

---

# 무선메쉬네트워크환경에서 보정계수를 이용한 MAC프로토콜 동기화 개선 알고리즘

윤상만\* · 이순식\* · 이상욱\*\* · 전성근\*\* · 이우재\*\*\*

Improved MAC Protocol Synchronization Algorithm using Compensating value  
in Wireless Mesh Networks

Sang-Man Yun\* · Soon-Sik Lee\* · Sang-Wook Lee\*\* · Seong-Geun Jeon\*\* · Woo-Jae Lee\*\*\*

## 요 약

무선메쉬네트워크환경을 지원하는 TDMA기반 MAC프로토콜은 기존의 패킷기반인 802.11 DCF/EDCA 프로토콜보다 많은 장점을 가지고 있다. 하지만, TDMA기반의 MAC프로토콜은 MP(Mobile Points)들의 발진기(Oscillator) 편차와 분산 환경의 특성으로 인해서 새로운 동기화 기법이 필요하다. 본 논문에서는 TDMA기반의 MAC프로토콜에서 동기화 방법을 제안한다. MP들을 동기화 상태에 따라 4가지로 구분해서 MP가 동기화 상태일때 비콘을 이용해서 TDMA프레임의 시작시간을 Time Skew의 변동 범위내에서 결정하도록 한다. Clock Drift에 의해 발생하는 Time Skew는 보정계수를 통해서 자동으로 보정할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 이 제안된 내용을 기반으로 General Time Error값과 Clock Drift Rate가 실험을 통해 안정적이며 최소의 값이 산출되는 것을 확인하였다.

## ABSTRACT

TDMA based MAC protocol supporting wireless mesh network has many advantage rather than 802.11 DCF/EDCA protocol based on packet. But TDMA based MAC protocol require new synchronization method because of mobile point oscillator's difference, and distributed environments. This thesis propose synchronization method for TDMA based MAC protocol. It divides MP(Mobile Points) states into 4 types. If MP is in sync mode, it schedules TDMA local start time in time skew interval using beacon. It proposes compensation algorithms to compensate time skew caused by clock drift. This proposal show that general time error and clock drift rate value reduced and get synchronized result.

## 키워드

Wireless Mesh Network, Synchronization, MAC Protocol, TDMA

---

\* 경상대학교 대학원 정보통신공학과  
\*\* 경상대학교 정보통신공학과 교수  
\*\*\* 경상대학교 정보통신공학과 교수 (교신저자)

접수일자 : 2009. 07. 20  
심사완료일자 : 2009. 08. 07

## I. 서론

무선메쉬네트워크환경은 완전분산환경으로 기존의 무선네트워크환경과는 네트워크구성, 이동성으로 인한 네트워크의 잦은 혼잡성 발생, 관리서버의 부재등은 성능을 제대로 발휘하지 못하는 경우가 발생하기도 하고 여러가지 기능면에서 많은 차이점을 가지고 있다. 하지만, 이러한 기능을 구현하기 위해서는 아직도 MAC프로토콜을 개선하기 위한 다양한 방법들의 연구가 진행되고 있다.

TDMA기반 MAC프로토콜의 제안은 무선메쉬네트워크에서 가장 좋은 방법이지만, 복잡성에 따른 많은 비용을 필요로 한다. 특히, 동기화는 전체적인 동작을 결정하는 중요한 부분이다. 무선메쉬네트워크에서 MP(Mobile Point)들의 동기화가 정확히 이루어져야만 TDMA기반의 기능들이 동작할 수 있으며 만약 정확한 동기화가 이루어지지 않을 경우 대역폭의 상당 부분이 Guard Time에 사용되어지는 문제점이 발생하게 된다. 동기화는 무선메쉬네트워크에서 가장 중요한 전원관리에도 영향을 주며 동기화 방법에 따라 MP들이 동기화 준비단계, 동기화 상태, 간섭에 의한 대기상태 등으로 구분된다.

본 논문에서는 이러한 동기화 방법 및 Clock Drift에 의해 발생하는 문제를 보정계수를 이용해서 보정하는 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 2장에서는 기존의 동기화 관련 연구들과 문제점을 살펴보고 3장에서는 MP들의 동기화에 필요한 State를 정의하고 Guard Time내에서 TDMA프레임의 시작시간을 보정하는 방법, 보정계수를 이용한 Time Skew 보정방법에 대한 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 GTE(Global Time Error)와 CDR(Clock Drift Rate)율의 변화에 따른 동기화에 대한 결과를 분석하고 5장에서 결론을 맺었다.

