

# MAC 수준 멀티캐스팅을 이용한 IEEE 802.11 ACK-less 유니캐스팅의 성능 및 전력 절약

오준석<sup>○</sup>, 양현, 박창윤  
중앙대학교 컴퓨터공학부  
ohjunseok@cnilab.cse.cau.ac.kr

## Performance and Energy Saving of IEEE 802.11 ACK-less Unicasting using MAC Level Multicasting

Jun-Seok Oh<sup>○</sup>, Hyun Yang, Chang-Yun Park  
School of Computer Science and Engineering  
Chung-Ang University

### 요약

무선 MAC을 위한 802.11은 유니캐스팅 통신을 할 때 ACK를 이용하여 자체적인 신뢰성을 부여한다. 그러나 오류율이 낮거나 패킷 크기가 작은 환경에서 TCP와 같이 상위 계층의 신뢰성 보장 기능이 있는 경우, MAC 계층에서 모든 패킷에 대해 ACK를 이용하는 것은 오버헤드가 될 수 있다. 본 논문에서는 ACK 응답을 하지 않는 멀티캐스팅을 통해 유니캐스팅 통신을 구현하는 802.11 ACK-less 유니캐스팅 기법을 제안하고, 기존의 ACK 기반의 802.11 유니캐스팅과 통신 성능 및 에너지 측면에서 비교 실험하였다. 실험결과 에러율이 낮고, 패킷의 크기가 작고, LAN 통신 환경에서 처리율과 에너지 측면에서 우수한 성능을 보인다. 반면 무선 통신 환경이 열악한 경우에, 에너지 효율은 유지하더라도 처리율은 뒤떨어지는 현상이 나타났다. 이를 보완하기 위해 선택적 ACK-less 유니캐스팅 기법을 제안한다.

### 1. 서론

노트북과 같은 휴대용 장치의 보급이 확대되면서 장소에 구애 받지 않고 네트워크를 이용하려는 사용자의 욕구가 증가하고 있다. 이에 따라 무선랜 환경에서 효율적인 에너지 관리를 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

적은 에너지 소비를 목표로 설계된 IEEE 802.15.4는 ACK 사용 여부를 선택할 수 있다.[1] ACK의 사용 유무는 신뢰성과 에너지 소비 간의 트레이드 오프 관계에 있다. 만약 패킷의 크기가 작거나 오류가 적은 환경이라면 ACK 제거는 에너지 효율을 높여주는 좋은 솔루션이 될 수 있다.

이 논문의 목적은 상위 계층의 유니캐스팅 통신을 ACK를 교환하는 802.11 유니캐스팅 대신에 ACK를 하지 않는 802.11 멀티캐스팅으로 구현하는 ACK-less 유니캐스팅 기법의 통신 성능 및 에너지 절약 효과를

분석하는 것이다. 또 이를 기초로 하여 효과적인 환경에서만 멀티캐스팅으로 대체하는 선택적인 ACK-less 유니캐스팅 알고리즘을 제안한다.

802.11에서 ACK를 이용하는 오류 복구는 전송의 신뢰성을 제공한다. 특히 전송 계층에서 UDP 같이 오류 복구 기능이 없는 프로토콜을 사용할 때 효율성이 높다. 하지만 전송 계층에서 TCP와 같은 신뢰성을 보장하는 프로토콜을 사용한다면, 데이터 링크 계층에서 오류 복구를 위해 사용하는 ACK는 오버헤드가 될 수 있다.

QoS(Quality of Service)를 지원하는 무선랜인 802.11e의 경우 일반 ACK 이외에도, No ACK-Block ACK를 이용하는 방식을 지원한다. 한 노드가 통신을 단독으로 점유하여 사용할 경우 ACK 없이 DATA 프레임 연속으로 보낸 후, Block ACK를 통하여 신뢰성을 보장한다. 802.11e의 위와 같은 특징은 한 노드의 QoS를 보장하기도 하지만 에너지 효율성이나 처리율

측면에서 일반 ACK를 사용하는 것 보다 향상된 성능을 보인다[2].

