

# Chirp 신호의 특성을 이용한 LoRa 기기의 TMA 방향탐지

## TMA Direction Finding of a LoRa Device Using Chirp Characteristics

이 상 준 · 장 병 준\*

Sangjoon Lee · Byung-Jun Jang\*

### 요 약

본 논문에서는 LoRa IoT 기기의 도래각을 찾을 수 있는 TMA(Time-modulated array) 기반 방향탐지에 관해 연구하였다. LoRa IoT 기술은 통신 반경을 넓히기 위하여 저속의 데이터를 Chirp 방식으로 주파수 확산하기 때문에 신호의 주파수대역폭이 넓다. 따라서 일반적인 TMA 기반의 방향탐지 시스템은 신호의 대역폭보다 빠른 고속의 스위치를 필요로 한다. 본 논문에서는 Chirp 신호의 순시대역폭이 신호의 대역폭보다는 협대역이라는 특성을 이용하여 저속의 스위치로도 방향탐지 시스템을 가능함을 입증하였다. 구현된 시스템은 2개의 상용 모노폴 안테나, 자체 제작한 스위치 보드, 그리고 하나의 USRP 로 구성되며, LabVIEW로 연동하여 실시간으로 LoRa Chirp 신호의 도래각을 탐지할 수 있었다. 실험 결과  $\pm 50^\circ$ 의 범위 내에서 최대  $15^\circ$  오차 이내로 LoRa Chirp 신호의 방향탐지가 가능함을 확인하였다. 본 연구결과는 순시대역폭이 신호대역폭보다 작은 다양한 경우에 적용될 수 있을 것이다.

### Abstract

This study examines a direction finding system for a LoRa<sup>TM</sup> Internet of Things(IoT) device using a time-modulated array(TMA). LoRa IoT technology uses a spread spectrum to increase the communication range, thus widening the frequency bandwidth. Thus, to construct a general TMA direction finding system, a high-speed radio frequency switch that is faster than the signal bandwidth is required. In this study, we implemented a TMA-based direction finding system with a low-speed switch based on the characteristic whereby the instantaneous bandwidth of the chirp signal is narrower than the signal bandwidth. Our system consists of two commercial monopole antennas, a self-designed switch board, and a software defined radio. The system is controlled using a LabVIEW program in real-time. The measured results verify that our system can exactly detect the incident angle within a maximum error of  $15^\circ$  in the range of  $\pm 50^\circ$ . These results can be applied to various cases in which the instantaneous bandwidth is smaller than the signal bandwidth.

Key words: TMA, LoRa, Direction-Finding, Angle of Arrival, USRP, Harmonic Analysis

### I. 서 론

최근 전 세계적으로 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 기술이 보편화됨에 따라 스마트미터, 스마트가로등 등은

시작으로 IoT 기기의 보급이 확대되고 있다. IoT 기기 중 LoRa<sup>TM</sup> 기술은 수 km의 통신반경을 갖는 저전력 광역통신망(LRWAN: Low Rate Wide Area Network)의 하나로서 국내의 경우, 917.0~923.5 MHz와 940.1~946.3 MHz의

「이 연구는 2018년도 삼성전자 미래기술육성센터 연구비(SRFC-IT1801-06)의 지원으로 연구되었음.」

삼성전자 네트워크사업부(Samsung Electronics Co., Ltd.)

\*국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received July 2, 2019 ; Revised August 29, 2019 ; Accepted August 29, 2019. (ID No. 20190702-007S)

· Corresponding Author: Byung-Jun Jang (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

비면허대역을 사용할 수 있어 그 사용범위가 점점 확대되고 있다. 이처럼 LoRa 기반의 IoT 기기의 보급이 확대됨에 따라 도시에 산재된 LoRa 기기를 찾아 유지 보수하는 것이 점점 중요해지고 있다. 또한 LoRa IoT 기기의 공간적인 분포를 알게 되면 다양한 위치기반 IoT서비스가 가능해진다<sup>[1]</sup>. 이러한 서비스를 위해서는 LoRa 기기가 송신하는 신호의 도래방향을 파악하는 방향탐지 시스템이 필요하다.

