

# IEEE 802.11 DCF 에서 칼만 필터를 통한 ATIM 창 크기의 동적 할당 기법

이장수\*, 유승환\*, 김승욱\*, 김성천\*  
\*서강대학교 컴퓨터공학과  
e-mail : jangso417@sogang.ac.kr

## Dynamic Allocation of ATIM Window Size using Kalman Filter in IEEE 802.11 DCF

Jangsu Lee\*, Seunghwan Yoo\*, Seungwook Kim\*, Sungchun Kim\*  
\* Dept. of Computer Engineering, Sogang University

### 요 약

무선 네트워크에서 사용되는 단말기는 이동성이라는 특징상 한정된 에너지를 사용하여 동작하게 된다. 따라서 무선 호스트에 의해 소모되는 에너지의 양을 감소시키기 위한 기술은 대단히 중요하다. 이러한 기술적 지원을 위해 IEEE 802.11 에서는 DCF (Distributed Coordination Function) 전력 절감 메커니즘을 제안하고 있다. 그런데, DCF 를 위한 IEEE 802.11 전력 절감 메커니즘에서는 ATIM 창 동안 노드들은 비콘 기간 동안 깨어 있는 상태로 있을 것인지를 결정하기 위해서 control packet 을 교환 하는데, 이러한 ATIM 창 크기는 각각의 노드들의 전력 절감에 상당한 영향을 미친다. 그래서 ATIM 창 크기를 효율적으로 할당하기 위해 DPSM 과 같은 기법들이 개발되었다.

본 논문은 ATIM 창 크기를 동적으로 증감시켜서 ATIM 창 시간동안 소모되는 에너지를 줄이도록 하였다. ATIM 창 크기를 동적으로 할당하기 위하여 통계적 예측 기법인 칼만 필터를 도입하여 예측시스템을 구축하였으며, 이 예측 시스템을 통해 다음 상태에서 적용할 ATIM 창 크기를 예측하여 동적으로 할당하도록 하였다. 실험 결과 네트워크 생존 시간을 28.6% 증가시켰고, ATIM 창 크기 예측값의 오차는 4.42%로 나타났다.

### 1. 서 론

Mobile Ad-Hoc Network 를 구성하는 대부분의 노드는 이동성을 지원하기 위해 제한된 에너지원을 사용할 수 밖에 없다. 이러한 제한사항 때문에 라우팅 프로토콜 설계 시, 안정적인 데이터 전송을 위해서 노드의 에너지 상태를 고려하여 경로를 선택한다. 또한, 이러한 에너지 제약은 링크의 단방향 전송 상태를 발생시키기도 한다. 예를 들면, 에너지가 많은 노드는 무선 전송 시에 전력을 더 쓸 수 있으므로, 무선 전송 거리가 자신보다 에너지가 적은 노드보다 길다. 그렇기 때문에 에너지가 많은 노드에서 전송은 가능하나 수신은 불가능 경우가 생기기도 한다. 따라서 효율적인 에너지 사용이나 절약메커니즘 대응량 배터리의 개발 등 제한된 에너지원에 관련된 문제를 해결하기 위한 다양한 방법들이 반드시 고려되어야 한다.[1,2,3].

Ad-Hoc 에서는 전체 네트워크에서의 데이터 흐름에 대한 정보를 수집하거나 관리하는 중앙 관리시스템이 아닌 분산 시스템을 사용해야 하는데, 각각의 노드들은

