

# 지그비 통신에 기반한 단거리 육상경기 기록측정 시스템

정승현\*, 최득성  
영남이공대학교 전자정보계열

## Zigbee Communication Based Wireless System for Measuring Lap Time on a Sprints

Seung-Hyun Jeong\*, Deuk-sung Choi

Div. of Electronics & Information Engineering, Yeungnam University College

**요약** 본 논문은 일상 생활스포츠의 일환으로 누구라도 쉽고 편하게 단거리 육상기록 측정을 할 수 있는 4레인 무선 구간기록 측정 시스템에 적용된 기술을 소개한다. 무선 육상경기 기록측정 시스템은 출발점의 스타트 버튼과 음성안내 스피커, 주자의 도착을 탐지하는 발판 스위치, 시작점과 도착점간의 지그비 통신, 구간기록을 계산하고 그 결과를 디스플레이하는 컨트롤 보드 및 전광판 등으로 구성된다. 구간기록은 시작점의 스피커를 통한 레드-셋-고(충성) 음성 안내방송 시점과 결승점 발판 스위치의 주자 도착 탐지 시간의 차로 계산되며, 출발점의 지그비 통신노드는 시작스위치 탐지 시각을 자신의 내부시간을 기준으로 무선을 통하여 도착점의 통신노드로 전송하기 때문에 출발과 도착 통신노드간의 시간동기화가 구간기록 측정의 정밀도를 좌우한다. 이 논문에서 소개한 무선 구간 기록 측정 시스템은 10ms의 시간정밀도를 목표로 하고 있으며, 기존 전문 상용화시스템의 1ms의 시간정밀도와 다르게 일상 생활스포츠용으로 개발하여 비용이 상당히 저렴하며 기존의 수동 측정 방식을 사용한 경우보다 더 간편하게 기록 정보를 획득할 수 있다는 장점이 있다.

**Abstract** This paper introduces a ZigBee network-based four-lane lap time measurement system that can be set up for short-distance races. The instructions "Ready-Set-Go" can be announced at the entry point node when the start button is pushed, and foot switches installed at the exit point node can be stepped on by the runner for lap time measurement of the race.

The start and exit point nodes are connected to a ZigBee network to communicate time synchronization packets. The exit point node maintains synchronized local time within 10 ms at most. The system does not need expensive measurement equipment and provides lap time recording in a more convenient manner than conventional lap time measurement methods.

**Keywords** : Lap Time Measurement, Zigbee, Time synchronization, Local Time, 10 milliseconds

### 1. 서론

4차 산업혁명으로 대변되는 오늘날의 인류 문명은 인공 지능, 사물 인터넷, 빅데이터, 모바일 등 첨단 정보통신기술이 경제·사회 전반에 융합되어 혁신적인 변화가 나타나는 시대를 대변하는 것으로 Mark Weiser가 1988년에 제시한 언제(anytime), 어디서나(anywhere),

무엇이든(anything) 얻을 수 있어야 한다는 시간과 공간의 초월을 추구하고 있다[1]. 이와 같이 시간과 공간의 초월이 가능하기 위한 가장 핵심적인 전제 조건은 무선 통신이 가능한 센서네트워크의 기술에 있다고 할 수 있다. 이 논문은, 작은 크기로 전력 소모량이 적고 값이 싸 홈네트워크 등 유비쿼터스 구축 솔루션으로 최근 각광받고 있는 지그비 무선통신 및 견고하고 신뢰성 있는 주자

\*Corresponding Author : Seung-Hyun Jeong (Yeungnam University College)

Tel: +82-53-650-9243 email: bugman@ync.ac.kr

Received October 19, 2017

Accepted February 2, 2018

Revised (1st December 28, 2017, 2nd January 8, 2018)

Published February 28, 2018

의 도착점 측정 센서기술을 융합하여 일상생활 속에서 누구라도 언제든지 편리하게 사용할 수 있는 저가의 단거리 육상경기 기록 측정 시스템을 개발하고자 한다.

