

## 멀티미디어 서비스를 위한 IEEE 802.11 WLANs 기반의 무선 네트워크 동기화 알고리즘

윤종원\*, 정진우\*\*

### Wireless Network Synchronization Algorithm based on IEEE 802.11 WLANs (Wireless Local Area Networks) for Multimedia Services

Jongwon Yoon\*, Jinoo Jung\*\*

#### 요약

단일 멀티미디어 콘텐츠 소스가 다양한 분산된 무선 디바이스에서 재생될 때, 오디오와 비디오 콘텐츠는 멀티 채널 스테레오 사운드와 립싱크 (lip-sync)를 위한 동시적인 플레이가 요구된다. 특히 차량 내의 멀티미디어 시스템은 기존의 유선 환경에서 최근 무선 환경으로의 이전에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 상황이다. 이에 본 논문은 IEEE 802.11 WLANs [1] 환경에서 실시간으로 멀티미디어 트래픽을 전송하기위해 필요한 동기화된 서비스 제공을 목적으로 하는 동기화 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 기존의 IEEE 1588 [2]을 개선한 새로운 알고리즘을 구현하고 무선 랜 (WLANs) 환경의 시뮬레이션 환경을 구축하여 그 성능을 평가, 분석한 후 실제 무선 디바이스 (링크시스 wrt-350n AP 네트워크 디바이스)에 이를 포팅 하여 디바이스 간의 동기화 정확도를 실험, 분석하였다.

#### Abstract

When a single source of multimedia contents is distributed to multiple reproduction devices, the audio and video contents require synchronous play for multi-channel stereo sound and lip-synchronization. The multimedia system in vehicle, especially, has researched to move to wireless environments from legacy wired environments. This paper proposes the advanced algorithm for providing synchronized services of real-time multimedia traffic in IEEE 802.11 WLANs [1]. For these, we implement the advanced IEEE 1588 Precision Time Protocol [2] and the environments for simulation. Also, we estimate and analysis performance of the algorithm, then we experiment and analysis after the porting of algorithm in wireless LAN devices (Linksys wrt-350n AP network device) to characterize timing synchronization accuracy.

▶ Keyword : IEEE 802.11 Wireless LANs, Network synchronization, IEEE 1588 PTP, Multimedia systems

---

• 제1저자 : 윤종원

• 접수일 : 2008. 9. 16, 심사일 : 2008. 9. 25, 심사완료일 : 2008. 11. 26.

\* 상명대학교 일반대학원 컴퓨터학과 석사과정 \*\* 상명대학교 컴퓨터과학부 조교수

## 1. 서론

IEEE 802.11 WLANs은 유선 랜의 전송 방식을 무선 환경에 맞도록 변화시킴으로써, 사용자에게 자유로운 이동성을 보장하고 설치 비용도 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 이미 무선 네트워크 기술로써 오랜 기간 세계적인 표준으로 군림하고 있으며, 현재도 QoS 제공을 위한 IEEE 802.11e [3], High-performance/throughput 제공을 위한 IEEE 802.11n [4] 등의 표준화 작업 및 이에 대한 관련 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

이렇듯 무선 랜 기술이 성숙하고 안정된 기술로 인정받으면서 홈 네트워킹 및 차량 내 멀티미디어 시스템들은 유선에서 무선, 특히 IEEE 802.11 무선 랜 기술을 기반으로 하는 무선 환경으로의 이진이 활발히 진행되고 있다. 이런 시스템에서 공통적으로 주요한 기술은, 하나의 멀티미디어 소스를 여러 개의 분산된 무선 디바이스에서 플레이 되도록 하는 개념, 즉 립싱크 (lip-synchronization)에 대한 기술이다.

특히 차량 내 무선 랜 기반의 멀티미디어 시스템 환경 구축은 단순한 무선 통신 그 이상의 의미를 내포한다. 유선 환경으로 구성되어 있는 기존 차량 내 멀티미디어 시스템의 경우, 그에 필요한 배선의 무게만 수 십 kg에 달하는데, 이 또한 무선 랜 기술을 기반으로 하는 멀티미디어 시스템 구축을 통해 해결할 수 있는 실마리를 충분히 제공할 수 있기 때문이다.