방향탐지 시스템은 보통 지향성 안테나와 스펙트럼 분석기로 구성되며, 안테나의 경우 지향성 안테나를 사람이 조정하거나 빔포밍 기능이 있는 위상배열안테나(phased array antenna)를 사용한다. 이러한 시스템은 안테나의 크기가 크고 구성이 복잡하며, 가격이 비싼 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 RF(Radio Frequency) 스위치의 간단한 제어만으로 배열안테나 기능을 수행할 수 있는 Time-Modulated Array(TMA) 기반 방향탐지에 대한 연구를 진행하였다. TMA를 이용하여 방향탐지 시스템을 구현할 경우, 안테나 2개와 RF 스위치만을 갖는 단일수신기로 구현이 가능하므로 구조가 간단하여 최근 관심이 높아지고 있다<sup>[2],[3]</sup>.

하지만 TMA에서 RF 스위치의 스위칭 속도가 문제가 된다. 일반적으로 변조된 신호의 경우 점유대역폭의 4배 이상의 스위칭 속도를 가져야 안정적인 TMA 방향 탐지가 가능하다고 발표된 바 있다<sup>[4]</sup>. 예를 들어 1 MHz의 신호대역폭을 가지는 경우 TMA의 RF 스위치는 4 MHz, 즉 0.25 usec의 스위칭 속도가 필요하다. 이러한 한계 때문에 대역폭이 넓은 신호의 경우, TMA를 적용하기가 쉽지 않다. 다행히 최근 LFM(Linear Frequency Modulation) 변조된 레이더 신호의 경우, 신호의 순시대역폭이 LFM 신호의 대역폭보다는 협대역이라는 특성을 이용하여 저속의 스위치로도 방향탐지 시스템을 구현할 수 있다는 사실이 발표된 바 있다<sup>[5]</sup>.

이에 본 연구에서는 참고문헌 [5]의 결과를 참고하여 레이더 신호와 유사한 특성을 갖는 LoRa IoT 시스템의 TMA 방향탐지에서 저속의 RF 스위치를 이용하기 위한 방법에 대해 연구하였다. LoRa IoT 기술은 통신 반경을 넓히기 위하여 저속의 데이터를 Chirp 방식으로 주파수 확산한다. 따라서 순시주파수는 실제 신호의 점유주파수 대역폭보다 좁아, 참고문헌 [5]의 개념을 적용할 수 있다

고 판단하였다.

## II. LoRa IoT 신호의 특성

LoRa 망은 단말(end device: ED)과 기지국(base station: BS)으로 구성되며, 수 km의 통신반경을 갖도록 하기 위하여 단말과 기지국 모두 주파수가 선형적으로 증가 또는 감소하는 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기반의 LoRa 변조 방식을 사용한다<sup>[6]</sup>. CSS는 6가지의 대역확산 인자(spreading factor: SF)인 SF7에서 SF12까지를 사용하여, 서로 다른 전송속도를 갖는 데이터를 동시에 송신할 수 있다. 가장 저속인 데이터의 경우 DR0라 불리며, SF12를 사용하고, 데이터 속도는 250 bps이고, 가장 빠른 데이터의 경우 DR6의 경우 SF7을 사용하며, 250 kHz 대역폭의 경우 데이터속도는 11kbps이다.

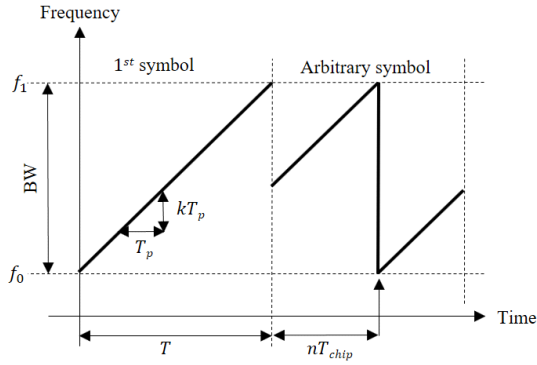
LoRa Chirp 신호는 그림 1(a)와 같이 LFM(Linear Frequency Modulation) 신호로  $[f_0, f_1]$  범위에서 주파수가 선형적으로 증가(up-chirp)하거나,  $[f_1, f_0]$  범위에서 주파수가 선형적으로 감소(down-chirp)한다. LoRa 변조는 M-진 변조로 up-chirp 신호의 시간천이(cyclic shift)의 정도로 각 심볼을 변조한다. 시간천이는 칩(chip) 시간( $T_{chip} = 1/BW$ )에 따라 구분되며 n-번째 LoRa 심볼의 순시주파수 식 (1)과 같이 주어진다<sup>[7]</sup>.

