

# IEEE 802.15.4에서 에너지 효율성을 고려한 선택적 Unacknowledged 전송 (Selective Unacknowledged Transmission in IEEE 802.15.4 Considering Energy Efficiency)

양 현<sup>†</sup>      박 탄 세<sup>†</sup>  
(Hyun Yang)      (Tanse Park)

박 창 윤<sup>\*\*</sup>      정 충 일<sup>\*\*\*</sup>  
(Changyun Park)      (Chungil Jung)

**요약** 일반적으로 무선 MAC에서는 신뢰성을 부여하기 위해 ACK를 이용한다. 한편, 센서 네트워크 응용에서는 데이터가 주기적으로 전송되며, 어느 정도의 중복성을 갖고 있다. 이와 같이 신뢰성에 융통성이 있는 응용에서는 모든 MAC 프레임에 대해 ACK를 이용하는 것이 에너지 낭비로 작용할 수 있다. 에너지 절약을 목적으로 설계된 IEEE 802.15.4에서는 이에 대비하여 ACK 사용 여부를 선택 사항으로 지정해 놓고 있으나, 이를 활용한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 프레임이 잘 전달되는 경우 ACK를 생략하고, 프레임이 잘 전달되지 않을 경우 ACK를 사용하여 사용자가 요구하는 신뢰성(예: 단대단 패킷 도달율)을 만족할 수 있는 선택적 Unacknowledged 전송 기법을 제안하였다. 또한 NS2 시뮬레이터를 이용하여 다양한 성능 평가를 수행하였다.

<sup>†</sup> 이 논문은 2008년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임

<sup>\*</sup> 이 논문은 제36회 추계학술발표회에서 'IEEE 802.15.4에서 에너지 효율성을 위한 선택적 Unacknowledged 전송'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 학생회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학  
yanghyun@cmlab.cse.cau.ac.kr  
parktanse@cmlab.cse.cau.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학 교수  
cypark@cau.ac.kr

<sup>\*\*\*</sup> 정회원 : 여주대학 인터넷정보처리학 교수  
cjung@vit.ac.kr

논문접수 : 2009년 12월 24일

심사완료 : 2010년 3월 5일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다. 정보과학회논문지: 컴퓨터의 실제 및 테더 제16권 제6호(2010.6)

키워드 : 에너지 효율적 통신, 802.15.4 WPAN, 선택적 Unacknowledged 전송, 무선 센서 네트워크

**Abstract** In general, wireless MAC uses the ACK for reliability. Meanwhile, in wireless sensor network, data is delivered periodically and redundantly. In these situations, every ACK transmission causes the reliability flexible applications to waste some energy. IEEE 802.15.4 developed for energy efficiency has the option of using ACK or not, but there are no researches exploiting this peculiarity. In this paper, we proposed the selective unacknowledged transmission satisfying some requirements (e.g., end-to-end delivery) by removing the ACK when frames are delivered well and using the ACK when frames are delivered poorly. Also, we performed several evaluations exploiting the NS2 simulator.

**Key words** : Energy Efficient Communication, 802.15.4 WPAN, Selective Unacknowledged, Wireless Sensor Networks

## 1. 서론

장소에 구애 받지 않고 통신 서비스가 가능한 무선 통신 기술에 대한 수요가 급증하고 있다. 무선기기는 배터리로부터 전력을 제공받기 때문에 전력 소모를 최소화 할 수 있는 기법의 필요성이 대두되고 있다.

무선 MAC 계층에서 사용되는 ACK는 신뢰성을 증진시키지만, 한편으로는 통신 오버헤드로 작용한다[1]. 온도, 습도 등과 같은 데이터를 다루는 센서네트워크는 제약사항이 많기 때문에 주기적이고 중복적인 데이터를 전송하도록 설계되며, 여기서 신뢰성에 융통성이 발생한다. 그러므로 모든 프레임에 대해 ACK를 사용하는 것은 에너지 낭비일 수 있다[2].

적은 전력소모를 목적으로 설계된 IEEE 802.15.4는 ACK를 선택적으로 사용하는 Unacknowledged 통신을 지원한다[3]. 본 논문에서는 이를 이용하여 프레임 전송 시 ACK를 제거하는 기법이 신뢰성, 에너지 효율성 등에 어떠한 영향을 미치는지 분석한다. 이에 기반하여 필요한 경우에만 Unacknowledged 전송을 시도하여 주어진 요구사항을 만족하면서도 전력을 절약할 수 있는 선택적 Unacknowledged 전송 기법을 최종적으로 제안한다.

