

IEEE 802.11에서 MAC 수준 멀티캐스팅을 이용한 에너지 효율적인 ACK-less 유니캐스팅 기법 개발

윤진석⁰, 양현, 박창윤

중앙대학교 컴퓨터공학부

yunjs@cnlab.cse.cau.ac.kr

Development of an ACK-less Unicasting Scheme in IEEE 802.11 using the MAC Level Multicasting for Energy Efficiency

Jin-Seok Yun⁰, Hyun Yang, Chang-Yun Park

School of Computer Science and Engineering, Chung-Ang University

요 약

802.11에서 유니캐스트 통신을 할 때 수신 호스트는 ACK 프레임을 전송하여 데이터의 수신을 확인한다. 그러나 프레임 오류율이 낮은 상황에서 ACK 프레임을 전송하는 것은 에너지 측면에서 낭비가 될 수 있다. 본 논문에서는 상위 계층의 유니캐스트 통신을, 상위 계층에는 투명하게, ACK가 없는 802.11 멀티캐스팅을 이용하여 통신을 하는 기법을 제안하고 실제 환경에서 이를 구현 및 실험하였다. 실험결과, TCP와 같이 상위 계층에서 오류제어를 하는 경우 정상적인 통신이 항상 가능하며, 무선 전송 오류가 낮은 경우는 에너지는 물론 처리량도 증가하는 것을 확인하였다.

1. 서 론

노트북과 같은 휴대용 기기와 인터넷의 사용이 늘면서 장소를 구애 받지 않고 컴퓨터를 사용하려는 사용자들이 증가하고 있고 이로 인해 무선랜 시장은 점점 확대 되고 있다. 특히 소형 휴대용 기기에서 무선랜의 사용이 늘어나면서 에너지의 효율적인 사용을 위한 연구들이 많이 진행되고 있다.

수신자가 보내는 응답인 ACK는 신뢰성 있는 전송을 어느 정도 보장하여 주지만 통신의 오버헤드로 작용한다. 에너지 사용의 중요성이 강조되는 IEEE 802.15.4의 경우 MAC 계층에서 선택적으로 ACK를 사용하는 unacknowledged 통신을 지원하고 있다[1]. 본 연구는 TCP 프로토콜과 같이 상위 계층에서 신뢰성을 보장하거나, 어느 정도 패킷 손실이 허용되는 통신 응용의 경우에는 ACK를 사용하지 않는 것이 성능이나 에너지 효율적인 측면에서 더 좋은 선택이 될 수 있는 점에 착안하고 있다.

현재 802.11 MAC의 경우, 통신의 방법에 따라 ACK의 사용 여부를 결정하게 된다. 유니캐스팅의 경우에는 예외 없이 ACK를 사용하고 있으며, 멀티캐스팅에서는 ACK를 사용하지 않는다. 현재의 통신 환경에서 상위 계층과 다른 호스트 들에게 영향을 미치지 않고 MAC 멀티캐스팅을 통해 상위 계층의 유니캐스트 통신을 지원하는 기법을 개발하는 것이 본

연구의 목적이다. 본 연구에서는 기존의 unacknowledged 기법과 구분하기 위해 제안한 기법을 ACK-less 유니캐스트라 부른다.

기존의 802.11에서 ACK 프레임을 제거하는 기법과 일대일 멀티캐스팅을 위한 주소할당 방법에 대한 연구는 찾을 수 없었다. 802.11이나 무선 센서 네트워크, 프로토콜 등과 관련하여 ACK를 사용하지 않거나 줄임으로써 통신 성능이나 에너지 효율을 높이는 연구들이 있다. 가장 연관된 연구로는 802.11e에서 일반 ACK 대신 독점적인 전송 후 여러 전송에 대해 한번의 Block ACK를 사용하여 컨트롤 오버헤드를 줄인 연구가 있다[2]. 멀티미디어를 위한 무선랜 프로토콜인 UPCF(Unified Point Coordination Function)에서는 Optional ACK를 지원하여 에너지 효율성을 높일 수 있는 여지를 마련해 놓고 있다[3].