이런 점을 반향 하듯, 최근 무선 랜 기술, 특히 IEEE 802.11에 의한 브로드밴드 네트워킹은 점점 확산되고 있다. 따라서, 앞서 언급한 멀티미디어 시스템과 같은 분산된 멀티미디어 콘텐츠를 멀티 오디오/비디오 디바이스에서 플레이하기 위한 무선 랜을 기반의 응용이 더욱 발전할 것으로 기대된다.

이러한 멀티미디어 콘텐츠 플레이를 위한 주요 이슈 가운데 하나는 플레이 시간의 부정확성, 즉 무선 디바이스들 간의 동기화 문제이다. 만약, 무선 오디오/비디오 디바이스들이 분리된 상황이라면 각각의 디바이스들은 서로 다른 시간 값을 참조하고 있을 것이다. 이러한 상황에서 IEEE 802.11 WLANs을 통한 멀티미디어 전송 및 재생은 ‘동시적인 플레이’라는 문제에 직면할 수 있다. 즉, WLANs 상에서의 패킷 전송, 특히 시간에 민감한 실시간 멀티미디어 패킷 전송은 ‘air interface’를 사용하는 무선 통신의 고유 특성과 CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance) 프로토콜 사용을 전제로 하기 때문에 신뢰성이 다소 떨어지고 각 디바이스들이 데이터를 수신하는 시간도 각각 다르다. 이러한 이유로 인해 분산된 무선 멀티미

디어 시스템 구축에서 네트워크 동기화 기술은 반드시 해결되어야 하는 문제이다.

이러한 문제들을 해결하기 위해 IEEE 802.11과 IEEE 1588에서 시간 동기화에 대한 이슈를 다루고 있다. 하지만 멀티미디어 스트리밍과 같은 대량 트래픽 전송에서의 시간 동기화에 대한 성능 분석은 보고된 바 없다.

따라서 본 논문에서는 네트워크 동기화를 위한 알고리즘을 구현하여 시뮬레이션을 통해 이상적인 동기화 과정을 분석하고, 실제 멀티미디어 서비스를 위한 상업적 IEEE 802.11n 디바이스에 포팅한 후 얼마나 정확한 동기화 값을 얻을 수 있는가에 대해 초점을 맞추고 있다. 현재 상업적으로 유용한 무선 라우터들은 동기화를 구현하는데 보통 IEEE 1588 PTP (Precision Time Protocol) [5][6][7]를 사용하고 있다. 이 PTP를 통해 AP (마스터)와 다른 무선 디바이스 (슬레이브) 간의 시간 차이, 전송 지연 등을 얻을 수 있고 이를 통해 동기화가 가능하다. 하지만 이 알고리즘을 개선하여 마스터와 슬레이브 시간 간의 더 높은 정확도를 보이도록 하는 것을 목적으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 통해, 분산된 환경에서의 멀티미디어 플레이 시스템과 이를 위한 일반적인 요구사항을 살펴보고, 3장에서는 제안하는 알고리즘 및 실험 환경에 대해 살펴본다. 4장에서는 알고리즘을 시뮬레이션과 실제 디바이스에 구현하여 실험, 그 성능을 평가 및 분석하고, 5장에서 결론을 내린다.

## II. 관련 연구

### A. Wireless multimedia playback system

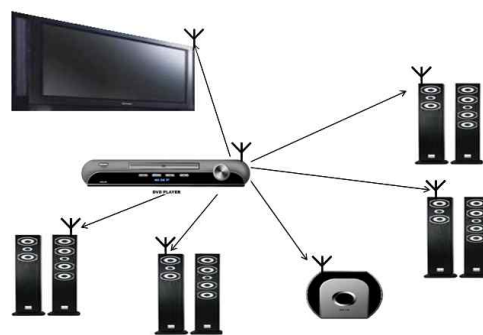


그림 1. 무선 멀티미디어 플레이 시스템 모델  
Fig. 1 A wireless multimedia playback system model

멀티미디어 콘텐츠는 더욱 생생하고 실감나는 비디오와 오디오를 사용자의 높은 경험의 질로 만족시키기 위해 더욱 복잡해지고 있다. 대표적인 예는 홈서버, HDTV (High Definition Television) 등의 멀티미디어 시스템이 있으며, 비디오 데이터의 경우 대부분 압축과 부호화 등의 기술이 사용된다. 최근 주목 받고 있는 주요 기술은 MPEG4, H.264, JPEG2000 등이 있다.

