

논문 2005-42TC-1-7

# 실내 망 동기화를 위한 NTP와 Master-Slave 방식의 비교

## (Comparison of NTP and Master-Slave Network Synchronization Methods in in-door Environment)

이 효 정\*, 권 영 미\*\*

(Hyojung Lee and Youngmi Kwon)

### 요 약

Location Positioning은 유비쿼터스 컴퓨팅에서 주요한 기술이다. 최근에 UWB를 사용한 Location Positioning이 연구되고 있다. 실내 망에 location network을 구성하기 위해서는 base station들의 동기 특성이 매우 중요하다. LAN부터 WAN까지 시간의 동기를 맞추는 프로토콜로 제안되어 사용되고 있는 것이 NTP이다. 또한 실내 망을 동기화시키기 위해 가장 간단한 방법으로 사용할 수 있는 것이 Master-Slave 방식이다. 본 논문에서는 UWB Location Positioning을 위한 실내 망 동기화에 대해 NTP와 Master-Slave 방식을 UWB Channel 모델 특성을 적용하여 비교 분석하였다. 하나의 primary base station을 기준으로 여러 개의 base station을 실내 망에 동기를 맞춰가며 확장시켜 나갈 때, 각 base station이 포함하게 될 오차의 범위를 여러 채널 모델에서 모의 실험하였다. 그 결과, 비교적 간단하게 적용될 수 있는 Master-Slave 방식보다 NTP 방식이 더 적은 오차로 동기를 맞출 수 있는 동기화 방식인 것으로 나타났다.

### Abstract

Location Positioning is a major technology for ubiquitous computing. Recently the research on Location Positioning using UWB is on going. In order to construct an in-door location network, synchronization of base stations is very important. NTP is popularly used as clock synchronization protocol ranging from LAN to WAN. Also Master-Slave scheme is the simplest method to synchronize in-door network. We compare and analyze NTP and Master-Slave schemes according to the statistical channel model for indoor multipath propagation environment. In this paper, error ranges are calculated at various circumstances that in-door network expands from one primary base station into several base stations. We compared the correctness of NTP and Master-Slave synchronization methods. NTP is more reasonable synchronization protocol in in-door environment.

**Keywords :** UWB, clock synchronization, NTP, location positioning

### I. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅에서 주요한 기술인 Location Positioning은 오늘날 모바일 단말기의 위치를 결정하기 위한 기능과 절차를 나타내는 데에 사용된다. Location Positioning에 사용되는 매체의 종류로는 infrared rays,

ultrasonic waves, radio frequency signal 그리고 UWB (Ultra WideBand) 등이 있다. 최근에 UWB를 사용한 Location Positioning이 연구되고 있다. 실내 망에 location network을 구성하기 위해서는 base station들의 동기 특성이 매우 중요하다. 동기화를 위한 방식으로는 NTP(Network Time Protocol)<sup>[4-6]</sup>, Master-Slave<sup>[7]</sup>, RTT(Round Trip Time)등의 방식이 있다.

UWB 통신방식은 그 사용 대역폭이 중심주파수의 25% 이상으로 광대역이며 비교적 저렴한 비용으로 원하는 전송속도 및 전송 거리를 확보할 수 있는 장점을 가진다. Narrow band signal에 비해 벽과 같은 장애물 투과율이 좋고 multipath reslolution이 우수하여 고속의 데이터 전송률을 지원하는 시스템에 적합한 방식으로

\* 학생회원, 충남대학교 정보통신공학과  
(Department of Information and Communications Engineering, Chungnam National University)

\*\* 정회원, 충남대학교 전기정보통신공학부  
(Electronics, Radio, Information communications Engineering, Chungnam National University)

※ 이 논문은 2003학년도 충남대학교 자체 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2004년7월15일, 수정완료일:2005년1월11일

여겨지고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 UWB 매체를 사용할 때 시각 동기는 1 ns의 동기 오차가 30cm의 측위 오차를 유발하게 되므로 nanosecond 단위의 정확도를 가져야만 한다<sup>[2]</sup>.