논문의 구성은 802.11의 전송 방법 및 핵심 아이디어를 기술하고, 802.11 MAC 수준의 ACK-less 통신의 구체적인 구현 방법에 대해 설명한 후, 실제 환경에서 테스트한 결과를 기술 하였다.

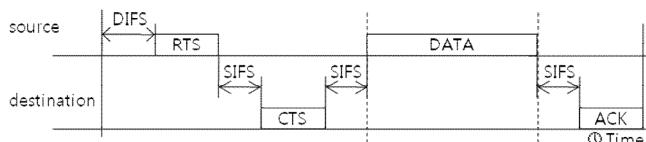
2. 802.11의 데이터 전송 방법 및 핵심 아이디어

DCF 방식은 유니캐스트의 경우 DIFS(DCF Inter Frame Space) 기간 동안 매체의 Idle상태가 지속되면 백오프 시간 동안 기다린 후 DATA 프레임의 전송을

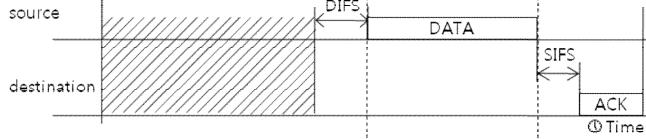
시작하게 된다. 이때 수신 측에 잘 전송되었음을 알리기 위하여 ACK 프레임을 사용한다. 부가적으로 숨겨진 노드 때문에 발생하는 충돌을 방지하기 위해서 RTS/CTS 프레임을 전송하기도 한다. 반면 멀티캐스트나 브로드캐스트의 경우에는 데이터의 신뢰성이 덜 중요하기 때문에 ACK 프레임을 생략하고 DATA 프레임만 보내게 된다[4].

위에서 언급한 세가지 방식을 시간 순서에 따라 표시한 것이 그림 1이다. 그림에서 볼 수 있듯이 RTS/CTS를 이용한 유니캐스트, 일반 유니캐스트, 멀티캐스트나 브로드캐스트 순으로 전송에서 차지하는 오버헤드의 크기가 작다. 상위 네트워크 계층에서 유니캐스팅을 할 때 MAC 계층의 전송 과정에서는 멀티캐스팅이나 브로드캐스팅을 이용하게 된다면 802.11에서 가장 오버헤드가 적은 통신이 가능하다.

•RTS/CTS를 사용하는 유니캐스트



•일반 유니캐스트



•멀티캐스트나 브로드 캐스트

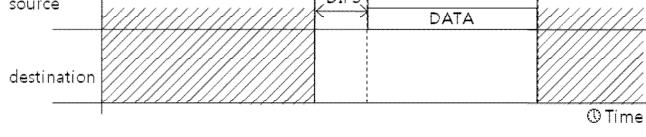


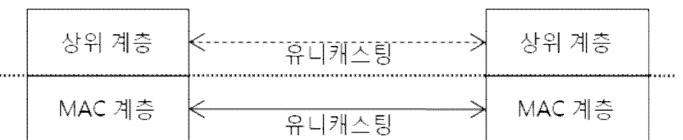
그림 1. 802.11의 DCF의 전송 과정

위와 같은 점에 착안하여 802.11의 통신과정에서 ACK 프레임을 생략하고 ACK 프레임에서 발생하는 에너지 소비를 줄이는 것이 본 연구의 핵심이다. 기존의 통신 방법은 상위 계층에서 유니캐스팅을 할 때 MAC 계층에서도 유니캐스팅을 하지만, ACK-less 유니캐스팅의 경우 그림 2와 같이 상위 계층에서 유니캐스팅을 할 때 MAC 계층에서는 일대일 멀티캐스팅을 하게 된다.