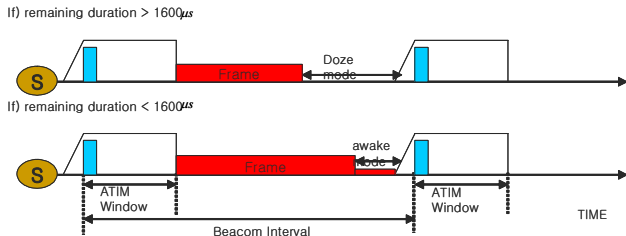
다른 노드들이 잠드는 것을 방지하기 위하여 ATIM (Announcement Traffic Indication Messages)을 사용한다. 모든 노드들은 비콘 전송 후, 특정 시간 동안 ATIM 프레임은 듣는다. 노드들이 다른 노드들을 위한 버퍼링된 데이터를 가지고 있다면, ATIM 프레임을 보낼 수 있다. 즉, ATIM 프레임은 전송할 데이터가 있음을 의미한다. ATIM 프레임을 수신하지 않은 노드는 전력 절감 모드로 들어갈 수 있다[4]. 그러나 이러한 ATIM 창은 비콘 간격이라고 하는 데이터 전송기간 동안 보내지는데 이 기간에서 에너지 소비가 비효율적으로 이루어지기 때문에 ATIM 창을 동적으로 변화시켜 효율적으로 전력을 절감하는 방법이 필요하다.

### 2. DPSM 과 Kalman Filter

#### 2.1 DPSM

2001 년에 제안된 DPSM(Dynamic Power Saving Mechanism)을 살펴보면 ATIM 창 크기를 동적으로 증감시키기 위한 몇 가지 규칙이 있다[4]. DPSM 의 주요한

특징을 살펴보면 먼저 IEEE 802.11 에 명시되어 있는 PSM(Power Saving Mechanism)과의 두드러진 차이점 두 가지 중 첫째는 ATIM 창이 동적으로 변화한다는 것이고 둘째는 데이터를 전송하는 비콘 간격동안 저장된 데이터의 전송이 끝난 후에 남은 기간 동안 전력 절감 상태로 바뀐다는 것이다.



(그림 1) 비콘 간격에 따른 절감모드

깨어있는 상태에서 전력 절감 모드로 변화하는데 800  $\mu$  sec 가 필요하며 전력 절감 모드에서 깨어 있는 상태로 변화 하는데 800  $\mu$  sec 가 필요하므로 전체 1600  $\mu$  sec 가 걸린다. 따라서 남겨진 비콘 간격이 1600  $\mu$  sec 이상이면 전력 절감 모드로 변화되고 그렇지 않을 경우에는 그대로 깨어있는 상태로 남겨진다. (그림 1)은 그러한 상태를 표현하였다. 또한 DPSM 알고리즘의 ATIM 창 크기를 변화시키기 위한 몇 가지 작동원리를 살펴보면 다음과 같다.

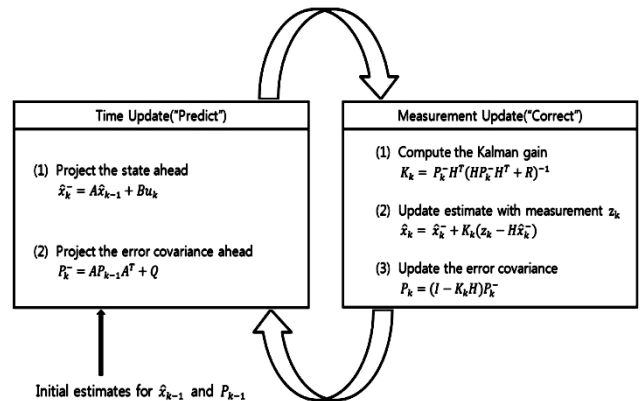
- 1) ATIM 창 동안 알리지 못한 패킷들의 수가 10 개 이상일 경우에는 다음 비콘 간격에서 해당 노드의 ATIM 창의 크기를 1 레벨 증가시킨다. 이 알고리즘 에서 1 레벨은 2  $\mu$  sec 의 크기 이다.
- 2) 노드들의 상태를 overhear 하면서 이웃한 노드의 창 크기가 2 레벨 이상 더 클 경우에도 역시 다음 비콘 간격에서 해당 노드의 창 크기를 1 레벨 증가시킨다.
- 3) ATIM 창이 종료된 이후에 다른 노드로부터 ATIM 프레임 받았을 경우 에도 다음 비콘 간격에서 해당 노드의 창 크기를 1 레벨 증가 시킨다.
- 4) ATIM 프레임은 하나의 비콘 간격 동안 3 번의 재 전송으로 제한한다. 만약 ATIM-ACK 를 3 번의 재 전송 후에도 받지 못한다면 패킷은 “mark” 되며 다음 비콘에 전송하기 위해서 다시 저장 된다. 이렇게 다시 저장된 패킷은 다음 ATIM 창 동안에 재 전송된다. 이러한 경우에 marked 된 패킷을 전송 받았을 경우에는 다음 비콘 간격에서 해당 노드의 창 크기를 1 레벨 증가 시킨다.
- 5) 만약 앞의 4 가지 경우에 해당 되지 않는다면 1 레벨 감소시킨다.