Unacknowledged 전송에 관련된 연구로 IEEE 802.11에서 ACK를 제거하기 위해 MAC의 유니캐스팅 주소를 멀티캐스팅 주소로 일대일 변환하여 전송하는 Ack-less 유니캐스팅 기법이 있다[4]. 이 기법에서는 TCP와 같이 상위 계층에서 신뢰성을 부여할 경우 MAC 계층에서 ACK를 사용하는 것이 중복적으로 신뢰성을 부여한다는 점에 착안하여, 오류율이 낮거나 릴레이되는 홉수가 적은 응용에서는 Ack-less 유니캐스팅 기법이

IEEE 802.11보다 전력을 절약하면서도 우수한 성능을 나타낸다고 제시한 바 있다.

IEEE 802.11e에서는 ACK 오버헤드를 줄이기 위해 여러 전송에 대해 한번의 Block ACK를 사용하는 기법을 활용하기도 하였다[5]. 무선 네트워크에서 멀티미디어 응용의 QoS를 보장하면서도 전력을 절약하기 위해 개발된 UPCF(Unified Point Coordination Function)에서는 에너지 효율성을 증진시키기 위해 Optional ACK를 지원하고 있다[6]. 이 기법에서는 멀티미디어 데이터가 일부 손실되어도 합리적이라는 점에 착안하여 오류가 극심하지 않은 상황에서는 ACK를 제거하여 전력을 절약할 수 있는 정책을 마련해 놓고 있다.

본 논문에서는 ACK를 제거하는 방법 자체 또는 그것을 사용할 수 있는 경우에 대한 제시에 국한되지 않고, ACK를 사용하지 않으면서 요구되는 신뢰성을 유지하는 방법들과 그에 관련된 연구 주제를 다루고 있다. 지금까지 조사된 바에 의하면 구체적으로 이 문제를 다루고 있는 연구들은 없다고 할 수 있다.

## 2. IEEE 802.15.4에서 Unacknowledged

IEEE 802.15.4는 WPAN(Wireless Personal Area Network)을 위한 표준으로써 근거리 무선 통신 규약을 정의하고 있으며, 에너지 절약을 목적으로 설계되었기 때문에 센서 네트워크를 위한 MAC으로 많이 사용되고 있다. IEEE 802.15.4는 ACK 전송을 선택사항으로 지정해 놓고 있다. 그림 1은 IEEE 802.15.4에서 정의하고 있는 MAC 헤더의 Frame Control 필드를 나타낸 것이다. 여기서 5번째 비트인 ACK Request를 설정하면 MAC 수준에서 ACK를 이용하게 되고 해제하면 ACK를 생략하게 된다. IEEE 802.15.4에서는 이를 이용하여 간단히 Unacknowledged 전송 기법을 구현할 수 있다.

Ack의 사용 유무는 전력 절약과 신뢰성 증진 사이의 상충관계에 있다. Unacknowledged 전송 기법을 사용할 경우, 전력을 절약할 수 있으나 그만큼 단대단(End-to-end) 패킷 도달율은 나빠질 수 있다. 단대단 패킷 도달율의 감소는 홉이 길어질수록 극심해진다[7]. 식 (1)은 단대단 패킷 도달율을 구하는 것이다. 패킷이 전달되는 라우팅 경로에  $n$ 개의 노드가 배치되어 있고 각 홉의 링크 오류율이  $p$ 로 일정할 때, 단대단 패킷 도달율  $\Omega(n)$ 는  $(1-p)^n$ 까지 떨어질 수 있다. 따라서 패킷 도달율이 떨어지는 것을 방지하기 위해 링크 오류율이 낮은 홉에

서는 Unacknowledged로 전력을 절약하고 높은 홉에서는 ACK를 사용하여 신뢰성을 높이는 선택적 Unacknowledged 전송 기법을 제안한다.