ACK-less 유니캐스트는 802.11에서 통신할 때 ACK 프레임을 발생시키지 않는다. 단순하게 1000Byte의 Data 프레임을 오류 없이 보낸다고 가정하면, 일반 통신의 경우 보다 ACK의 오버헤드가 없기 때문에 36Byte(Preamble 24 Byte+ ACK 12 Byte)의 전송과정이 줄어 들게 된다. 단순 계산하더라도 약 3.6%의 에너지가 덜 사용되게 된다. Data 프레임의 크기가 작아질수록 ACK-less 유니캐스트 통신이 에너지 측면에서 더 많은 이득이 생기게 된다. 또한 프레임간의

공백 및 매체 접근 제어 비용을 고려하면 에너지 이득은 더욱 커질 수 있다.

•기존 유니캐스팅



•ACK-less 유니캐스팅

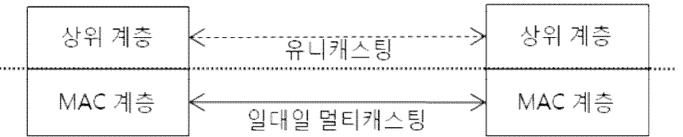


그림 2. 802.11 ACK-less 유니캐스트 통신의 개념

제안된 통신 방법이 현재 네트워크에서 사용하기 위해서는 상위 계층과의 투명성을 보장해야 한다. 이 말은 사용자나 TCP, UDP와 같은 상위 계층의 프로토콜이 MAC을 이용해 통신할 때 기존과 같은 방법으로 사용이 가능해야 한다는 것이다. 상위 계층과의 투명성은 리눅스에서 직접 구현하여 사용해봄으로써 증명하였다.

또한 다른 호스트들에게 영향을 주지 않아야 한다. 이를 위해서 그림 2와 같이 일대일 멀티캐스팅을 이용한다. 일대일 멀티캐스팅은 수신 호스트에 고유한 멀티캐스트 MAC 주소를 보장해줌으로써 프레임이 다른 호스트에 영향을 주지 않도록 만드는 것이다. 이는 다음 장에서 자세히 설명한다.

3. MAC 주소 변환

MAC 계층의 멀티캐스팅을 유니캐스팅에서 사용하기 위해서는 유니캐스팅의 특징인 일대일 통신이 가능해야 한다. MAC 계층은 MAC 주소의 8번째 비트(bit)인 멀티캐스트 비트를 이용하여 멀티캐스트와 유니캐스트 프레임을 구분한다[5]. 따라서 멀티캐스트 비트의 변환을 통해서 쉽게 멀티캐스팅 프레임을 만들 수 있다.

하지만 실제 네트워크에서는 이미 사용하고 있는 멀티캐스트 주소가 존재한다. 이 주소들은 보통 라우터 간의 통신이나 IP와 같은 특정 프로토콜의 멀티캐스팅을 위해 사용된다. 2장에서 강조하였듯이 제시한 통신 방법이 다른 호스트들에 영향이 없어야 하기 때문에 이미 사용되고 있는 멀티캐스트 MAC 주소들은 피해야 한다.

위의 두 조건을 만족 시키기 위해서 그림 3과 같은 MAC 주소 변환 법을 사용하였다. 이 방법은 멀티캐스트 비트를 1로 만들어 주어 MAC 주소를 멀티캐스트 주소로 바꿔준다. 또한 기존 멀티캐스트

MAC 주소의 빈 곳을 이용하기 위하여 4번째 비트에 1을 더해주는 방법을 사용하였다. CID(Company ID)의 멀티캐스트 비트는 0이기 때문에 식은

$$\text{멀티캐스트 MAC 주소} = \text{장치 MAC 주소} + 110000000000_{16}$$

위와 같이 간단한 덧셈으로 만들 수 있다.