이러한 DPSM 알고리즘은 주요한 개선점을 내포한다. 즉, 정해진 증감 규칙을 통해서 해당 규칙이 적용되면 다음 비콘 간격에서 1 레벨(2  $\mu$  sec)만을 증가시키기 때문에 각 노드들의 ATIM 창 크기의 차이가 클 경우 모든

트래픽 상황에 적용시키기에는 무리다. 왜냐하면 한번의 비콘 간격 동안 증감하는 ATIM 창의 크기가 1 레벨로 정해져 있기 때문이다. 또한 전송해야할 패킷의 수가 많으면 많을수록 위와 같은 이유로 비효율 적이다

## 2.2. Kalman Filter 예측 기법

칼만 필터의 기본적인 아이디어를 보면 먼저 통계적인 기록(history)에 근거한 값을 구하고자 할 때, 데이터가 생성된 때 시마다 다음 연산에 사용될 통계적 연산 값을 계산해 놓음으로써 구할 수가 있다. 예를 들어 시간에 따라 추가되는 값을 포함한 평균값을 계산할 경우, 바로 전 단계에서의 평균값( $X'(n-1)$ )과 현재의 값( $X_n$ )만을 알면 현재 단계에서의 평균값을 구할 수 있다. 이와 같은 기법을 "반복적 자료 처리 (recursive data processing)"라고 하며, 최초 칼만 필터 이론의 개발 이유이기도 하다. 처리할 자료의 양이 그리 많지 않을 때는 모든 자료를 기억해두었다가 한번에 계산하는 것이 간편할 수도 있겠으나, 그 자료의 양이 방대하다면, 저장 장소 및 처리 시간을 고려하지 않을 수 없게 된다. 이러한 점은 자원 사용의 효율성 측면에서 칼만 필터의 장점으로 부각되며 또한 여타 다른 통계학적 확률 이론의 실제 적용에 있어서도 칼만 필터가 더 효율적이라고 말할 수 있는 근거가 된다[5].



(그림 2)칼만 필터의 재귀적 연산 과정

칼만 필터의 기본 식은 여러 가지 형태로 표현되곤 하지만 가장 일반적으로는, 다음과 같이 시스템에 대한 시스템 방정식(식 1)과 관측 방정식(식 2)으로 표현할 수 있다. 이 두 가지 방정식의 구동을 통해 칼만 필터는 다음 상태에서의 최적 추정 값을 구하게 된다. 두 방정식의 기본적인 동작 과정은 (그림 2)에 나와 있다 [6].