Network Time Protocol (NTP)는 인터넷을 통해 컴퓨터의 시각을 동기화하기 위한 프로토콜이다. NTP의 정확도는 WAN에서는 밀리 초 단위, LAN에서는 밀리 초 이하 (마이크로 초)의 단위까지이며 GPS수신기나 오실레이터 같은 정확한 시각 참조원이 있는 경우에는 마이크로 초 이하 (나노 초) 단위까지인 것으로 보고되고 있다<sup>[6]</sup>.

또한 실내 망을 동기화시키기 위해 가장 간단한 방법으로 사용할 수 있는 Master-Slave 동기화 방식은 Master와 Slave 노드가 point-to-point로 동작하여 시각을 동기화한다.

본 논문에서는 UWB 채널 모델 특성을 기본으로 하여 Location Positioning을 위한 실내 망을 구축하려 할 때, NTP와 Master-Slave 방식이 base station들의 동기화에 미칠 수 있는 동기 오차의 범위를 시뮬레이션으로 비교, 분석하여 각 채널 모델 특성에 따른 적용 가능성을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 UWB의 채널 모델을 소개하고 III장에서는 기존의 동기화 방식에 대해 설명한다. IV장에서는 UWB를 이용한 실내 망 동기 오차 범위를 실험한 시뮬레이션 결과를 보이며 각 방법의 적용 가능성을 분석하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. UWB의 채널 모델

현재 IEEE 802.15.3 WPAN WG에서 채널 모델에 대한 여러 제안서가 검토되고 있으며 어느 정도 통합되고 정리되어 있는 단계에 있다. 채널 모델은 antenna separation range와 Line-of-Sight(LOS) 환경인지 Non-Line-of-Sight(NLOS) 환경인지에 따라 4가지 형태로 분류된다<sup>[3]</sup>.

채널 모델 1은 송신기와 수신기가 0~4m 거리 내에 위치하고 LOS의 특성을 갖는 경우이다. 이 경우 20ns 이상의 delay가 발생할 때 20dB 이상의 신호 감소가 일어나 망 동기 성능이 크게 영향 받을 것을 예상할 수 있다.

채널 모델 2는 송신기와 수신기가 0~4m 거리 내에 위치하고 NLOS의 특성을 갖는 경우이다. 이 경우 40ns

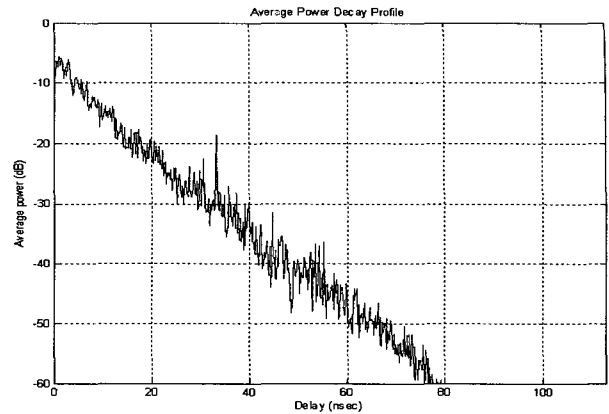


그림 1. 채널 모델 1의 Power delay profile  
Fig. 1. Power delay profile of Channel Model 1.

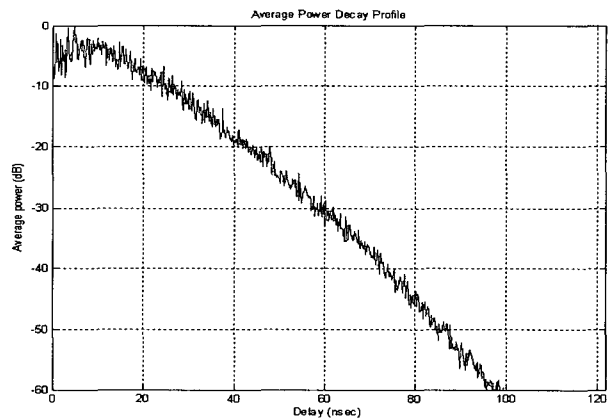


그림 2. 채널 모델 2의 Power delay profile  
Fig. 2. Power delay profile of Channel Model 2.