$$\begin{cases} f_1 + k(t - nT_{chip}) & , 0 \leq t \leq nT_{chip} \\ f_0 + k(t - nT_{chip}) & , nT_{chip} < t \leq T \end{cases} \quad (1)$$

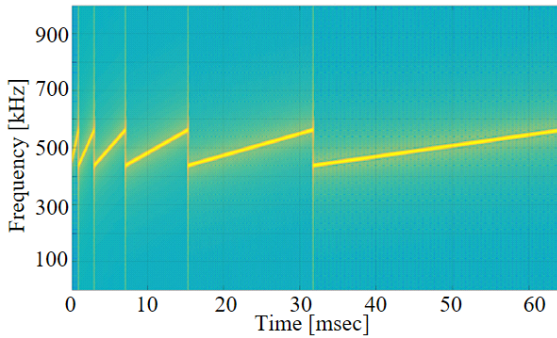
여기서  $k = (f_1 - f_0)/T$ 로 Chirp 신호의 시간-주파수 기울기를 나타낸다. 심볼의 전체 수는  $2^i$ 로 주어지는데, 여기서  $i$ 는 SF로 7에서 12까지 변할 수 있다. 이제 하나의 심볼구간  $T$ 는 식 (2)로 주어진다.

$$T = 2^i T_{chip} = 2^i / BW \quad (2)$$

그림 1(a)는 식 (1)에 의해 생성된 2개의 LoRa 심볼의 시간-주파수 특성을 보인다. 왼쪽은  $n$ 이 0인 첫 번째 심볼을 의미하며, 오른쪽은  $n$ 이 임의의 수인 경우의 심볼을 의미한다. Lora 신호의 복조는 수신된 심볼을 down-chirp 신호와 곱하고 IFFT(Inverse FFT)를 취함으로써,  $n$ 의 위치를 추정하는 방식을 사용하게 된다. 이러한 구조를 이용



(a) LoRa 신호의 시간-주파수 특성  
(a) LoRa signal time-frequency characteristics



(b) SF의 변화에 따른 LoRa 신호의 스펙트럼  
(b) LoRa signal spectrum with spreading factor variation

그림 1. LoRa 신호의 시간-주파수 특성  
Fig. 1. LoRa signal time-frequency characteristics.

하면 고속의 ADC 없이도 복조가 가능할 뿐만 아니라, SF가 다른 인접 LoRa 신호가 있어도 간섭에 강인해진다.

LoRa 신호는 그림 1(b)와 같이 SF에 따라 대역폭은 일정한 반면 시간 구간은 길어지게 된다. 그림에서 왼쪽은 SF7인 경우, 오른쪽 끝은 SF12를 의미한다. 보통 LoRa 심볼은 프리앰블(preamble)과 payload로 구성되는데, 이 중 프리앰블은 8개의 up-chirp(1<sup>st</sup> symbol), 두 개의 코딩된 up-chirp 심볼, 두 개 반의 down-chirp 심볼로 구성된다. 프리앰블 이후의 payload는 송신하는 데이터의 양에 따라 다양한 크기를 갖게 된다.

### III. TMA기반 LoRa 방향탐지

그림 2는 LoRa 신호가  $\theta$  방향으로 입사되는 경우, TMA

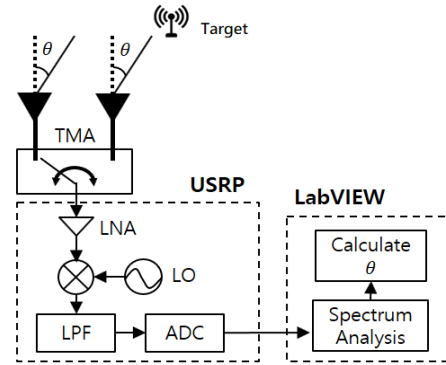


그림 2. TMA기반 방향탐지 시스템의 구성  
Fig. 2. Configuration of TMA-based direction finding system.