이러한 멀티미디어 시스템 모델에서 각각의 오디오 혹은 비디오 콘텐츠는 분리된 상태로 전송되는데, 이를 위해 스트리밍 동기화가 요구되고, 네트워크 스트리밍과 이를 재생하는 어플리케이션은 각각의 디바이스에서 동기화된 타이머를 필요로 하게 된다. 이러한 동기화는 IEEE 1588을 이용하여 달성할 수 있으며, 이 과정에서 시간 정보를 얻기 위한 타임스탬핑의 시점은 무시하지 못할 주요한 문제로 꼽히고 있다 [8].

B. Contents synchronization requirements

멀티미디어 콘텐츠가 분산된 여러 디바이스에서 플레이 될 때, 오디오 및 비디오 콘텐츠는 립싱크와 스테레오 사운드 효과를 수행하기 위해 동시에 재생되어야 한다 [9][10]. 이전 연구에서는 멀티미디어 스트리밍에 관련된 동기화 요구사항들을 아래의 [표 1. 멀티미디어 동기화 요구사항]과 같이 연구 및 보고되고 있다.

표 1. 멀티미디어 동기화 요구사항  
Table 1 Requirements of the multimedia synchronization

Contents	Inter-stream Synchronization Requirement	Reference
Tightly coupled audio	$\pm 10 \mu s$	[11]
Real-time audio	2 ms	IEEE 802.1 AVB [12]
Lip synchronization	Sound should not lead by 15 ms Sound should not lag by 45 ms	ATSC [13]
Video animation	$\pm 80 \text{ ms}$	IEEE 802.1 AVB [12]

C. Legacy IEEE 1588

원격 디바이스와의 정확한 동기화 이벤트를 위해 IEEE는 일부 산업 제어 업체들과 장비 벤더들이 채택한 IEEE 1588 타임 동기화 표준을 발표했다. 이 표준은 디바이스가 유선 네

트워크상에서 가장 정밀하고 정확한 클럭을 활용할 수 있는 프로토콜을 제공한다. 기본적으로 IEEE 1588 PTP 프로토콜은 타임스탬핑 정보를 교환하여 동기화를 수행한다. 즉, 마스터와 슬레이브 간의 PTP 메시지 (Sync, Follow-up, Delay Request, Delay Response)의 시간 정보를 이용한다.

처음 디바이스가 네트워크에 추가될 때 자신의 클럭 정보를 전송하고 네트워크의 다른 디바이스의 클럭 정보를 수신하는 BMC (Best Master Clock) 알고리즘을 실행한다. 최적의 클럭을 보이는 디바이스가 마스터 (Master)가 되고 다른 모든 디바이스들은 슬레이브 (Slaves)로 동작한다.

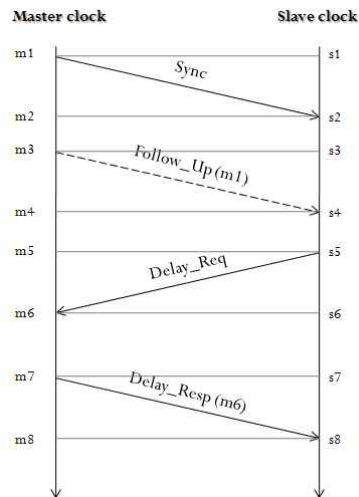


그림 2. IEEE 1588 동작 원리  
Fig. 2 The operating concept of IEEE 1588

트워크 내에서 기본적인 마스터/슬레이브가 정해지면 마스터가 동기화 메시지 (Sync message)를 모든 슬레이브에 보내고 내부 전송 타임스탬프를 생성한다. 슬레이브가 동기화 메시지를 수신할 때 슬레이브는 자체 도착 타임스탬프를 생성한다. 마스터 클럭은 전송 타임스탬프 데이터를 포함한 메시지 (Follow-up message)를 뒤따라 전송한다. 이 때 각 슬레이브는 마스터가 동기화 메시지를 보낸 때와 도착한 때를 알게 된다. 이 시간 차 (Master-to-Slave offset)로 각 슬레이브는 내부 클럭을 마스터 클럭과 동기화 한다.

