송을 하는 Time Division Multiple Access(TDMA)방식을 사용한다^[3]. 무선 환경에서의 채널상태에 대한 의존도는 상당히 높다. 이미 Wireless LAN상에서 존재하는 채널 에러에 따른 전체적인 성능향상기법들이 있다. 각 무선노드당 개별적인 큐 관리를 통해서 성능향상을 꾀했던 CSDPS^[4]가 있고 이것을 보다 발전시킨 다른 여러 기술들이 연구되어왔다^[5,6,7,8].

기존에 Intel에서는 queue size에 따라서 queue size가 작은 노드에게 더 많은 양의 타임 슬롯을 할당하고 큰 노드에게는 적게 할당하는 방식을 제안하였는데 중앙의 controller가 항상 각 노드들의 queue 상황을 모니터링하고 있어야 하므로 전체적인 오버헤드가 상당히 늘어나는 단점이 있다. 또한 현재의 채널 시간 할당 방법은 다양한 종류의 stream을 제대로 지원하지 못하는 한계를 지닌다. PNC는 각 무선 노드들이 필요로 하는 채널 시간을 아무런 여과 없이 그대로 반영한다^[9]. 다시 말해서 PNC가 할당한 채널 시간이 할당 받은 무선노드가 사용하는 채널의 에러 상태에 따라서 부족할 경우도 있고 적당한 경우도 있다. 특히 채널에 에러 발생이 많아서 할당 받은 채널 시간을 제대로 사용 못하는 경우, 무선노드가

요구한 양을 그대로 할당하는 것은 비효율적이다. 그러므로 High-rate WPAN에서 전송효율을 높이기 위해서는 각 무선 노드들이 요구하는 채널 시간을 각 노드들의 에러 상황에 따라 가감하여 반영, PNC가 동적으로 할당을 해 준다면 전체적인 효율은 크게 향상될 것임을 예측할 수 있다. IEEE 802.15.3 표준의 acknowledgement(ACK) policy는 Immediate ACK, delayed ACK, no ACK의 세 가지로 분류된다. 본 논문에서는 이중 Immediate ACK와 No ACK를 사용했을 때 Link-status Dependent Scheduling(LDS)을 적용해서 전체적인 효율이 향상됨을 보인다.

II. IEEE 802.15.3 High-rate WPAN

1. 802.15.3 MAC 개요

IEEE 802.15.3 WPAN은 기본적으로 superframe이라는 주기적인 단위를 이용해서 각 무선 노드들이 데이터 전송을 가능하게 한다. superframe은 PNC가 주기적으로 발생시키며 기존 standard방식에서는 device숫자에 따라서 그 주기가 바뀐다.

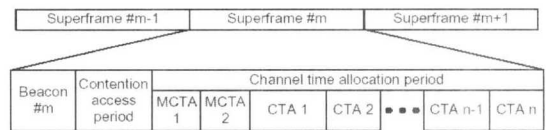


그림 2. Superframe의 구조
Fig. 2. Structure of the superframe

그림 2는 superframe의 구조를 나타낸다. 전체적으로 channel의 상태정보, channel의 이용현황, 각 device(노드)들의 synchronization 등을 위해서 필요한 Beacon 부분과 CSMA/CA 방식으로 채널을 사용하기위해 각 노드들끼리 경쟁을 하는 Contention Access Period(CAP) 구간과 TDMA 방식을 사용해서 각 노드당 필요한 타임 슬롯을 PNC가 할당해주는 구간인 Channel Time Allocation Period(CTAP) 혹은 Contention Free Period(CFP)의 3가지 부분으로 나뉜다.

2. Standard Scheduling

2.1 CBR(Constant Bit Rate)

본 논문에서는 Sender의 agent에서 CBR packet size

를 결정하고 결정된 size는 MAC layer에서 전송 가능한 크기로 fragmentation이 되고 초당 기본적으로 20Mbps의 속도로 CBR traffic을 발생한다고 가정하고 수행된다.

2.2 Channel Time Allocation (CTA)

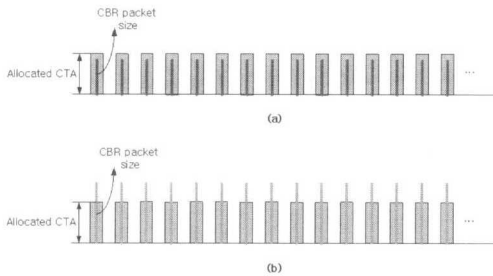


그림 3. Standard scheduling에서의 CTA 할당 예
Fig. 3. A CTA allocation example in standard scheduling

Standard scheduling에서는 packet size와는 상관없이 항상 사용자가 요구한 양만큼 할당하며 할당 받은 CTA 구간에서 fragmentation없이 전송이 가능한 경우(그림 3(a))와 fragmentation이 필요한 경우(그림 3(b))를 나타내고 있다.