**2. 802.11 MAC과 ACK-less Unicast**

802.11 DCF 기법에서 유니캐스팅을 사용하는 경우, 충돌을 줄이기 위해서 DIFS(DCF Inter Frame Space) 기간 동안 매체가 비어 있는지 확인한다. 매체가 비어 있으면 백오프 시간 동안 기다린 후 전송을 시작한다. 수신 측은 데이터를 잘 받았다는 것을 알리기 위해 ACK를 보낸다.[3]

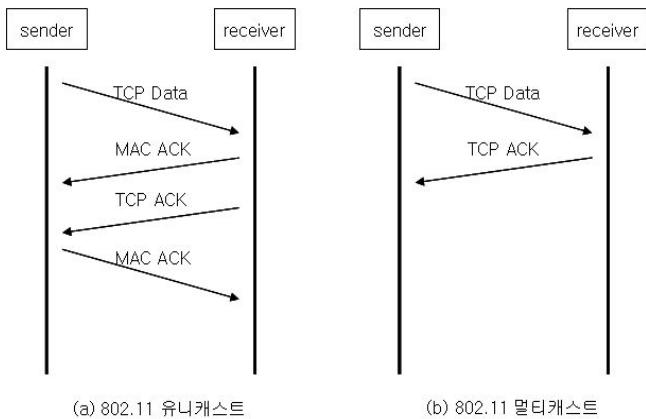


그림 1 유니캐스팅과 멀티캐스팅의 동작 비교

그림[1]은 TCP를 전송 계층으로 사용하는 802.11의 유니캐스팅과 멀티캐스팅의 동작을 비교한 것이다. 802.11 유니캐스팅의 경우, MAC 계층에서 모든 TCP 패킷에 대해 ACK를 회신하고 있다. MAC 계층과 TCP 계층에서 신뢰성을 보장하기 위해 서로 중복으로 ACK를 회신하는 것이다. 게다가 MAC 계층에서는 TCP ACK도 일반적인 상위 계층의 데이터로 보기 때문에 이에 대한 MAC ACK도 보낸다. MTU가 작아서 패킷 크기가 작거나, 오류율이 낮은 환경에서 모든 패킷에 대한 ACK를 보내 중복된 신뢰성 검사를 하는 것은 큰 오버헤드로 작용된다.

반면, 802.11 멀티캐스팅은 MAC 계층에서 ACK 확인을 통한 신뢰성 검사를 하지 않는다[4]. 그 때문에 유니캐스팅보다 비교적 적은 오버헤드를 갖는다.

위와 같은 특징을 활용하여, MAC 계층에서 ACK를 제거하는 것이 ACK-less 유니캐스팅 기법의 핵심이다. 본 논문은 MAC 계층에서 ACK를 제거함으로써 얼마나 에너지 효율성을 증대시킬 수 있는지에 초점을 맞추고 있다. 802.11은 상위 계층에서 유니캐스팅 전송을 하면 MAC 계층에서도 유니캐스팅 전송을 한다. 하지만 ACK-less 유니캐스팅 기법은 상위 계층에는 투명성을 제공하면서, 유니캐스팅 MAC 주소를 멀티캐스팅 MAC 주소로 바꾸게 된다. 이를 그림[2]에 나타내었다.

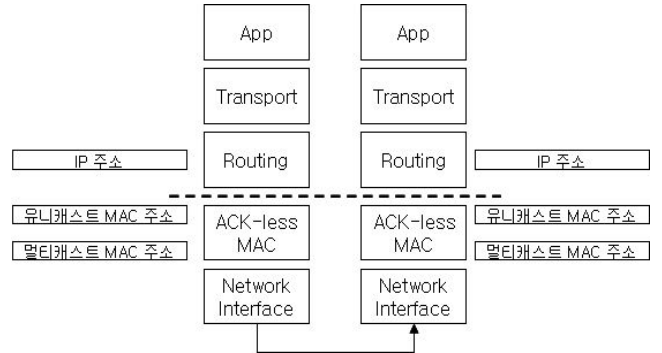


그림 2 ACK-less 유니캐스팅의 네트워크 계층구조

응용 계층에서 생성되어 전송 계층을 거쳐 데이터 링크 계층에 다다른 데이터에는 ARP(Address Resolution Protocol)를 통해 목적지 IP 주소와 매치되는 MAC 주소가 기록된다. 이 때, 그림[2]에서와 같이 MAC 유니캐스팅 주소를 one-to-one 멀티캐스팅 MAC 주소로 변환하여 전송하면 MAC 레벨의 ACK를 제거할 수 있다. 이것이 ACK-less 유니캐스팅 기법이다.