이상의 delay가 발생할 때 20dB 이상의 신호 감소가 일어나 망 동기 성능이 크게 영향 받을 것을 예상할 수 있다.

채널 모델 3은 송신기와 수신기가 4~10m 거리 내에 위치하고 NLOS의 특성을 갖는 경우이다. 이 경우 100ns 이상의 delay가 발생할 때 20dB 이상의 신호 감소가 일어나 망 동기 성능이 크게 영향 받을 것을 예상할 수 있다.

채널 모델 4는 송신기와 수신기가 극심한 NLOS의 특성을 갖는 경우이다. 이 경우 150ns 이상의 delay가 발생할 때 20dB 이상의 신호 감소가 일어나 망 동기 성능이 크게 영향 받을 것을 예상할 수 있다.

## III. 동기화 방식

### 3.1 Network Time Protocol

Network Time Protocol(NTP)은 인터넷을 통해 컴퓨터의 시각을 동기화하기 위한 프로토콜로서 LAN부

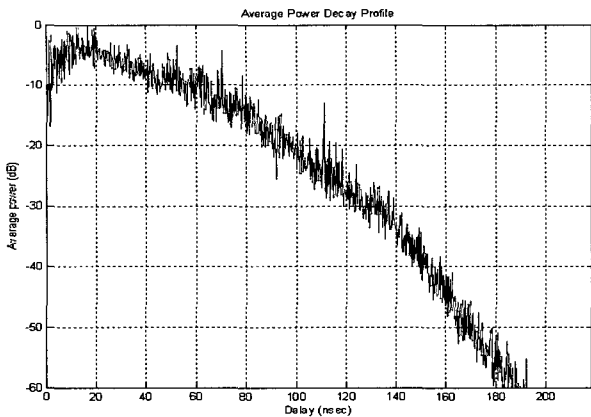


그림 3. 채널 모델 3의 Power delay profile  
Fig. 3. Power delay profile of Channel Model 3.

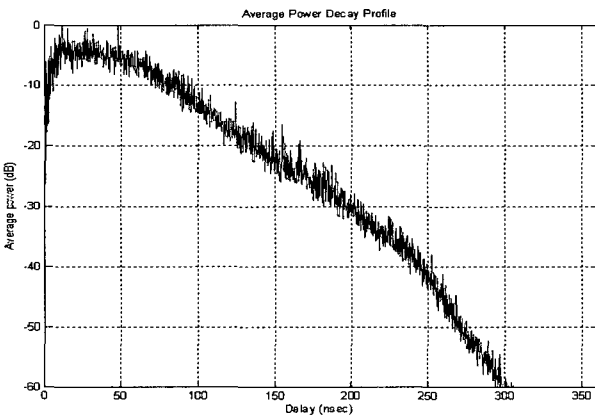


그림 4. 채널 모델 4의 Power delay profile  
Fig. 4. Power delay profile of Channel Model 4.

터 WAN까지 분산된 시각 서버와 클라이언트 간의 시각을 동기화하는데 사용된다. NTP는 Intersection, Clustering 그리고 Combining 모듈로 구성된다. Intersection과 Clustering 모듈은 여러 time 서버로부터 같은 방법으로 받은 타임스탬프 중 가장 정확하고 신뢰할 수 있는 time 정보들을 선정하는 작업을 한다. Combining 모듈은 이전까지의 과정을 거쳐서 선택된 여러 clock들을 동기화 거리에 입각한 평균에 의해 더욱 정확한 타임스탬프를 구한다. 그림 5에 NTP의 동작 모듈을 보였다. 각 모듈의 역할은 참고문헌 [4-6]에 자세히 설명되어 있다.