• 장치 MAC 주소

[0]	[23]	[47]
xxxx xxxx 0 xxxx		
+ 0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000		
	↓	

• 일대일 멀티캐스팅을 위한 멀티캐스트 MAC 주소

[0]	[23]	[47]
???? xxxx		

그림3. MAC 주소 변환 규칙

MAC 주소의 앞의 24비트는 OUI(Organizationally Unique Identifier)의 역할을 하는 CID로 사용된다. 그림 4의 첫 번째 표는 현재 사용되고 있는 CID를 보여준다. 이 CID로 부터 제시한 규칙에 따라 변화된 CID는 현재 사용되고 있는 멀티캐스트 MAC 주소와 충돌이 발생하지 않음을 그림 4에서 확인할 수 있다.[5-6]

활당된 CID	변환된 CID	활당된 멀티캐스트 MAC 주소
00:00:00 ~00:E6:D3	11:00:00 ~11:E6:D3	01:00:0C ~01:DD:01
02:07:01 ~02:E6:D3	13:07:01 ~13:E6:D3	03:00:00 ~03:00:40
04:0A:E0 ~04:E0:C4	15:0A:E0 ~15:E0:C4	09:00:02 ~09:00:87
08:00:01 ~08:BB:CC	19:00:01 ~19:BB:CC	0D:1E:15
10:00:5A ~10:00:E8	21:00:5A ~21:00:E8	33:33:00 ~33:33:FF
A0:6A:00 ~AA:00:04	B1:6A:00 ~B1:00:04	AB:00:00 ~AB:00:04
		CF:00:00

그림 4. 변화된 CID와 활당된 멀티캐스트 MAC 주소 비교

4. 구현 설명

802.11의 ACK-less 통신의 구현은 크게 두 부분으로 나뉜다. 한 부분은 3장에서 설명한 MAC 주소 변환을 통하여 데이터를 보내는 부분이다. 다른 부분은 자신의 고유한 일대일 멀티캐스트 MAC 주소로 온 패킷을

거르지 않고 받게 만드는 부분이다.

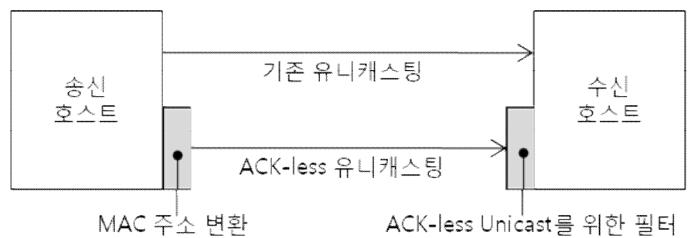


그림 5. ACK-less 유니캐스트 통신의 설계

설계에 가장 중심이 되는 부분은 기존 통신과의 호환성이다. 따라서 그림 5와 같이 일반 전송을 지원하면서 ACK-less 유니캐스팅도 가능하게 설계하였다. 목지 호스트로 동작할 때는 원래 자신의 MAC 주소와 자신의 멀티캐스트 주소로 오는 패킷을 모두 받을 수 있게 설계하였고 보내는 호스트로 동작할 때는 사용자가 ACK-less 유니캐스팅 여부를 결정 하도록 설계 하였다.

실제 구현은 리눅스를 기반으로 이루어 졌으며 네트워킹 커널 소스를 기반으로 기존 통신과 호환성을 유지하는데 중점을 두었다. 리눅스에서는 그림 6과 같이 네트워킹 커널의 두 부분에 간단한 추가 구현으로 802.11 ACK-less 통신이 가능하다.