**3. 성능 평가**

ACK-less 유니캐스팅의 성능 평가를 위해 처리율과 에너지 성능은 필수적으로 측정해야 한다. 처리율은 통신 성능의 가장 기본적인 척도이고, 에너지 성능은 무선 통신에서 중요한 성능 요소이기 때문이다. 이 중에서 에너지 성능은 일반적인 무선 장치로는 측정이 힘들다. 그래서 처리율과 에너지 성능을 효율적으로 측정하기 위해 NS-2를 사용한다[5].

성능 평가는 기존의 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 처리율과 에너지 성능의 비교를 통해 이루어진다. 각각의 전송 방식마다 같은 용량의 파일을 전송하여 걸리는 시간과 소비한 에너지를 측정하여 비교한다. 단, 오류 발생의 단위는 패킷이고 유니캐스팅의 경우 RTS는 사용하지 않는다.

**3.1. 1-홉에서 오류율에 따른 성능평가**

무선 통신을 하는 환경에 따라서 통신의 오류율이 달라지고, 오류율은 처리율과 에너지 소비량을 비롯한 무선 통신의 성능에 지대한 영향을 미친다. ACK-less 유니캐스팅은 데이터 링크 수준의 오류복구를 하지 않으므로, 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 성능은 서로 다를 수 있다.

아래는 이웃한 두 무선 노드 간의 파일 전송 실험이다. 오류율을 실험의 변수로 두고 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 성능을 비교한다. 각각의 경우에 패킷의 크기는 1000Bytes로, 6MB의 파일을 전송하

는 상황으로 설정한다.

그림[3]은 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 사용 전력을 비교한 그래프다. ACK-less 유니캐스팅이 오류율 0%부터 20%까지 최대 6.73%의 차이를 보이며 항상 우수한 전력 효율을 보인다.

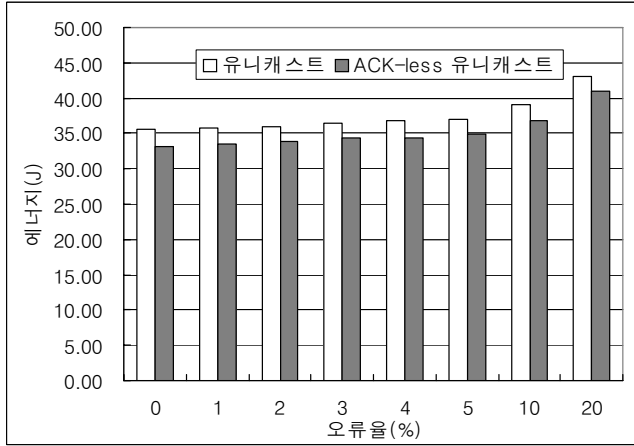


그림 3 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 사용 전력

무선 노드는 송신, 수신, 대기상태일 때 에너지를 소모한다. ACK-less 유니캐스팅의 경우, 비록 대기상태가 길어지더라도 주고받는 패킷의 개수가 유니캐스팅보다 적고, 대기 상태 유지에 사용하는 전력은 무시할 수 있을 정도로 미미하다. 그렇기 때문에 ACK-less 유니캐스팅의 전력 성능은 오류율에 상관없이 유니캐스팅보다 우수하다.

위 결과로 미루어볼 때, ACK-less 유니캐스팅은 오류율이 낮을 때 처리율 면에서 유니캐스팅과 비슷한 성능을 보이고, 전력 효율은 항상 유니캐스팅보다 우수하다.

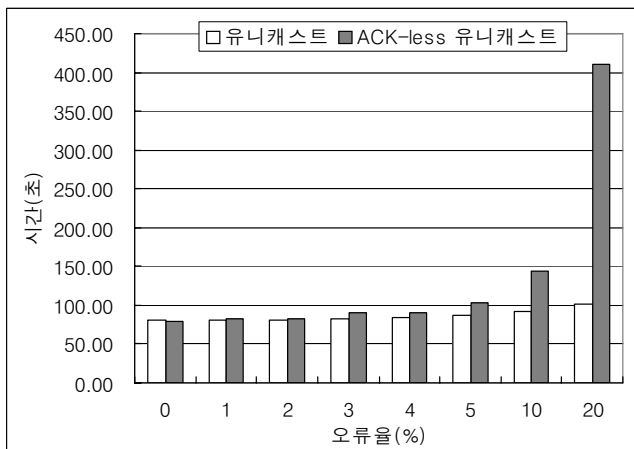


그림 4 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 전송 시간

그림[4]는 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 전송시간을 비교한 그래프다. 오류율이 0%일 때는 MAC