III. Link-status Dependent Scheduling(LDS)

1. Channel Time Allocation

그림 4는 LDS의 개념을 설명하고 있다. 그림의 왼쪽이 기존의 802.15.3 환경을 나타낸다. P는 PNC를 나타내고 D는 device를 나타낸다. 각 device들은 PNC에게 필요한 채널 시간을 요구하고 PNC는 요구한 양만큼 할

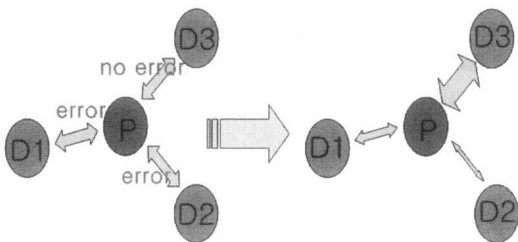


그림 4. LDS의 개념
Fig. 4. Concept of LDS

당을 한다(본 예에서는 3개의 device가 모두 동일한 양의 채널 시간을 요구했다고 가정한다). 에러가 존재하지 않는다면 할당 받은 채널 시간을 효율적으로 사용할 수 있지만 그림 4처럼 에러가 존재한다면 상황은 달라진다. 에러가 존재한다면 할당 받은 채널 시간을 제대로 사용 못 할 것이다. 따라서 이런 조건이 주어진 상황에서 오른쪽 그림처럼 채널에 에러가 존재하는 device에게는 요구한 채널 시간보다 적은 양을 할당하고, 대신 에러가 존재하지 않는 device에게 요구한 채널 시간보다 더 많은 양을 할당 해줌으로써 전체 채널을 효율적으로 사용하고 그로 인한 aggregate throughput을 향상시키고자 한다.

2. Acknowledgement Policy

IEEE 802.15.3 High-rate WPAN에서는 Immediate ACK, No ACK, delayed ACK의 세 가지 ACK Policy를 표준으로 정하고 있다. Immediate ACK는 MAC frame을 받은 수신 device가 바로 응답을 해주는 방식이고, No ACK는 수신 device의 응답 없이 특정시간 간격으로 송신 device가 알아서 다음 MAC frame을 보내는 방식이며, delayed ACK는 송신 device가 특정수의 MAC frame을 받고 난 후 한꺼번에 응답을 해주는 방식이다. 본 논문에서는 Immediate ACK와 No ACK의 경우를 고려하여 수행하였다.

3. Scheme 1

Scheme 1은 채널에 존재하는 에러에 반비례하게 CTA를 할당하는 방법으로 대략적인 개요는 다음과 같다. 그림 5에서 데이터를 전달하는 source device는

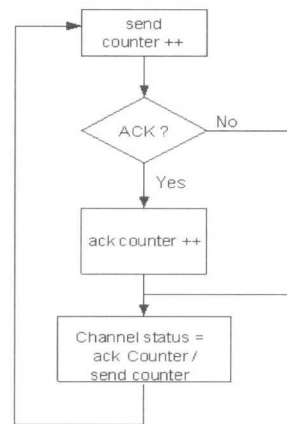


그림 5. 채널 상태 검사
Fig. 5. Channel state inspection

SendPacket()이라는 함수를 호출함으로써 MAC frame 전송을 준비하고 전달한다. 이때 counter 변수를 두어 그 값을 1 증가시킨다. 한편 recvACK()가 호출되면 전달한 MAC frame이 제대로 전송이 되었다는 것을 나타내며 이때도 counter를 두어서 이 값을 1 증가시킨다. 이 관계를 이용해서 채널 상태를 예측할 수 있다. 즉 보낸 frame의 숫자와 그에 대한 ACK를 받은 비율을 채널 상태라 하며 channel status = ACK counter/send counter 와 같이 나타낼 수 있다.