## II. 관련 연구

무선메쉬네트워크는 동기화를 위한 중앙 제어서버가 존재하지 않기 때문에 동기화는 분산된 MP들에 의해서 자동으로 이뤄져야 한다. TDMA는 동기화가 지원되지 않으면 동작이 제대로 구현되지 않는 특성을 가지고

있다.

동기화와 관련된 연구와 문제점을 살펴보면 TSF(Time Synchronization Function)[1]은 IEEE 802.11에서 정의한 표준으로 분산환경 네트워크들의 동기화 방법이며 각각의 MP들은 Local Time을 유지하면서 비콘을 이용해서 시간정보를 주기적으로 브로드캐스트하는 방법이다. 모든 MP들은 동등하게 비콘을 생성하고 전달할 수 있으며 비콘을 가장 빠른 Clock의 MP에 맞춰 동기화하는 방법이다. 하지만, L.Huang 등은 TSF의 확장성에 문제가 있다는 것을 지적했다[2]. BBS네트워크환경이 적정수준일 경우 동기화의 문제가 발생할 가능성은 미비하지만 대규모의 Ad-hoc 네트워크에서 트래픽이 과다할 경우 비콘이 정해진 시간에 도착하지 못함으로 인해 동기화가 이루어지지 않을 수 있다는 것이다.

TSF에 기반을 둔 MTSF(Multi-hop Timing Synchronization Function)는 네트워크에서 가장 빠른 Clock의 MP와 연결을 지속적으로 유지하면서 이 경로를 통해서 시간정보를 지속적으로 전달하는 방식이다. MTSF는 적은 비용으로 안정적인 Clock의 정확도를 유지할 수 있다[3]. 하지만, Ad-hoc 네트워크에서 빈번하게 발생하는 음영노드와 같은 문제점에 대해 전혀 고려되지 않았다.

RBS(Reference Broadcast Synchronization) 프로토콜 [4]은 접속지연이나 계산지연과 같은 동기화의 정확도에 영향을 주는 지연을 고려한 동기화 방식이다. MP는 주기적으로 물리계층 브로드캐스트 방식으로 비콘을 전달한다. 이러한 방식은 불확실한 지연을 방지하지만 오버헤드와 메모리 소비와 같은 고비용을 유발시킨다.

GPS(Global Position System)[5]를 이용한 방법도 있지만 별도의 수신 장치를 달아야만 하는 번거로움이 존재하고 있다.

W.Zhu[6]은 분산 환경에서 TDMA에 기반을 둔 동기화기법을 제안하였다. 별도의 DCF77이라는 Radio Clock Signal을 이용한 방법이며 외부의 Clock을 통한 동기화 방법은 모든 시스템에 적용 가능하고 다중 홉네트워크에 완벽하게 작동할 수 있는 환경을 제공한다. 하지만, GPS와 마찬가지로 별도의 수신 장치가 필요하며 많은 전력소비를 유발시키는 단점을 갖고 있다.

### III. 제안하는 동기화 방법

본 논문은 TDMA프레임안에 불필요한 비콘 전달로 인한 오버헤드를 줄이면서 동기화 정보를 전달하도록 제안한다. 비콘을 통해 전달받은 TDMA프레임의 시간 정보를 이용해서 다음에 전송할 TDMA프레임의 시작 시간을 결정하는 방법이다. 또한 MP마다 서로 다른 Clock의 차이를 보정하는 방법을 통해 완전 분산환경에서 동기화를 위해 필요한 Finite State Machine을 제안하고 동기화된 상태에서 발생하는 Time Skew 보정방법 및 Clock Drift를 조정하는 알고리즘을 제안한다.

#### 3.1 Beacon의 정의

MP들이 무선메쉬네트워크에서 동기화를 유지하기 위해 그림 1과 같이 비콘 프레임 구조를 정의 하였다. 비콘은 관리프레임중 하나로 무선메쉬네트워크의 존재를 알리고 이동 노드가 MP를 찾아 무선메쉬네트워크에 참여할 수 있도록 주기적으로 전송하는 기능을 가진다. TA(Transmitter Address)는 비콘 전송 MP의 MAC Address를 나타낸다.

BSSID(Basic Service Set Identification)는 BSS네트워크의 ID를 갖고 있으며 비콘을 전송한 MP가 속한 네트워크를 구분하게 한다. Frame Body안의 Transmitted Time Slot은 비콘이 전송된 시간 정보를 가지고 있으며 이 정보를 이용해 비콘을 수신한 MP는 비콘을 전송한 MP가 TDMA프레임을 전송하기 시작한 시간정보를 유추할 수 있다.

MP는 이 정보를 이용함으로써 Local Clock을 유지하지 않아도 되며 TDMA프레임의 전송시간만을 기록함으로써 동기화에 필요한 역할을 한다.