NTP 프로토콜에서의 지연과 오프셋을 구하기 위한 4개의 타임스탬프가 노드 A 와 B 사이에서 어떻게 교환되는지를 보여준다. 그림에서 보여 지는 대로 손실은 없다고 하고  $T_3 > T_2$  라는 가정 하에 가장 최근의 4개의 타임스탬프의 값을  $T_1, T_2, T_3, T_4$  라고 한다. 또한 A 와 B 의 시각은 안정적이고 같은 주파수에서 동작한다고 가정한다.  $a = T_2 - T_1$ ,  $b = T_3 - T_4$  라 한다.

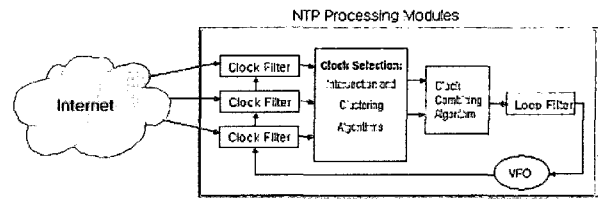


그림 5. Network Time Protocol 동작 모듈  
Fig. 5. Components of Network Time Protocol.

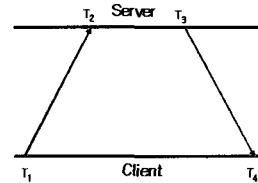


그림 6. 두 노드간의 Delay 및 offset 측정  
Fig. 6. Measuring Delay and Offset.

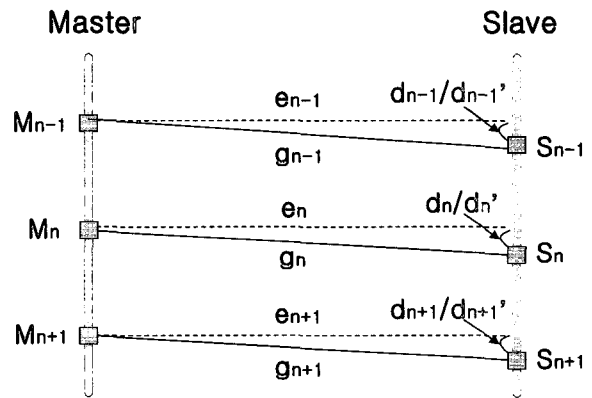


그림 7. Master와 Slave의 동기화  
Fig. 7. Master - Slave scheme.

만약 노드 A 로부터 노드 B 까지, 노드 B 로부터 노드 A 까지의 differential delay라고 불리어지는 네트워크 지연 차이가 작다면 타임스탬프  $T_4$ 에서 A 에 대한 B 의 시각 오프셋  $\theta$  와 전송지연  $\delta$  는  $\theta = \frac{a+b}{2}$  와  $\delta = a - b$  를 만족한다<sup>[5]</sup>.

정상적인 작동 조건하에 기대되어지는 에러를 dispersion  $\epsilon$  이라고 하며 어떤 작동 조건하에서도 기대되는 최대한의 에러를 동기화 거리 (synchronization distance)  $\lambda$  라고 한다. 임의의 조건하에 계산된  $\epsilon$  가 주어지면,  $\lambda \equiv \frac{\delta}{2} + \epsilon$  으로 정의된다. 즉,  $\theta$ 가 1차 참조원에 대해 로컬 시각의 측정된 오프셋이라면 그 참조원에 관한 실제 오프셋  $\theta_0$  은  $\theta - \lambda \leq \theta_0 \leq \theta + \lambda$  구간 안에 있게 된다. 이 실제 오프셋  $\theta_0$  의 구간을 confidential interval이라고 하며<sup>[5]</sup>,  $\lambda$ 는 우리가 구하고

자 하는 동기화 오차 값이다.