네트워크 지연을 정하기 위해 슬레이브는 지연 요청 메시지 (Delay Request)를 마스터에 전송하고 타임스탬프를 생성한다. 마스터는 지연 요청 메시지의 도착 시간을 기록하고 이 정보를 지연 응답 메시지 (Delay Response)를 통해 슬

레이브로 보낸다. 두 타임 스탬프의 시간 차 (Slave-to-Master offset)와 앞서 구한 Master-to-Slave offset을 이용하여 상대적인 네트워크 지연을 구할 수 있다. 이후 슬레이브는 지연 시간을 고려하여 내부 클럭을 보정하면 마스터와의 동기화는 완료된다. 단, 이 프로토콜은 양방향 지연이 대칭적 (symmetric delay)이라는 점을 가정하고 있다.

### III. 제안된 알고리즘

본 논문에서 제안된 알고리즘은 IEEE 1588 PTP를 기반으로 개선된 것이다. 다만 PTP에서의 좀 더 정확한 네트워크 동기화를 위해서는 PTP 메시지가 송신 혹은 수신되는 실제 타이머 값을 아는 것이 필요하다. 하지만, 일반적으로 상업적인 무선 AP 디바이스 혹은 MAC 칩들은 이러한 기능들을 지원하지 않을 뿐만 아니라, 타이머에 대한 접근 및 수정이 불가능하다.

이러한 타임 스탬프 정보를 알기 위해 타임 스탬핑 메커니즘이 요구된다. 본 논문에서는 PTP 메시지들의 송수신 시간 정보를 응용 계층 레벨에서 타임 스탬핑을 수행하는 타임 스탬핑 메커니즘 (ATS: Application-level Time Stamping)과 타임 스탬핑 모듈을 디바이스 드라이버에서 MAC/PHY 계층에 최대한 가깝게 구현한 타임 스탬핑 메커니즘 (DTS: Driver-level Time Stamping)을 구현하였다 [14]. 이 두 가지 타임 스탬핑 메커니즘의 개념은 <그림3. ATS와 DTS의 개념적 원리>와 같다.

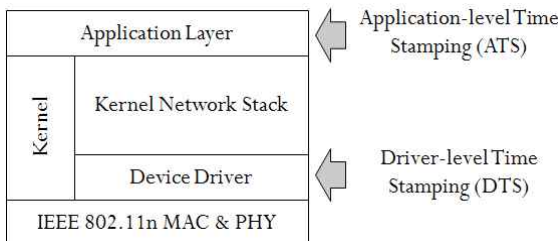


그림 3. ATS와 DTS의 개념적 원리  
Fig. 3 The concept of ATS and DTS

이 두 가지 메커니즘은 앞서 언급한 바와 같이 타임 스탬핑을 어디서 하는지에 따라 구분된다. ATS는 PTP 메시지들의 시간 값을 응용 계층에서 스탬핑 하는 반면, DTS는 디바이스 드라이버 레벨에서 스탬핑을 수행한다. 즉, 스탬핑을 하는 시점 (혹은 위치)이 다르다는 것이다. 예를 들어, 마스터가 동기화 메시지 (Sync message)를 전송하고 난 후, 그 메

시지가 응용 계층에서 내려가는 시점에서 스탬핑을 하는 것이 ATS, 디바이스 드라이버 레벨에서 내려가는 시점에서의 스탬핑을 하는 것이 DTS이다. 이는 슬레이브 입장에서도 역순으로 동일하게 수행된다.