최근의 기록 측정 시스템은 최근 무선 통신 및 센서 기술의 발달로 다양하게 진화하고 있다. 그러나, 전통적으로 육상이나 스키 등 장거리이면서도 1ms의 정밀한 시간 기록 측정이 요구되는 시스템에는 유선으로 연결된 카메라 시스템이 사용되며 고가의 장비와 전문 운영요원이 필요하여 구축 및 운용이 어렵다. 카메라를 대체하는 방안으로 RFID TAG를 사용하는 방법이 있으나 다소 부정확한 면이 있으며 레인마다 레이저빔을 적용한 포토셀을 이용하는 방법이 있으나 육상 기록 측정용으로 가격이 비싸고 설치가 까다로운 단점이 있다[2][3]. 또한, CDMA 망에 기반한 스키장 슬로프의 무선 구간 기록 측정 시스템[4]은 기록 측정이 필요한 슬로프 구간의 진입점과 진출점에 각각 레이저 센서를 설치하고 모뎀을 통하여 CDMA 망에 연결되어 있어서 망을 통하여 NTP 서버로부터 표준 시간을 수신하고 분해능이 높은 내부 타이머를 CDMA 망을 통하여 수신한 표준 시간에 동기화를 맞추는 NTP 알고리즘을 선보였다. 그리고, 측정 장치 및 이에 사용되는 무선 통신 시스템[5]은 로컬 타이밍을 가지며, 무선 통신을 통하여 시간 동기화를 위한 동기 신호를 수신하고 지연시간을 로컬 타이밍에 반영하는 지연시간 보상알고리즘을 제안하였다.

이 논문에서 지그비 무선통신을 이용한 단거리 육상경기 기록측정 시스템은 10ms의 정도 측정을 목표로 하였으며 기존 상용 시스템의 1ms 정도에 비해 정도가 떨어지나 설치가 간단하고 기존시스템에 비해 상당히 저가로서 육상공원이나 학교 등의 공공장소에서 쉽게 생활스포츠용으로 적용이 가능한 장점이 있다. 이를 위하여 2장에서 지그비통신 및 도착점 감지센서를 이용한 단거리 육상경기 구간기록 측정 시스템을 구현하며, 3장에서 구현결과를 평가하고 결론으로 이 논문을 맺는다.

## 2. 본론

### 2.1 무선 구간기록 측정 시스템의 구성

무선 육상경기 기록측정 시스템은 (그림 1)과 같이 출발점의 스타트 버튼과 음성안내 스피커, 주자의 도착을 탐지하는 발판 스위치, 시작점과 도착점간의 지그비 통신, 구간기록을 계산하고 그 결과를 디스플레이하는 콘

트롤 보드 및 전광판 등으로 구성된다.

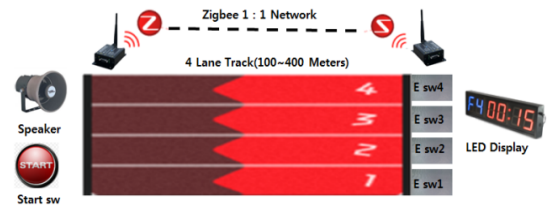


Fig. 1. Zigbee Communication Based Wireless System for Measuring Lap Time on a Sprints

이때, 구간기록은 시작점의 스피커를 통한 레드-셋(충성) 음성 안내방송 시점과 결승점 발판 스위치의 주자 도착 탐지 시간의 차로 계산되며, 출발선의 지그비 통신노드는 시작스위치 탐지 시각을 자신의 내부시간을 기준으로 무선으로 통하여 도착점의 통신노드로 전송하기 때문에 출발과 도착 통신노드간의 시간동기화(Time Synchronization in Wireless Networks)가 구간기록 측정의 정밀도를 좌우한다.

### 2.2 무선 육상 구간기록 측정시스템의 구현

구간기록 측정시스템은 (표 1)과 같이 저가의 8비트 마이크로컨트롤러인 ATMEGA128을 장착하고 무선통신 모듈로서 최대 1.0 Km 이내에서 통신이 가능한 지그비 모듈 ProBee ZE20S-DS와 다이폴 5dBi 안테나를 사용하였다.

Table 1. System Specification

Item	Specification
MCU	ATmega128
XTAL	16MHz(16MIPS)
Memory	Flash 128KB
Power	DC 12V(Lipo Battery)
Zigbee module	ProBee ZE20S-DS
Antenna	Dipole 5dBi
Max Distance	1.0Km

(그림 2)는 결승선의 발판 스위치의 구조로서 금속판 사이에 전도성 스폰지를 삽입하여 주자가 발판을 밟는 순간의 저항값의 변화를 (그림 3)의 회로에 인가한다. 그림 3의 회로는 고주파 잡음과 직류신호를 걸러내는 OP-AMP 2단 증폭기 인터페이스 회로로서 주자가 도착

시 변화하는 저항값을 12V의 이산신호로 만든 후 컨트롤 보드의 포트커플러 인터페이스 회로를 통하여 MCU의 입출력포트로 보내주는 역할을 한다.



