

# 무선 센서망에서의 주파수 차이 추정 비동기 Ranging 방식

남 윤 석<sup>†</sup> · 허 재 두<sup>††</sup>

## 요 약

무선 센서망에서 이동노드의 위치를 추정하는데 센서노드의 클럭주파수 차이는 TOF 추정에 중요한 파라메타이며, 이동노드와 고정노드 간의 거리 추정에 크게 영향을 미친다. IEEE802.15.4a에서는 별도의 유선 등에 의한 망동기 공급이 없는 상태에서도 주파수 차이에 둔감한 비동기 TWR 및 SDS-TWR 거리 추정 방식을 제안하고 있다. 그러나 제안된 비동기 TWR 및 SDS-TWR 방식은 여전히 노드 쌍에 따른 주파수 차이, 프레임 처리 시간, 프레임 처리 시간 차이 등에 의한 영향을 충분히 제거하지 못하고 있다. 특히 주파수 차이가 큰 저가의 발진기 사용, 서로 다른 하드웨어 및 소프트웨어에서 동작하는 센서노드는 더 큰 위치추정 오류를 유발할 수 있다. 본 논문은 주파수 차이를 추정하는 방식을 제안하고, 기존의 TWR 및 SDS-TWR 방식에 적용하였다. 시뮬레이션을 통하여 주파수 차이 추정을 적용한 제안된 방식은 주파수 차이의 영향을 감소시켜 TWR 및 SDS-TWR 등의 성능을 개선시켰으며, 25cm 이하의 위치오류가 발생하는 것을 확인하였다.

키워드 : 무선센서망, 실내측위, 거리추정, 위치추정, 비동기 거리추정, 주파수 차이

## Asynchronous Ranging Method using Estimated Frequency Differences in Wireless Sensor Networks

Yoon-Seok Nam<sup>†</sup> · Jae-Doo Huh<sup>††</sup>

### ABSTRACT

The clock frequency difference of sensor nodes is one of main parameters in TOF estimation and affect to degrade ranging algorithms to estimate positions of mobile nodes in wireless sensor networks. The specification of IEEE802.15.4a describes asynchronous TWR and SDS-TWR insensitive to frequency difference without any additional network synchronization. But the TWR and SDS-TWR can not eliminate sufficiently the effect of frequency difference of node pair, packet processing delay and its difference. Especially use of low cost oscillator with wide range offset, sensor node with different hardware and software can make the positioning errors worse. We propose an estimation method of frequency differences, and apply the measured frequency differences to TWR and SDS-TWR. We evaluate the performance of the proposed algorithm with simulation, and make certain that the proposed method enhances the performance of existing algorithms with positioning errors less than 25 cm.

Key Words : Wireless Sensor Network, Indoor Location Awareness, Ranging, Positioning, Asynchronous Ranging, Frequency Difference, Frequency Offset

### 1. 서 론

측위 기술은 GPS(Global Positioning Service)를 시작으로 이동통신분야, 텔레메틱스, 홈네트워크, 센서네트워크 등 산업 전 분야에 적용되고 있는 중요한 기술이다. 실외에서는 주로 GPS 위성을 활용하는 것이 대부분이며, 휴대폰 망에서는 GPS를 활용하지 않고도 기존의 BS(Base Station)를 사용함으로써 이동 단말기의 위치인식이 가능하다. 실내 측위는 건물에 의하여 GPS 신호 접근이 차단될 뿐 만 아니라 흙, 사무실, 호텔 등과 같이 지역적으로 좁다는 특성을 갖는

다. 따라서 좁은 지역에 적합한 기술인 센서네트워크 기반에서 주로 연구가 수행되었으며, 영상을 이용한 Easy Living, 바닥에 압력센서를 설치한 Smart Floor[4], 적외선을 사용한 Active Badge[5], RF(Radio Frequency)와 초음파를 사용한 Active Bat, Cricket 및 Medusa 등[6, 7], RSSI(Received Signal Strength Indication)를 사용한 RADAR 및 WINS 등[8, 9], 최근에는 UWB(Ultra Wide Band) 신호를 이용한 Ubisense 및 IEEE802.15.4a 등[2, 3, 14]이 있다. 측위정보는 측위의 정보로서 뿐 만 아니라 일반 센서정보와 결합하여 센서정보를 보다 유용하게 하고 또한 상황분석을 보다 용이하게 한다. 따라서 상황인지 서비스[15]를 제공하는 센서망에서는 당연히 측위기술이 필요하고 또한 더욱 정확한 위치 정보가 요구된다.

<sup>†</sup> 정 회 원 : 동국대학교 정보통신공학과 부교수

<sup>††</sup> 정 회 원 : 한국전자통신연구원 센서네트워크연구팀 팀장(교신저자)  
논문접수 : 2007년 11월 22일, 심사완료 : 2008년 1월 7일

최근 저속 WPAN (Wireless Personal Area Network) 및 고속 WPAN에서는 UWB를 사용한 거리추정 기능을 PHY에서 선택사항으로 수용하고 있다. 저속 WPAN에서는 IEEE 802.15.4-2003 이후 IEEE802.15.4a 및 IEEE802.15.4b에서 각각 대체 PHY 및 PHY/MAC 기능개선 측면에서 연구가 진행되었으며, IEEE802.15.4b 내용은 IEEE802.15.4-2006[1]에 수용되었다. IEEE802.15.4a에서는 거리추정 기술과 데이터 전송 속도 등을 포함한 물리계층 기능 개선 표준기술이 연구되었다. 고속 WPAN에서는 WiMedia Alliance의 PHY 규격에 TOF(Time of Flight)를 정확하게 추정할 수 있는 물리계층 기능이 정의되기 시작하였다. 이러한 추세에 따라 실내측위 연구분야에서 기존의 다중경로 등에 의한 오류 연구 뿐만 아니라 최근에는 망동기 설정 및 주파수 차이를 극복하는 알고리즘[12, 13] 등으로 확대되고 있다.

이동노드와 소수의 고정노드들 간 동기화 상태에서는 노드 간 거리추정과 TOA(Time of Arrival) 위치추정이 사용될 수 있다. 이동노드를 제외한 소수의 고정노드들 간 동기화 상태에서는 TDOA(Time Difference of Arrival) 위치추정[10, 11] 방식을 사용할 수 있다. IEEE802.15.4a에서는 고정노드 및 이동노드간에 동기화가 이루어지지 않은 상태에서 거리를 추정하는 TWR(Two-Way Ranging) 및 SDS-TWR (Symmetric Double Sided-TWR) 방식을 제안하고 있다. 또한 TWR 및 SDS-TWR의 문제점과 고정노드간의 동기화의 필요성, OWR (One-Way Ranging)을 사용하는 Active Bat과 같은 Active Mode와 Cricket과 같은 Passive Mode 사용방법에 대한 연구의 필요성도 기술하고 있다. TWR 등은 여러 번의 프레임 전송이 이루어진 다음 거리를 추정하지만 여전히 노드간의 주파수 차이와 응답시간에 민감하다. 따라서 본 논문은 주파수 차이를 추정하는 방식을 제안하고, 기존의 방식인 TWR, SDS-TWR와 주파수 차이의 영향을 제거한 위치추정 시뮬레이션 결과를 제시한다. 제안된 주파수 차이 추정 방식은 TWR 및 SDS-TWR 성능 개선 뿐만 아니라 OWR 방식에 의한 거리추정에 확대 적용할 수 있을 것이다.

본 논문은 2장에서 기존 비동기 거리추정 방식과 상세 절차 및 개선의 여지를 살펴보고, 3장에서 주파수 차이를 추정하는 방식과 적용방법을 제안하고, 4장에서 시뮬레이션으로 제안된 방식의 성능을 평가 분석하고, 마지막으로 활용 방안 및 앞으로의 연구방향에 대한 내용으로 구성된다.

## 2. 비동기 거리추정 방식

### 2.1 거리추정 오류 고찰

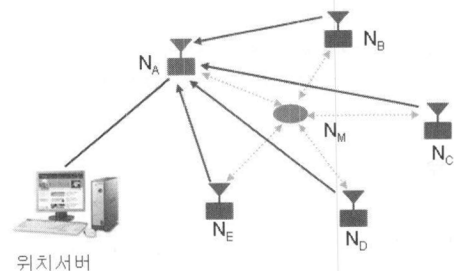
TOF를 사용하여 추정하는 거리에는 오류가 포함된다. 이러한 오류를 발생시키는 원인으로는 무선신호의 다중경로, NLOS(Non Line Of Sight), 수신기 잡음, 해상도, BS간의 동기, 노드간의 주파수 차이 등이 있다.

IEEE802.15.4a에서와 같이 Ranging 비트를 기준으로 시각을 표현하는 방법은 소자에서 여러 오류 원인을 처리한 다음 높은 해상도의 계수가 값으로 표현된다. 따라서 위의 오류 원인에서 다중경로 및 잡음 등에 의한 오류는 디지털 신호처리 알고리즘에 의하여 개선될 수 있다. 반면에 NLOS

에 의한 오류는 환경적인 요소로서 사물이나 사람 또는 동물에 의하여 LOS를 방해하는 요인에 의하여 항상 발생할 수 있으며, 이를 제어하기 위해서는 특정한 고정노드의 급격한 거리변화에 관심을 가져야 하고, 어쩌면 계속적으로 NLOS 발생을 인지하지 못 할 수도 있어서 복구가 어려워 경험적 방법 등으로 개선할 수 있을 것이다. BS간의 주파수 차이는 유선 케이블에 의한 망동기 공급 등의 수단으로 방법을 찾을 수 있다. IEEE802.15.4a에서는 비동기 상태에서 TWR 또는 SDS-TWR 방식으로 주파수 차이의 영향을 감소시켜 TOF를 추정하고 있으나 여전히 주파수 차이에 의한 거리추정 오류를 포함하고 있다.

### 2.2 TWR 및 SDS-TWR 방식

TWR 및 SDS-TWR은 고정노드와 이동노드들이 비동기 상태에서도 상호간의 거리를 추정할 수 있는 방식으로 수행 절차가 복잡하다는 것과 노드간의 주파수 차이에 의한 거리 추정 오류가 여전히 존재하며, 노드쌍의 특성에 따라 크게 차이날 수 있다는 단점이 있다. 따라서 실제로 발생하는 수행 절차와 거리추정오류를 고찰하고자 한다. (그림 1)은 위치추정을 수행하는 센서네트워크의 구성 예를 나타낸 것이다. 그림에서 같이 일반적으로 센서네트워크는 알려진 위치에 설치된 소수의 고정노드( $N_A \sim N_E$ )와 다수의 이동노드( $N_M$ ), 그리고 이동노드의 위치를 추정하는 위치서버로 구성된다. Cricket에서는 이동노드에서 단말기 자신의 위치를 추정하였지만 소형, 저가, 저전력 등의 센서노드 특성과는 맞지 않다. 따라서 Active Bat, Ubisense 등과 같이 위치서버가 존재하는 구성이 보다 타당하다고 여겨진다. 그림에서 이동노드와 고정노드간의 거리에 관한 정보가 추정되어 위치서버로 취합되면 위치서버는 TOA, TDOA 및 AOA(Angle of Arrival) 등의 알고리즘으로 이동노드의 위치를 추정한다. 추정된 위치정보는 이동노드의 위치인식 및 망에서 각 노드에게 필요한 서비스를 제공하는데 사용될 수 있다.