이와 같은 타임 스탬핑 메커니즘을 기반으로 본격적인 동기화 알고리즘이 수행된다. 기본적인 PTP 메시지 교환하는 방식은 동일하다. 그러나 PTP는 기본적으로 한 사이클의 메시지 교환이 완료되면 그 과정에서 도출되는 지연 값들을 이용하여 슬레이브의 시간 정보를 보정한다. 이에 반해, 제안된 알고리즘은 기존 PTP 메시지 교환에서 Follow-up 메시지를 받은 슬레이브가 바로 Delay Request 메시지를 전송하도록 하여 시간 간격을 줄이고, 한 사이클이 완료된 시점에서 슬레이브의 시간을 바로 보정하는 것이 아니라, n-사이클 만큼 수행한 후 각 과정에서 도출된 값들을 이용하여 마지막에 한 번 최종적으로 슬레이브 시간을 보정한다.

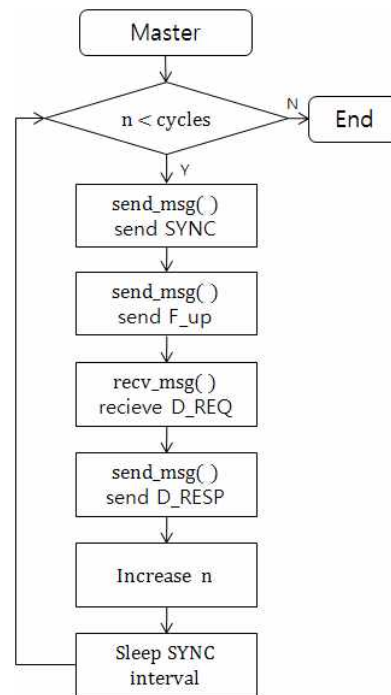


그림 4. 마스터에서의 알고리즘 동작  
Fig. 4 The algorithm operating at the side of Master

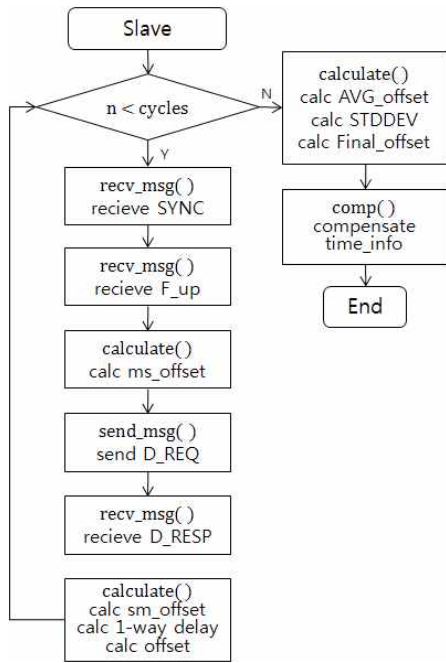


그림 5. 슬레이브에서의 알고리즘 동작  
Fig. 5 The algorithm operating at the side of Slave

좀 더 자세히 살펴보면, 각 사이클 과정에서 도출된 값들 (Master-to-Slave offset, Slave-to-Master offset, One-way delay)을 이용하여 한 사이클 마다 마스터와 슬레이브의 시간 차이를 나타내는 오프셋 (Offset) 값을 구하고, 각 사이클의 오프셋을 저장 한다 (예를 들어, n-사이클을 수행한다면 n 개의 오프셋 값이 저장되어 있음). 이렇게 도출된 n 개의 오프셋 값을 이용하여 그것의 평균을 구하고 (Average of Offsets), 이 평균값과 각 사이클 마다 도출된 오프셋 값을 이용하여 표준편차 (STDDEV: Standard Deviation)을 구한다. 이를 기반으로 평균값에서 양쪽으로 표준편차 값만큼의 범위를 일정 기준으로 잡고 각 사이클을 수행하며 얻은 오프셋 가운데, 이 범위를 벗어난 오프셋들을 걸러내어 (Outlier Filtering Algorithm) 좀 더 정확한 동기화 달성을 목표로 한다. 이렇게 걸러진 오프셋들의 평균값을 구하고, 이 값을 최종적으로 슬레이브 시간 값에 반영하여 슬레이브 타이머를 보정하면 두 디바이스 간의 동기화가 완료 된다.