### 3.2 Master-Slave scheme

UWB를 사용하는 실내 망을 동기화시키기 위해 가장 간단한 방법으로 사용할 수 있는 것이 Master-Slave 방식이다. 고성능 시스템인 Master와 point-to-point로 동작하여 Slave 노드가 master에 클럭을 맞춘다. Master-Slave 구조를 기반으로 한 동기화 방식에서 Master는 시스템 시간만을 사용하고 Slave는 자신의 시스템 시간뿐만 아니라 주기적으로 송신되는 Master의 시스템 시간으로부터 동기화 된 가상 시간을 함께 사용한다. Master가 Slave에게 일정주기마다 동기화 메시지를 보냄으로써 동기화를 수행한다. 그림 11은 Master가 Slave에게 주기적인 동기화 메시지를 보낼 때 Master와 Slave의 관계를 나타낸 그림이다.  $M_n$ 과  $S_n$ 은 n번째 동기화 메시지 송수신시 Master와 Slave의 시스템 시간이고,  $d_n$ 은 이때 발생된 메시지 지연 값이 되며  $g_n$ 은 메시지 송수신시 두 시스템의 시간차( $S_n - M_n$ )이다.  $e_n$ 은 Master가 메시지를 보내는 순간에 Slave와의 시간 차이 값을 말한다. 오직 Master에서 Slave로 송신만 하므로 측정할 수 있는 값은  $M_n$ 과  $S_n$  둘뿐이다.  $d_n$ 은 (1), (2)식을 이용하여 구할 수 있으며, 이렇게 구한  $d_n$ 은 두 시스템간의 지연 값으로서 구하고자 하는 동기 오차 값이 된다<sup>[7]</sup>.

$$M_n + e_n + d_n = S_n \quad (1)$$

$$d_n = g_n - e_n \quad (2)$$

## IV. 시뮬레이션 및 결과

실내 UWB location 망에서 동기화는 다수의 참조원을 둘 수 없기 때문에 하나의 primary base station으로부터 시작하였다. 동기화 과정을 통해 secondary 노드(혹은 slave 노드)로서 새로운 노드가 추가되어지면 노드는 또 다른 노드가 추가되어질 때 primary 노드의 역할을 하게 된다. 채널 모델을 적용하기 위한 망을 그림 8과 같이 구성하였고 NTP와 Master-Slave 방식 별로 각 노드에서의 동기 오차를 구하였다. 시뮬레이션 망은 하나의 primary base station으로부터 여러 개의 base station으로 확장해 나가도록 했다. 계층 1(Stratum 1)에서부터 계층 5로 확장되면서 오차가 누적된다. 따라서 노드 K가 가장 많은 누적 오차로 동기화

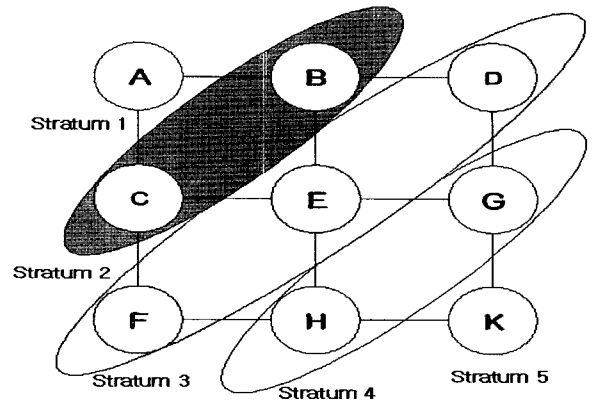


그림 8. 시뮬레이션 망 그래프  
Fig. 8. Simulation network graph.

되게 되고 이 외의 노드에서는 노드 K 보다는 작은 오차 값을 갖게 된다.