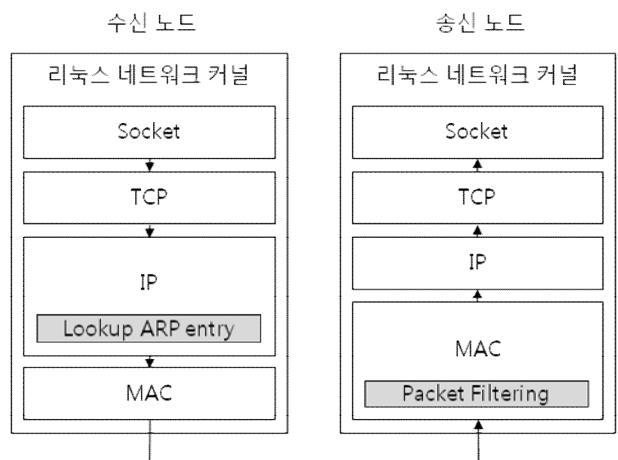


그림 6. 리눅스 네트워킹 커널의 데이터 흐름과 ACK-less 유니캐스트 구현 위치(회색)

첫 번째는 IP 단계에서 MAC 주소를 찾는 부분이다. 데이터를 보내는 과정에서 소스 호스트는 ARP (Address Resolution Protocol) 테이블에서 IP 주소와 매칭되는 MAC 주소를 찾게 된다. 기존의 경우에는 찾은 MAC 주소를 DATA 프레임의 수신 주소로 사용한다. 추가된 소스는 찾은 MAC 주소를 그림 3의 변환 방법을 따라서 고유한 멀티캐스트 MAC 주소로 변경한다. 그 다음 동작은 기존 경우와 동일하다.

두 번째는 MAC에서 패킷을 분류하는 부분이다. 수신 호스트는 MAC 단계에 패킷이 도착하게 되면 도착한 패킷의 MAC 주소를 보고 패킷 타입을 결정하게 된다. 이때 멀티캐스트 패킷으로 분류된 것 중 자신의 멀티캐스트 MAC 주소로 온 패킷이 있다면, 그 패킷의 MAC 주소를 원래 자신의 것으로 바꿔 준다. 이 과정을 통과한 패킷은 IP 등의 상위 계층의 로직을 거치게 될 때 일반 유니캐스트 패킷을 받은 것과 같은 동작을 하게 된다.

Sender's Procedure in IP-Layer

```

IF dest.ip_addr in arp table THEN
    eth_addr = matching eth_addr of arp table
    IF ack-less flag is on THEN
        eth_addr = eth_addr + 11000000000016
    ENDIF
    dest.eth_addr = eth_addr
ENDIF

```

Receiver's Procedure in MAC-Layer

```

IF dest.eth_addr has multicast address bit) THEN
    IF dest.eth_addr EQUAL own mcast_addr THEN
        dest.eth_addr = device.eth_addr
    ELSE
        dest.eth_addr_type = multicast
    ENDIF
ENDIF

```

그림 7. ACK-less 유니캐스트 통신의 의사 코드

그림 7은 위의 과정을 의사 코드로 표현한 것이다. 코드 중 ‘ack-less flag’는 사용자가 ACK-less 유니캐스팅을 임의로 선택하게 하는 인자로 사용된다.

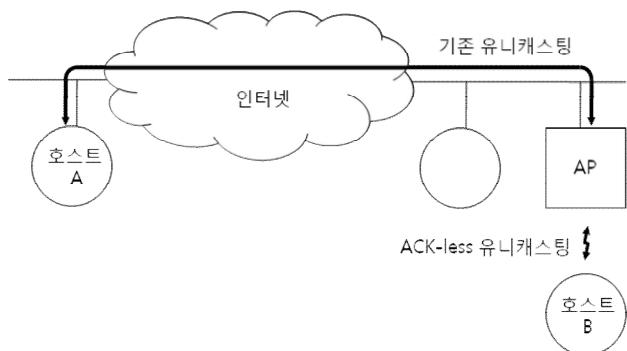


그림 8. WAN 환경에서 사용하기 위한 AP와 호스트 간의 ACK-less 유니캐스트 설계

ACK-less 유니캐스팅이 사용되는 실제 예는 대부분 그림 8과 같이 AP (Access Point)를 통해 통신하는 경우이다. 본 연구의 기법은 MAC의 상위 계층에 대해

투명하므로 앞의 노드간 통신 구현을 AP와 무선노드 사이에서 그대로 적용하면 ACK-less 유니캐스팅이 가능하다. AP가 수신 혹은 송신을 할 때 노드간의 통신과 동일한 과정을 통해 다른 무선 노드와 ACK-less 유니캐스팅을 한다.