기존의 TSF 동기화 기법에서는 비콘을 모든 MP들이 동등하게 생성하고 전달한다. 하지만, 본 논문에서는 MP들을 Type1 MP, Type2 MP로 구분하고 각각 비콘을 생성하는 역할을 구분하였다. Type1 MP는 네트워크내에서 첫번째 비콘을 전송하고 프레임 구조와 TDMA프레임의 시작시간을 기술하는 권한을 갖는다. Type2 MP는 비콘을 수신하기 전에는 비콘을 전송할 수 없지만 비콘을 수신하게 되면 수신된 비콘을 보낸 MP와 TDMA프레임 동기화를 시작하고 비콘을 전송할 수 있게 된다. 이런 방법을 통해 MP들은 Type1 MP와 동일한 시간 정보를 공유하게 되고 지속적으로 주변의 MP들에게 전송함

으로써 동기화를 유지할 수 있다.

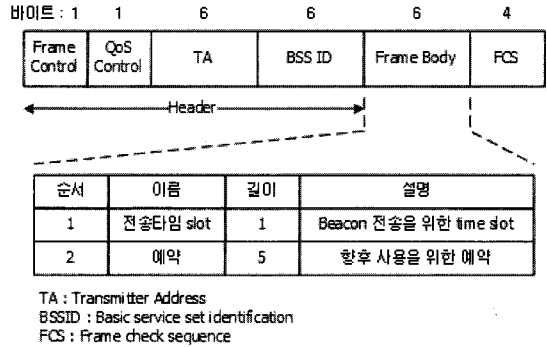


그림 1. 비콘 프레임 구조  
 Fig 1. Beacon frame format

#### 3.2 MP Finite State Machine

MP들은 항상 동기화 상태에 있지 않기 때문에 동기화에 필요한 상태를 정의하고 동기화가 이루어지지 않았을 때의 상태와 동작을 정의해야 한다.

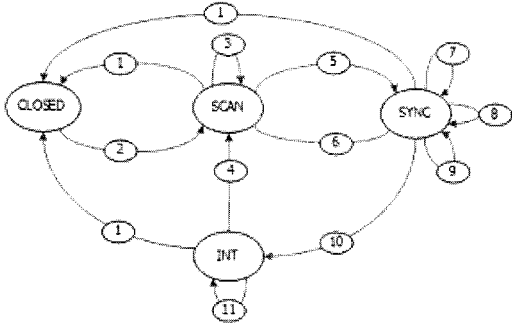
MP Finite State Machine의 상태변이는 그림 2와 같이 4단계로 구분된다. 각 단계마다 동작 타이머가 필요하고 동작 타이머는 표 1에 정의하였다. MP가 초기 작동하게 되면 CLOSED단계에서 SCAN으로 상태가 변경된다. Type1 MP의 경우 T1타이머를 작동시키고 비콘을 검색한다.

MP가 SCAN상태에서 비콘을 찾아내면 비콘을 보낸 MP와 동기화를 통해 첫번째 TDMA프레임을 생성한 후 Type1 MP는 T1타이머를 종료하고 SYNC상태로 변경된 후 T2타이머를 작동한다.

Type1 MP가 T1타이머의 시간안에 비콘을 찾지 못하면 자신만의 비콘을 생성하여 전달하고 SYNC상태로 변경되어 MP는 TDMA Transmitted Time Slot을 이용해 처음 수신한 비콘과 동일한 TDMA프레임 구조를 가진 비콘을 통해서만 데이터 전송을 한다.

만일 SYNC상태에서 TDMA프레임 구조가 다른 비콘을 수신하게 되면 T2타이머를 종료하고 T3타이머를 생성한 후 INT상태로 변경하고 MP는 데이터와 비콘을 전송하지 않고 비콘을 검색하게 된다. 이 상태에서 계속 유효하지 않은 비콘을 수신하게 되면 T3타이머를 초기화하고 계속 INT상태로 기다리게 된다.