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_k \quad (\text{식 1})$$

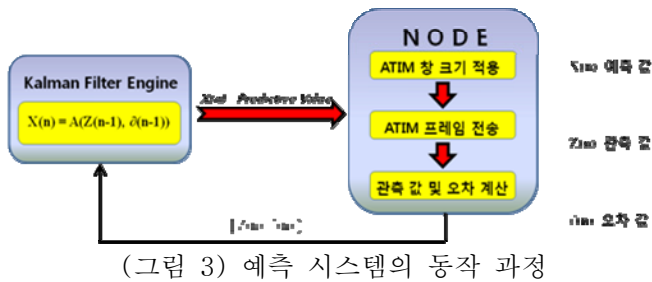
$$z_k = Hx_k + v_k \quad (\text{식 2})$$

### 3. 제안 기법

제안 기법이 구동하는 환경은 애드혹 네트워크이다. 칼만 필터를 적용하기 위한 첫 단계이기 때문에 선형적 칼만 필터를 적용한 예측 시스템을 모델링 하였으며, 따라서 전송 메시지의 발생률을 선형적으로 설정하였다.

#### 3.1 ATIM 창 크기 예측 시스템

ATIM 창 크기를 동적으로 할당하기 위해서는 예측 시스템을 탑재하여 동작할 특정 노드가 필요하다. 이 특정 노드는 각 노드가 데이터를 전송하기 위해 전송하는 ATIM 프레임의 수를 관측값으로서 측정하게 된다. 이 특정 노드는 임의로 설정한 슈퍼 노드로 일반적인 호스트 노드가 아니다. 따라서 무선 노드가 아닌 서버나 중계기가 그 역할을 맡을 수 있다.



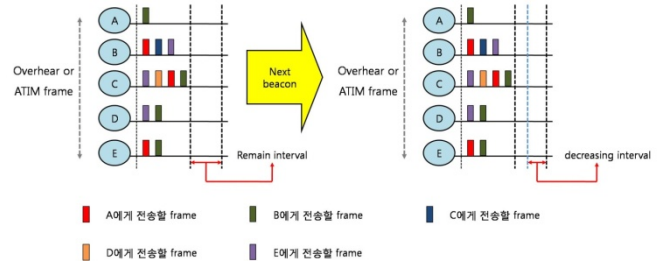
(그림 3) 예측 시스템의 동작 과정

(그림 3)은 예측 시스템의 동작 과정을 나타내고 있다. ATIM 주기가 칼만 필터 시스템에 적용될 상태 주기가 되며, 관측값은 수집된 ATIM 프레임 수 중 최대값이 된다. 칼만 필터 엔진을 탑재한 예측 시스템에서는 현재 관측값과 오차를 바탕으로 다음 상태에서 적용할 ATIM 창 크기를 예측한다. 이 과정은 각 주기마다 반복되며, 현재 주기에서 측정된 예측값은 다음 ATIM 주기에 각 노드들에게 전송되어 적용된다. 각 노드는 수신된 ATIM 창 크기 동안 ATIM 프레임을 전송하게 된다.

현재 제안하는 기법에서는 기본적인 칼만 필터의 구성 요소만을 환경 변수로 가정하여 시스템을 구축하였다. 여기서는 관측 값과 오차 값이 이에 해당하며, (식 2)에서 잡음 함수를 제외한 관측 함수  $Hx_k$  만을 ATIM 프레임 수 중 최대값을 구하는 연산으로 하여 구성하였다. 오차 값은 관측된 이전 단계에서의 예측 값과 현재 관측 값과의 차이로 하였다.

#### 3.2 ATIM 창 크기 동적 할당 기법

ATIM 창 크기를 동적으로 할당하기 위해서는 예측 시스템으로부터 구해진 다음 상태에서의 ATIM 창 크기를 각 노드에서 적용해야 한다. (그림 4)는 ATIM 창 크기를 동적으로 변화하는 것을 보여주고 있다.



(그림 4) ATIM 창 크기의 동적 변화

(그림 4)와 같이 ATIM 창 크기를 동적으로 변화시키기 위해서 다음과 같은 과정을 거쳐야 한다.