의 ACK를 처리하지 않는 ACK-less 유니캐스팅이 적은 차이로 우수하다. 하지만 오류율이 높아질수록 유니캐스팅의 성능이 앞선다. 이는 유니캐스팅은 MAC 수준에서 오류처리를 하고 ACK-less 유니캐스팅은 TCP 수준에서 오류처리를 하는데, TCP는 재전송 전에 백오프를 하기 때문에 오류 복구에 많은 시간이 들기 때문이다.

한편, TCP에서 송신측이 ACK를 받지 못하면 오류가 발생한 것으로 간주하고 백오프 한 후에 데이터 패킷을 재전송한다. 백오프의 목적은 혼잡 제어지만, 무선 통신은 충돌 감지나 회피 기술을 사용하기 때문에 무선 통신에서 발생하는 오류의 원인은 혼잡이 아닌 경우가 대부분이다. 그래서 TCP에서 백오프를 하지 않는다면 오류율이 높은 환경에서 처리율을 향상시킬 수 있다.

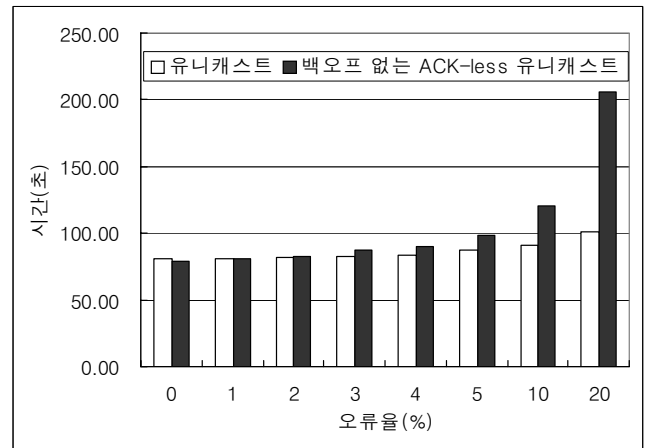


그림 5 유니캐스팅과 백오프 없는 ACK-less 유니캐스팅의 전송 시간

그림[5]는 유니캐스팅과 백오프 없는 ACK-less 유니캐스팅의 전송 시간을 비교한 그래프다. 백오프를 사용하는 ACK-less 유니캐스팅에 비해 성능이 최대 49.85% 향상되었다. 극단적으로 오류율이 높은 경우를 제외하고, 대등한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 사용 전력은 일반 TCP 경우와 차이가 없었다.

### 3.2. 1-홉에서 패킷 크기에 따른 성능평가

크기가 큰 데이터를 전송할 때, 전송 계층은 응용 계층에서 보낸 데이터를 MTU만큼 조각내어 아래 계층에 전달한다. 이더넷에서 사용하는 기본 MTU는 1500바이트다. 프리앰블을 포함한 MAC ACK의 크기는 38바이트이므로 MTU와 비교하면 2.5% 정도에 불과하다. 하지만 텔넷을 사용하거나 HTTP 요청을 하는 경우, 패킷의 크기는 MTU보다 훨씬 작다. 이런 통신이 빈번한 환경이라면 전체 트래픽에서 ACK가 차지하는 비중이 상대적으로 커지므로 ACK를 제거했을 때 더 큰 에너지 성능 향상을 기대할 수 있다.

이 실험에서는 송신 무선노드가 이웃한 수신 무선노드에게 파일 전송을 한다. 패킷 크기를 실험의 변수로 두고 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 성능을 비교한다. 각각의 경우에 5% 오류율의 환경에서 6MB의 파일을 전송하는 상황으로 설정한다.