PNC는 device가 요구한 CTA와 각 device의 채널 상태의 곱의 평균을 구한다. 그 후 각 device가 요구한 CTA의 양과 채널 상태를 곱한 후 이전에 구했던 평균과의 비율로서 할당할 CTA의 양을 구한다. CTA를 요구한 device에게 PNC가 할당할 CTA의 양은 다음과 같이 구해진다.

$$\text{Assigned CTA} = \text{requested CTA} * \text{channel state} / \text{average channel state}$$

$$\text{Channel state} = \text{requested CTA} * \text{channel status}$$

$$\text{Average channel state} = \text{sum of all DEV's channel status multiple by requested CTA} / \text{all DEV number}$$

표 1. CTA 할당 예제

Table 1. An example of the CTA allocation

	Status	Requested CTA
Device 1	0.3	3000
Device 2	0.5	5000
Device 3	0.7	7000

표 1은 아래의 예제를 설명하기위한 것이다.

$$\text{Average channel state} = (3000 * 0.3) + (5000 * 0.5) + (7000 * 0.7) / 3 = 2766.6666$$

$$\text{Assigned CTA} = 3000 * (3000 * 0.3) / 2766.6666 \text{ for device1}$$

$$\text{Assigned CTA} = 5000 * (5000 * 0.5) / 2766.6666 \text{ for device2}$$

$$\text{Assigned CTA} = 7000 * (7000 * 0.7) / 2766.6666 \text{ for device3}$$

그림 6은 이상의 과정을 쉽게 표현한 것이다.

이때 계산되는 channel status는 moving average를 사용한다. 그림 7과 같이 moving average counter가 20으로

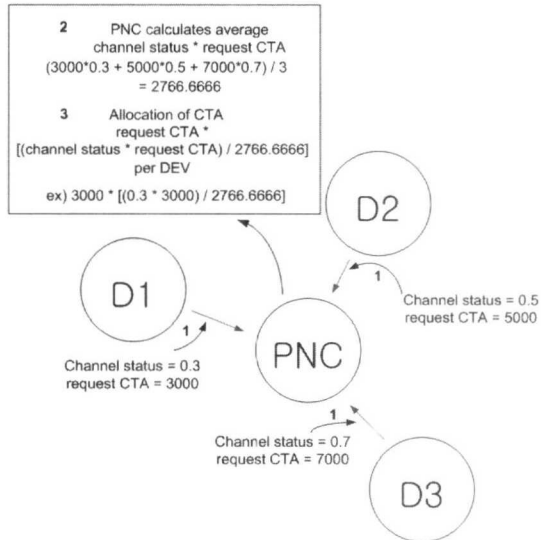


그림 6. scheme1의 개념

Fig. 6. concept of scheme1

잡혔다면, 맨 처음 발생한 데이터 패킷부터 20번째 발생한 데이터 패킷까지의 평균 channel status를 21번째 보내는 패킷의 channel status로 채택한다. 그리고 22번째 보내는 패킷의 channel status는 2번째 보낸 패킷의 channel status로부터 21번째 보낸 패킷의 channel status의 평균값을 사용한다. 이렇게 가장 최근의 20개의 channel status의 평균값을 이용한다는 것이다. Moving average counter는 다양하게 변화시킬 수 있다.

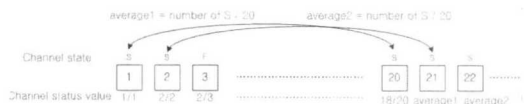


그림 7. Moving average의 계산

Fig. 7. Calculations of the moving average

각 device들이 각각의 channel status를 계산하는 과정부터 PNC가 CTA를 할당하는 과정은 다음과 같다.

1. 각 device들은 channel status를 계산한다.
2. device들은 계산된 channel status값과 요구하는 CTA의 양을 PNC에게 넘겨주고 PNC는 이 두 값의 곱의 평균을 구한다.
3. 2번에서 구한 평균과 device의 channel state와 요구한 CTA의 곱의 비율을 이용해서 채널 시간을 적절히 할당한다.

$$\text{assigned CTA} = \text{requested CTA} * \text{channel state} / \text{average channel state}$$

4. Scheme 2

두 번째 방법은 2-state Markov chain을 이용해서 dynamic하게 time slot을 할당하는 방법으로 그림 8에서 설명을 하고 있다. 각 device들은 2가지의 상태(success, fail)중 하나의 값을 가진다. Success는 패킷이 성공적으로 전송되었음을 의미하고 fail은 그렇지 않음을 의미한다. 이렇게 각 device들은 이전 패킷의 전송이 성공적이고 현재 패킷의 전송이 성공적인 경우, 이전 패킷의 전송이 성공적이고 현재 패킷의 전송이 실패인 경우, 이전 패킷의 전송이 실패이고 현재 패킷의 전송이 실패인 경우와 같은 4가지 모든 경우의 값을 보내는 패킷이 증가함에 따라서 지속적으로 update한다. 이렇게 update하는 값 중 현재의 전송상태가 success라면 전송 상태를 success로 하고 p값과 함께 PNC에게 보내주며 fail 이라면 전송상태를 fail로 하고 q값과 함께 보내준다.