상태	설명	TDMA 동작
CLOSED	Closed state : MP들이 동작하지 않을 때	미동작
SCAN	Scan state : MP가 beacon을 찾을 때	미동작
SYNC	Synchronized state : 인접 MP와 동기화된 상태	동작
INT	Interfered state : MP가 무효한 beacon을 수신한때	미동작



- 입출력 설명**
1. 전원오프 또는 대기상태
  2. 전원은 또는 작업상태전환, T1 타이머 작동
  3. Signal 검색, T1 타이머 리셋
  4. T3 타이머 시간초과
  5. T1 타이머 시간초과, Beacon 전달
  6. Beacon 수신, T1 타이머 취소, T2 타이머 작동
  7. T2 타이머 시간초과, Beacon 전달
  8. 유효 beacon 수신, T2타이머 리셋
  9. T2타이머 간격도인 2개이상의 beacon 수신, Beacon 전달, Beacon 전달레벨 증가
  10. 무효 beacon 수신, T2타이머 취소, T3타이머 작동
  11. 무효 beacon 수신, T3 타이머 리셋

그림 2. MP 상태 변이 그래프  
Fig 2. MP Finite State Machine

하지만, T3타이머 시간이 초과되면 MP는 SCAN상태로 변경되고 다시 비콘을 검색하게 된다.

표 1. MP 상태 타이머  
Table 1. Timer for MP State

타이머	상태	간격공식
T1	SCAN	Mesh Beacon Period SCAN $10 \times (BT_S + BT_W) \times P_{TDMA}$
T2	SYNC	Mesh Beacon Period SYNC 다음구간에서 임의로 결정 $[BT_S, BT_S + BT_W] \times P_{TDMA}$
T3	INT	Mesh Int Period $5 \times (BT_S + BT_W) \times P_{TDMA}$

$BT_S$  : 비콘 생성주기 계산을 위한 최소한의 정수

$BT_W$  : 비콘 생성주기 계산을 위한 Window Size  
 $P_{TDMA}$  : TDMA 프레임의 주기

**3.3 TDMA 프레임 시작시간 보정**

MP가 SYNC상태가 되면 TDMA프레임을 전송할 수 있는 상태가 된다. 그림 3에서와 같이 MP가 자체적으로 생성하는 TDMA 프레임의 시작시간과 비콘에 의해 동기화되어 생성되어야할 시작시간과는 차이가 나타난다.

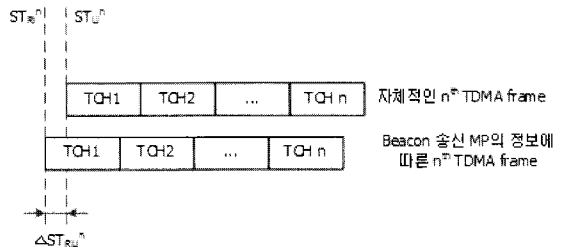


그림 3. Clock Drift에 따른 Time Skew  
Fig 3. Time Skew of Clock Drift

$ST_{Li}^n$  : MP i에 의해서 생성되는 시작시간  
 $ST_{Ri}^m$  : 비콘을 전송한 MP의 동기화 정보를 이용해서 계산된 TDMA 프레임 시작시간으로 지연시간등을 고려하지 않은 상태 값  
 $\Delta ST_{RLi}^n$  :  $ST_{Li}^n$  과  $ST_{Ri}^m$  의 시간간격

$\Delta ST_{RLi}^n$  는 Local Clock과 비콘을 통해 전달받은 TDMA프레임의 시작시간과의 Time Skew이다. 동기화를 유지시키기 위해서는  $\Delta ST_{RLi}^n$  의 값을 0에 가깝도록 Local Clock을 동기화시켜주거나 Guard Time안에서  $\Delta ST_{RLi}^n$  값이 수용되면 된다. 그림 4는 Guard Time의 예를 보여주고 있다.

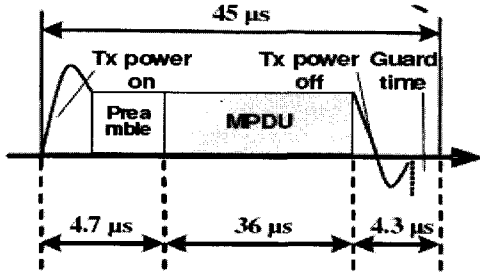


그림 4. TDMA 프레임 Guard Time  
Fig 4. Guard Time in TDMA Frame

일반적으로 아무런 비콘이 도착하지 않은 상태에서  $ST_{Li}^n$  값은 식 1과 같이 결정된다.

$$ST_{Lj}^n = ST_{Lj}^{n-1} + P_{TDMA} + P_{TDMA} \times d_i \quad (1)$$

$d_i$ 는 MP가 Local Clock을 결정하기 위해 가지고 있는 발진기의 Drift Rate로 인해 발생하는 Drift Effect를 보완하기 위한 보정계수이다. 초기  $d_i$ 의 값은 0을 갖게 되지만 유효한 비콘을 수신하면서 동기화를 유지하기 위해 값의 조정을 받게 된다.  $P_{TDMA}$ 는 TDMA 프레임 주기 이다 첫 번째 비콘이 도착하게 될 경우 MPi는 TDMA 프레임의 시작 시간을 식 2와 같이 결정한다.