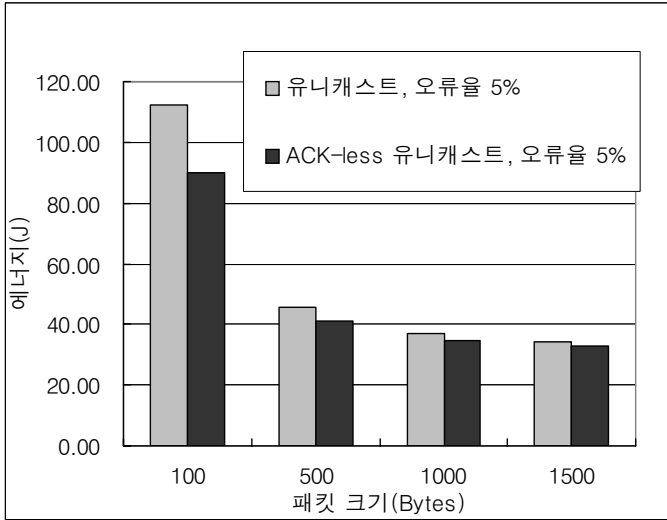


그림 6 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 사용 전력

그림[6]은 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 사용전력을 비교한 그래프다. 패킷 크기가 작아질수록 기존 유니캐스트에 비해 ACK-less 유니캐스팅의 에너지 효율이 증가한다. 패킷 크기가 작으면 ACK와 사이즈 차이가 줄어들기 때문에 ACK를 제거하여 얻을 수 있는 에너지 이득이 늘어나기 때문이다.

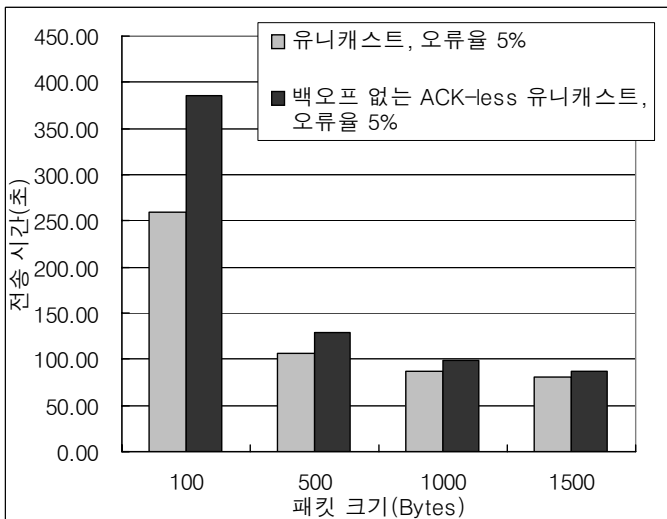


그림 7 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 전송 시간

그림[7]은 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 전송 시간을 비교한 그래프다. 유니캐스팅의 성능이 근소하게 좋지만, 패킷 크기가 100바이트일 때를 제외하고

는 큰 차이를 보이지 않는다.

파일 전송을 할 때는 대부분의 패킷은 MTU와 동일한 크기를 갖는다. 하지만 실제 네트워크 서비스를 사용하면 HTTP 요청, 전송 핸드셰이크, 메신저 메시지와 같은 작은 패킷도 송수신한다. 오류가 적은 환경에서 크기가 작은 패킷이 많이 사용하는 통신을 한다면 높은 에너지 효율과 처리성을 기대할 수 있다.

### 3.3. 멀티-홉에서 링크 딜레이에 따른 성능 평가

802.11 무선랜 환경에서는 인터넷을 비롯한 여러 서비스를 사용할 수 있다. 무선 장치의 입장에서, 인터넷 서비스는 AP를 비롯한 여러 노드를 경유하는 멀티-홉 노드와의 통신이다.

멀티-홉 환경에서 유니캐스팅 통신 중에 비트 오류가 발생하면 대부분의 오류 복구는 MAC 수준에서 이루어진다. MAC 수준의 오류 복구는 홉 단위의 동작이므로 홉 수가 늘어나는 것에 관계없이 균일한 성능을 유지한다. 하지만 ACK-less 유니캐스팅은 MAC 수준의 오류 복구를 사용하지 않기 때문에 홉 단위가 아닌 종단간 처리를 해야한다. 유선 노드가 AP를 경유해 무선 노드로 데이터를 전송하는 환경에서 ACK-less 유니캐스트는 불안한 성능을 나타낼 수 있다. AP와 무선 노드 간 통신 환경이 열악하여 패킷 손실이 발생한다면, 그 손실의 복구는 AP와 무선 노드 사이에서 이루어지지 않고 송신 노드와 수신 노드 사이에서 이루어진다. 이런 오류가 발생할 때마다 1-홉 통신이 아니라 여러 홉을 경유하는 종단 통신을 하므로 성능에 악영향을 미친다.