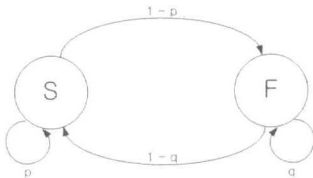


그림 8. 2-state Markov Chain
Fig. 8. 2-state Markov Chain

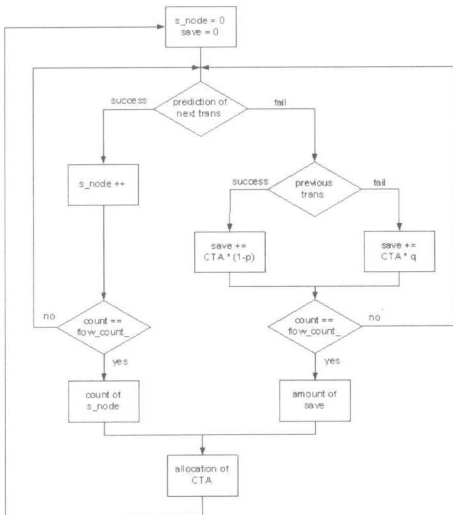


그림 9. save 와 success node의 결정
Fig. 9. Decision of save and success nodes

각 device들의 이 값들은 PNC에 의해서 확인이 되고 PNC는 현재 상태가 fail인 device가 채널 시간을 요구한 CTA중 일부만 할당하고 success인 device에게는 fail한 device로부터 빼앗은 CTA를 success한 device의 success할 확률에 비례적으로 각 success한 device에게 할당한다.

그림 9는 fail한 device로부터 빼앗을 양과 success한 device 숫자를 결정하는 flowchart이다. Flow 숫자만큼 수행되어서 최종적으로 빼앗을 CTA 양과 success한 device 숫자를 결정한 후 그림 10과 같이 CTA를 할당한다.

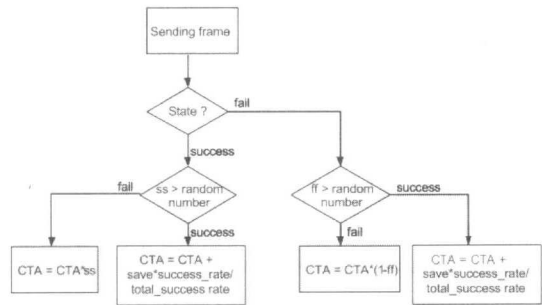


그림 10. CTA의 할당
Fig. 10. The allocation of CTA

5. 2 Flows Example

그림 11은 LDS에서 할당하는 CTA의 비율을 나타낸 그림이다. Standard scheduling은 flow에 에러가 존재하더라도 그림 11(a)처럼 요구한 CTA를 그대로 할당해 준다. 하지만 LDS에서는 flow에 에러가 발생하면 다음 superframe부터 요구한 양보다 적게 할당하고 에러가 존재하지 않는 flow에 요구한 양 이상을 할당함으로써 채널 사용 효율을 높임으로써 효율을 향상시킨다.

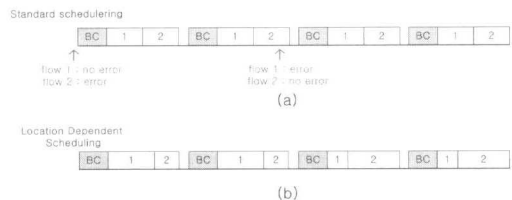


그림 11. Standard scheduling과 LDS에서의 CTA 할당량 비교
Fig. 11. Comparison of CTA allocation in standard scheduling and LDS