$$\Omega(n) = \prod_{k=1}^n (1-p) = (1-p)^n \quad (1)$$

## 3. 선택적 Unacknowledged 전송 기법

선택적 Unacknowledged 전송 기법은 프레임이 포워딩 될 때, 각 홉에서 링크 오류 상태에 따라 ACK 사용 여부를 선택적으로 결정하여, 사용자가 요구하는 단대단 패킷 도달율을 유지하면서도 최대한 전력을 절약할 수 있도록 지원한다. 각 홉에서 링크 오류율이 낮은 경우, MAC 계층에서 ACK를 사용하는 것은 신뢰성을 높이는 측면보다 전력을 낭비하는 측면이 강하게 나타난다. 반면, 링크 오류율이 높아질수록 MAC 계층에서 ACK를 사용하여 지역적 복구를 하는 것이 ACK를 제거하여 전력을 절약하는 것보다 더 많은 이득을 얻게 된다. 선택적 Unacknowledged 전송 기법은 앞의 두 경우 사이에서 에너지 효율이 최적이 되는 지점을 찾는 것을 기본 토대로 하고 있다. 본 논문에서는 링크 오류율을 구하는 방법에 대해 중점을 두지 않고, 물리 계층으로부터 제공받을 수 있다고 가정한다. 또한 응용 단에서 데이터가 주기적으로 발생한다고 가정한다.

### 3.1 선택적 Unacknowledged 전송의 응어 및 지표

사용자 요구사항은 요구도달율( $R_{req}$ )과 신뢰구간( $R_{interval}$ )으로 주어진다.  $R_{interval}$ 이 1분이면, 어느 시구간에서든지 1분 동안 단대단 패킷 도달율은 항상  $R_{req}$ 를 상회해야 한다.

- **요구도달율( $R_{req}$ ):** 항상 지켜야 하는 단대단 패킷 도달율의 하한선
  - **신뢰구간( $R_{interval}$ ):**  $R_{req}$ 를 만족하는 최소 시간적 구간
- 선택적 Unacknowledged 전송을 구현하기 위해서는 신뢰성존( $R_{zone}$ )이 필요하다.  $R_{zone}$ 은 ACK 사용 유무를 결정할 때, 오류 상태의 오차로 인한  $R_{req}$ 의 위반을 방지하기 위해  $R_{req}$ 보다 높은 수준에서 ACK 사용 유무를 판단할 수 있도록 추가한 지역을 말한다. Unacknowledged 전송을 사용하면 전력을 절약할 수 있으나, 단대단 패킷 도달율은 떨어지게 된다. 단대단 패킷 도달율이  $R_{req}$ 만큼 낮아지게 되면 ACK를 사용하여 단대단 패킷 도달율을 다시 끌어올려야 한다. 이때, Unacknowledged 전송을 하다가 ACK를 사용하도록 전환하는데 시간이 걸리고, 링크 오류 발생이 불규칙할 수 있다. 이 때, 발생하는 링크 오류 상태의 오차에 대비하기 위해  $R_{zone}$ 이 필요하다.

$R_{zone}$ 을 결정하기 위해서는 링크 오류율,  $R_{interval}$ , 링크 오류 패턴 등 다양한 인자들이 필요하다. 특히 링

Bits: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	Ack. Request	PAN ID Compression	Reserved	Dest. Addressing Mode	Frame Version	Source Addressing Mode

그림 1 IEEE 802.15.4의 Frame Control 필드 형식.

크 오류 패턴은 실제 경험적으로 측정하기 전에는 정확히 파악할 수 없다. 따라서 처음에는  $R\_zone$ 을 넓게 설정하고 서서히 줄여나가면서 안정된  $R\_zone$ 을 유지하도록 하였다.  $R\_zone$ 이 결정되면  $R\_req$ 에  $R\_zone$ 을 더하여 목표 도달율( $R\_target$ )을 결정한다. ACK의 사용 유무는  $R\_req$ 가 아닌  $R\_target$  선에서 결정하여 링크 오류 상태의 오차로 인해 단대단 패킷 도달율이  $R\_req$ 를 위반하는 것을 방지한다.

- 신뢰성 존( $R\_zone$ ): ACK 사용 유무를 결정할 때, 오류 상태의 오차로 인한  $R\_req$ 의 위반을 방지하기 위해  $R\_req$ 보다 높은 수준에서 ACK 사용 유무를 판단할 수 있도록 추가한 지역
- 목표도달율( $R\_target$ ): ACK 사용 유무의 판단이 이루어지는 패킷 도달율 선

그림 2는 요구도달율  $R\_req$ 가 90%일 때, 신뢰구간  $R\_interval$ 을 1분으로 설정한 모습을 보여주고 있다. Unacknowledged 전송을 하다가 단대단 패킷 도달율이  $R\_target$  95%까지 떨어지면  $R\_req$  90%를 위반하지 않기 위해 미리 ACK로 전환하게 된다.