5. 실험 결과

2장에서 설명하였듯이 802.11의 ACK를 사용하지 않기 때문에 전송 중 오류가 적으면 당연히 에너지 측면에서 효율적이다. 전송 중 오류가 발생한다면 ACK를 이용한 기존의 MAC 수준의 오류 복구와 TCP등 상위 계층의 오류 복구의 에너지 소모량에 따라 효율성이 결정된다. 무선 링크를 통한 점대점 연결의 경우, TCP등 상위 계층 오류제어가 MAC 계층의 오류제어보다 오류율에 관계 없이 항상 에너지 효율적이다. [7] 그러나 WAN을 거쳐 통신하는 무선 호스트 경우에는 1홉 MAC 수준의 오류제어보다 여러 흡을 경유하는 상위 계층 오류제어가 에너지 효율적이라고 단정할 수 없다. WAN 통신에서 ACK-less 유니캐스팅의 에너지 효율성 문제는 향후 연구에서 다루기로 하고 본 논문에서는 통신 성능에 미치는 영향에 초점을 맞추도록 한다.

실험은 실제 통신을 할 때 처리량이 어떻게 변화하는지에 측정하였다. 신뢰성을 보장하는 TCP를 이용하여 두 무선 호스트간의 파일 전송을 하였고, 802.11b에서 RTS/CTS를 사용하지 않은 일반 무선 통신과 ACK-less 유니캐스팅 간의 처리량을 비교하였다.

첫 번째는 근접한 거리에서 ACK-less 유니캐스팅과 기존 통신을 MTU(Maximum Transmission Unit)를 변경하여 비교한 실험이다. 그림 9는 MTU의 변경에 따른 두 통신 방법의 성능을 나타낸다. 802.11은 최대 2304의 MTU를 보장하지만 일반적으로 사용하는 1500과 512의 두 경우와 비교적 많이 발생하는 짧은 패킷을 위해 50을 측정하였다.

그림 9과 같이 통신환경이 좋을 때 기존의 통신보다 ACK-less 유니캐스팅이 에너지 뿐만 아니라 전송 속도도 더 빠른 것을 볼 수 있다. 전송 속도측면에서 보면 1500의 경우 9.0% 향상 되었고 512의 경우 9.5%, 50의 경우엔 73%가 향상 되었다.

패킷의 크기가 작아지면 같은 데이터를 보내는데 보다 많은 패킷을 보내야 하고, 이에 따라 ACK의 수도 증가하므로 ACK-less 유니캐스팅의 상대적 전체 통신 효율이 더욱 향상되는 것을 알 수 있다. ACK 오버헤드의 감소는 에너지의 사용의 감소로 이어지기 때문에 통신 환경이 좋은 경우 ACK-less 유니캐스트가 일반 통신보다 에너지 및 통신성능 면에서 더 효율적이라고 할 수 있다.