(그림 1) 위치추정을 지원하는 센서네트워크 구성 예

#### 2.2.1 수행절차 분석

IEEE802.15.4a에서 제시된 TWR과 SDS-TWR의 수행절차에서 시각 정보의 기준은 Ranging 비트의 송신 및 수신시각으로 표시되며, 각각의 시각정보는 499.2MHz Chipping Rate와 보간법을 사용하여 64GHz 표본화에 의한 32비트 클럭 계수기로 표시된다. 이 시각 정보는 PHY에서 저장된 상태로 있다가 MAC의 요구에 의하여 응용계층으로 전달된다. 따라서 프레임 송신 시각은 RFrame을 전송한 다음 별도의 프레임 전

송에 의하여 전달이 이루어져야 한다. (그림 1)의 구성에서는 전달방향이 고정노드  $N_A$ 를 반드시 경유하는 위치서버이다.

### 2.2.2 TWR 수행절차 및 거리추정 오류

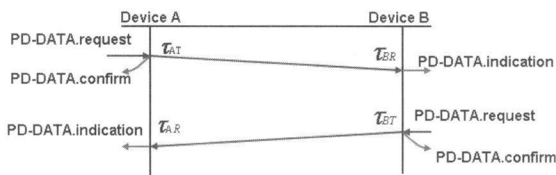
(그림 2)는 TWR에서의 거리추정 프레임 교환을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 거리추정 시작 프레임을 전송한 측에서 TOF를 계산하는 것으로 가정한다. 먼저 Device A에서 MAC의 요구에 의하여 psdu와 Ranging 설정 정보를 포함한 PD-DATA.request Primitive가 발생하고 Ranging 비트가 Set된 프레임이 전송된다. 전송이 완료된 다음,  $\tau_{AT}$ 를 포함한 Ranging 정보와 함께 PD-DATA.confirm primitive가 MAC 방향으로 발생한다. Device B는 PLME-SET-TRX-STATE.request를 사용하여 RX\_WITH\_RANGING\_ON으로 미리 설정된 것으로 가정한다. Device A의 프레임을 Device B에서 수신하게 되면 psdu와 Ranging 정보  $\tau_{BR}$  등을 PD-DATA.indication에 의하여 MAC으로 전달한다. 이후 양쪽 노드에서 알고 있는 특정한 지연 이후 Acknowledge에 의한 Ranging 정보가 전달되어  $\tau_{AR}$ 이 취득되면 TOF 계산이 가능하다. 보다 정확한 TOF를 추정하기 위해서는 Device B에서 취득한  $\tau_{BT}$ 를 Device A로 전달하는 전달이 추가되어야 한다.

TWR 방식에서 양쪽 노드의 국부클럭 주파수가 기준주파수와 동일하다면 TOF는 식 (1)과 같이 표현된다. 계수기에 포함된 주파수 차이를 고려한 TOF는 식 (2)와 같이 표현되고, 차이는 식 (3)과 같이 표현된다. 여기에서  $r_{replyB}$ 는 Device B에서 프레임을 수신하고 Ack를 전송하는데 걸린 시간으로 프로세서의 성능과 프로그래밍 코드와 관련된 것으로 수 ms가 될 수도 있으며, 미리 정의한 시간으로 설정가능하다. 따라서 식 (2)에서 두 장치간의 주파수 차이와 프로세서 처리시간에 따라 심각한 거리추정 오류가 발생할 수 있다.

$$t_p = \frac{1}{2} \{ (\tau_{AR} - \tau_{AT}) - (\tau_{BT} - \tau_{BR}) \} \quad (1)$$

$$2\hat{t}_p = (\tau_{AR} - \tau_{AT})(1 + e_A) + (\tau_{BR} - \tau_{BT})(1 + e_B) \quad (2)$$

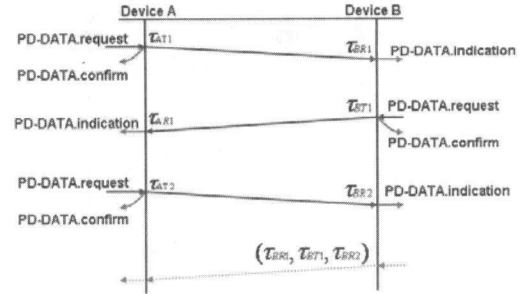
$$\begin{aligned} \hat{t}_p - t_p &= \frac{1}{2} r_{replyB} (e_A - e_B) + t_p \cdot e_A \\ &\approx \frac{1}{2} r_{replyB} (e_A - e_B) \end{aligned} \quad (3)$$



(그림 2) TWR에서의 프레임 교환

### 2.2.3 SDS-TWR 수행절차 및 거리 추정 오류

(그림 3)은 SDS-TWR에서의 거리추정 프레임 교환을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 거리추정 시작 프레임을 전송한 Device A에서 Device B에서의 Ranging 정보까지 취



(그림 3) SDS-TWR에서의 프레임 교환

합하여 TOF를 계산하는 것으로 가정하였다. SDS-TWR에서는 양 노드의 시각 정보를 취합하여야 정확한 TOF 추정이 가능하다. 따라서 그림에서와 같이 마지막 프레임전달이 실제로 발생하게 된다.

SDS-TWR 방식에서 양쪽 노드의 국부클럭 주파수가 기준주파수와 동일하다면 TOF는 식 (4)와 같이 표현된다. 계수기에 포함된 주파수 차이를 고려한 TOF는 식 (5)와 같이 표현되고, 차이는 식 (6)과 같이 표현된다. 여기에서  $\Delta_{reply}$ 는 Device A와 Device B간의 응답시간 차이를 나타낸 것으로 동일한 H/W 및 S/W로 구성되었다면 거의 오류가 발생하지 않을 수도 있다. 서로 다른 H/W 및 S/W의 경우, 심각한 거리추정 오류가 발생할 수 있다.

$$\begin{aligned} t_p &= \frac{1}{4} \{ (t_{roundA} - t_{replyA}) + (t_{roundB} - t_{replyB}) \} \\ &= \frac{(\tau_{AR1} - \tau_{AT1}) - (\tau_{AT2} - \tau_{AR1})}{4} \\ &\quad + \frac{(\tau_{BR2} - \tau_{BT1}) - (\tau_{BT1} - \tau_{BR1})}{4} \end{aligned} \quad (4)$$

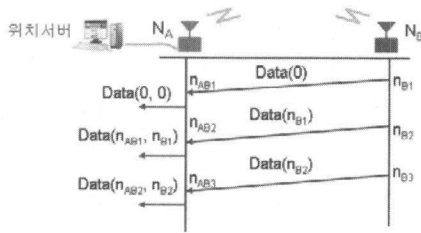
$$\begin{aligned} \hat{t}_p &= \frac{(\tau_{roundA} - \tau_{replyA})(1 + e_A)}{4} \\ &\quad + \frac{(\tau_{roundB} - \tau_{replyB})(1 + e_B)}{4} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \hat{t}_p - t_p &= \frac{1}{2} t_p (e_A + e_B) + \frac{1}{4} \Delta_{reply} (e_A - e_B) \\ &\approx \frac{1}{4} \Delta_{reply} (e_A - e_B) \end{aligned} \quad (6)$$

## 3. 주파수 차이 추정

### 3.1 주파수 차이 추정 방법

발전기의 특성 가운데 주파수는 주로 주파수안정도(Frequency Stability)와 Aging 특성 파라메타에 의하여 명시된다. 주파수안정도는 발전기의 중심주파수에 관한 것으로 생산당시 포함되는 주파수 편이의 범위이다. Aging은 Jitter 및 노화에 의하여 중심주파수로부터 변화할 수 있는 편이의 범위이다. 주파수안정도는 발전기에 적용된 기술에 따라 큰 차이를 보이며, Aging은 좁은 범위의 값을 갖는다. 본 논문에서는 센서노드의 발전기에 의한 계수기 클럭의 주파수 차이를 추정하고자 한다.



(그림 4) 주파수 차이 추정 설명도

(그림 4)는 주파수 차이를 추정하는 방식을 설명하기 위한 것이다. 그림에서와 같이 두개의 고정된 위치에 놓인 노드 간에 발생하는 연속된 프레임 전송은 전송간에 클럭 계수기의 차이를 가지며, 이는 주파수 차이로부터 발생한다. 노드-B에서 프레임을 송신한 시각을 나타내는 계수기의 값  $n_{B1}, n_{B2}$  등은 각각 정보가 발생한 이후의 프레임 전송에 전달하는 것으로 가정한다. 노드-A에서 프레임을 수신한 시각 정보  $n_{AB1}, n_{AB2}$  등은 다음 처리에서 사용하는 것으로 가정한다. 따라서 위치서버는  $Data(n_{AB1}, n_{B1})$ 과  $Data(n_{AB2}, n_{B2})$  쌍에 의하여 주파수 차이를 계산할 수 있다.

노드 A, B의 주파수를 기준주파수로부터 편이된 것으로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} f_A &= f_R(1+e_A) \\ f_B &= f_R(1+e_B) \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서

- $f_R$  : 기준 주파수
- $f_A, f_B$  : 노드-A, B의 주파수
- $e_A, e_B$  : 노드-A, B의 주파수 편이 (ppm)

두 쌍의 프레임 전송으로부터 프레임 송신간의 시간간격과 프레임 수신간의 실제 시간간격은 동일하므로 다음과 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} t_2 - t_1 &= \frac{1}{f_A}(n_{AB2} - n_{AB1}) = \frac{n_A}{f_A} \\ t_2 - t_1 &= \frac{1}{f_B}(n_{B2} - n_{B1}) = \frac{n_B}{f_B} \end{aligned} \quad (8)$$

따라서

$$\frac{n_A}{1+e_A} = \frac{n_B}{1+e_B}$$

노드-A가 기준클럭( $e_A = 0$ ) 이거나 또는 주파수 편이를 알면, 노드-B의 주파수 편이는 다음과 같다.

$$e_B = \frac{n_B}{n_A}(1+e_A) - 1 \quad (9)$$

이러한 방식으로 무선 센서망에서 특정한 노드의 클럭을 기준으로 모든 노드들에 대한 주파수 차이를 추정할 수 있다. (그림 1)에서와 같이 위치서버와 접속하는 중요한 위치의 고정노드가 기준주파수로 동작한다면 노드간의 계수기에 대한 상호 비교가 더욱 용이해 질 수 있다.

### 3.2 주파수 차이 추정의 활용 방안

무선 노드간의 동기화는 용이하지 않다. Ubisense의 경우 일정한 길이의 유선케이블을 사용하여 고정노드간의 동기클럭을 공급하고 있다. (그림 1)에서와 같은 구성에서 노드-A의 클럭을 정확히 알게 되면, 노드-B, C, D, E 등 고정노드간의 주파수 편이를 추정함으로써 가상 망동기가 가능하다.