각 노드 사이 거리는 20dB이 감소되는 거리로 하였고 delay는 화이트 가우시안 노이즈를 가지며 신뢰구간 95%의 정규분포를 갖게 했다. 시뮬레이션에는 Matlab 6.5를 사용하였다.

시뮬레이션 결과는 그림 9~12에 나타냈으며 4개의 그래프는 두 가지 동기화 방식에 대해 각 노드가 갖게 되는 평균 동기 오차 값에 대한 비교이다. 4개의 채널 모델에 대한 결과에서 보듯이, NTP방식이 Master-Slave 방식 보다 월등히 좋은 결과를 보여준다. NTP방식이 Master-Slave 방식보다 더 작은 동기화 오차 값을 나타내며 특히 채널 모델 3, 4에서는 NTP가 훨씬 좋은 동기 오차 성능을 나타낸다.

최대 동기 오차를 나타낼 수 있는 최악의 경우(worst case)인 채널 모델 4에서 노드 K는 Master-Slave인 경우에는 20~25ns 정도의 동기 오차를 나타냈고 NTP에서는 10~13ns 이하의 동기 오차를 나타냈다. 실제 망에서 이런 최악의 동기화 오차를 허용한다고 가정하면 Master-Slave방식은 Location Positioning을 하는 데에 6~7 meters 정도의 오차 값을 갖게 할 수 있으며, 이것은 실내 망 UWB Positioning에 적용할 수 없는 값이다.

평균적으로 NTP의 경우, UWB 채널 모델 1에서 60cm 이하, 채널 모델 2에서는 90cm 이하, 채널 모델 3에서는 160cm 이하의 오차 범위를 갖게 되고 최악의 경우인 채널 모델 4에서조차 Master-Slave방식과 비교했을 때 거의 그 결과 값의 1/2 정도의 오차 범위를 보여 주었다.

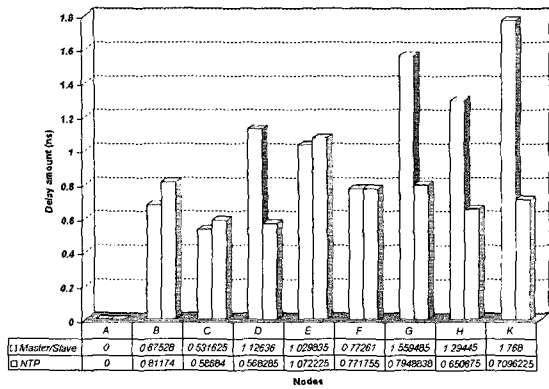


그림 9. 채널 모델 1의 노드 별 평균 동기 오차  
Fig. 9. A comparative graph of delay at each node in channel model 1.

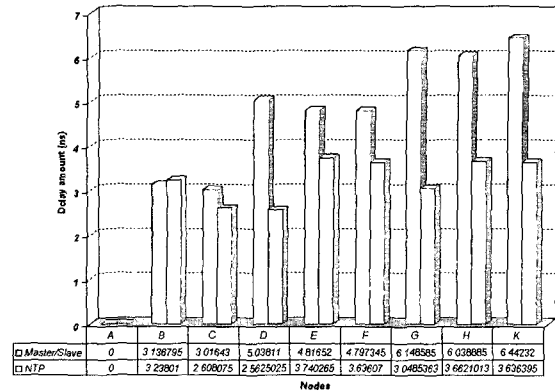


그림 11. 채널 모델 3의 노드 별 평균 동기 오차  
Fig. 11. A comparative graph of delay at each node in channel model 3.