기반 방향탐지시스템의 일반적인 구성도를 나타낸다. 두 개의 안테나는 반파장 간격을 가지고 있고, 두 개의 안테나에서 수신되는 신호는 50%의 Duty cycle을 가지는 SPDT (Single-Pole Double-Throw) 스위치를 통해 직접변환 수신기에 입력된다. 이제 두 안테나에 수신되는 신호는 위상차만 차이가 있는 평면파  $r(t)$ 라고 가정하고, 이상적인 스위치를 가정하면 스위치를 통과한 신호  $r_{SW}(t)$ 는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$r_{SW}(t) = \sum_{m=1}^M M(t) \cdot r(t) \quad (3)$$

식 (3)에서  $M(t)$ 는  $m$ 번째 구간의 스위치 제어함수로 식 (4)와 같이 주어진다.

$$M(t) = \begin{cases} 1 & (m-1)T_p \leq t \leq (m-0.5)T_p \\ e^{-j\beta ds \sin\theta} & (m-0.5)T_p \leq t \leq mT_p \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 전파상수는  $\beta = 2\pi/\lambda$ 이며,  $T_p$ 는 스위치의 스위칭 주기에 해당한다.  $T_p$ 를 식 (1)과 같이 LoRa 신호의 한 심볼시간  $T$ 보다 작게 잡는 경우  $T_p$  시간 동안 주파수 변화는 전체대역폭  $BW[\text{Hz}]$ 가 아니라  $kT_p[\text{Hz}]$ 로 작아지게 된다. LoRa 신호에서 심볼의 chirp 신호  $T$ 는 식 (5)와 같이  $T_p$ 의 배수가 된다.

$$T = mT_p, \quad m \geq 1 \quad (5)$$

이제  $T_p$  시간동안 변화하는 최대 주파수 대역폭은 식 (6)과 같이  $m$ 의 비율만큼 비례하여 작아진다.

$$BW_{required} = kT/m = BW/m \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)으로부터 LoRa 신호를 TMA기반으로 방향탐지할 때 스위치의 스위칭 속도를 줄일 수 있음을 알 수 있으며, 최소 대역폭은 국내기술기준인 250 kHz를 기준으로 할 경우 11 kHz 이상임을 알 수 있다.

다음으로 일반적인 RF스위치의 스위칭 특성을 살펴보자. 본 논문에서는 일반적으로 무선통신응용에서 많이 사용하는 범용 RF 스위치인 Peregrine Semiconductor™사의 RF CMOS 기반의 SPDT Switch인 PE4251의 규격을 참조하였다<sup>[8]</sup>. 스위치의 구성은 그림 3과 같다. RF SPDT 스위치의 경우, 제어신호(CTRL)에 따라 2개의 안테나 입력 중 하나가 출력으로 연결되고, 연결되지 않는 안테나는 50Ω으로 종단된다. 스위치의 스위칭 속도는 보통 10%에서 90%까지 변하는 turn-on 시간( $T_{ON}$ ) 또는 turn-off 시간( $T_{OFF}$ )으로 표기하는 것이 보통이며, 위 RF스위치의 경우 300 nsec가 된다.

보통 RF스위치의 스위칭속도가 300 nsec이므로 이의 역수인 3.3 MHz의 대역폭까지 스위치가 동작하는 것으로 오해할 수 있다. 하지만 스위칭의 스위칭 시간인  $T_{ON}$ 의 의미는 그림 3과 같이 스위치의 상태가 변화하는 과도기 상태로서 이 상태에서는 스위치의 정확한 상태가 확인되

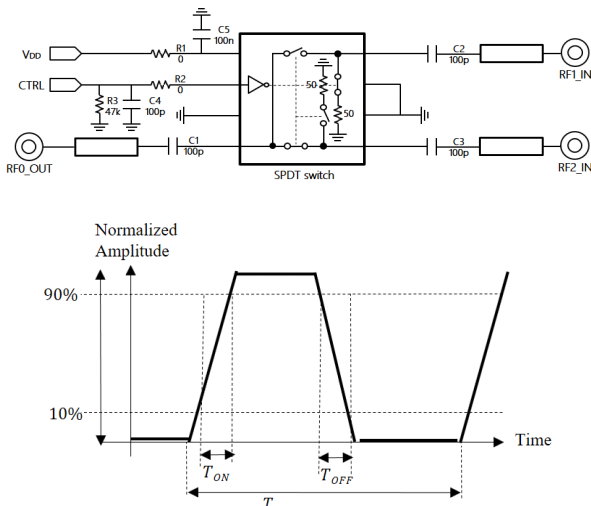


그림 3. 일반적인 RF 스위치의 구성 및 스위칭 규격  
Fig. 3. Configuration of typical RF switch and its switching characteristics.