SDS-TWR은 절차에 있어서 연속된 데이터 전송이 발생한다. 따라서 추가적인 계산만으로 주파수 차이의 영향을 제거할 수 있다. 반면에 TWR의 경우 단일 절차에서 주파수 차이 추정이 불가능하므로 절차 간의 시간 간격 활용도 가능하며, 또는 사전에 망에 소속된 노드의 특성 추출절차도 가능한 방법이다.

## 4. 시뮬레이션 및 고찰

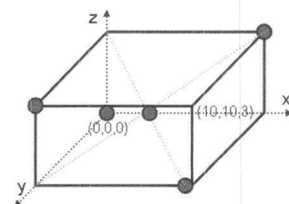
### 4.1 시뮬레이션 환경

발전기는 생산하면서 특정 주파수로부터 일정 범위내의 차이를 갖는다. 또한 긴 시간에 걸쳐 발생하는 주파수 변화도 있다. <표 1>은 발전기 특성의 예를 나타낸 것이다. 시뮬레이션에서는 표에 명시된 주파수 관련 파라미터를 사용하였다. 특히 주파수 안정도에서는 주파수 안정도는 IEEE802.15.4a에서 TWR 및 SDS-TWR의 거리추정 오류 비교에 사용한 ( $e_A - e_B$ ) 값인 2, 20, 40, 80 ppm에 해당하는  $\pm 1, \pm 10, \pm 20, \pm 40$  ppm을 적용하였다. 또한 각 프레임 처리시간 동안  $\pm 1$  ppm 지터가 추가되는 것으로 가정하였다.

(그림 5)는 시뮬레이션에서 사용한 공간에서 고정노드의 위치를 나타낸 것이다.  $10m \times 10m \times 3m$  공간에서 이동노드를 x축, y축 및 z축으로 단위거리를 이동하면서 30여만 지점에 대하여 1회씩 거리를 추정하고, 위치를 추정하는 것으로 수행하였다. 고정노드의 위치는 각 축에 대하여 가장 안

<표 1> 발전기 주요 특성 예

Parameters	unit	Features	
Supply Voltage	VDC	3.3, 5	
Nominal Frequency	MHz	specified	
Frequency Stability	ppm	$\pm 1, \pm 10, \pm 20, \pm 40$	
Frequency Deviation Aging (25oC)	ppm	$\pm 1 / \text{year}(\text{Max})$	
Operating Temperature	oC	-40 ~ +85	
Input Current	mA	dependent on freq	
Output	Output Load	pF	15
	Duty Cycle	%	45~55
	Rise/Fall Time	ns	dependent on freq
	Logic "1"	VOH	Min 90% Vdd
	Logic "0"	VOL	Max 10% Vdd



(그림 5) 시뮬레이션 공간

정적인 특성을 제공할 수 있도록 선정하였다. 각 노드의 주파수 차이는 Uniform 분포로부터 발생시켰으며, Jitter는 프로세서의 프레임처리마다 포함되는 것으로 가정하였다. 위치추정은 TOA의 Matrix를 직접 계산하여 구하였다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션 결과는 그래프에서 주파수 안정도에 따라 실선은 2, dash 선은 20, dash-dot 선은 40, 그리고 점선은 80ppm 으로 나타내었다. (그림 6)은 프로세서 처리시간이 100us인 TWR에 대한 PDF(Probability Distribution Function) 및 CDF(Cumulative Distribution Function)이다. 주파수 차이가 2, 20, 40, 80ppm으로 증가할 수록 위치추정 오류가 증가한다. TWR에서는 30cm 이하의 오류를 제공하기 위해서는  $\pm 1$ ppm 발진기 사용이 요구된다. 100cm 이하의 오류를 제공하기 위해서는  $\pm 20$ ppm 정도 까지만 허용되는 것으로 분석되었다.  $\pm 40$ ppm 발진기는 200cm 이상의 너무 큰 오류를 포함한다. 프로세서 처리시간 5ms에 대해서는  $\pm 1$ ppm의 경우에도 거리추정 오류가 150cm 정도 발생하므로 위치추정에서는 더욱 증가하여 너무 큰 오류를 발생하여 시뮬레이션을 수행하지 못하였다.

(그림 7)은 프레임 처리지연 차이가 100us인 SDS-TWR에 대한 PDF 및 CDF이다. 프레임 처리지연 시간 차이가

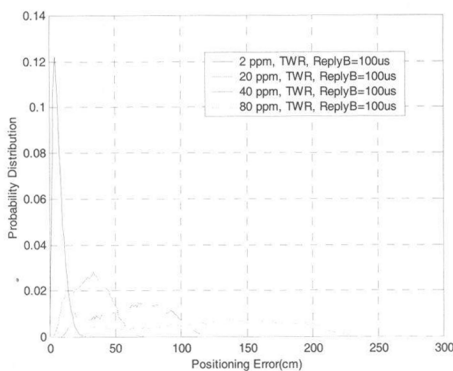
1us, 10us의 경우 위치추정 오류가 100cm 이하에서 발생하였기 때문에 결과에는 포함시키지 않았다. SDS-TWR는 프레임 처리지연 차이가 작은 것으로 가정하였고, 또한 주파수 차이 및 프레임처리지연시간 차이 등이 TWR에 비하여 반으로 감소하여 영향을 미치지 때문에 기대한 바와 같이 개선된 성능을 나타내었다.  $\pm 40$ ppm 발진기는 110cm 까지의 오류를 포함한다.

(그림 8)은 각각의 주파수 차이를 알고 있다는 가정에서 TWR에 대한 PDF이다. 주파수 차이의 영향이 제거된 상태에서는 4개의 데이터가 중복되어 하나의 그래프 처럼 나타났다. Jitter와 프로세서 처리시간의 영향에 의하여 최대 25cm 까지 오류가 발생하였다.

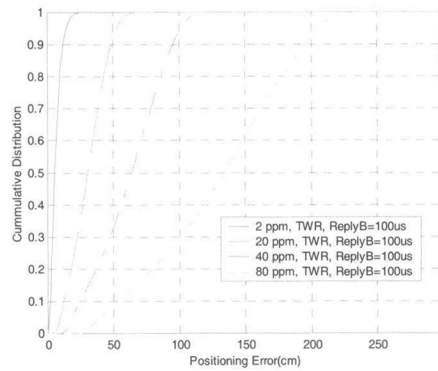
(그림 8) 주파수 차이를 적용한 TWR 시뮬레이션 결과

5. 결론

본 논문은 노드간의 주파수 차이를 추정하는 방법을 제안하였고, 이를 TWR 및 SDS-TWR 방식에 적용하는 방안을 제시하였다. 시뮬레이션을 통하여 TWR, SDS-TWR, 주파수 차이 결과를 적용한 TWR에 대한 성능을 분석하였다. TWR은 프레임 수신 후 송신까지의 처리시간에 따라 거리추정 오류가 증가될 수 있으며, SDS-TWR은 오류가 감소하였지만

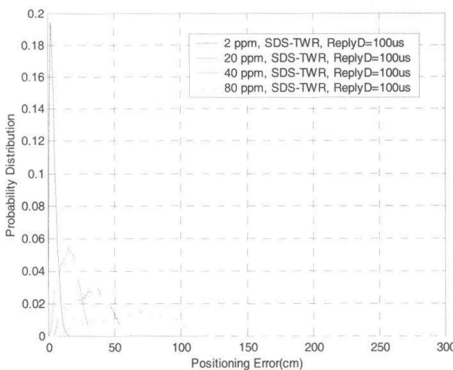


(a) PDF

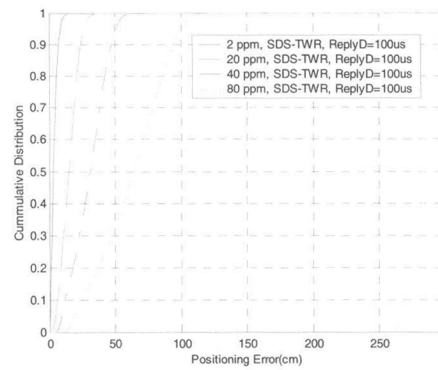


(b) CDF

(그림 6) TWR 시뮬레이션 결과

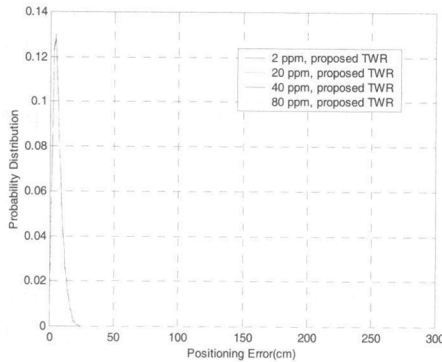


(a) PDF



(b) CDF

(그림 7) SDS-TWR 시뮬레이션 결과



(그림 8) 주파수 차이를 적용한 TWR 시뮬레이션 결과

절차가 더 복잡하고 프로세서 처리시간에 따라 여전히 오류가 존재한다. 본 논문의 방식에 의한 주파수 편이 추정 결과를 적용함으로써 TWR 방식이 주파수 차이에 둔감해진 것을 확인하였다. 본 시뮬레이션에 의한 위치추정 오류의 범위는 시뮬레이션에 따라 다소 달라질 수는 있지만 기존 알고리즘에서 노드의 주파수 차이에 대한 영향을 획기적으로 줄일 수 있다는 데 의의가 있다. 시뮬레이션 결과 오류 범위는 25cm 이내로 나타난 바, 별도의 후처리가 불필요하거나 또는 아주 간단한 후처리 정도로도 충분한 성능으로 판단된다.

본 논문에서 제안된 주파수 차이 추정방식은 고정노드 간의 가상 망동기를 설정할 수 있을 것으로 기대한다. 따라서 무선 망에서 별도의 유선케이블 등으로 망동기 신호를 공급하지 않고도 OWR 및 TOA/TDOA에 의한 위치추정이 가능할 것이다.

### 참고 문헌

[1] IEEE802.15.4, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," Sep. 2006.

[2] IEEE802.15.4a/D7, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs): Amendment to add alternate PHY," Jan. 2007.

[3] 이철효, 김재영, "위치인식 저속 WPAN 표준화 동향," 방송공학회지, 제10권, 333-339쪽, 2007년.

[4] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location System for Ubiquitous Computing," IEEE Computer Society, Vol.34, No.8, pp.57-66, Aug. 2001.

[5] R. Want, A. Hopper, V. Falco and J. Gibbons, "The Active Badge Location System," ACM Transactions on Information Systems 10, pp.91-102, Jan. 1992.

[6] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Andy Ward and Paul Webster, "The anatomy of a Context-Aware Application," In Wireless Networks, Vol.8, pp.187-197, Feb. 2002

[7] Hari Balakrishnan and etc., "Lessons from Developing and Deploying the Cricket Indoor Location System," <http://nms.lcs.mit.edu/cricket/>

[8] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system,"

INFOCOM, pp. 775-784, Mar. 2000.