#### IV. 성능분석

본 논문에서는 크게 두 가지 실험을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 평가 및 분석하고자 한다. 하나는 네트워크 시뮬레이터 (NS2: Network Simulator 2)를 이용하여 시뮬레이션 상으로 그 성능을 살펴보고, 다른 하나는 실제 상용 AP 디바이스 (Linksys wrt-350n [15])에 본 알고리즘을 구현 및 포팅 하여 디바이스를 이용한 실제 무선 환경에서의 성능을 살펴보고자 한다. 또한 각각의 실험마다 기존의 PTP (SS&C: Single Sampling and Compensation)와 제안된 알고리즘에서의 사이클 수 (n-SA&C: n-Sample Averaging and Compensation)에 따라 최종적인 시간 차이를 비교, 분석한다.

##### A. Simulation 성능 분석

시뮬레이션을 통한 알고리즘 성능 분석은 기본적으로 다음과 같은 실험 환경에서 수행되었다.

- a. IEEE 802.11 WLANs (MAC 802.11/wireless PHY),
- b. Timing synchronization을 위한 새로운 에이전트 생성 (Agent/TimingSync, UDP 레벨로 구현),
- c. 마스터와 슬레이브는 각기 다른 초기 시간 값으로 동작,
- d. SS&C, {3, 5, 10, 30, 50}-SA&C 별로 실험,
- e. {0, 5, 10, 20, 30}%의 offered load 별로 실험.

시뮬레이션 수행 결과, 대부분 offered load가 낮은 경우에 더 좋은 결과, 즉 마스터와 슬레이브 간의 시간 차이가 작다는 결과를 보였으며, 사이클 수(n)에 상관없이 기존 IEEE 1588 PTP 알고리즘 (SS&C) 보다 제안된 알고리즘을 적용한 경우, <그림 6. 시뮬레이션을 통한 오프셋 측정>에서 보는 바와 같이 더 좋은 결과 값을 보였다.

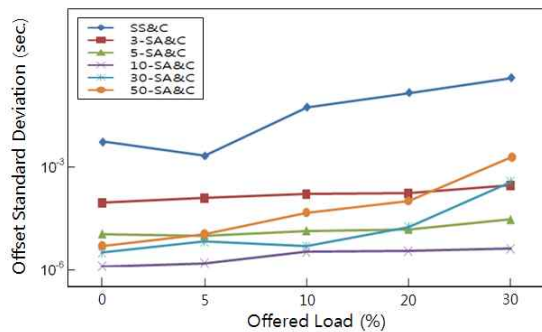


그림 6. 시뮬레이션을 통한 오프셋 측정  
Fig. 6 Offset standard deviation measurement after number of n IEEE 1588 messages and compensation with NS2 simulation

이 중, 가장 좋은 결과를 보인 경우는 '0%의 offered load에서 10번의 사이클을 수행'한 것으로, 최종적인 슬레이브 시간 값을 보정해주었을 때, 마스터와 슬레이브 간의 시간 차이가 5us으로 나타났다. 또한 offered load에 상관없이 10번의 사이클을 수행한 결과 값이 다른 사이클 수만큼 동작한 것보다 더 좋은 결과 값을 보였다.

**B. 실제 실험 성능 분석**

실제 실험을 통한 알고리즘 성능 분석은 기본적으로 다음과 같은 실험 환경에서 수행되었다.

- a. 상용 AP (Linksys wrt-350n)에 알고리즘 포팅
- b. ATS/DTS 별로 실험
- c. 마스터와 슬레이브는 각기 다른 초기 시간 값으로 동작,
- d. SS&C, {10, 25, 50, 100}-SA&C 별로 실험,
- e. {0, 30, 60, 90}%의 offered load 별로 실험.

**1) ATS (Application-level Time Stamping)**

응용 계층 레벨에서의 타임 스탬핑을 통한 시간 정보를 이용하여 두 가지 동기화 알고리즘 (PTP와 제안된 알고리즘)이 동작되고, 그 결과는 <그림 7. ATS 기반의 실제 디바이스 오프셋 측정>에서 보는 바와 같다. 이 실험 역시 성능 평가에 영향을 주는 두 가지 요소, 즉 사이클 수(n)와 offered load에 따라 결과의 차이를 보인다.