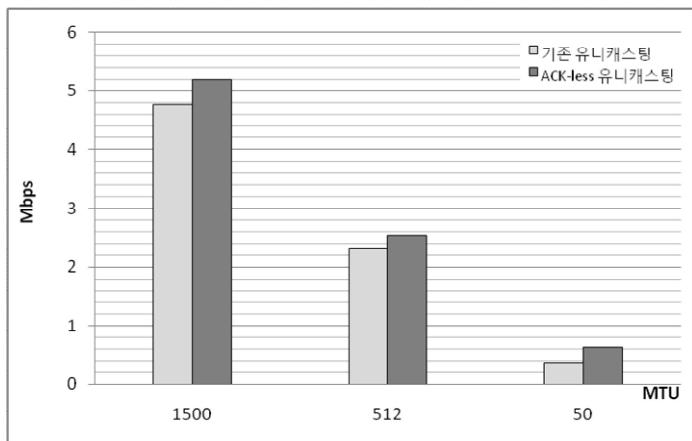


그림 9. 802.11b에서 기존 통신과 ACK-less 유니캐스트 비교: 근접 거리에서 100MB 전송시 MTU에 따른 처리량(Mbps)

다음 실험은 AP와 무선 호스트의 거리를 늘리면서 오류율이 높아지는 경우를 비교하였다. 실험은 AP와 무선 호스트가 근접하게 있을 때, 벽을 사이에 두고 있을 때, 벽을 사이에 두고 멀리 있을 경우를 실험하였다.

거리의 증가나 장애물은 무선 통신의 오류율을 상승시키게 된다. UDP의 경우 오류율의 상승은 데이터의 신뢰성을 떨어뜨리고, TCP 같은 경우에는 신뢰성을 보장하는 대신 오류 복구에 추가 비용, 특히 추가 시간이 발생하게 된다. 따라서 TCP 프로토콜을 사용하여 통신할 때 ACK-less 유니캐스팅을 이용할 경우 기존 통신보다 오류율에 따른 전송 속도가 크게 떨어지게 된다. 기존 통신의 경우 MAC 단에서 재전송으로 오류가 해결 가능한 반면 ACK-less 유니캐스트의 경우 TCP에서 재전송을 통해 해결해야 하기 때문이다. 따라서 그림 10과 같이 통신환경이 나빠질수록 기존 통신보다 ACK-less 유니캐스팅의 종료 시간이 큰폭으로 증가한다.

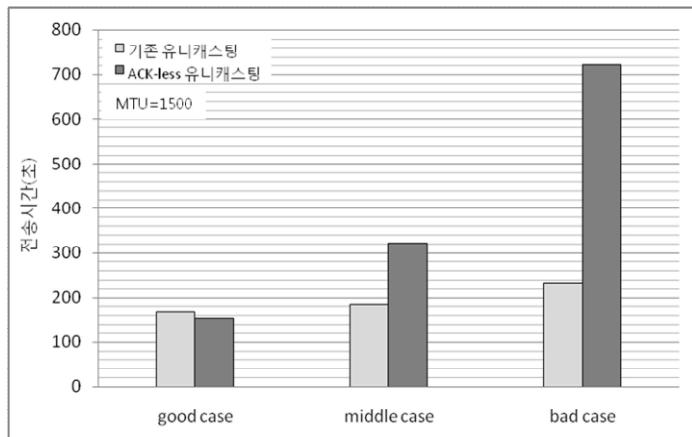


그림 10. 802.11b에서 기존 통신과 ACK-less 유니캐스트 비교: 통신 환경에 따른 100MB 파일 전송시간(초)

위의 두 실험 결과를 정리해 보면, ACK-less 유니캐스팅은 패킷의 크기가 작은 경우와 패킷 오류율이 적은 환경에서 기존 방법과 대등 또는 우수한 통신 성능을 보인다. 그러나 오류율이 높아질수록 전송 속도에서 기존의 통신 보다 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. AP와 무선 사이의 1홉 통신에서는 모든 경우에서 에너지 소모가 감소되는 효과는 유지된다[7].

6. 결론 및 향후 과제

본 연구는 에너지 효율성을 위해서 802.11의 유티캐스팅을 할 때 발생하는 ACK 프레임을 제거하는 방법을 제시하였다. 또한 실제 환경에서 이용하기 위하여 다른 노드들이나 상위 네트워크 계층에 영향을 주지 않기 위한 기법들을 개발하였다. 실제 구현하여 테스트해 본 결과, ACK-less 유니캐스트 통신 방식은 통신 환경이 좋을 때 기존의 방식보다 전송속도나 에너지 측면에서 더 뛰어남을 확인하였다.