[9] 남윤석, 최은창, 허재두, "저속 WPAN에서 수신신호세기의 Vector Matching을 이용한 위치인식 방식," Journal of Information Technology Applications & Management, 제12권, 제4호, 93-104쪽, 2005년 12월.

[10] Wade H. Foy, "Position-Location Solutions by Taylor-Series Estimation," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol.AES-128, No.2, pp.187-194, March 1976.

[11] Hyonmin Kong, Youngmi Kwon, Taekyung Sung, "Comparisons of TDOA Triangulation Solutions for Indoor Positioning," Proceedings of The 2004 International Symposium on GNSS /GPS, Dec. 2004.

[12] 이영규, 양성훈, 이승우, 이창복, 김영범, 최성수, "실내측위를 위한 새로운 클럭 동기 방안," 한국통신학회논문지, 제32권, 제3호, 237-246쪽, 2007년 3월.

[13] 박운용, 박철웅, 최성수, 이원철, "클럭 표류 영향을 고려한 양방향 거리 인지 기반의 TOA/TDOA 추정 방안," 한국통신학회논문지, 제32권, 제7호, 608-615쪽, 2007년 7월.

[14] <http://www.ubisense.net>

[15] Seungho Baek, Hyunjeong Lee, Shinyoung Lim, and Jaedoo Huh, "Managing mechanism for service compatibility and interaction issues in context-aware ubiquitous home," IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.51, No.2, pp.524-528, May 2005.



### 남 윤 석

e-mail : ysnam@dongguk.ac.kr

1984년 경북대학교 전자공학과(공학사)

1987년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1995년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1987년~1999년 한국전자통신연구원 책임연구원  
 2000년~현재 동국대학교 정보통신공학과 부교수  
 2004년~현재 한국전자통신연구원 초빙연구원  
 관심분야: 데이터통신, 트래픽제어, 성능평가, 센서네트워크, 위치인식, 저속 WPAN, 고속 WPAN, mesh네트워크 등



### 허 재 두

e-mail : jdjuh@etri.re.kr

1987년 경북대학교 전자공학과(공학사)

1990년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

2000년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1987년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원,  
 센서네트워크연구팀장, TTA PG304 의장, 국제 IT 표준전문가  
 관심분야: 센서네트워크, 홈네트워크, 위치인식, 저속 WPAN, 고속 WPAN, 상황인지 컴퓨팅, 상황인지 미들웨어 등

# HMIPv6 네트워크에서 자원예약 시그널링 지연을 줄이기 위한 크로스오버 노드 발견 및 지역적 자원 갱신 방안

변 해 선<sup>†</sup> · 이 미 정<sup>\*\*</sup>

## 요 약

이동 네트워크 환경에서 MN(Mobile Node)의 핸드오버 후 새로운 경로 상에 자원을 예약할 때 시그널링 지연을 최소화하기 위해서는 이전 경로와 새로운 경로가 만나는 지점에 있는 노드인 크로스오버 노드(Crossover Node:CRN)를 발견하는 것이 중요하다. 일반적으로 크로스오버 노드의 발견은 MN과 CN(Correspondent Node)간 설립된 종단간 SID(Session ID)를 주요키로 사용하여 이루어지지만, HMIPv6(Hierarchical Mobile IPv6) 네트워크에서 MAP(Mobility Anchor Point)과 HA(Home Agent)간 군집(Aggregate) 세션 단위로 자원예약을 하는 경우에는 이와 같은 일반적인 방법의 적용이 어렵다. 군집 예약을 할 때에는 종단간 SID와는 별도로 군집 SID를 사용하는데, MN의 핸드오버 후 이전 MAP과 HA간 설립된 세션의 군집 SID가 새로운 MAP과 HA간 설립된 세션의 군집 SID와 달라서 SID를 이용하여 크로스오버 노드를 발견할 수 없기 때문이다. 이에, 본 논문에서는 HMIPv6 네트워크에서 차세대 네트워크 시그널링 프로토콜인 NSIS(Next Step in Signaling)를 이용하여 자원을 예약하는 경우 군집 예약이 이루어진 MAP과 HA간 터널상에서 크로스오버 노드를 발견하고, 크로스오버 노드를 발견한 즉시, 군집 예약된 자원의 갱신이 지역적으로 이루어지도록 하는 방안을 제안한다. 시뮬레이션을 통해, 시그널링 메시지가 항상 터널의 끝 노드까지 전달되는 기존 방안 에 비해 제안하는 방안이 자원 예약을 위한 시그널링 지연을 단축시키고, 핸드오버 동안의 평균 처리율을 향상시킬 수 있었다.

키워드 : 크로스오버 노드, 군집 자원예약, 시그널링 프로토콜, NSIS, HMIPv6 무선 네트워크, 핸드오버

## A Crossover Node Discovery and Local Repair Mechanism for Reducing the Signaling Delay of Resource Reservation on HMIPv6 Networks

Byun, Haesun<sup>†</sup> · Lee, Meejeong<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

In order to minimize the signaling delay for a resource reservation on the new routing path after the handover of Mobile Node(MN) is completed, it is important to discover the crossover node where the old and new routing paths meet. With the crossover node being found, the signaling messages only need to be transferred on the changed part of the end-to-end path. The crossover node is generally discovered using the end-to-end Session ID(SID) of the established session between MN and Correspondent Node(CN). However, in the Hierarchical Mobile IPv6(HMIPv6) network, if the Mobile Anchor Point (MAP) reserves the resource by aggregate with the Home Agent(HA), the crossover node discovery cannot be performed in the general way since the aggregate SID that has established between the previous MAP and HA is different from the that of the current MAP and HA after MN's handover. In this paper, we propose a mechanism to discover the crossover node within the tunnel between the MAP and the HA in an HMIPv6 network, assuming that the Next Steps in Signaling(NSIS) is deployed for the resource reservation and the aggregate reservation is applied over the MAP and HA tunnel. The local repair required for the change of path is performed upon the crossover node discovery. The simulation results show that the proposed scheme reduces the signaling delay for the reservation and outperforms the existing scheme with respect to throughput during the handover.

Key Words : Crossover Node, Aggregate Resource Reservation, Signaling Protocol, NSIS, HMIPv6 Wireless Network, Handover

### 1. 서 론

IETF(Internet Engineering Task Force)의 NSIS(Next Step in Signaling) 워킹 그룹에서는 차세대 네트워크를 위한

범용의 시그널링 프로토콜인 NSIS 프로토콜에 대한 표준화 작업을 진행하고 있는 가운데[1], 우선적으로 NSIS 프로토콜을 QoS(Quality of Service) 지원을 위한 시그널링 프로토콜로 사용하는 방안인 QoS NSLP(NSIS Signaling Layer Protocol)에 대해 활발히 연구하고 있다[2]. RSVP(Resource Reservation Protocol)[3], RSVP-TE[4]와 같은 기존의 QoS 시그널링 프로토콜들은 상이한 네트워크 도메인으로 구성된 전달 네트워크상에서 사용되기 어렵고, 확장성, 보안, 이동성

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IIITA-2007-(C1090-0701-0036)).

† 준 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정  
\*\* 정 회 원 : 이화여자대학교 공과대학 컴퓨터정보 통신공학과 교수  
논문접수 : 2007년 9월 8일, 심사완료 : 2007년 12월 13일

등과 관련된 주요 요구사항들을 충족시키지 못하는 문제점이 있다. 이에, 서로 다른 네트워크 환경 및 다양한 요구사항을 만족시킬 수 있는 차세대 시그널링 프로토콜에 대한 표준화 작업이 필요하게 되었다. NSIS 프로토콜은 상이한 QoS 모델을 지원하는 네트워크 도메인들로 구성된 전달 네트워크상에서 종단간 QoS 시그널링을 지원하는 차세대 시그널링 프로토콜이며, 단방향/양방향, 송신자 시작(Sender initiated), 수신자 시작(Receiver initiated), 군집(Aggregation) 등의 자원 예약을 지원한다[1].

한편, HMIPv6(Hierarchical Mobile IPv6) 프로토콜은 MN(Mobile Node)의 바인딩 업데이트 시그널링 지연을 줄이기 위해 제안된 지역적 이동성 관리 프로토콜이다[5]. HMIPv6 네트워크에서는 지역 도메인과 외부 네트워크의 경계지점에 HMIPv6 도메인 내에서의 이동성을 총괄하는 MAP(Mobility Anchor Point)을 두었다. MAP은 HMIPv6 도메인 내 들어온 MN들에 대해 임시 HA(Home Agent) 역할을, MN의 HA에 대해 CoA(Care-of Address) 에이전트 역할을 수행한다. 또한, MAP은 동일한 홈 네트워크에 속하는 하나 이상의 MN들이 자원 예약을 요청하는 경우, 이러한 MN들의 자원 예약 요청을 군집하여 MAP과 HA간 터널상에 자원을 예약할 수 있다. 이러한 군집 예약의 장점은 MAP과 HA간 데이터 전달 경로 상에 전달되는 시그널링 수 및 각 라우터에서 유지해야 하는 플로우벌 상태 정보를 줄일 수 있다는 점이다.

HMIPv6 네트워크와 같이 핸드오버가 발생하는 무선 네트워크 환경에서 주요 이슈 중 하나는 MN의 핸드오버 후 트래픽이 전송될 새로운 경로 상에 자원 예약을 위한 시그널링 지연을 최소화하는 것이다. 이를 위해, 전체 데이터 전달 경로 중 MN의 핸드오버 이후 변경된 부분에서만 자원 예약 시그널링이 이루어지도록 이전 경로와 새로운 경로가 만나는 지점에 있는 노드인 크로스오버 노드(Crossover Node)를 발견하는 것이 중요하다. 일반적으로, NSIS 프로토콜을 이용한 자원예약 시 크로스오버 노드의 발견은 MN과 CN(Correspondent Node) 간 설립된 종단간 SID(Session ID)를 이용하여 이루어진다[6,7]. 종단간 SID는 MN이 이동하더라도 변경되지 않는 식별자와 같다. 그러나 HMIPv6 네트워크에서 MAP과 HA간 군집(Aggregate)으로 자원 예약이 이루어진 경우에는 종단간 SID를 이용하여 크로스오버 노드를 발견할 수 없다. 왜냐하면, HMIPv6 네트워크에서는 MAP과 HA간 군집 세션을 위해 종단간 SID와는 별도로 군집 SID를 사용하는데, MN의 핸드오버 후, 이전 MAP과 HA간 설립된 세션의 군집 SID가 새로운 MAP과 HA간 설립된 세션의 군집 SID와 다르기 때문이다.