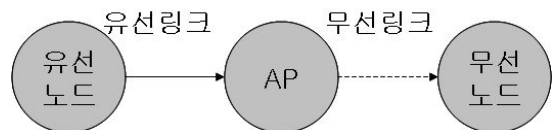


그림 8 멀티-홉 환경 실험을 위한 토폴로지

멀티-홉 실험의 환경을 구축하기 위해 그림[8]과 같은 토폴로지를 설정한다. 그리고 유선노드에서 AP를 거쳐 무선노드로 6MB의 데이터를 1000바이트 단위로 전송한다. 홉 수가 늘어날수록 RTT(Round Trip Time)도 늘어나는 관계를 바탕으로, 유선링크의 딜레이를 실험의 변수로 둔다. 유선링크의 용량은 512Kb고, 무선링크의 대역폭은 2Mbps이다. 유선링크에서는 오류가 발생하지 않고, 무선링크에서의 패킷 손실율은 5%이다.

그림[9]은 유니캐스트와 ACK-less 유니캐스팅에서 AP와 무선노드가 사용한 전력의 평균을 비교한 그래프다. 에너지 성능은 유선링크 딜레이에 관계없이 항상 ACK-less 유니캐스트가 우세하다. 유니캐스트의 재전

송은 대부분 AP와 무선노드 사이에서 일어나지만 ACK-less 유니캐스트의 재전송은 유선노드와 무선노드 사이에서 일어난다. 그래서 재전송 패킷을 포워딩하는 AP의 부담이 커지는데, 그에 비해 MAC ACK를 제거로 인한 에너지 이득이 더 크기 때문에 ACK-less 유니캐스트의 에너지 성능이 더 우수하다.

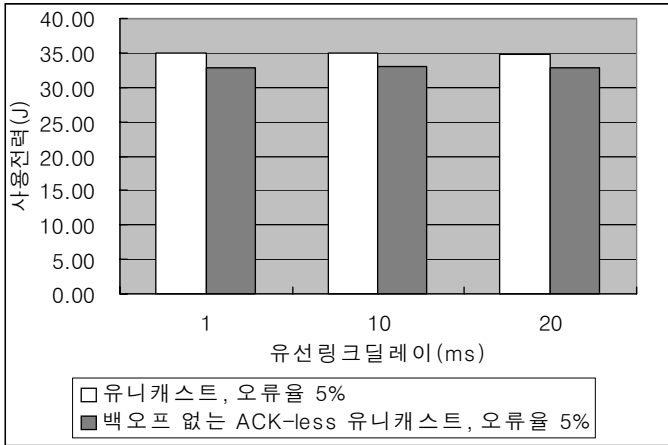


그림 9 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 사용 전력

그림[10]은 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 전송 시간을 비교한 그래프다. 유니캐스팅의 처리율 성능이 ACK-less 유니캐스트보다 우수하다. 하지만 유선링크의 딜레이가 적어질수록 차이가 적어지고 1ms에서는 근소한 차이만을 보인다.

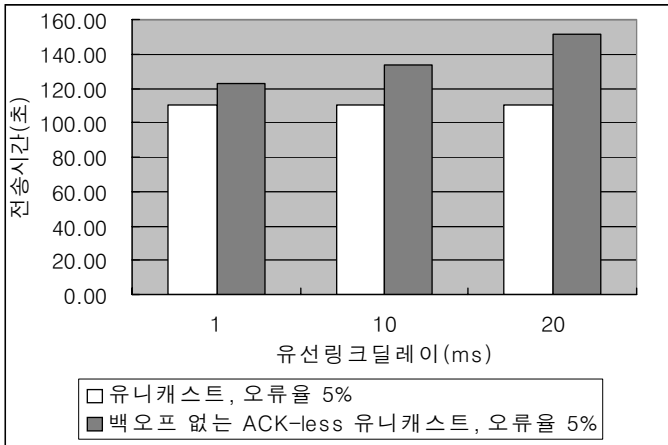


그림 10 유니캐스팅과 ACK-less 유니캐스팅의 전송 시간

1-홉 환경에서 ACK-less 유니캐스팅은 대체로 좋은 성능을 유지하지만, 멀티-홉 환경에서는 1-홉 환경보다 오류율에 더 민감하다. 그러므로 안정적인 성능을 위해서 많은 홉을 경유하지 않는 LAN 환경에서 사용하는 것과 같이 적절한 환경에서 기존의 유니캐스팅과 혼용할 필요가 있다.