지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 TMA와 같이 스위칭의 전 후 상태의 위상변화를 관찰하여 방향탐지하는 시스템에서 이러한 과도기는 방향탐지 오차를 만들게 되므로 적을수록 좋다. 따라서 TMA에서 스위칭속도를 줄이는 것은 방향탐지 정확도 측면에서 적을수록 좋으며, 일반적으로 스위칭 속도의 1/10 이하로 하는 것이 필요하다 (rule of thumb). 결론적으로 LoRa 신호의 TMA 기반 방향탐지를 위한 RF스위치의 스위칭속도는 11 kHz 이상이면서 최대주파수 대역폭의 1/10 이하인 300 kHz 이하로 선택할 수 있다.

#### IV. 실험 및 결과

III장에서 LoRa 기기의 TMA기반 방향탐지에서 스위칭 속도를 선택하는 기준에 대해 살펴보았다. 이러한 결과를 바탕으로 LoRa 기기의 방향탐지를 위한 실험장치를 다음과 같이 구성하였다. LoRa 신호원을 생성하기 위하여 그림 4와 같이 상용 LoRa 보드인 RN2903 보드를 이용하여 실제 LoRa 신호를 생성하여 상용모노폴 안테나로 송신하였다. 주파수는 국내기술기준에 맞게 922.3 MHz, 대역폭은 125 kHz, SF는 7인 LoRa 신호를 생성하였다. 생성된 LoRa 신호는 스펙트럼 분석기의 max hold 기능을 이용하여 신호가 제대로 송출되고 있음을 확인하였다.

이러한 LoRa 송신신호를 수신하기 위한 TMA 방향탐지장치는 그림 2와 같다. 900 MHz 대역의 상용 모노폴 안테나 2개를  $\lambda/2$  이격하고, PE4251을 이용하여 PCB에 제작한 SPDT 스위치를 이용하여 TMA를 구성하였다. 스위치의 출력은 주파수 하향변환을 위해 NI사의 USRP-2922 SDR(Software Defined Radio)을 이용하였다. 주파수변환된 기저대역신호는 이더넷을 통해 호스트 PC 상의 LabVIEW

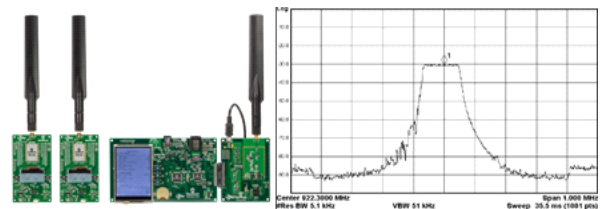


그림 4. LoRa 송신기와 송신 주파수 스펙트럼  
Fig. 4. LoRa transmitter and its frequency spectrum.

로 전송되며, LoRa 신호의 도래각의 계산은 PC상의 LabVIEW에서 이루어진다. LabVIEW에서 수신된 기저대역신호를 FFT(Fast Fourier Transform) 계산하여 하모닉 성분의 계수를 추출하여 LoRa 신호의 도래각을 예측하는데, FFT 변환된 신호의 파워 스펙트럼으로부터 가장 큰 신호인  $a_0$ 와 그 다음 큰 신호인  $a_1$ 을 탐지하고, 이를 이용하여 신호원과 두 안테나가 이루는 방향 각도를 계산하게 된다.

본 논문에서 제시한 바와 같이 스위칭 주파수를 신호 대역폭보다 작게 설정하는 것이 가능한지 확인하기 위하여 스위칭 주파수를 신호대역폭보다 작은 100 kHz로 한 상태로 LoRa 송신기의 위치를 TMA 수신기와 정면(0°)과 30°에 위치한 후 스펙트럼의 시간에 따른 변화를 관찰하였고, 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서와 같이 LoRa 신호의 경우, 순시주파수의 변화는 협대역이므로 특정시간에서 LoRa 방향탐지가 가능함을 확인하였다. 그림 5의 (a)와 (b)는 각각 0°와 30°에서의 주파수 스펙트럼을 나타낸다. DC에서 주엽  $a_0$ 가 발생하고 스위칭 주파수  $F_p$ 를 100 kHz로 한 경우, 100 kHz 단위마다 부엽이 발생함을 확인할 수 있다. 그 외 작은 피크신호들은 랜덤하게 발생하는 노이즈이나 본 알고리즘은 가장 큰 신호인  $a_0$ 와 그 다음 큰 신호인  $a_1$ 만을 이용하여 계산하므로 방향탐지 능력에 영향을 주지 않는다.