$$ST_{Lj}^1 = ST_{Ri}^0 + P_{TDMA} \quad (2)$$

그림 3에서 보듯이  $\Delta ST_{RLi}^n$ 는  $ST_{Ri}^n - ST_{Li}^n$  이고 이것은 전달지연과 Clock Drift를 더한 것과 동일하다. 즉  $t_{ij}$ 가 전파지연이라 하고  $\Delta X_{ij}$ 가 MPi에서 MPj로의 Time Skew라 하면  $\Delta ST_{RLi}^n$ 의 범위는 식 3과 같다.

$$t_{ij} - |\Delta X_{ij}| < \Delta ST_{RLi}^n < t_{ij} + |\Delta X_{ij}| \quad (3)$$

$\Delta ST_{RLi}^n$  값이 그림 4의 Guard Time내에서 결정되어야 하므로 동기화를 유지하기 위해서는 식 4와 같이  $\Delta ST_{RLi}^n$ 의 최종 허용 범위가 결정된다.

$$-|\max(\Delta X_{ij})| < \Delta ST_{RLi}^n < \max(t_{ij}) + |\max(\Delta X_{ij})|$$

$$T_{guard} > \max(t_{ij}) + |\max(\Delta X_{ij})| \quad (4)$$

여기서  $T_{guard}$ 는 Guard Time이며 지연시간과 Time Skew를 고려한 새로운 TDMA 프레임의 시작시간은 식 5와 같이 구할 수 있다.

$$ST_{Lj}^n = ST_{Lj}^{n-1} + \frac{\Delta ST_{RLi}}{\delta} + P_{TDMA} + P_{TDMA} \times d_i \quad (5)$$

$\delta$ 은 일반 정수값으로 1 또는 2이다.  $\Delta X(0, 0.5)$ 로 독립된 값이다. 만일  $|\max(\Delta X_{ij})| < \Delta T_{guard}$  라면  $\delta=1$ 이고 그렇지 않다면  $\delta=2$ 이다.

$|\max(\Delta X_{ij})| < \Delta T_{guard}$ 인 경우  $\Delta ST_{RLi}^n$ 는 지연시간인  $t_{ij}$ 의 영향을 받아 위의 식들에 의해 식 6과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$ST_{Lj}^n = ST_{Rj}^{n-1} + P_{TDMA} + d_i P_{TDMA} \quad (6)$$

반대로  $|\max(\Delta X_{ij})| > \Delta T_{guard}$  라면 Clock Drift는  $\Delta ST_{RLi}^n$ 에 큰 영향을 주게 된다.  $\Delta X_{ij}$ 는 양의 수 또는 음의 수가 될 수 있으므로 Clock Drift의 영향을 줄이기 위해서는  $\delta=2$ 가 되어야 한다.

### 3.4 보정계수를 이용한 Time Skew 보정

앞에서 TDMA 프레임의 동기화를 위한 시작시간 보정방법을 제안하였다. 하지만, Clock Drift에 의해 발생하는 Time Skew는 존재할 수 있는데 이것은 보정계수 ( $d_i$ )를 이용해서 보정할 수 있다.

일반적인 발진기의 Clock Error와 시간과의 관계는 식 7과 같다.

$$x(t) = a + bt + \frac{1}{2}Dt^2 + \varepsilon(t) \quad (7)$$

- x(t) : 발진기의 Time Error
- a : 초기시간 Offset
- b : Frequency Offset
- D : Frequency Drift
- $\varepsilon(t)$  : Random Error

MPi와 MPj가 일반적인 비콘을 받아서 동기화되었다고 할 경우 다음 비콘과의 Time Skew는 식 8과 같다.

$$\Delta X_{ij} = (b_i - b_j) \times t + \Delta \varepsilon(t) \quad (8)$$

$b_i$ 와  $b_j$ 값은 물리적인 Frequency Offset이므로 변하지 않는다. 그러나 새로운 TDMA프레임이 생성될 때  $d_i$ 는 MP에 의해 Clock Drift 보정을 위해 사용된다.