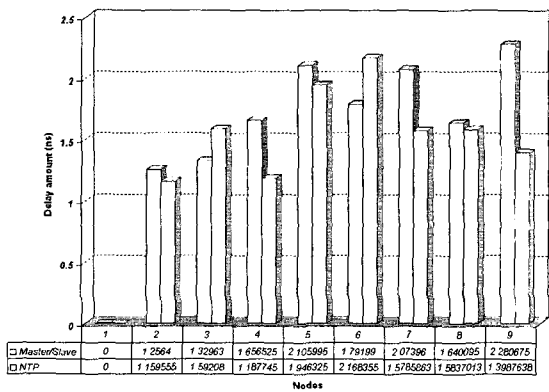


그림 10. 채널 모델 2의 노드 별 평균 동기 오차  
Fig. 10. A comparative graph of delay at each node in channel model 2.

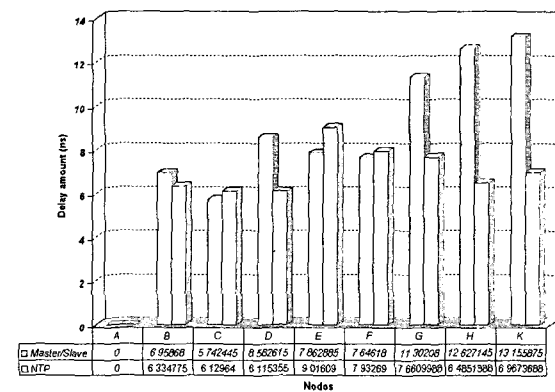


그림 12. 채널 모델 4의 노드 별 평균 동기 오차  
Fig. 12. A comparative graph of delay at each node in channel model 4.

### V. 결 론

본 논문에서는 UWB 채널 모델 특성에 기본으로 하여 UWB Location Positioning의 실내 망 동기화를 위한 NTP와 Master-Slave 방식을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과 모든 채널 모델에서 Master-Slave 보다 NTP가 더 좋은 결과 값을 가졌다. 특히 채널 모델 3, 4에서는 Master-Slave가 NTP 보다 거의 2배에 가까운 동기 오차를 보여주어, NTP 방식이 UWB Location Positioning을 위한 실내 망을 동기화하는 데에 더욱 적합한 방식인 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

[1] Kamol Kaemarungsi, "INFSCI 3965 Doctoral Seminar Fall 2000: Final Project Performance of Ultra-Wideband Signal," Oct. 2001.

[2] 이준용, "UWB와 Indoor Radio Location," 한국 통신 학회지, vol. 20, no. 2, pp. 193-201, Feb. 2003.  
 [3] A. Saleh and R. A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multi-path propagation," IEEE Journals of selected Areas Commun., vol. 5, pp. 128-137, Feb. 1987.  
 [4] Mills, D.L. "Network Time Protocol (Version 3) specification, implementation and analysis," DARPA Network Working Group Report RFC-1305, University of Delaware, March 1992, 113pp.  
 [5] Mills, D.L. "Improved Algorithms for Synchronizing Computer Network Clocks," Proc. ACM SIGCOMM 94 Symposium, September 1994.  
 [6] Mills, D.L. "NTP Architecture, Protocol and Algorithms," <http://www.eecis.udel.edu/~mills>, January 2003.  
 [7] 이윤준, 홍영식, "A clock synchronization protocol for distributed embedded systems in wireless environments", 한국 정보 과학회지, October 2003.

저 자 소 개



이 효 정(정회원)  
 2001년 동국대학교 수학과 학사.  
 2003년~현재 충남대학교  
 정보통신공학과 석사과정  
 재학 중.  
 <주관심분야: Sensor Network,  
 Network Management, Traffic  
 Engineering>



권 영 미(정회원)  
 1986년 서울대학교 컴퓨터공학과  
 학사.  
 1988년 서울대학교 컴퓨터공학과  
 석사.  
 1996년 서울대학교 컴퓨터공학과  
 박사.  
 1993년~1995년 한국전자통신연구원 연구원  
 1996년~2002년 목원대학교 컴퓨터공학과 조교수  
 2002년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부  
 부교수  
 <주관심분야: Network Management, Traffic  
 Engineering, QoS, Routing, Sensor Network>