각도별 방향탐지 정확도 실험을 위해 실내에서 LoRa 디바이스와 TMA 방향탐지기 간에 거리를 1 m로 일정

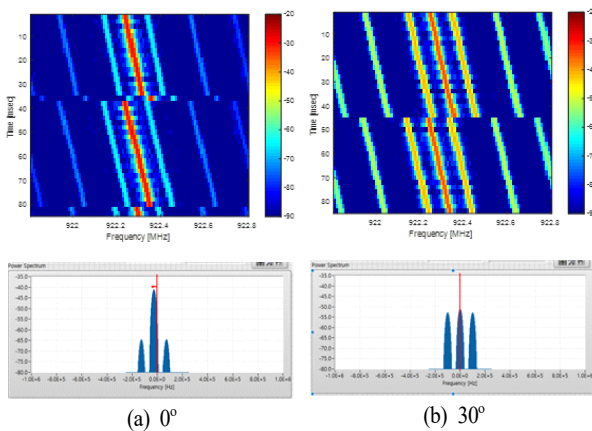


그림 5. LoRa 방향탐지 실험 결과  
Fig. 5. Measurement results of LoRa direction finding.

하게 유지한 상태에서 각도를 변경하면서 방향탐지 능력을 확인하였다. 실험은 -50°에서 10°씩 증가시키며 50°까지 각각 10번 실시하였다. 표 1과 표 2는 각각 SF7과 SF12 LoRa 신호의 방향탐지 실험 결과를 보인다. 실험 결과 구현된 TMA 방향탐지 시스템은 최대 15° 이내에서 방향을 탐지할 수 있음을 확인하였고, 0° 주변과 40° 이상에서는 오차가 발생함을 알 수 있으나, 전반적인 경향은 일

표 1. 실험결과 (SF=12)  
Table 1. Experimental results (SF=12).

| Direction [deg] | $a_0$ [dBm] | $a_1$ [dBm] | Result [deg] | .Error [deg] |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| -50             | -40.42      | -43.26      | 37.96        | 12.04        |
| -40             | -42.47      | -46.63      | 36.19        | 3.81         |
| -30             | -43.26      | -49.21      | 33.83        | 3.83         |
| -20             | -42.14      | -53.23      | 27.33        | 7.33         |
| -10             | -39.73      | -58.22      | 19.23        | 9.23         |
| 0               | -37.80      | -70.90      | 8.76         | 8.76         |
| 10              | -38.29      | -57.15      | 18.86        | 8.86         |
| 20              | -39.43      | -52.74      | 24.71        | 4.71         |
| 30              | -41.47      | -50.79      | 29.52        | 0.48         |
| 40              | -41.83      | -48.39      | 33.04        | 6.96         |
| 50              | -45.30      | -50.02      | 35.46        | 14.54        |

표 2. 실험결과 (SF=7)  
Table 2. Experimental results (SF=7).

| Direction [deg] | $a_0$ [dBm] | $a_1$ [dBm] | Result [deg] | .Error [deg] |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| -50             | -42.81      | -45.59      | 38.03        | 11.97        |
| -40             | -44.84      | -48.87      | 36.37        | 3.63         |
| -30             | -45.73      | -52.63      | 32.60        | 2.60         |
| -20             | -44.59      | -55.15      | 27.99        | 7.99         |
| -10             | -42.23      | -59.19      | 20.75        | 10.75        |
| 0               | -44.25      | -72.03      | 11.76        | 11.76        |
| 10              | -43.81      | -60.80      | 20.72        | 10.72        |
| 20              | -45.78      | -57.04      | 27.12        | 7.12         |
| 30              | -46.22      | -52.91      | 32.87        | 2.87         |
| 40              | -47.17      | -50.59      | 37.18        | 2.82         |
| 50              | -42.52      | -42.52      | 35.02        | 14.98        |