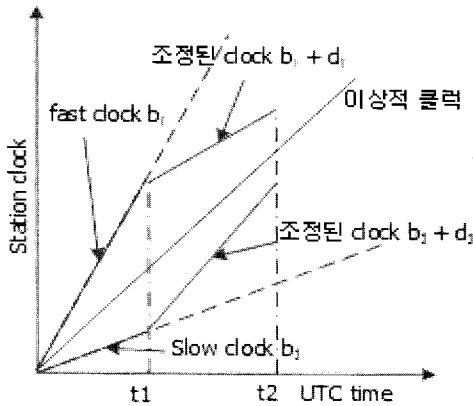


그림 5. Clock Drift 보정 그래프  
Fig 5. Compensation Graph for Clock Drift

그림 5에서와 같이 가장 이상적인 Clock은 가운데 실선의 경우이고 MPi는  $b_i > 0$ 으로 빠른 Clock이며 MPj는  $b_j < 0$ 으로 느린 Clock이다. 시간이 지날수록 둘 사이의 간격은 멀어져  $T_{guard}$ 의 범위를 벗어나면 동기화가 이탈된다.  $t_1$ 의 시간에는 Time Skew가  $\Delta X_{ij} = (b_i - b_j) \times t_1$ 이다. 보정계수인  $d_i, d_j$ 를 이용한  $t_2$ 에서의 Time Skew는  $\Delta X_{ij} = (b_i + d_i - b_j - d_j) \times (t_2 - t_1)$ 으로  $t_1$ 보다 그 값이 작아졌음을 알 수 있다.

$d_i$ 를 이용한 Time Skew보정은 Fast Compensation과 Slow Compensation으로 구분한다. 초기에  $d_i$ 값의 변경

범위를 크게 함으로써 Time Skew의 범위를 줄이게 되고 어느 정도 Time Skew가 줄어들게 되면  $d_i$ 값의 변경범위를 줄임으로써 동기화에 필요한  $d_i$ 값을 고정하게 되는 것이다. 이러한 보정이 끝나게 되면  $b_i + d_i$ 값은  $b_j + d_j$ 와 동일하게 된다.

#### IV. 성능 평가

동기화 알고리즘 성능을 테스트하기 위해 표 2와 같이 C++을 사용하는 SDL기반의 시뮬레이터를 이용하였으며 시뮬레이터 구조와 메인 컴포넌트들은 그림 6과 같이 구성을 하였다.

표 2. 알고리즘 의사코드  
Table 2. Algorithm Pseudo-code

```

When  $T_{SYN} < T_i^n < T_{slow}$  (fast compensation)
if  $\Delta ST_{RLi}^n > \max(t_{ij})$ 
    then  $d_i = d_i + 5ppm$ 
else if  $\Delta ST_{RLi}^n > 2 * \max(t_{ij})/3$ 
    then  $d_i = d_i + 2ppm$ 
else if  $\Delta ST_{RLi}^n < -2 * \max(t_{ij})/3$ 
    then  $d_i = d_i - 2ppm$ 
else if  $\Delta ST_{RLi}^n < -\max(t_{ij})$ 
    then  $d_i = d_i - 5ppm$ 

When  $T_{slow} < T_i^n < T_{adj}$  (slow compensation)
if  $\Delta ST_{RLi}^n > \max(t_{ij})$ 
    then  $d_i = d_i + 2ppm$ 
else if  $\Delta ST_{RLi}^n > 2 * \max(t_{ij})/3$ 
    then  $d_i = d_i + 1ppm$ 
else if  $\Delta ST_{RLi}^n < -2 * \max(t_{ij})/3$ 
    then  $d_i = d_i - 1ppm$ 
else if  $\Delta ST_{RLi}^n < -\max(t_{ij})$ 
    then  $d_i = d_i - 2ppm$ 
    
```