그러나 현재의 단대단 패킷 도달율을 알아내고 ACK로 전환하겠다고 판단하는데 시간이 걸리므로 오류 상태를 전달하는데 오차가 발생할 수 있다. 또한 링크 오류가 일정하게 발생하는 것이 아니라 불규칙하게 발생할 수 있기 때문에 평균으로 구해지는 링크 오류율과 실제 오류 상태 사이에는 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차들에 대비하기 위해  $R\_zone$ 을 두고 있다.

그림 3은 패킷 도달율과 링크 오류율을 보여 주고 있다.  $n$  홉으로 이루어진 라우팅 경로상에서  $i=0,1,2,\dots,n$  일때,  $D(i)$ 는 소스로부터 노드( $i$ )까지의 패킷 도달율을 말한다.  $D(i)$ 는 현재까지 노드( $i$ )가 받은 패킷 수를 소스가 발생시킨 패킷 수로 나누어 구할 수 있다. 소스가 발생시킨 패킷 수는 통신 시간을 패킷 발생 주기로 나누어 구할 수 있다.  $i=0,1,2,\dots,n$  일 때,  $e_{i,i+1}$ 는 노드( $i$ )와 노드( $i+1$ ) 사이의 링크 오류율을 나타낸다.

- 현재 노드( $i$ )까지의 패킷 도달율( $D(i)$ ): 소스부터 현재 포워딩할 패킷을 가지고 있는 노드( $i$ )까지의 측정된 패킷 도달율
- 링크 오류율( $e_{i,i+1}$ ): 라우터 경로 상  $i$ 번째 노드( $i$ )와  $i+1$ 번째 노드( $i+1$ ) 사이에 제공된 링크 FER(Frame Error Rate)

### 3.2 선택적 Unacknowledged 전송 알고리즘

현재 포워딩할 패킷을 가지고 있는 노드( $i$ )에서 ACK를 생략할 것인지, 사용할 것인지에 대한 판단 기준은 노드( $i+1$ )까지의 패킷도달율인  $D(i+1)$ 이 된다.  $D(i+1)$ 이  $R\_target$  보다 큰 경우에는 ACK를 생략하여 전력을 절약하고, 반대의 경우에는 ACK를 사용하여 패킷 도달율을

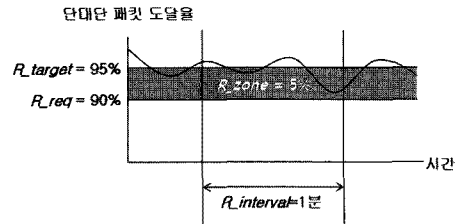


그림 2 사용자 요구사항 예시

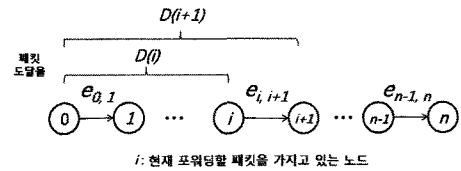


그림 3 노드( $i$ )까지의 패킷 도달율과 링크 오류율

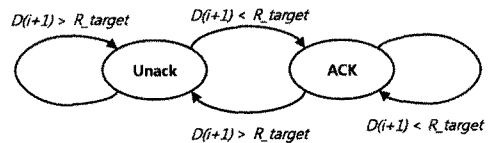


그림 4 노드( $i$ )에서 선택적 Unacknowledged 전송 상태 다이어그램

끌어 올린다. 노드( $i$ )가  $D(i+1)$ 을 알아내는 방법에 대해서는 3.3절에서 자세히 다룰 것이다. 선택적 Unacknowledged 전송에 대한 상태 다이어그램을 그림 4에 나타냈다.