IV. 시뮬레이션

표 1은 시뮬레이션 환경을 나타내고 있다. 시뮬레이터는 ns2-2.1b9a버전을 사용했으며^[9] 여기에 802.15.3 MAC을 구현한 기존의 소스코드^[10]에 수정을 통해서 수행하였다. 802.15.3에서 지원 가능한 최대의 대역폭이 55(Mbps)이므로 이를 최대의 대역폭으로 설정했고, High Definition(HD)급 화질을 요구하는 media streaming의 경우 최소 18(Mbps)의 traffic rate가 필요하므로 CBR rate는 대략 20(Mbps)으로 선정하였다. 대역폭은 CBR rate에 의해서 임의로 결정된 값이며 요구한 채널 시간의 크기 또한 임의로 선택되었다. flow의 에러는 ns2-2.1b8a버전에서 지원하는 에러모델을 이용했고, flow1, flow2, flow3에 각각 0(%), 30(%), 50(%)을 적용했다. 이 값들은 각각 에러가 없을 경우, 많을 경우, 아주 많을 경우에 해당하는 값이 되며 임의로 선정되었다.

표 1. 시뮬레이션 환경

Attribute	Value
bandwidth	30,40,55(Mbps)
number of flows	3
moving average	20
run time	10(simulation time)
CBR rate	20(Mbps)
CBR packet size	1024
요구한 채널 시간 크기	4000 μ s
error rate	0, 30, 50(%)

1. Imm-ACK를 적용한 경우

그림 12는 3개 flow의 error rate가 0:30(%) : 50(%)일 경우 대역폭에 따른 aggregate throughput의 변화를 보여준다. 전체적으로 scheme1의 성능이 가장 높았으며 scheme2도 scheme1보다는 약간 성능이 낮지만 standard 방식보다는 약 20%정도의 성능 향상을 보였다. scheme2가 scheme1보다 성능이 조금 떨어지는 이유는 채널에 에러가 존재하는 flow2나 flow3으로부터 빼앗는 전체적인 양이 적기 때문인데 scheme2의 경우 모든 flow가 전송에 성공했거

나 실패했다면 요구한 채널 시간을 그대로 할당함으로써 flow2나 flow3의 효율을 scheme1에 비해서 상대적으로 향상시키고 scheme2에서의 flow1의 효율이 scheme1에서 보다 조금 떨어지는 결과를 나타낸다. 하지만 대체적으로 standard방식 보다는 높은 성능을 보이며 이것은 그림 13처럼 error가 없는 flow1의 throughput이 scheme1,2에서 standard보다 상당히 높기 때문이다.

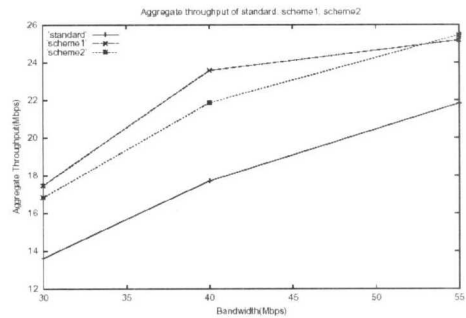


그림 12. standard, scheme1, scheme2의 비교

Fig. 12. The comparison of standard, scheme1, scheme2

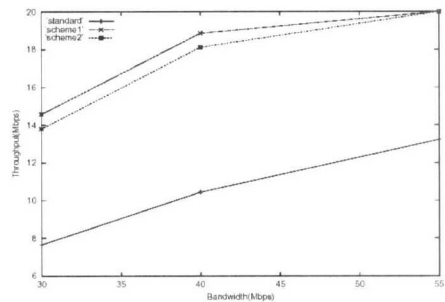


그림 13. flow1의 효율 비교

Fig. 13. The comparison of flow1's throughput

2. No-ACK를 적용한 경우

송신노드는 Imm-ACK를 적용했을 때보다 주어진 채널 시간 안에서 ACK를 받을 필요 없이 프레임들을 보냄으로 인해서 더 많은 프레임을 보내므로 전체적으로 효율이 Imm-ACK 때보다 우수하다. 그리고 수신 단에서 수신한 프레임에 에러가 발생해도 송신 단에서 재전송을 하지 않으므로 에러가 발생된 프레임의 재전송을 통한 추가적인 에러의 가능성도 줄이므로 Imm-ACK 때보다 flow2, flow3의 채널 에러가

줄어들고 그로인한 flow2, flow3의 효율은 증가하며 이것은 flow1의 효율을 Imm-ACK보다 상대적으로 저하시키며 이는 그림 13과 그림 15의 scheme1, scheme2의 비교를 통해서 알 수 있다. 하지만 그림 14와 같이 LDS가 standard방식에 비해서 여전히 높은 성능을 보인다.