Fig. 2. End Line Foot Switch with Conductive Sponge

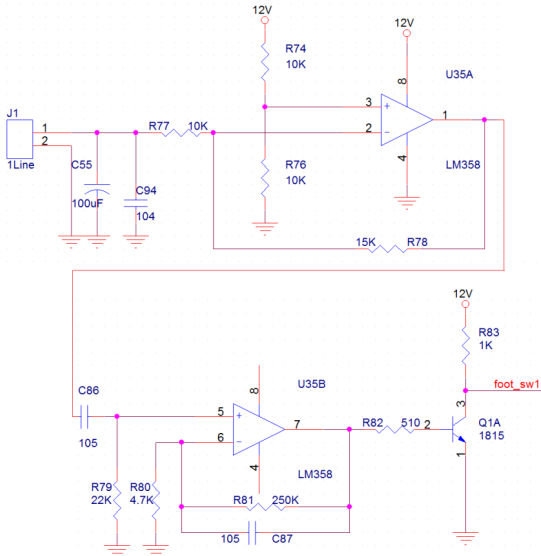


Fig. 3. OP-AMP Interface Circuit for foot step switch

### 2.3 출발선과 도착선 시간 동기화

일반적으로 지그비 무선통신과 같은 무선통신의 경우 거리나 주변 무선환경 등의 요인에 의해 통신지연 시간이 발생할 수 있다. 이러한 지연시간을 보상 해주고 출발선과 도착선사이의 시간을 동기화 시키는 것이 오차범위 0.01초의 육상 기록측정에 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 이를 위하여 시작점의 송신시스템은 스피커를 통한 출발 총성 방송과 동시에 (그림4)와 같이 도착선의 타이머를 동작시키는 스타트패킷을 전송한 후 통신 시간 지연을 측정하기 위하여 도착선의 첫 번째 주자도착알림 패킷이 송신되기 전까지 N개의 지연시간 측정 패킷을 1초 간격으로 전송한다. 도착선의 수신시스템은 (식 1)과 같이 스타트패킷을 수신 후 해상도가 뛰어난 내부 로컬 타이머를 동작시키고 주자가 도착선의 발판 스위치를 밟는 순서대로 차레로 기록시간( $t_{st}$ )을 측정하고, 이 후 지

연시간 측정패킷으로 평균 지그비통신 지연시간을( $t_{ds}$ ) 계산하여 기록시간( $t_{st}$ )에 보상하고 도착선 발판스위치 인터럽트 처리시간( $t_{ie}$ )을 뺀 값을 실제 주자의 기록측정시간( $t_{rt}$ )으로 처리한다.

$$t_{rt} = t_{st} + t_{ds} - t_{ie} \quad (1)$$

$$t_{ds} \approx \text{avg}(t_{d1}, t_{d2}, \dots, t_{dN})$$

여기에서

$t_{rt}$  : 실제 주자의 기록측정 시간

$t_{st}$  : 도착선 타이머 기록측정 시간

$t_{ds}$  : 스타트 패킷 통신지연시간

$t_{dN}$  : N번째 지그비 통신지연 시간

$t_{ie}$  : 도착선 발판스위치 인터럽트 처리시간

도착선 타이머 시스템의 MCU는 AVR RISC 컨트롤러로서 클럭스피드가 16MHz(표 1)이기 때문에 하바드 구조와 2단계 파이프라인처리방식으로 16MIPS의 성능을 구현하여 하나의 기계 명령어(instruction) 처리 시간이 평균적으로 0.0625us이다. 인터럽트 핸들러 및 문맥교환, 시간 설정 프로세스를 위한 기계 명령어(instruction) 스텝수를 1000이하로 가정했을 때, 전체적인 인터럽트 처리 및 처리 지연 시간은 62us 이하이다. 이는 메모리 이외에 디스크 등 다른 저장 장치를 사용하지 않기 때문에 가능하다. 도착선 발판센서 응답 시간과 인터럽트 처리 및 프로세스 처리 시간은 마이크로칩 처리에 의해 동일하게 이루어지고 기록측정 정밀도 목표인 0.01초의 1/100인 0.1ms 이내 들어오므로 무시되어도 좋다.