### 3.3 반응적(Reactive) 기법과 예방적(Proactive) 기법

노드( $i$ )에서 선택적 Unacknowledged 전송 기법은  $D(i+1)$ 을 구하는 방법에 따라 반응적(Reactive) 기법과 예방적(Proactive) 기법으로 나눌 수 있다. 반응적 기법에서는 현재 노드( $i$ )가  $D(i+1)$ 을 구할 때, 다음 홉 노드( $i+1$ )에서 실제로 측정된  $D(i+1)$ 을 피드백 받는다. 반면, 예방적 기법에서는 현재 노드( $i$ )가  $D(i+1)$ 을 구할 때, 현재 노드( $i$ )까지의 패킷 도달율인  $D(i)$ 와 현재 노드( $i$ )와 다음 홉 노드( $i+1$ ) 사이의 도달율인  $(1-e_{i,i+1})$ 의 곱을 이용한다. 링크의 오류율은 상황에 따라 가변적인 특성을 보이는데, 이에 대비하기 위해 인터벌을 두어 주기적으로 링크 오류율을 갱신한다.

반응적 기법과 예방적 기법은 각각 다음과 같은 이유로  $R\_zone$ 을 필요로 한다. 반응적 기법은 정확한  $D(i+1)$  값을 피드백 받을 수 있지만 피드백 받는 시간 동안 링크 오류율 상태가 변할 수 있으므로  $R\_zone$ 이 필요하다. 한편, 오류로 인하여 피드백을 못 받을 수도 있는데, 이 때는 다음 주기에 피드백 받음으로써 문제를 해결한다. 예방적 기법은 피드백 기반이 아니기 때문에 ACK 사용 여부를 결정하는데 많은 시간이 소요되지는 않지

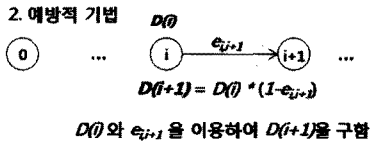
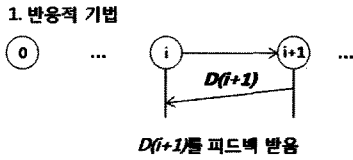


그림 5 반응적 기법과 예방적 기법의 동작

만 링크 오류율  $e_{i,i+1}$ 을 알아내는 방법이 평균에 기반한 것이므로 실제 오류 상태와 오차가 발생할 수 있기 때문에  $R_{zone}$ 이 필요하다.

반응적 기법에서는  $D(i+1)$ 을 피드백 받는 주기가 짧을수록 정확한 오류 상태 정보를 얻을 수 있지만 그만큼 오버헤드가 증가하는 반면, 예방적 기법에서는 피드백 받는 주기에 영향을 거의 받지 않는다.

반응적 기법과 예방적 기법은 오류가 발생하는 상황에서 서로 다른 동작을 취한다. 그림 5는 임의의 노드  $(i)$ 에서 링크 오류율  $e_{i,i+1}$ 로 인해  $D(i+1)$ 이 줄어드는 경우, 반응적 기법과 예방적 기법의 동작을 비교한 것이다. 반응적 기법에서는 노드  $(i)$ 가  $D(i+1)$ 를 피드백 받은 후  $D(i+1)$ 과  $R_{target}$ 을 비교하여 ACK 사용 유무를 결정한다. 이 기법에서는 피드백 받은  $D(i+1)$  값이  $R_{target}$  값보다 작을 경우 ACK를 사용하여 패킷 도달율을  $R_{target}$  이상으로 올리려는 시도를 하게 된다.

반면, 예방적 기법에서는 노드  $(i)$ 가  $D(i)$ 와  $e_{i,i+1}$ 을 이용하여  $D(i+1)$ 를 구한 후  $R_{target}$ 과 비교하여 ACK 사용 유무를 결정한다. 이 기법에서는  $D(i+1)$ 이  $R_{target}$ 보다 작아질 것이라 예측하여 미리 ACK를 사용함으로써  $D(i+1)$  값이  $R_{target}$  값보다 작아지지 않도록 노력한다.

즉, 반응적 기법은 패킷 도달율이  $R_{target}$  이하로 내려오면 다시 끌어올리는 작업을 반복하므로 시간에 따라 패킷 도달율의 편차가 심한 반면, 예방적 기법은 패킷 도달율이  $R_{target}$  선 근처에서 유지되도록 하는 성격이 강하므로 패킷 도달율의 편차가 작다.

### 4. 성능 평가

선택적 Unacknowledged 전송 기법의 성능 평가를 위해 NS2 시뮬레이터[8]를 사용하여 다양한 실험을 수행하였다.