실험 결과를 분석해 보면, ACK-less 유니캐스팅의 효과가 불확실한 통신 환경은 무선노드와 AP 사이의 무선 전송환경이 열악한 경우이며, 특히, 여러홉을 경우해야 하는 호스트와 장거리 통신을 하는 경우이다. LAN안에서 통신하는 경우에는 ACK-less 유니캐스팅 기법이 에너지 성능면에서 유리하지만 재전송이 즉시 이루어지지 않아서 통신시간이 길어지게 된다. 장거리 통신의 경우는 통신 성능의 저하와 함께 에너지 효율도 불확실하다. 무선 노드만을 고려한다면 에너지 소모가 줄어들겠지만, 중간에 경유하는 유선 노드들의 에너지 소모를 어떻게 반영해야 하는가가 어려운 문제로 남는다. 따라서 본 연구에서는 ACK-less 유니캐스팅을 통신환경에 따라 탄력적으로 적용하는 선택적 ACK-less 유니캐스팅을 연구할 예정이다.

ACK-less 유니캐스팅은 다음과 같은 조건이 갖추어지면 에너지 측면에서 유리하다고 할 수 있다. 첫 번째는 실험결과와 같이 오류율이 낮을수록 더 좋은 성능을 보인다. 다음으로 패킷 크기가 작으면 통신환경이 나쁠 때에도 대부분의 패킷을 받을 수 있으며[8], 결과적으로 기존 유니캐스팅보다 처리량이 크게 증가한다. 마지막으로 1홉에서 통신을 하는 경우, 상위 계층의 오류복구에 드는 시간이 줄어들기 때문에 효율적이다. 이런 요소들을 바탕으로 통신환경에 따라 탄력적으로 ACK-less 유니캐스팅을 하게 된다면 최악의 경우에도 일반 유니캐스팅과 대등한 성능을 보일 수 있다.

향후 제시한 ACK-less 유니캐스트 방법의 상위 투명성, 에너지 효율성 등의 장점을 계승하면서, ACK-less 유니캐스팅의 효율성을 유지하는 선택적 ACK-less 유니캐스팅을 구현 및 실험할 계획이다. 그리고 1홉 재전송을 지원하는 향상된 AP 및 TCP 재전송 시간 조정 등을 연구할 계획이다.

참고 문헌

- [1] "IEEE STANDARD 802.15.4", *IEEE*, pp. 19, 2003
- [2] 이일구, 박신종, "802.11e 무선랜의 throughput 분석과 효율적인 Block ACK 매커니즘", *SITI Review 6* pp.32-38, 2004년 4월
- [3] Zi-Tsan Chou, Ching-Chi Hsu, and Shin-Neng Hsu, "UPCF: A New Point Coordination Function With QoS and Power Management for Multimedia Over Wireless LANs", *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON) volume 14*, pp.807-820, AUG 2006
- [4] Mattbew S. Gast "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, Second Edition", *O'Reilly Media*, pp.56, 2005
- [5] Andrew Cherenson, etc., "Ethernet Numbers", *IANA (Internet Assigned Numbers Authority)*, Mar 2008
- [6] "The public OUI listing", *IEEE OUI and Company_id Assignments*, MAR 2008
- [7] 양현, "무선 센서 네트워크에서 목시적 Ack 및 간접 복구를 이용한 신뢰성 있는 멀티캐스트의 성능 개선". *중앙대학교 108호 석사 논문*, 2007년 12월
- [8] Dan Duchamp and Neil F. Reynolds, "Measured Performance of a Wireless LAN", *Dept. of Comput. Sci., Columbia Univ., New York*, 1992