이에, 본 논문에서는 HMIPv6 네트워크에서 자원예약 프로토콜로 NSIS를 사용하여 군집 자원예약을 수행하는 경우에 대해 크로스오버 노드를 발견하고 지역적 자원 갱신을 수행하는 방안을 제안한다. 제안하는 방안에서는 자원 예약을 위한 NSIS 시그널링 메시지에 크로스오버 노드 발견에 필요한 정보 및 크로스오버 노드 발견 이후 지역적으로 자원 예약을 갱신할 수 있는 정보를 포함하여 전달한다. 시그널링 메시지를 받은 데이터 전달 경로 상에 있는 NSIS 노

드들은 이를 이용하여 스스로 크로스오버 노드임을 인식할 수 있고, 크로스오버 노드가 되는 노드는 예약된 자원의 갱신 및 해지가 지역적으로 빠르게 이루어질 수 있도록 지역적 자원 갱신 프로세스를 시작한다.

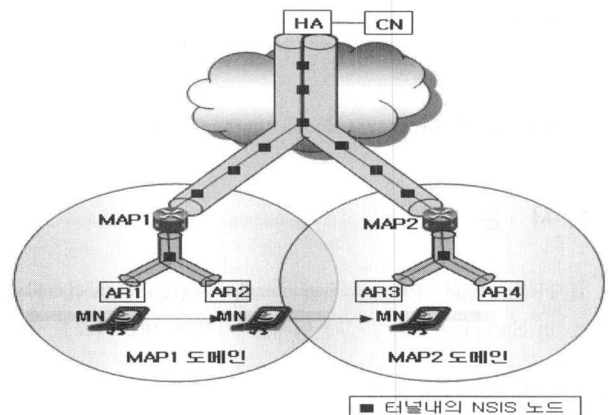
본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어, 2장에서는 HMIPv6 네트워크에서 MAP과 HA 터널상에 군집 예약이 이루어진 경우 이와 같은 일반적인 방안으로 크로스오버 노드를 발견할 수 없는 이유에 대해 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 방안에 대해 자세히 설명하고, 4장에서 제안하는 방안의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 결과를 제시하며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 크로스오버 노드 발견에 대한 문제정의

이 장에서는 NSIS를 이용하여 자원을 예약 할 때 HMIPv6 네트워크에서 MAP과 HA간 터널상에서 군집 예약이 이루어진 경우 이 터널상에서는 크로스오버 노드를 발견하지 못하는 이유에 대해 기술한다.

MN과 CN이 항상 HA를 통해 통신한다고 가정할 때, HMIPv6 네트워크에서는 MAP이 MN의 HA 역할을 수행하기 때문에 MN과 MAP간, MAP과 HA간 두 개의 (역)터널을 통해 데이터 및 자원 예약을 위한 시그널링 메시지가 전달된다. 그러나 터널내의 NSIS 노드에서는 종단간 시그널링 메시지를 일반적인 라우팅에 의해 전달만 할 뿐, 자원예약을 위한 절차를 수행하지 않기 때문에 종단간 시그널링 메시지는 터널 내에 자원을 예약할 수 없다. 따라서 터널 내 자원을 예약하기 위해, NSIS 시그널링에서는 종단간 시그널링 메시지와 별도로 터널 시그널링 메시지를 사용한다. 이때 두 가지의 시그널링 메시지에서는 모두 동일하게 종단간 SID를 사용하며, 이 종단간 SID는 MN이 이동하더라도 변경되지 않기 때문에 크로스오버 노드를 발견하기 위한 주요기로 사용된다.

(그림 1)은 HMIPv6 네트워크에서 MN이 핸드오버 하는 상황에서 크로스오버 노드 발견을 위한 예를 설명하기 위한 그림이다. 크로스오버 노드는 종단간 시그널링에서 자원을 예약하기 위해 사용되는 RESERVE 메시지와 터널 시그널



(그림 1) HMIPv6 네트워크에서 MN의 핸드오버 상황에 따른 크로스오버 노드 발견



링에서 자원을 예약하기 위해 사용되는 RESERVE-t 메시지가 전달되는 도중 각각 발견될 수 있다.

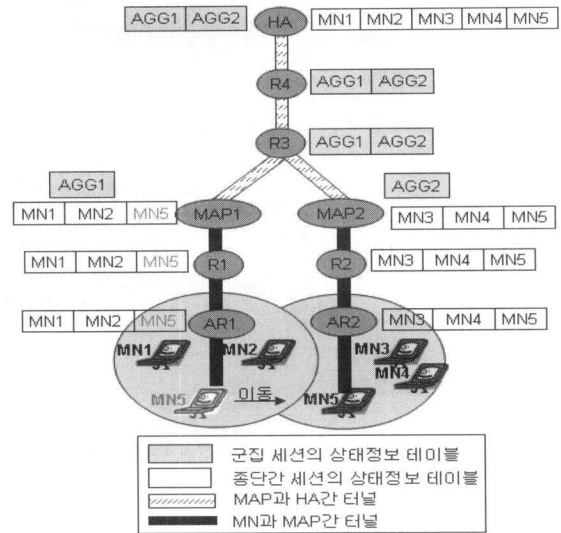
중단간 시그널링인 RESERVE 메시지 전달 중 수행되는 크로스오버 노드 발견에서는 터널내의 NSIS 노드에서 크로스오버 노드 발견 메커니즘을 수행하지 않기 때문에 항상 터널의 중단 노드가 크로스오버 노드로 발견된다. 즉, 그림 1에서 MN이 MAP1 도메인 내에서 인트라 핸드오버 한 경우(AR1에서 AR2로 이동)에는 MAP1이 크로스오버 노드로 발견되고, MN이 MAP1 도메인에서 MAP2 도메인으로 인터 MAP 핸드오버를 한 경우(AR2에서 AR3로 이동)에는 HA가 크로스오버 노드로 발견된다.

터널 시그널링인 RESERVE-t 메시지 전달 중 수행되는 크로스오버 노드 발견에서는 터널 중단 노드를 포함해 터널상의 어떤 노드라도 크로스오버 노드로 발견될 수 있다. 즉, MN이 인트라 핸드오버 한 경우에는 MN과 MAP간 터널 내에서 크로스오버 노드가 발견되거나, MAP이 크로스오버 노드로 발견된다. MN이 인터 MAP 핸드오버 한 경우에는 새로운 MAP과 HA간 터널 내에서 크로스오버 노드가 발견되거나 HA가 크로스오버 노드로 발견된다.

한편, 하나의 MAP 도메인 내에 동일한 홈 네트워크에 속하는 하나 이상의 MN들과 동일한 홈 네트워크에 상주하고 있는 CN들이 통신하는 경우 MAP 또는 HA는 이들의 개별적 자원 예약 요청을 군집하여 자원 예약을 수행할 수 있다. 일반적으로 군집 자원 예약은 Aggregator와 De-aggregator 간 터널 내에 자원을 예약하기 위한 시그널링 및 플로우별 상태정보를 줄이기 위해 사용된다[1]. 군집 자원 예약에서는 MAP과 HA간의 터널상에서의 자원 예약을 위해 군집 세션을 나타내는 군집 SID를 사용한다. MN과 CN간 개별 세션을 위해 사용되는 중단간 SID는 MN이 핸드오버 한 후에도 변경되지 않기 때문에, 중단간 SID를 주요키로 중단간 경로 및 터널 내에서 모두 크로스오버 노드를 발견할 수 있는데 반해, 군집 SID는 MN이 인터 MAP 핸드오버를 할 때마다 변경되기 때문에 군집 SID를 사용하여 자원 예약을 시그널링 하는 MAP과 HA 간 터널 내에서는 SID를 기반으로 크로스오버 노드를 발견할 수 없게 된다. 군집 예약이 이루어진 MAP과 HA간 터널 내에 있는 NSIS 노드들이 자신이 핸드오버 한 MN의 크로스오버 노드인지를 판단하기 위해서는 그 MN의 이전 MAP에서의 군집 SID가 필요하다.

### 3. HMIPv6 네트워크에서 QoS NSLP 시그널링을 이용한 크로스오버 노드 발견과 지역적 갱신

이 장에서는 HMIPv6 네트워크에서 QoS NSLP 시그널링을 이용한 크로스오버 노드 발견과 지역적 갱신 방안에 대해 자세히 설명한다. 본 논문에서는 MAP과 HA간 터널 내에서 군집 자원 예약을 위해 사용하는 메시지를 MN의 개별적 자원예약을 위해 사용하는 터널 시그널링 메시지(예, RESERVE-t 메시지)와 구분하기 위해 군집 시그널링-a 메시지(예, RESERVE-a 메시지)로 명명하여 사용한다.



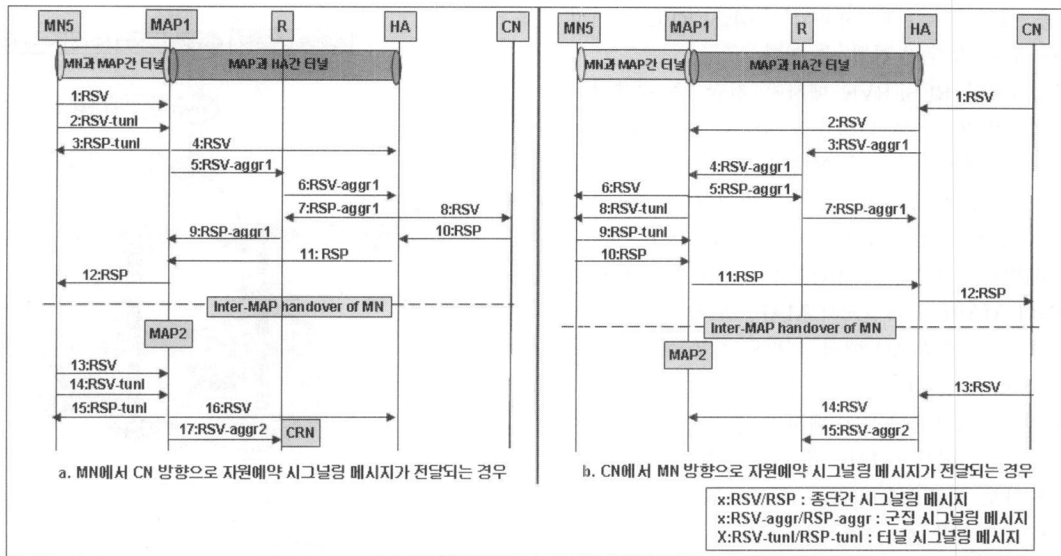
(그림 2) MN의 핸드오버에 따른 자원예약 상태 정보의 생성과 해제

#### 3.1 자원예약 및 크로스오버 노드 발견을 위한 시그널링

(그림 2)는 MN의 핸드오버에 따른 자원예약 상태 정보의 생성과 해제의 예를 보인 그림이다. (그림 2)에서 보는 바와 같이, MAP1 도메인에는 MN1, MN2가 들어와 있고, MAP2 도메인에는 MN3, MN4가 들어와 있는 경우를 가정하고 있다. AR1, R1, MAP1 노드들은 MN1, MN2의 중단간 세션에 대한 상태정보 테이블을, AR2, R2, MAP2 노드들은 MN3, MN4의 중단간 세션에 대한 상태정보 테이블을 각각 유지하고 있다. 또한 MAP1과 HA간 경로 상에 있는 NSIS 노드들은 군집세션 AGG1을 위한 상태정보 테이블을, MAP2와 HA간 경로 상에 있는 NSIS 노드들은 군집세션 AGG2를 위한 상태정보 테이블을 각각 유지하고 있다. 따라서 R3, R4, HA는 군집 세션 AGG1과 AGG2에 대한 상태정보 테이블을 각각 유지한다. 이러한 가정 하에, MN5가 MAP1 도메인에 들어온 이후 MAP2 도메인으로 이동하는 경우를 예로 들어 설명한다. (그림 3)은 MN5와 CN간 자원예약을 위한 시그널링 메시지 흐름을 보이고 있다.