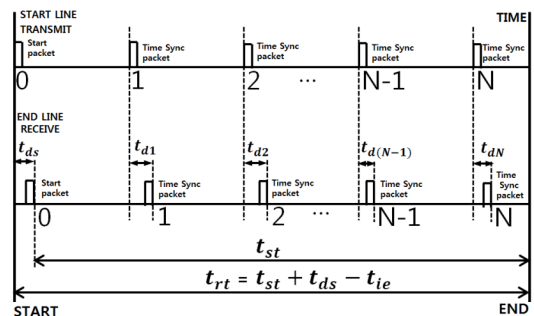


Fig. 4. Measuring Lap Time based on Zigbee communication

### 3. 결론

본 논문은 일상 생활스포츠의 일환으로 누구라도 쉽고 편하게 단거리 육상기록 측정을 할 수 있는 4레인 무선 구간기록 측정시스템에 관한 기술로서 기존의 상용화된 시간 정밀도 1ms의 고정밀·고가 전문 기록측정 장비와 달리 생활스포츠용으로 10ms의 정도 측정을 목표로 비용이 상당히 저렴하며 기존의 수동 측정 방식을 사용한 경우보다 더 간편하게 기록 정보를 획득할 수 있다는 장점이 있다. (그림5)는 100미터 육상경주에서 출발부와 결승부 사이를 임의의 시간에 출발과 도착하는 실험을 30여 차례 반복 실시한 결과로서 출발선과 도착선에서 주어진 지그비 무선통신 알고리즘으로 동기된 로컬 타이머를 사용하여 측정된 평균 무선통신지연시간은 1.98ms, 표준편차 0.07ms 확인되었으며 이를 보정한 구간달리기 반복 실험결과 시작점과 출발점에 각각 레이저 센서와 타이머를 적용하여 시간차이를 측정한 경우와의 평균오차는 약 1.5ms로서 허용 오차 10ms안에 들어오는 것으로 확인이 되어 공원, 학교, 공공시설 등 일상의 생활스포츠에서 10ms 정도의 단거리 육상경기 구간기록 측정으로 활용함에 있어서 유용함을 증명하였다.

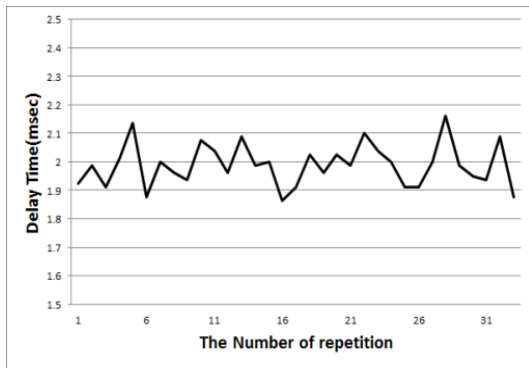


Fig. 5. Packet Delay Time between Start Line and End Line on 100 meter sprints

### Reference

[1] Mark Weiser, "The Computer for the Twenty-First Century," Scientific American, pp. 94-10, Sep. 1991. DOI: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0991-94>

[2] H. Woellik\*, A. Mueller, J. Herrige, "Permanent RFID Timing System in a Track and Field Athletic Stadium for Training and Analysing Purposes", Procedia

Engineering, pp. 202 - 207, 2014.

[3] DoHyung Kim, Woo-han Yun, Jaeyeon Lee, and Jaehong Kim "Detection of Moving Objects through the Finish Line of Running Track," Conf. IEEK, vol. 33-1, pp. 283-286, 2010.

[4] Hyung Bong Lee, Lae-Jeong Park, Jung-Ho Moon, Tae-Yun Chung, "A CDMA Network-based Wireless System for Measuring Lap Time on a Ski Slope," Korea Information Processing Society, pp. 133-138, Feb. 2009.

[5] You, S. K., "Wireless Communication System for Time Measurement," KR Patent, 10-2016-0080772, 2016.

정 승 현(Seung-Hyun Jeong)

[정회원]



- 2009년 2월 : 영남대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학교 전자정보계열 조교수

<관심분야>  
회로설계, 제어공학

최 득 성(DeuK-Sung Choi)

[정회원]



- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학교 전자정보계열 조교수

<관심분야>  
반도체공정, 소자