- 1) 예측 시스템을 통해 ATIM 창 크기 예측한다.
- 2) (n-1)번째 주기에 계산한 예측 값을 (n)번째 주기에 ATIM 프레임에 정보를 담아 브로드캐스트한다. 예측을 하기 위해서는 최종적으로 보내게 되는 ATIM 프레임의 수를 계산해야하기 때문에 (n-1)번째 주기에 알려줄 수가 없다. (n)번째 주기에 알려주더라도 바로 ATIM 창 크기를 조절할 수가 있으므로 아무런 문제가 발생하지 않는다. 기본적으로 ATIM 프레임은 총 4 바이트로 구성되어 있으며 각각의 구성요소는 Element ID, Length, ATIM window, Option 이다. 전송할 ATIM 의 정보는 Option 필드에 기록되는데 이 부분에 예측 값을 넣고, 예측 노드의 Element ID를 통해 구별하도록 하였다.
- 3) 예측 값을 적용하여 ATIM 창 크기를 조절한다.
- 4) 각 노드는 전송할 마지막 ATIM 프레임의 Option 부분에 전송한 최종 ATIM 프레임 수를 기록하여 브로드캐스팅한다.
- 5) 예측 노드는 수신한 ATIM 프레임으로부터 가장 큰 ATIM 프레임 수를 관측 값으로 결정하고 현재 주기에 적용된 예측 값과의 오차 값을 계산하여 다음 주기에 적용할 예측 값을 계산한다.

이와 같은 과정을 거쳐서 ATIM 창 크기의 동적인 변화가 이루어지게 된다. 만일 아무 노드도 전송할 데이터가 없다면 예측 노드는 관측 값을 1로 설정하게 된다. 만일 0으로 설정하게 되면 다음 주기에서 ATIM 창 크기가 0에 가까워질 확률이 높아지기 때문에 이를 방지하기 위한 것이다.

### 4. 실험 결과

#### 4.1 실험 환경

실험은 최근에 제안된 DPSM 기법과 이 논문에서 제안한 기법을 비교 하였다. 우선적으로 선형 칼만 필터를 모델링 하였기 때문에 발생하는 트래픽 로드를 선형적으로 설정하였다. 실험은 NS-2를 통해 수행하였으며 주요한 실험 파라미터 값은 [표 1]과 같다.

[표 1] 시뮬레이션 파라미터 값

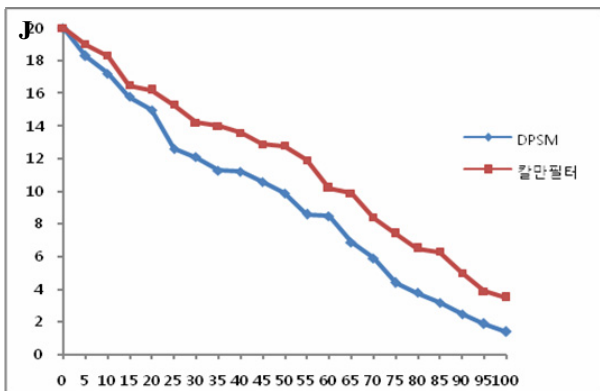
| 전송 파라미터          | Cost (소모전력, 시간) |
|------------------|-----------------|
| Transmit         | 1.65W           |
| Receive          | 1.4W            |
| Idle             | 1.15W           |
| Doze             | 0.045W          |
| Doze to Awake    | 800us           |
| Beacon interval  | 100ms           |
| ATIM window size | 2ms ~ 50ms      |

5. 결 론

본 논문에서는 기존에 ATIM 창 크기를 조절하여 전력 절감을 하고자 한 기법들 중 가장 최근에 제시된 DPSM 기법을 개선하고자 하였다. DPSM 기법은 트래픽 양이 집중될 경우에 큰 문제점을 안고 있다. 또한 DPSM 은 각각의 노드가 ATIM 창 크기가 다르기 때문에 빈번하게 ATIM 프레임의 재 전송 및 drop 이 발생한다. 이러한 단점을 극복하고자 위해 개발한 예측 시스템을 통해 예측된 값을 토대로 ATIM 창을 동적으로 변화시켜 네트워크의 효율성을 증대시키고 궁극적으로 네트워크의 생존 시간을 연장하였다.