##### 3.1.1 MN과 MAP간 터널 자원예약 및 중단간 자원예약 시그널링 메시지 전달

MAP1 도메인에 들어온 MN5는 중단간 세션의 자원예약을 위해 RESERVE 메시지(그림 3.a의 1)와 중단간 세션의 터널 구간에서 자원예약을 위해 RESERVE-t 메시지(그림 3.a의 2)를 각각 보낸다. CN을 목적지로 하는 RESERVE 메시지는 먼저 터널의 첫 번째 중단 포인트인 MAP1에게 전달되고, MAP1을 목적지로 하는 RESERVE-t 메시지는 터널내의 NSIS 노드들(AR1, R1)에 의해서 처리되면서 MAP1에게 전달되는데, 이때 NSIS 노드들은 MN5에 대한 중단간 세션에 대한 상태정보를 상태정보 테이블에 추가한다(그림 2 참조). RESERVE와 RESERVE-t 메시지를 받은 MAP1은 자신을 목적지로 하는 RESERVE-t 메시지에 대해서는 이에 대한 응답으로 RESPONSE-t 메시지를 MN5에게 보낸다(그림 3.a의 3).



(그림 3) NSIS 노드에서의 자원예약 상태정보와 시그널링 메시지 흐름

3.1.2 MAP과 HA간 터널 자원예약 및 종단간 자원예약 시그널링 메시지 전달

MAP1은 CN을 목적지로 하는 MN5의 RESERVE 메시지에 대해서는 두 번째 터널의 종단 포인트인 HA에게 전달한다(그림 3.a의 4). 한편, MAP1은 MN1, MN2, MN5가 동일한 HA를 통해 통신하고 있다면 각 MN별로 터널 내에 자원을 예약하는 대신에 이들 자원예약 요구사항을 군집하여 수행한다. MAP1은 자신과 HA간 터널 내에 군집으로 자원예약을 하기 위해 RESERVE-a 메시지를 보낸다(그림 3.a의 5). MAP1과 HA간 터널 내에 있는 NSIS 노드들은 AGG1에 대한 군집 상태정보 테이블을 갱신하거나 군집 상태정보 테이블이 없는 경우 추가한다(그림 2 참조). RESERVE와 RESERVE-a 메시지를 받은 HA는 RESERVE-a 메시지에 대해서는 RESPONSE-a 메시지를 MAP1에게 보낸다(그림 3.a의 7).

3.1.3 MN과 CN간 종단간 자원예약 시그널링

MN과 CN간 종단간 자원예약 시그널링인 RESERVE 메시지는 MAP과 HA를 통해 최종적으로 CN에게 전달되고(그림 3.a의 8), CN은 RESERVE를 받으면 MN5에게 RESPONSE 메시지를 보내 응답하고(그림 3.a의 10), 이 RESPONSE 메시지는 HA(그림 3.a의 11)와 MAP1(그림 3.a의 12)을 통해 MN5에게 전달된다.

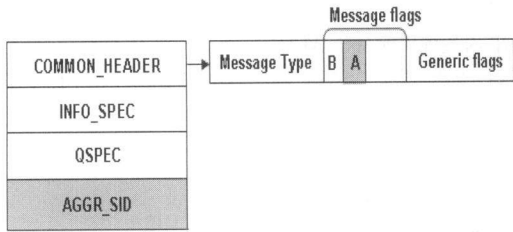
(그림 3.b)의 CN에서 MN 방향으로 자원예약 시그널링 메시지가 전달되는 경우에서도 3.1.1~3.1.3에서 설명한바와 같이, 각 노드는 종단간 시그널링 메시지와 터널 시그널링 메시지를 전달하면서 자원예약을 수행한다.

MN5가 MAP1에서 MAP2 도메인으로 이동하였다고 가정해보자. MAP1 도메인에서와 같이, MAP2 도메인에서 (그림 3.a)의 13, 14, 15, 16의 시그널링이 먼저 수행된 후, MAP2는 HA와 군집 자원 예약을 위해 RESERVE-a 메시지를 보내게 된다(그림 3.a의 17). 이때, 터널 내의 NSIS 노드들이 RESERVE-a 메시지 전달 중 자신이 크로스오버 노드인지

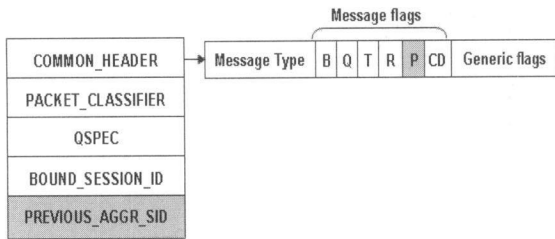
판단할 수 있도록 하기 위해서는 RESERVE-a 메시지에 핸드오버 한 MN의 이전 군집 SID가 포함되어 있어야 한다. 그러나 MN이 핸드오버 한 도메인에 있는 새로운 MAP은 MN의 이전 군집 SID를 알지 못한다. 따라서 RESERVE-a 메시지가 MAP에서 HA 방향으로 전달되는 경우에는 새로운 MAP이 MN의 이전 군집 SID를 알 수 있도록 하는 것이 필요하다. 그러나 (그림 3.b)의 15에서와 같이 HA에서 MAP의 방향으로 RESERVE-a 메시지가 전달되는 경우에는 HA가 MN이 핸드오버 하기 이전 도메인의 MAP과 군집 세션을 설립한 터널의 종단 노드이기 때문에 MN의 이동사실을 파악하고 MAP1과 HA간 이전군집 세션(AGG1)과 MAP2와 HA간 현재 군집 세션(AGG2)에 대한 업데이트를 바로 수행할 수 있다.

제안하는 방안에서는 MN이 현재 자신이 속한 MAP에서 사용하는 군집 SID를 파악하고 있다가 이동했을 때 이를 새로운 MAP에게 알리도록 한다. 이를 위해, MAP이 자신의 도메인에 들어온 MN에게 보내는 RESPONSE 메시지(그림 3.a의 12)를 통해 자신과 HA간 터널에서의 군집 SID를 MN에게 알려주도록 하였다. 그리고 MN이 인터 MAP 핸드오버 하여 새로운 MAP에 속하게 되면 새로운 MAP에게 보내는 RESERVE 메시지(그림 3.a의 13)에 MN이 이를 표시하도록 하였다.

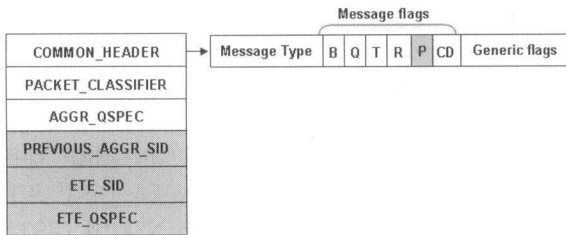
(그림 4)는 군집 SID를 알려주기 위해 MAP이 MN에게 보내는 RESPONSE 메시지이다. AGGR\_SID 객체에는 군집 SID가 저장되고, A(Aggregate) 플래그는 AGGR\_SID 객체를 검토해야 함을 MN에게 알리기 위한 것이다. 그리고 (그림 5)는 MN이 핸드오버 하기 이전에 획득한 군집 SID를 핸드오버 한 이후 새로운 MAP에게 알려주기 위한 RESERVE 메시지이다. 회색으로 음영 표시된 필드는 제안하는 방안을 위해 새롭게 추가한 객체와 플래그들을 표시한다. PREVIOUS\_AGGR\_SID 객체에는 이전 군집 SID가 저장되고, P(Previous) 플래그는 PREVIOUS\_AGGR\_SID 객체를 검토해야 함을 새로운 MAP에게 알리기 위한 것이다.



(그림 4) RESPONSE 메시지



(그림 5) RESERVE 메시지



(그림 6) RESERVE-a 메시지

MAP은 MN으로부터 RESERVE 메시지를 받으면, 이들은 MAP과 HA간 터널 내의 군집 자원 예약 또는 갱신을 위해 RESERVE-a 메시지를 터널 종단 노드를 향해 보낸다(그림 3.a의 17). (그림 6)은 제안하는 방안에서 MAP과 HA 간 (역) 터널에서의 군집 자원 예약을 위해 사용하는 RESERVE-a 메시지이다. RESERVE-a 메시지에는 크로스오버 노드를 발견하기 위해 사용되는 PREVIOUS\_AGGR\_SID, 크로스오버 노드가 발견된 이후 지역적 갱신을 수행하기 위해 사용되는

ETE\_SID와 ETE\_QSPEC 객체들을 포함하고, MAP과 HA 터널 내에 중간 NSIS 노드들이 이 객체들을 이용하여 크로스오버 노드 여부를 판단할 필요가 있는지를 표시하는 P 플래그를 포함한다.

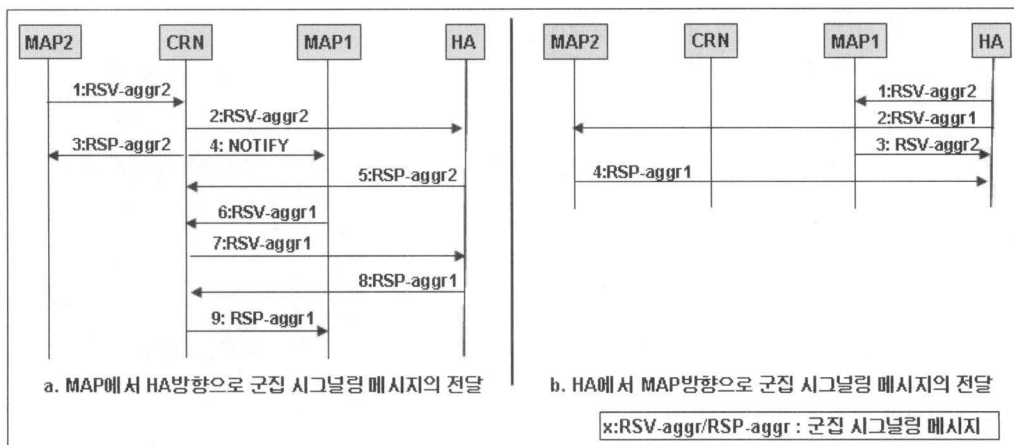
RESERVE-a 메시지가 전달될 때 MAP과 HA간의 각 NSIS 노드는 P 플래그가 0으로 설정되어 있는 경우 자신이 크로스오버 노드인지를 확인한다. 만약 RESERVE-a 메시지의 PREVIOUS\_AGGR\_SID 객체에 저장되어 있는 이전 군집 SID와 동일한 군집 SID가 이미 자신의 상태정보 테이블에 존재하지만 상태정보 테이블의 SII(Source Identification Information) 정보가 이전과 다르다면 그 노드는 크로스오버 노드가 된다. 즉, RESERVE-a 메시지의 PREVIOUS\_AGGR\_SID가 상태정보 테이블의 군집 SID 중 하나와 동일하다는 것은 그 NSIS 노드가 해당 MN을 위한 군집 세션을 이미 서비스하고 있었다는 것을 의미하며, 상태정보 테이블의 SII 정보가 달라졌다는 것은 RESERVE-a 메시지를 전달한 다음 홉이나 이를 보낸 이전 홉 피어 노드가 변경되었음을 의미하기 때문이다.