#### 4.1 IEEE 802.15.4와 선택적 Unacknowledged 전송

제안 기법의 전력 효율성을 확인하기 위해 동일한 요구도달율( $R_{req}$ ) 하에서 IEEE 802.15.4와 전력 소모량



그림 6 동일한 링크 오류율을 가지는 선형 토폴로지

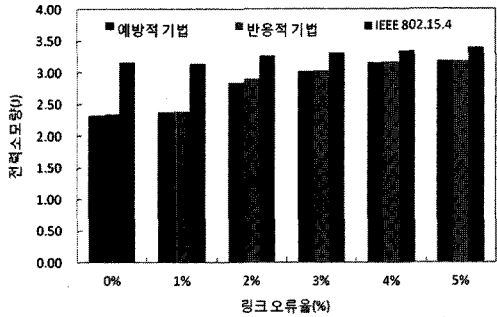


그림 7 링크 오류율별 전력 소모량 비교

을 비교 실험하였다. 선택적 Unacknowledged의  $R_{req}$ 를 90%로 설정하였고,  $R_{interval}$ 은 5분으로 설정하였다. 토폴로지는 그림 6과 같이 홉 수가 10개인 라우팅 경로로 구성하였고 각 링크 오류율을 0%~5%로 변화시켜가면서 실험하였다. 라우팅 프로토콜로는 Directed Diffusion [9]을 사용하였다. 전력 소모량에 대한 실험결과를 그림 7에 나타내었다. 실험결과에서 볼 수 있듯이 반응적 기법과 예방적 기법이 IEEE 802.15.4보다 효율적인 전력 소모를 한다는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 반응적 기법에서 피드백 주기의 영향

이 실험에서는  $D(i+1)$ 을 피드백 받는 주기에 따라  $R_{req}$ 를 위반하는 비율과 전력 소모량이 어떻게 변하는지 분석하였다. 여기서  $R_{req}$  위반 비율이란 단대단 패킷 도달율이  $R_{req}$ 보다 낮아지는 경우를 비율로 나타낸 것이다. 각 노드의 링크 오류율은 2%로 동일하게 설정하였고,  $R_{zone}$ 은 5%로 설정하였다. 나머지 실험 환경은 앞의 실험과 동일하다. 실험결과를 그림 8에 나타냈다.

실험 결과에서 볼 수 있듯이  $D(i+1)$ 을 피드백 받는 주기가 길어질수록 제어 정보 교환도 줄어들기 때문에

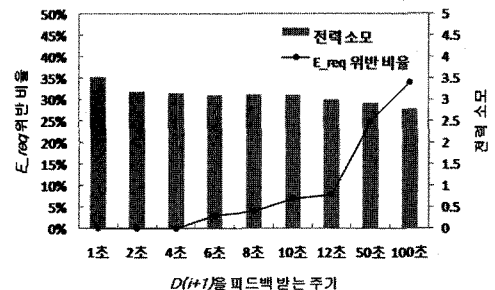


그림 8 노드  $(i)$ 에서  $D(i+1)$ 을 피드백 받는 주기에 따른  $E_{req}$  위반 비율과 전력 소모량

전력을 절약할 수 있지만,  $R_{req}$ 를 위반하는 비율이 높아진다는 것을 알 수 있었다. 또한 이 실험환경에서는 사용자가 요구하는  $R_{req}$ 를 완벽히 지키기 위해  $D(i+1)$ 의 피드백 주기를 4초 이하로 설정해야 한다. 여기서 얻은,  $R_{req}$ 를 완벽히 지키기 위한 피드백 주기가 4초라는 결과는 다양한 인자에 영향을 받은 결과이다.