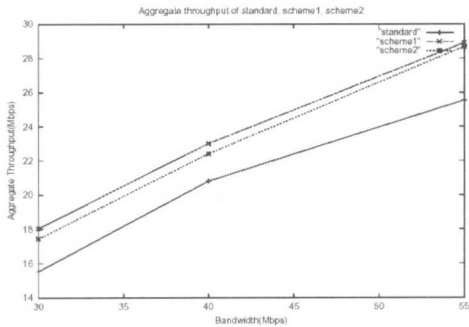


그림 14. standard, scheme1, scheme2의 비교
Fig. 14. The comparison of standard, scheme1, scheme2

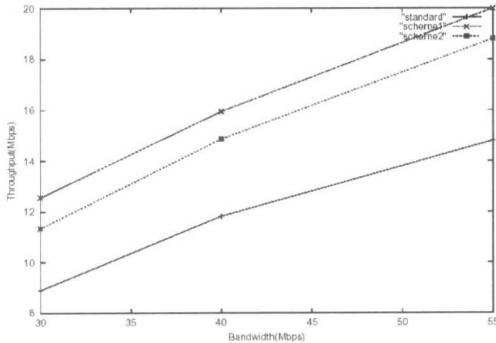


그림 15. flow1의 효율 비교
Fig. 15. The comparison of flow1's throughput

V. 결론

무선 환경에서는 주위환경 및 위치변화 의한 여러 가능성이 유선환경보다 월등히 높으므로 throughput을 유지하는데 에러의 영향은 상당히 중요하다. 사용자가 요구하는 traffic rate가 점점 높아지고 있는 상황에서 에러가 발생해도 요구한 채널 시간을 그대로 할당하는 standard 방식보다는 에러 상황에 따라서 요구한 채널 시간에 가감을 하여서 할당해주는 LDS의 성능이 높을 것이라는 것은 쉽게 예상할 수 있

며 그 결과는 시뮬레이션을 통해서 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] R. Mangharam, M. Demirhan, "Performance and Simulation Analysis of 802.15.3 QoS," Intel, Jul. 2002.
- [2] IEEE 802.11, Wireless LAN MAC and Physical Layer Specifications. Editors of IEEE, Jun. 1997.
- [3] Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks(WPAN), IEEE, Draft P802.15.3/D15, Oct. 2002
- [4] P. Bhagwat, P. Bhattacharya, A. Krishna, and S.Tripathi, "Enhancing Throughput over Wireless LANs Using Channel State Dependent Packet Scheduling," *Proc. INFOCOM*, vol. 3, pp. 1133-1140, March 1996.
- [5] C. Fragouli, V. Sivaraman, and M. Srivastava, "Controlled Multimedia Wireless Link Sharing via Enhanced Class-based Queueing with Channel State-dependent Packet Scheduling," *Proc. INFOCOM*, pp. 572-580, Mar. 1998.
- [6] S. Lu, V. Bharghavan, and R. Srikant, "Fair Scheduling in Wireless Packet Networks," *IEEE ACM Trans. Networking*, vol. 7, no. 4, pp. 473-489, Aug. 1999.
- [7] P. Ramanathan and P. Agrawal, "Adapting Packet Fair Queueing Algorithms to Wireless Networks," *Proc. MOBICOM*, pp 1-9, 1998.
- [8] T. S. E. Ng, I. Stoica, and H. Zhang, "Packet Fair Queueing Algorithms for Wireless Networks with Location-dependent Errors," *Proc. INFOCOM*, 1103-1111, 1998.
- [9] The CMU Monarch Project, "Wireless and Mobile Extension to ns," Snapshot Release 1.1.1, Carnegie Mellon University, Aug. 5, 1999
- [10] <http://www.winlab.rutgers.edu/~demirhan/research>

곽 동 원(Dong-won Kwak)

준회원



2002년 2월 : 광운대학교

전자공학과 학사

2004년 2월 : 광운대학교

전파공학과 석사

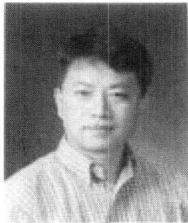
2004년 2월~ 현재:

삼성종합기술원 연구원

<관심분야> 무선통신

이 승 형(Seung-hyong Rhee)

정회원



1990년 2월 : 연세대학교

전자공학과 학사

1990년 2월 : 연세대학교

전자공학과 석사

1999년 : University of Texas

Ph.D

1990년 ~ 1995년 :

국방과학연구소 연구원

1999년 ~ 2000년 : 삼성종합기술원 전문연구원

2000년 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 무선통신, 저전력 시스템