### 3.2 지역적 갱신을 위한 시그널링

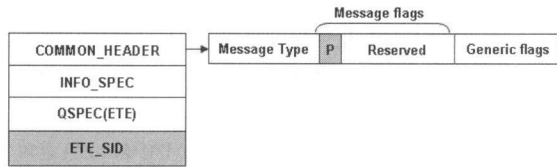
자신이 크로스오버 노드임을 인식한 NSIS 노드는 지역적 갱신을 수행한다. (그림 7)의 a는 크로스오버 노드에서 군집 세션을 위한 지역적 갱신을 수행하는 과정을 보인 것이다. (그림 7)의 b의 경우에는 전술한 바와 같이 HA가 이전 군집 세션과 현재 군집세션의 업데이트를 바로 수행할 수 있으므로 CRN 발견이 필요하지 않다.

먼저, 새로운 MAP과 HA 간 터널내의 모든 NSIS 노드들이 군집 예약 대역폭에 MN의 요구 대역폭을 추가하도록 하기 위해 새로운 군집 세션의 터널 종단 노드를 향해 RESERVE-a 메시지가 계속 전달되도록 한다(그림 7.a의 2). 이 때 크로스오버 노드는 RESERVE-a 메시지가 전달되는 터널 내에 있는 NSIS 노드들에게 제안하는 방안에서의 크로스오버 노드 발견 프로세서가 더 이상 수행될 필요가 없음을 표시하기 위해 P 플래그를 1로 설정한다.

또한, 크로스오버 노드는 터널 시그널링의 수신자가 아닌



(그림 7) 군집 세션을 위한 지역적 갱신을 수행하는 과정



(그림 8) NOTIFY 메시지

에도 불구하고 RESPONSE-a 메시지를 새로운 MAP에게 보내도록 한다(그림 7.a의 3). 크로스오버 노드부터 HA 구간은 MN의 이전 경로와 공동 경로이어서 이 구간에는 이미 MN의 요구 대역폭이 확보되어 있기 때문에 새로운 MAP으로부터 크로스오버 노드까지만 자원예약이 가능하면 터널 중단간 경로에 자원이 가용한 것이다. 따라서 터널 시그널링의 최종 수신자인 HA까지 RESERVE-a가 전달되기 전에 새로운 경로 상에 필요한 자원이 가용함을 먼저 파악한 크로스오버 노드가 RESPONSE-a 메시지를 보내도록 함으로써 자원예약 완료 시간을 단축할 수 있다.

크로스오버 노드는 상태정보 테이블의 이전 군집 세션 엔트리에서 이전 MAP의 주소를 알아낸 후, 이전 MAP에게 NOTIFY 메시지를 보낸다(그림 7.a의 4). 이 NOTIFY 메시지의 역할은 이전 MAP이 MN의 이전 군집 경로 상에 자원예약을 차감시키는 RESERVE-a 메시지를 생성하도록 하기 위해서이다. NSIS 시그널링에서 사용하는 모든 자원 예약 메시지는 그 세션을 위한 자원 예약 시그널링이 원래 전달되던 방향으로 항상 전달되어야 하므로[5,6] 크로스오버 노드가 이전 MAP에게 NOTIFY 메시지를 보내 자원 예약 시그널링의 원래 소스였던 이전 MAP이 이전 경로 목적지 방향으로 이전 군집 경로상의 자원을 차감하는 RESERVE-a 메시지를 생성하도록 한 것이다. (그림 8)은 크로스오버 노드가 이전 MAP에게 보내는 NOTIFY 메시지를 보이고 있다. NOTIFY 메시지에는 핸드오버 한 MN의 중단간 SID를 알려주기 위해 ETE\_SID 객체와 P 플래그를 포함하였다.

이전 MAP은 P 플래그가 설정된 NOTIFY 메시지를 받았을 때 이전 MAP과 HA 간 터널 내에 NSIS 노드들이 군집 자원 예약 대역폭을 MN의 QSPEC 만큼 감소시켜 갱신하도록 하기 위해 RESERVE-a 메시지를 생성해야 한다. 이를 위해, NOTIFY 메시지에 표시된 ETE\_SID를 기반으로 NSIS의 자원 예약 상태 관리 테이블인 RMF(Resource Management Function)에서 MN의 중단 자원예약인 QSPEC을 알아내고, 기존 군집 세션의 AGGR\_QSPEC에서 MN의 QSPEC 만큼 뺀 AGGR\_QSPEC을 RESERVE-a 메시지의 AGGR\_QSPEC에 저장한 후, 터널 중단 노드인 HA를 향해 전달한다(그림 7.a의 6과 7). AGGR\_QSPEC은 네트워크 도메인의 정책에 따라 각 노드별 QSPEC의 합 또 평균이 될 수 있다. 따라서 AGGR\_QSPEC에서 MN의 QSPEC 만큼 뺀다는 의미는 네트워크 도메인의 정책에 따라 트래픽 모델 관련된 rate(r), bucket size(b), peak rate(p) 등의 파라미터의 값을 감소시킨다는 것이다.

일반적인 NSIS 시그널링 방식에 따라 터널 시그널링의 최종 수신자인 HA는 RESERVE-a 메시지를 받았을 때 CRN 또는 MAP을 향해 RESPONSE-a 메시지를 보낸다(그림 7.a

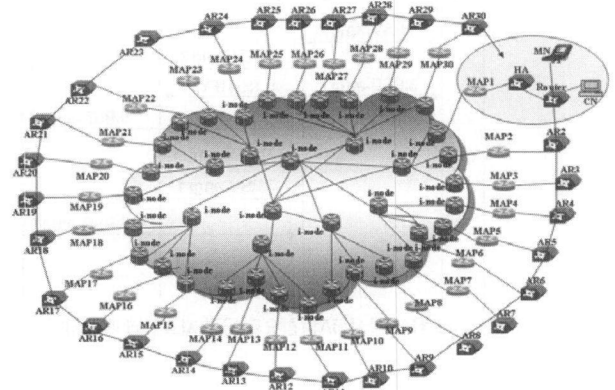
5와 8, 9).

군집 자원예약에서는 MAP과 HA간 군집 대상이 되는 MN이 전혀 없을 경우 MAP 또는 HA가 일반적인 RESERVE-a with teardown 메시지를 통해서 자원을 해약한다. 이는 [2]에서의 일반적인 QoS NSLP 자원해약 절차를 따른다.

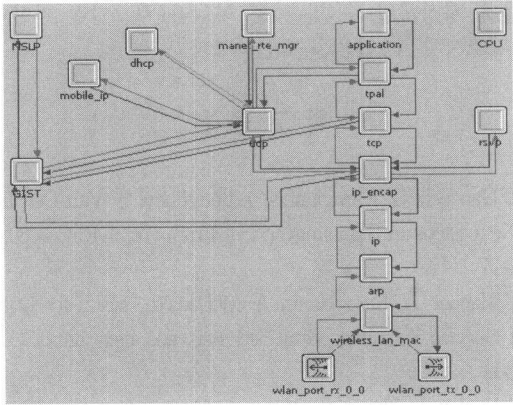
#### 4. 성능평가

제한하는 크로스오버 노드 발견 방안의 성능을 평가하기 위해 Opnet Modeler 12.0을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. (그림 9)는 시뮬레이션에서 사용된 네트워크 모델을 보여주고 있다. 시뮬레이션 네트워크 모델은 전달 네트워크와 MN의 홈 네트워크를 포함하여 30개의 MAP 도메인으로 이루어져 있고, 각 MAP 도메인 내에는 한 개의 AR로 구성되어 있다. 전달 네트워크로는 QoS를 보장할 수 있는 라우터들로 구성된 국내 KT-VPN(Virtual Private Network) 네트워크 모델을 가정하였다. MN은 홈 네트워크로부터 이동을 시작하여 30개의 MAP 도메인을 차례로 방문하며, 이동하면서 멀티미디어 수신자와 1480 bytes/s의 비디오 어플리케이션 통신을 하는 것으로 가정하였다. 무선접속망은 802.11b를 사용하며, AR의 전송 파워는 0.001watt이고, AR간 거리는 1Km이다. 시뮬레이션에서는 자원 예약을 위한 시그널링 프로토콜인 NSIS 프로토콜의 구현을 위해 MN, MAP, 라우터(i-node, AR), HA에 NSLP 프로세스 모델과 GIST 프로세스 모델을 각각 추가하였다. (그림 10)은 NSLP와 GIST 프로세스 모델을 추가한 노드 모델의 한 예(MN 노드 모델)를 보여주고 있다. 본 실험에서는 군집 자원 예약이 이루어진 MAP과 HA 터널에서 크로스오버 노드를 발견할 수 있는 제안하는 방안과 크로스오버 노드를 발견하지 못하는 기존 방안에 대해 비교하였으며, 비교 기준으로는 MN이 MAP간 인터 핸드오버에서 발생하는 자원 예약 시그널링 지연과 지연의 편차 및 핸드오버 동안의 처리율을 측정하였다.