#### 4. 선택적 ACK-less 유니캐스팅

오류율이 높으면 ACK-less 유니캐스팅은 유니캐스팅에 비해 낮은 처리율을 보인다. 하지만 에너지 성능은 항상 우수하고 오류율이 낮아질수록 처리율의 차이는 줄어들고 애러가 없는 경우에는 오히려 더 우수하다. 또한 패킷 크기가 작은 경우에는 더 큰 에너지 이득을 얻을 수 있다. LAN 내부에서 통신하는 경우는 외부 네트워크와 통신하는 경우는 보다 성능이 뛰어나다. 이와 같이 ACK-less 유니캐스팅은 특정 환경에서 기존의 유니캐스트보다 우수한 성능을 낸다. 따라서 본 연구에서는 ACK-less 유니캐스팅을 통신환경에 따라 탄력적으로 적용하는 선택적 ACK-less 유니캐스팅을 연구할 예정이다.

적용 여부를 결정하는 인자는 무선 오류율, 패킷 크기 및 중간 경유 노드의 유무이다. 우선, LAN 내부에서 통신을 할 때는 TCP 단에서의 오류 복구 시간도 짧아 지므로 ACK-less 유니캐스팅의 성능 손실은 상대적으로 적다. 따라서 에너지 이득을 얻기 위해 ACK-less 유니캐스팅을 적용하는 것이 유리하다. 다음으로, 오류율이 낮은 무선 통신 환경이라면 ACK-less 유니캐스팅을 적용한다. 패킷 크기가 작은 경우에는 오류율에 관계없이 항상 ACK-less 유니캐스팅을 적용한다. 프레임이 작으면 불안정한 무선 통신 환경에서도 잘 전달되며 [6], 에너지 효율도 상대적으로 높으므로 성능을 유지하며 에너지 절약이 가능하다. 정리를 하면, LAN 내부에서 통신을 하는 경우, 패킷이 크고 오류율이 낮거나 오류율이 높더라도 패킷이 작다면 ACK-less 유니캐스팅을 사용하고, 그 외의 경우에는 기존의 유니캐스팅을 사용하도록 한다.

ACK-less 유니캐스팅의 성능이 좋은 환경을 잘 선택할 수 있다면 기존 유니캐스팅보다 항상 동등하거나 뛰어난 성능을 보장할 수 있을 것이다. 이를 위해서 보다 정확한 실험과 연구를 통해 특정 환경에서 ACK-less 유니캐스트의 성능을 잘 예측할 수 있는 방법을 개발해야 한다.

#### 5. 결론

ACK-less 유니캐스팅은 신뢰성을 보장하는 802.11 통신 환경에서 MAC의 ACK가 오버헤드로 작용할 수 있다는 점에 착안을 하였다. 그 목적은 오버헤드를 제거함으로써 802.11 통신에서 높은 에너지 효율을 달성하는 것이다. 이 연구에서는 MAC의 ACK를 제거하여 에너지 성능뿐만 아니라 처리율 성능 또한 향상시킬 수 있음을 보였다.

ACK-less 유니캐스팅은 특정한 환경에서 기존의 유니캐스트보다 좋은 성능을 보인다. 반면, 열악한 조건의 통신환경에서는 성능이 감소하는 것을 확인하였다. 이런 경우의 대안으로 선택적 ACK-less 유니캐스팅을 사용할 수 있으며, 항상 최적의 성능을 보장하기 위해서는 앞으로의 더 많은 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", *IEEE Standard*, June 2006
- [2] "802.11e MAC & PHY Specification, MAC QoS Enhancements", *IEEE Standard*, Nov 2005
- [3] LAN/MAN Standards Committee, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", *IEEE Standard*, Mar 2007
- [4] Matthew S. Gast "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, Second Edition", *O'Reilly Media*, pp.56, 2005
- [5] The Network Simulator  
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [6] Dan Duchamp and Neil F. Reynolds, "Measured Performance of a Wireless LAN", *Dept. of Comput. Sci., Columbia Univ., New York*, 1992