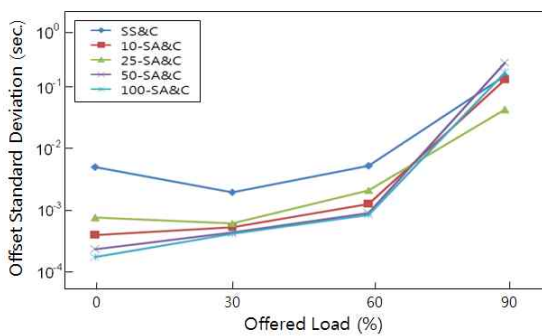


그림 7. ATS 기반의 실제 디바이스 오프셋 측정  
Fig. 7 Offset standard deviation measurement after number of n IEEE 1588 messages and compensations with ATS in Linksys wrt-350n

하지만 기존의 PTP 보다 제안된 알고리즘의 성능이 대부분의 경우 우수한 것으로 확인되었다. 실제 실험에서는 0%의 offered load에서 100번의 사이클을 수행한 결과가 173us

로 가장 좋은 결과를 보였고, 90%에 달하는 offered load 환경에서 최악의 결과인 약 210ms의 마스터-슬레이브 시간 차이를 보였다.

**2) DTS (Driver-level Time Stamping)**

디바이스 드라이버 레벨에서의 타임 스탬핑을 통한 시간 정보를 이용하여 두 가지 동기화 알고리즘이 동작되고, 그 결과는 <그림 8. DTS 기반의 실제 디바이스 오프셋 측정>에서 보는 바와 같다.

결과를 통해서도 알 수 있듯이, 제안된 알고리즘의 성능은 기존 알고리즘 보다 좋은 결과 값을 보였다. 또한, 디바이스 드라이버 레벨, 즉 최대한 MAC/PHY에 가까운 곳에서 타임 스탬핑을 수행함으로써, 동일한 환경에서 ATS보다 더 좋은 결과를 보였다. 가장 좋은 결과는 역시 0%의 offered load에서 100번의 사이클을 수행한 경우 5us의 차이를 보였다.

**C. 두 실험의 결과 비교 및 분석**

시뮬레이션과 실제 디바이스를 이용한 실험에서, 하나의 케이스 (ATS, 90% offered load, 50 사이클)를 제외한 모든 케이스에서 기존의 PTP (SS&C)보다 제안된 알고리즘 (n-SA&C)이 더 좋은 결과 값을 보였다. 또한 시뮬레이션 상으로의 성능 평가가, 실제 실험을 통한 성능 평가에 비해 더 나은 결과를 나타냈다. 이는 시뮬레이션 상에서 최대한의 실제 환경을 고려하였으나, fading/shadowing 과 같은 요소의 반영은 어렵고, 다소 이상적인 환경으로 볼 수 있기 때문에 이러한 부분이 결과에 그대로 반영되었다고 판단된다.

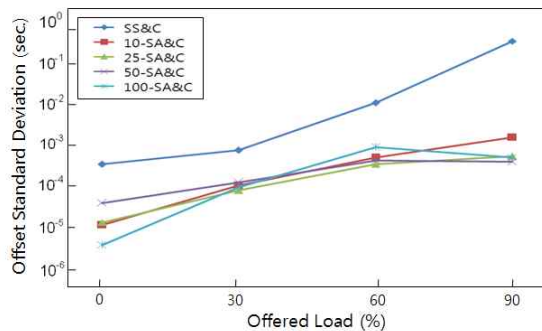


그림 8. DTS 기반의 실제 디바이스 오프셋 측정  
Fig. 8 Offset standard deviation measurement after number of n IEEE 1588 messages and compensations with DTS in Linksys wrt-350n