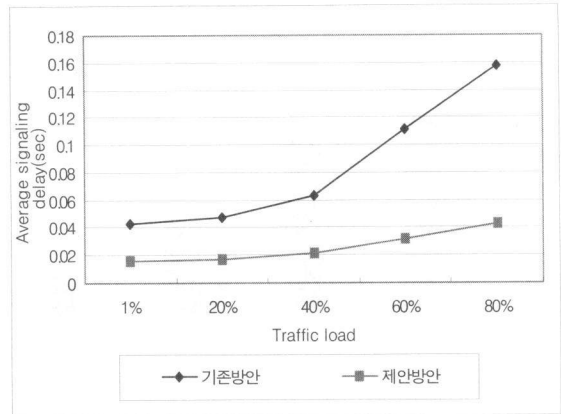
(그림 11)은 전달 네트워크 트래픽의 부하가 증가하는 상황에서 MN이 MAP 도메인을 차례대로 방문하며 인터 핸드오버 할 때 발생하는 자원 예약 시그널링 지연을 보인 그래프이다. x축은 시뮬레이션 네트워크 모델에서 핸드오버 한 MAP의 번호에 해당한다. 제안하는 방안에서는 RESERVE-a



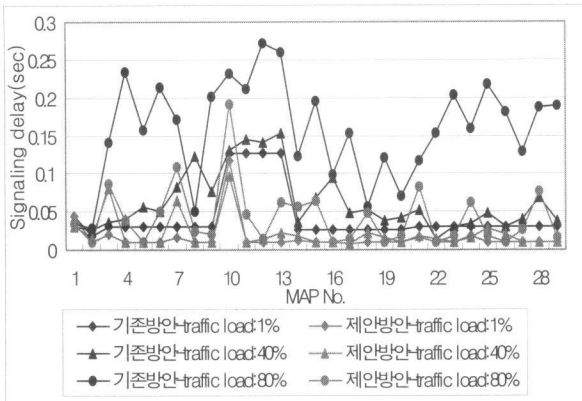
(그림 9) 시뮬레이션 네트워크 모델



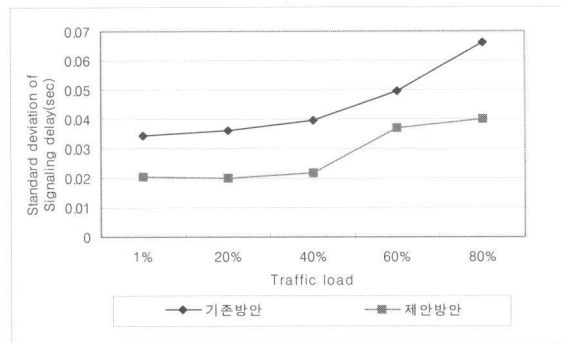
(그림 10) MN 노드 모델



(그림 12) MAP 간 인터 핸드오버 시 평균 시그널링 지연



(그림 11) MAP 간 인터 핸드오버 시 시그널링 지연



(그림 13) MAP 간 인터 핸드오버 시 시그널링 지연의 표준편차

메시지가 터널의 종단인 HA에 도달하기 전에 크로스오버 노드가 발견되고, 그 크로스오버 노드가 RESPONSE-a 메시지를 보내야 한다. 반면, 기존 방안에서는 RESERVE-a 메시지가 항상 터널의 종단인 HA까지 전달되고, HA가 크로스오버 노드가 되어 RESPONSE-a 메시지를 보낸다. 따라서 (그림 11)에서 보는 바와 같이 트래픽 로드 정도에 관계없이 제안하는 방안에서의 시그널링 지연이 기존 방안보다 더 짧다. 또한 이 차이는 전달 네트워크의 트래픽 로드가 클수록 더 커짐을 볼 수 있다.

(그림 12)는 트래픽 로드도에 대해 평균 시그널링 지연을 보인 그래프이다. (그림 12)에서 제안하는 방안에서의 평균 시그널링 지연은 0.02~0.04s인 반면, 기존 방안에서는 0.04~0.16s로 평균 시그널링 지연이 제안하는 방안보다 큼을 볼 수 있으며, 트래픽 로드도가 1%~20%로 낮은 경우도 기존 방안의 시그널링 지연이 제안하는 방안의 2배 이상이 되고, 트래픽 로드도가 40%가 되면 기존 방안의 시그널링 지연이 제안 방안의 3배에 달하게 됨을 볼 수 있다.

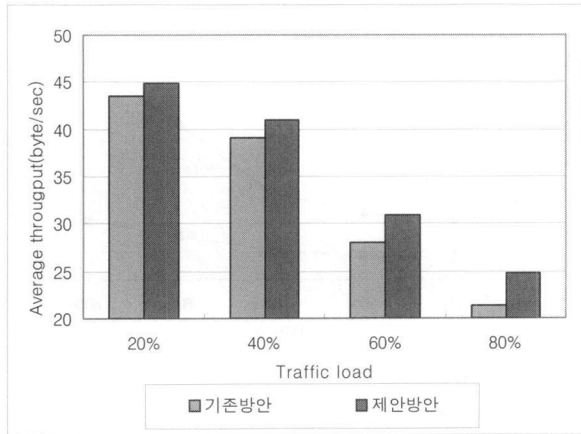
(그림 13)은 기존 방안과 제안하는 방안에서의 시그널링 지연의 표준편차를 보인 그래프이다. 제안하는 방안이 0.02~0.04s의 표준편차를 보인 반면, 기존 방안에서의 시그널링 지연의 표준편차는 0.04~0.065s를 보이고 있다. 즉, 제안하는 방안에서 MN이 크로스오버 노드를 발견하여 자원 예약이 완료되기까지의 시그널링 지연정도가 기존 방안보다 고

르다는 것을 알 수 있다.

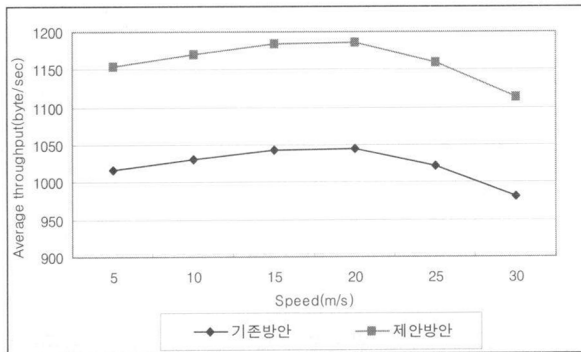
(그림 14)는 트래픽 로드도에 대한 평균 처리율을 나타내고 있다. (그림 14)에서 보인 평균 처리율은 MN이 핸드오버를 수행한 시점부터 핸드오버를 완료한 후, 두 방안에서 모두 자원예약을 마치고 수신자가 지속적으로 일정한 처리율을 유지하기 시작할 때까지의 평균 처리율을 측정하였다. 제안하는 방안에서는 자원예약을 위한 시그널링 지연을 줄임으로써 기존 방안보다 좀 더 일찍 세션을 재개할 수 있다. 따라서 (그림 14)에서 보는 바와 같이, 핸드오버 하는 동안 기존 방안보다 제안하는 방안의 평균 처리율이 더 높다.

(그림 15)는 MN 이동속도에 대한 평균 처리율을 나타내고 있다. 이 실험에서는 MN의 이동속도를 5m/s에서 30m/s까지(시속 15km에서 시속 110km까지) 5m/s단위로 증가시켜 보았다. 전달 네트워크 트래픽 로드도는 80%로 가정하였고, MN의 핸드오버 횟수는 동일하며, MN이 네트워크의 특정 장소에서 일정 시간을 머무르는 일 없이 홈 도메인으로부터 이동을 시작하여 30번째 외부 MAP 도메인까지 차례대로 방문하여 핸드오버를 완료하였을 때까지의 평균 처리율을 구하였다.

(그림 15)에서 보는 바와 같이 평균 처리율은 두 방안 모두 20m/s(시속 72km)까지 증가하다가 20m/s 이상이 되면서 감소하였다. MN이 핸드오버와 자원예약을 완료하는데 걸리는 시간은 이동속도와 관계없이 거의 일정하지만, AR간 전파범위가 겹치지 않는 지역을 MN이 느리게 이동하면 데이



(그림 14) MAP 간 인터 핸드오버 시 평균 처리율



(그림 15) MN 이동속도에 대한 평균 처리율

터 손실이 커진다. 반대로 AR간 전파범위가 겹치지 않는 지역을 MN이 빠른 속도로 이동할수록 데이터 손실이 적어지다가 MN의 속도가 너무 빨라지면 자원예약이 완료되기 전에 또는 완료된 직후 짧은 시간 안에 AR의 전파범위를 벗어나는 경우가 발생하기 때문에 처리율이 다시 떨어진다. 두 방안의 평균 처리율 차이에 있어서, 제안방안은 이동속도와 관계없이 자원예약 시그널링 지연이 기존 방안보다 짧기 때문에 기존방안의 모든 경우에 대해 평균 138bytes의 처리율을 향상시켰음을 볼 수 있었다.

### 5. 결론

본 논문에서는 HMIPv6 네트워크에서 자원예약 프로토콜로 NSIS를 사용하고 MAP과 HA간 터널에서 군집 자원 예약을 수행하는 경우 MAP과 HA간 터널 내에서 크로스오버 노드를 발견하는 방안을 제안하였다. 제안하는 방안에서는 NSLP 시그널링 메시지에 이전 군집 세션에 대한 정보 및 지역적 갱신을 위해 필요한 정보를 포함하여 전달함으로써 MAP과 HA간 군집 자원 예약된 터널 내에서 크로스오버 노드를 발견할 수 있도록 하였으며, 크로스오버 노드 발견 이후 자원 예약 갱신 및 해지가 빨리 이루어질 수 있도록 하였다. 시뮬레이션을 통해, 제안하는 방안에 의해 MAP 간 이동이 발생했을 때 자원예약 시그널링 지연을 단축시키고

처리율을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 시그널링 지연의 편차도 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] R. Hancock, G. Karagiannis, J. Loughney, S. Van Den Bosch, "Next Steps in Signaling(NSIS): Framework," RFC 4080, June 2005
- [2] J. Manner, G. Karagiannis, A. McDonald, "NSLP for Quality-of-Service Signaling," draft-ietf-nsis-qos-nslp-12.txt, October 2006
- [3] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, "Resource ReSerVation Protocol(RSVP)," RFC2205, September 1997
- [4] D. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, V. Srinivasan, G. Swallow, "RSVP-TE: Ex-tensions to RSVP for LSP Tunnels," RFC3209, December 2001
- [5] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management(HMIPv6)," RFC 4140, August 2005
- [6] S. Lee, S. Jeong, H. Tschofenig, X. Fu, J. Manner, "Applicability Statement of NSIS Protocols in Mobile Environments," draft-ietf-nsis-applicability-mobility-signaling-05.txt, June 2006
- [7] S. Lee, S. Jeong, B. Lee, and J. Bang, "A Next Generation QoS Signaling Protocol for IP-based Mobile Networks", IST05, June 2005

### 변 해 선



e-mail : ladybhs@ewhain.net

2001년 광주대학교 컴퓨터학과(학사)

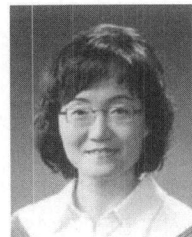
2003년 이화여자대학교 과학기술대학원 컴퓨터학과(공학석사)

2003년~현재 이화여자대학교

컴퓨터정보통신공학과 박사과정

관심분야: 시그널링 프로토콜, 차세대 네트워크, QoS 트래픽 엔지니어링, 가상사설망, 무선 네트워크

### 이 미 정



e-mail : lmj@ewha.ac.kr

1987년 이화여자대학교 전자계산학과 (학사)

1989년 University of North Carolina at Chapel Hill 컴퓨터학과(공학석사)

1994년 North Carolina State University 컴퓨터공학과(공학박사)

1994년~현재 이화여자대학교 공과대학 컴퓨터정보 통신공학과 교수

관심분야: 프로토콜 설계 및 성능 분석, 멀티미디어 전송을 위한 트래픽 제어, 인터넷 QoS, 트래픽 엔지니어링, 무선 이동 네트워크, Ad-hoc 네트워크