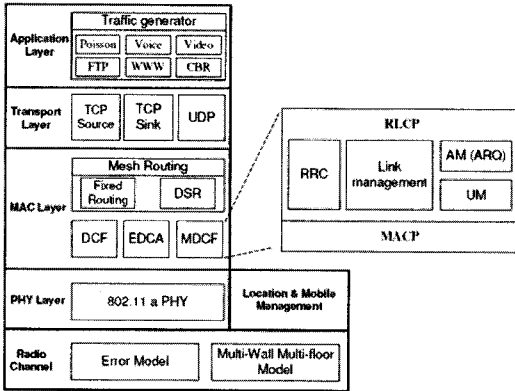


그림 6. 시뮬레이터 구조  
Fig 6. Simulator layout

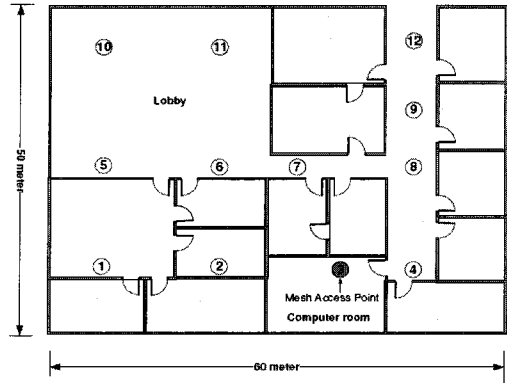


그림 7. 시뮬레이션 테스트 환경  
Fig 7. Simulation Test Environment

동기화 알고리즘은 그림 7과 같은 환경을 시뮬레이터 내에 가상으로 구축하고 세부사항은 IEEE 802.11a PHY 이용, 벽에 의한 경로손실 16dB, 각 MP의 전송파워 80mW, 전송을 위한 비콘 16 QAM 1/2, 비콘의 전송범위는 일반 공간에서 60m, 하나의 벽이 있을 때는 36m, 두 개의 벽이 있을 때는 7m, 총 12개의 MP들은 각각의 방들과 연결될 수 있도록 배치되었으며 최대 hop 개수는 3, MP 3번이 인터넷과 연결된다고 가정하였다. 동기화 성능을 측정하기 위해 GTE를 이용하였다.

그림 8은 임의의 6개 MP를 선택해서 GTE값을 측정 한 결과를 보여준다. 시간이 경과할수록 GTE값과 Clock Drift 비율도 작아지는 것을 확인할 수 있다. TDMA프레임은 시뮬레이션의 초기에는 Clock Drift의 차이가 0.02 - (-0.02) = 0.04 us, GTE는 4us로 차이가 컸으며 0초에서 3초의 시간구간에서 Fast Compensation이 진행되었고 MP 들은 보정계수  $d_i$ 를 빠르게 조정하였다. 최종적으로 TDMA프레임은 Clock Drift 차이는 0.01-0.002  $\approx$  0.01 us, GTE도 0.7us 로 줄었다.

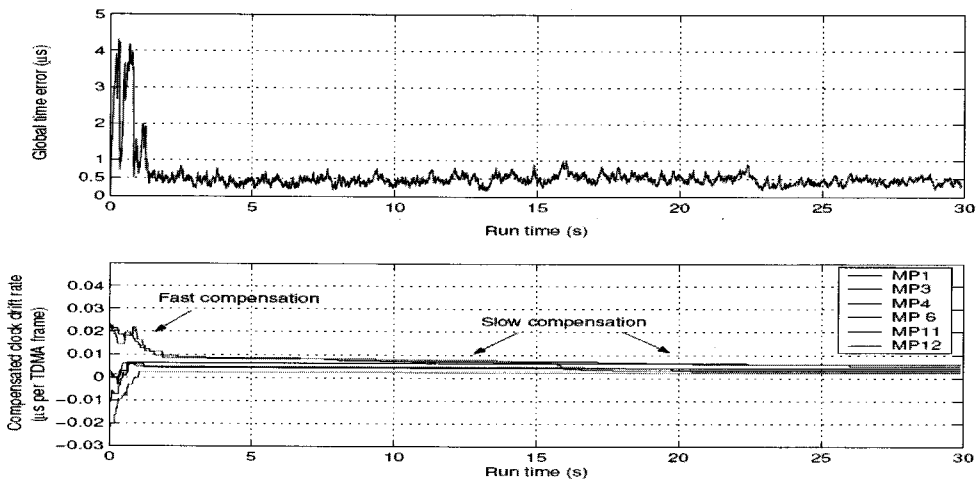


그림 8. GTE와 Clock Drift Rate 보정 그래프  
Fig 8. GTE and Clock Drift Rate Compensated Graph

본 논문에서 제안하는 동기화 기법은 시뮬레이션을 통해 정상적으로 작동하고 있음을 확인하였으며 매우 정확한 동기화 성능을 구현할 수 있음을 알 수 있다.

시간이 지남에 따라서 전체적인 보정계수의 값이 줄어들게 되어 테스트에서 사용된 6개의 MP들은 확정된 보정계수를 갖게 되고 Clock Drift에 따른 Time Skew가 줄어들고 이로 인해 GTE값이 적어지게 되어 동기화 상태가 된다.

TDMA기반 MAC프로토콜인 경우 이러한 정확한 동기화는 전체적인 시스템의 동작을 보장해 주기 때문에 본 논문에서 제안하는 TDMA 기반의 MAC프로토콜 동기화 기법은 매우 효과적임을 알 수 있다. 또한 비콘의 사용을 최소화함으로써 불필요한 부하를 줄이는 효과를 제공한다.