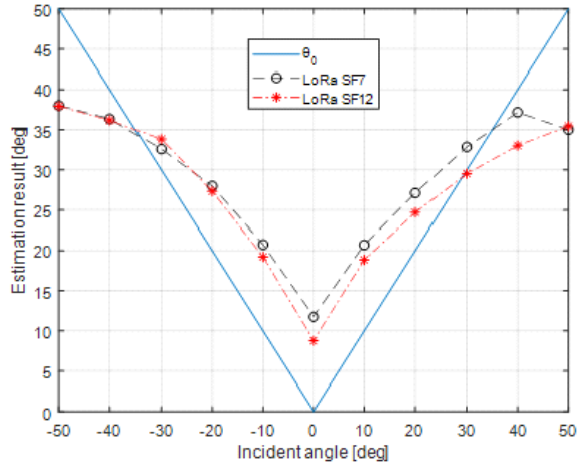


그림 6. LoRa 방향탐지 실험결과  
Fig. 6. Measurement results of LoRa direction finding.

정함을 알 수 있었다. SF에 따른 변화를 관찰하기 위하여 SF7과 SF12에 대하여 동일한 실험을 하였으며, 예상한대로 SF의 변화에 상관없는 결과를 얻을 수 있었다.

실험결과에서  $0^\circ$  주변에서 오차가 발생하는 것은 직접 변환 수신기에서 DC offset의 영향 및 FFT 과정에서 발생하는 잡음의 영향으로 판단된다. 또한  $40^\circ$  이상에서 오차가 커지는 것은 TMA 방향탐지의 빔특성에 기인한다. 이는 SW적으로 보정 가능함을 알 수 있다. 또한 전자파차폐시설이 없는 실내실험이므로 그림 6과 같이 왼편과 오른편 데이터에 약간의 차이가 발생하는 것은 주변 반사파의 영향에 의한 오차로 유추할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 TMA를 이용하여 LoRa IoT 신호를 실시간으로 방향탐지하는 시스템을 구현하였다. 특히, LoRa IoT의 신호 특성을 이용하여 저속의 스위치로 방향탐지 시스템을 구현할 수 있었다. 향후 실환경에서 복수개의 LoRa 신호를 갖는 경우로 확장한 방향탐지 시스템을 연구할 계획이다.

## References

- [1] B. C. Fargas, M. N. Petersen, "GPS-free geolocation using LoRa in low-power WANs," in *2017 Global Internet of Things Summit (GloTS)*, Geneva, 2017, pp. 1-6.
- [2] A. Tennant, B. Chambers, "A two-element time-modulated array with direction-finding properties," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 6, pp. 64-65, 2007.
- [3] C. He, X. Liang, Z. Li, J. Geng, and R. Jin, "Direction finding by time-modulated array with harmonic characteristic analysis," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 642-645, 2015.
- [4] A. O'Donnell, W. Clark, J. Ernst, and R. McGwier, "Analysis of modulated signals for direction finding using time modulated arrays," in *2016 IEEE Radar Conference (RadarConf)*, Philadelphia, PA, 2016, pp. 1-5.
- [5] J. Chen, X. Liang, C. He, A. Cao, L. Bai, and W. Zhu, et al., "Direction finding of linear frequency modulation signal with time-modulated array," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 67, no. 4, pp. 2841-2846, Apr. 2019.
- [6] H. Yoon, J. Um, and B. J. Jang, "Performance analysis of a LoRa device on duty cycle local regulation of Korean RFID/USN frequency band," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 2, pp. 113-119, Feb. 2017.
- [7] D. Croce, M. Gucciardo, S. Mangione, G. Santaronita, and I. Tinnirello, "Impact of LoRa imperfect orthogonality: Analysis of link-level performance," *IEEE Communication Letters*, vol. 22, no. 4, pp. 756-799, Apr. 2018.
- [8] Peregrine Semiconductor, PE4251 Datasheet. <https://www.psemi.com/products/rf-switches/pe4251>
- [9] K. J. Baik, S. Lee, and B. J. Jang, "AoA-based local positioning system using a time-modulated array," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 17, no. 4, pp. 181-185, Oct. 2017.



이 상 준 [삼성전자/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-9896-5553>



2017년 2월: 국민대학교 전자공학부 (공학사)

2019년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학석사)

2019년 9월 ~ 현재: 삼성전자 네트워크사업부 연구원

[주 관심분야] 무선통신시스템, 전파응용

장 병 준 [국민대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5295-6050>



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월 ~ 1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월 ~ 2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월 ~ 2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2013년 9월 ~ 2015년 8월: 미래창조과학부 민간전문가(CP)

2005년 9월 ~ 현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용