4.2 네트워크 생존 시간

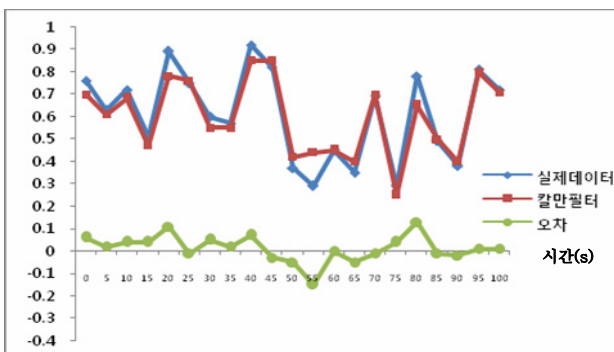
에너지 효율성을 측정하기 위해 네트워크의 생존 시간을 측정하였는데, 그 기준은 전체 노드의 평균 에너지 잔량으로 하였다. 왜냐하면 이는 곧 노드가 활동할 수 있는 여유 시간이기 때문이다. (그래프 1)은 네트워크 생존 시간을 측정한 결과를 나타내며, 실험 결과 제안 기법이 DPSM 기법보다 평균 28.6% 증가시켰다.



(그래프 1) 네트워크 생존 시간 시간(s)

4.3 예측 시스템 오차

칼만 필터를 응용한 예측 시스템을 통해 예측 값을 도출하였으며, 그 정확도를 분석하기 위해 오차 값을 측정하였다. (그래프 2)는 오차 값 측정에 대한 실험 결과이며, 평균 4.42%의 오차 확률을 나타내었다.



(그래프 2) 예측 시스템 오차

실험 결과 전체 네트워크의 생존 시간을 28.6% 증가시켰고, ATIM 창 크기 예측값의 오차는 4.42%로 나타났다. 이러한 결과를 통해 보았을 때 ATIM 창 크기를 동적으로 할당하는 것이 전체 네트워크의 생존시간을 보다 연장시킬 수 있는 것을 알게 되었다. 그리고 칼만 필터를 적용하여 선형적으로 변화하는 데이터 전송을 위한 ATIM 프레임의 수의 변화를 예측할 수가 있었는데, 앞으로 칼만 필터를 통한 예측 시스템을 다양한 분야에 확장 발전시킬 수 있는 토대가 되었다고 생각한다.

이번 논문에서 제안하고 실험한 결과는 한정된 네트워크 환경에서의 적용이었다. 차 후 보다 세부적이고 복잡한 네트워크 환경에서의 칼만 필터를 적용한 예측 시스템을 개발하고 이를 바탕으로 최적화된 자원 할당 기법을 연구할 필요성이 있다.

\* 이 논문은 2007년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

[1] IEEE 802.11 Working Group, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications," 1997.  
 [2] Suresh Singh, Mike Woo, and C. S. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," in *MOBICOM '98*, Oct 1998. pp. 181-190.  
 [3] Juan Carlos Cano and Pietro Manzoni, "Evaluating the energy-consumption reduction in a MANET by dynamically switching-off network interfaces," in *Proc. of the 6th IEEE Symposium on Computers and Communications*, Jul 2001. pp186-191  
 [4] Mike Loukides, "802.11 Wireless Networks The Definitive Guide", *O'REILLY*, 2002.  
 [5] Greg Welch, Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", SIGGRAPH 2001 Course 8, University of North Carolina at Calpel Hill, ©Copyright2001byACM, Inc.  
 [6] Welch G, Bishop G (1997) SCAAT: Incremental tracking with incomplete information, pp 333-344. *ACM SIGGRAPH '97*