#### 4.3 링크 오류율의 차이가 있는 환경

본 실험에서는 그림 9와 같이 10개의 홉으로 구성된 라우팅 경로 상에서  $e_{5,6}$ 만 5%이고 다른 노드들의 링크 오류율은 1%인 경우를 대상으로 하였다. 이는 장애물 등으로 인해 링크 오류율이 높아지는 환경을 구성한 것이다. 이와 같은 환경에서 제안 기법들이 각각 어떻게 대응하는지에 대해 비교 분석하였다. 실험 결과는 그림 10에 나타났다. 노드(4)까지는 반응적 기법과 예방적 기법이 비슷한 전력을 소모하고 있다. 그러나 링크 오류율이 높아지는 노드(5)에서부터 차이를 보이기 시작한다. 반응적 기법은 노드(5) 이후로 전력 소모가 급격히 증가하는 반면, 예방적 기법은 노드(6)에서 전력 소모가 급격히 증가하였다가 이후로는 오히려 줄어드는 경향을 보인다. 반응적 기법에서 노드(5)가  $D(6)$ 이 이미 급격히 떨어진 후에 이를 피드백 받게 되는데, 이 때 다시 도달율을 끌어올리기 위해 노드(5) 이후로 ACK를 많이 사용하게 되고, 이는 많은 전력 소모로 이어진다. 반면, 예방적 기법은  $D(6)$ 이 급격히 떨어질 것을 미리 알고 노드(5)에서  $D(6)$ 이 떨어지기 전에 ACK를 사용하게 된다. 또한 노드(5) 이후로도 Unacknowledged 전송을 할 기회를 얻을 수 있으므로 전력을 절약할 수 있다. 전체적으로 이 실험에서는 예방적 기법이 반응적 기법보다 약 3% 정도의 전력을 절약 한다는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 노드(0)은 데이터가 발생하는 지점으로 ACK를 보내는 경우가 없으므로, 노드(9)는 포워딩을 하지 않으므로, 그리고 노드(8)은 노드(9)가 포워딩하지 않아

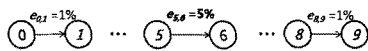


그림 9 링크 오류율에 차이가 있는 선형 토폴로지

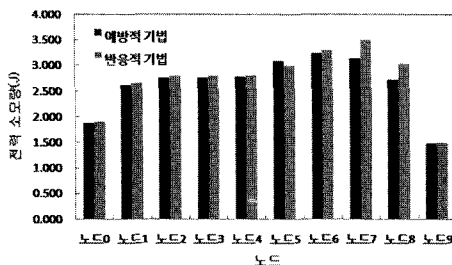


그림 10 다른 링크 오류율에 비해  $e_{5,6}$ 가 높은 환경에서 선택적 Unacknowledged 전송의 노드별 전력 소모

서 오버히어링(Overhearing)을 안 하므로, 이 세 노드는 다른 노드들에 비해 전력 소모가 적다.

## 5. 결론

본 논문에서는 802.15.4에서 ACK를 제거하여 전력을 절약하는 Unacknowledged 전송 기법에 대해 소개하고, 이를 토대로 전송이 잘 될 경우 ACK를 제거하여 전력을 절약하고, 전송이 잘 안 될 경우 ACK를 사용하여 신뢰성을 유지하는 선택적 Unacknowledged 전송 기법을 제안하였다. 또한 ACK 사용 유무를 선택하는 방법에 따라 반응적 기법과 예방적 기법으로 나누어 제안하였다.

실험 결과 802.15.4는 항상 ACK를 사용하기 때문에 전력 소모가 많지만, 선택적 Unacknowledged 전송 기법은 사용자가 요구하는 단대단 패킷 도달율을 지키면서도 최대한 전력을 절약한다는 것을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] S. H. Kim, H. Yang, C. Y. Park, "Reliable Multicasting with Implicit ACK and Indirect Recovery in Wireless Sensor Networks," *Journal of KIISE : Information Networking*, vol.35, no.3, pp.215-226, 2008. (in Korean)
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol.38, no.4, pp.393-422, 2002.
- [3] "IEEE 802.15 WPAN TM Task Group 4(TG4)," <http://ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- [4] J. S. Yun, H. Yang, C. Y. Park, "Development of an ACK-less Unicasting Scheme in IEEE 802.11 using the MAC Level Multicasting for Energy Efficiency," *Proc. of the KIISE Korea Computer Congress 2008*, vol.35, no.1(D), pp.418-423, 2008. (in Korean)
- [5] "802.11e MAC & PHY Specification, MAC QoS Enhancements," *IEEE Standard*, 2005.
- [6] Zi-Tsan, C., H. Ching-Chi, and et al., "UPCF: a new point coordination function with QoS and power management for multimedia over wireless LANs," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.14 no.4, pp.807-820. 2006.
- [7] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," *Proc. of IEEE INFOCOM 2002*, vol.3, pp.1567-1576, 2002.
- [8] The VINT Project, "Network Simulator," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [9] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," *Proc. of ACM MobiCom'00*, Boston, pp.56-67, 2000.