본 논문에서 제안한 동기화 기법을 적용한 TDMA기반의 MAC프로토콜과 기존의 DCF방식의 프로토콜과의 최대전송률을 비교한 결과는 그림 9와 같이 도시하였으며 DCF의 경우 PHY모드가 같을 경우 MSDU의 크기가 커질수록 전송률이 좋아진다. TDMA기반 MAC프로토콜의 경우 특정 PHY모드에서 최대전송률은 MSDU크기가 늘어날수록 증가하였지만 네트워크가 포화상태가 되면 더 이상 늘어나지 않았으며 모든 PHY모드에서 최대 전송률은 0.6을 유지하였고 MSDU의 크기가 크지 않을 경우 DCF보다 성능이 좋은 것을 확인하였다.

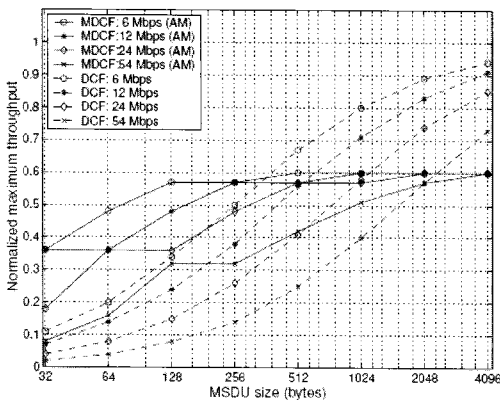


그림 9. 단일홉에서 최대 전송률  
Fig 9. Maximum single-hop throughput

## V. 결론

MAC프로토콜이 무선메쉬네트워크환경에 맞게 수정되기 위해서는 재설계되어지는 것이 성능면에서 좋은 결과를 가져온다. 하지만, TDMA는 동기화를 위해 특별한 방법을 제공하지 않으면 전체적인 시스템이 동작하지 않는 특성이 있다.

본 논문에서는 TDMA프레임의 시작시간을 동기화하기 위해 보정계수( $d_i$ )를 이용한 동기화 기법을 제안하였다. 각 MP마다 서로 다른 Clock Rate에 따른 Time Skew로 인한 TDMA프레임의 시작시간을 보정하기 위해 시간을 결정할 수 있는 방법을 제안하였으며 보정계수( $d_i$ )를 이용한 Clock Rate 조정 알고리즘도 제안하였다.

본 논문에서 제안한 동기화 기법은 시뮬레이션을 통해서 각 MP들의 Clock Drift의 차이를 줄일 수 있었고 GTE값도 허용범위 안에서 안정적으로 유지됨을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] IEEE Std. 802.11. Wireless LAN Media Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. New York, 1999.
- [2] L. Huang, T. Lai. On the scalability of IEEE 802.11 ad hoc networks. In Proc. ACM MobiHoc 2002, Lausanne, Switzerland, Jun. 2002.
- [3] J. So and N. Vaidya. MTSF: A Timing Synchronization Protocol to Support Synchronous Operations in Multi-Hop Wireless Networks. Technical Report, Oct. 2004. Available from: <http://www.crhc.uiuc.edu/wireless/groupPubs.html>
- [4] J. Elson, L. Girod and D. Estrin. Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts. In Proc. 5th symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI), Dec. 2002.
- [5] ED Kaplan. Understanding GPS: Principles and Applications. Artech House, 1996.
- [6] W. Zhu. TDMA frame synchronization of mobile stations using a radio clock signal for short range



communications. In Proc. IEEE VTC 1994, Stockholm, Jun. 1994.

저자소개



윤 상 만(Sang-Man Yun)

1998년 경남대학교 전자공학과학사  
2005년 경남대학교 전자공학과석사  
2008년 경상대학교 박사과정수료

※ 관심분야: 유무선 통합 네트워크, 차세대통신



이 순 식(Soon-Sik Lee)

2006년 경남대학교 전자공학과학사  
2009년 경상대학교 석박사과정수료

※ 관심분야: 네트워크 보안, VoIP



이 상 욱(Sang-Wook Lee)

1977년 부산대학교 전자공학과학사  
1988년 부경대학교 전자공학과공학  
석사  
2000년 부경대학교대학원  
전자공학과 공학박사

1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수  
해양산업연구소 연구원

※ 관심분야: 신호처리



전 성 근(Seong-Geun Jeon)

1970년 항공대학교 통신공학과학사  
1982년 건국대학교 전자공학과  
공학석사  
1996년 경상대학교 대학원  
전자공학과 공학박사

1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수  
해양산업연구소 연구원

※ 관심분야: 전자장 및 마이크로파회로설계



이 우 재(Woo-Jae Lee)

1973년 항공대학교 전자공학과학사  
1982년 건국대학교 전자공학과  
공학석사  
2001년 경남대학교 대학원  
전자공학과 공학박사

1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수  
해양산업연구소 연구원

※ 관심분야: 이동통신