## VI. 결론

가장 일반화되고 안정적인 무선 기술로 꼽히는 무선 랜 네트워크 환경 (IEEE 802.11)과 유선 환경에서의 동기화 표준 (IEEE 1588)을 기반으로, 무선 멀티미디어 시스템의 립싱크 및 QoS를 높이기 위한 네트워크 동기화 알고리즘에 대한 연구를 진행하였다. 타겟이 되는 멀티미디어 시스템에서 기존의 유선 환경을 고려한 동기화 알고리즘을 무선 환경으로 그대로 적용하기에는 그 한계점이 있을 뿐만 아니라, 최종적인 마스터-슬레이브 간의 시간 차를 최소화하기 위한 정확성면에서도 다소 무리가 있다. 결국 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘을 이용하여 무선 랜 환경에 보다 적합하게 개선되었고, 네트워크 동기화의 정확성도 기존 알고리즘에 비해 최고 약 200% 정도의 좋은 결과를 보였다. 결국 앞으로의 무선 환경에서의 멀티미디어 트래픽 전송 및 시스템 구축을 위해서는 네트워크 동기화가 무엇보다도 중요한 연구 대상이 될 것이다.

## 참고문헌

- [1] IEEE, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std. 802.11, June 2007
- [2] T. Cooklev, J. C. Eidson, and A. Pakdaman, "An Implementation of IEEE 1588 Over IEEE 802.11b for Synchronization of Wireless Local Area Network Nodes," IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 56, NO. 5, OCTOBER 2007
- [3] IEEE, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std 802.11e/TM-2005, November 2005
- [4] IEEE, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE P802.11n/TM/D3.00, September 2007
- [5] IEEE, Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. IEEE Std 1588-2002, 2002
- [6] A. Vallat and D. Schneuwly, "Clock Synchronization in Telecommunications via PTP (IEEE 1588)," Frequency Control Symposium, 2007 Joint with the 21st European Frequency and Time Forum. IEEE International, May 29 2007-June 1 2007, pp.334-341
- [7] J. Edison, J. Mackay, G.M. Garner and V. Skendzicm, "Provision of Precise Timing via IEEE 1588 Application Interfaces", IEEE symposium on Precision Clock Synchronization (ISPCS) for Measurement, Austria Oct. 1-3, 2007
- [8] R. Steinmetz and T. Meyer, "Multimedia Synchronization Techniques: Experiences used on Different System Structures", Multimedia Communications, 1992 MULTIMEDIA '92 4th IEEE Conf on International Workshop on, 1-4 Apr 1992
- [9] K. Wang, M. Faulkner, and Tolochko, "Timing Synchronization for 802.11a WLANs under Multipath Channels," Proceedings on Australian Telecommunications, 2003
- [10] F. Cristian and C. Fetzer, "The Timed Asynchronous Distributed System Model," IEEE Trans. On Parallel and Distributed Systems, 10(6):642-657, June 1999
- [11] R. Steinmetz, "Human perception of jitter and media synchronization", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 14, NO.1, JANUARY 1996
- [12] G. M. Garner, et al., "IEEE 802.1 AVB and Its Application in Carrier-Grade Ethernet", IEEE Communications Magazine, December 2007
- [13] ATSC Implementation Subcommittee Finding: Relative Timing of Sound and Vision for Broadcast Operations, ATSC, Doc. IS-191, 26 June, 2003
- [14] Yonghwan Bang, et al., "Wireless Network Synchronization for Multichannel Multimedia Services," submit to IEEE CCNC 2009 Special Session on Wireless Technologies for High-Speed Video/Audio/Gaming Entertainment Networks, 2008
- [15] <http://dd-wrt.com>

## 저 자 소 개

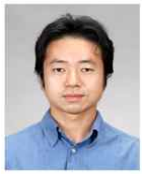


### 윤 종 원

2007년 2월 상명대학교 소프트웨어  
대학 소프트웨어학부  
학사

2007년 3월~현재 상명대학교 컴퓨터  
과학과 석사과정

<관심분야> 네트워크, 유무선 통신,  
임베디드 시스템, Network  
Synchronization



### 정 진 우

1992년 KAIST 전기전자공학과 공학사  
1997년 Polytechnic University  
(NY) 공학박사(Ph.D)

1997~2001년 삼성전자 중앙연구소

2001~2005년 삼성종합기술원

2005년 3월~현재 상명대학교 컴퓨  
터과학부 조교수

<관심분야> 네트워크, 유무선 통신,  
임베디드 시스템