

RFID 리더의 주파수 조정을 통한 태그 위치 센싱

Distance Sensing of an RFID Tag Using RFID Reader Frequency Control

백 경 진 · 장 병 준

Kyung-Jin Baik · Byung-Jun Jang

요 약

UHF 및 초고주파 대역의 RFID 시스템은 13.56 MHz 대역 RFID에 비해 RFID 리더 전방 수 m 반경 안에 위치한 복수 개의 태그 정보를 역산란 방식으로 읽을 수 있어 유통·물류 등 다양한 분야에 응용되고 있다. 하지만 반경이 넓으면서 특정한 위치에 있는 태그만을 인식하는 응용분야에서는 태그의 위치 센싱이 어려워 적용에 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 기존 RFID 리더에서 주파수의 조정만으로 태그의 위치 정보를 센싱하도록 함으로써 특정 거리의 태그만을 인식할 수 있는 RFID 시스템을 새롭게 제안한다. 제안된 시스템의 가능성을 검증하기 위하여 PLL을 이용하여 주파수를 가변하는 RFID 리더와 부하변조방식으로 역산란하는 태그를 2.4GHz 대역에서 구현하고 주파수 가변을 통해 태그의 위치를 센싱할 수 있는 시스템을 실험적으로 검증하였다. 검증 결과, 주파수 조정으로 태그의 위치를 센싱할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

UHF and microwave RFID systems are widely applied in various fields because they can read a plurality of tag information within a radius of several meters ahead of the RFID reader. However, they cannot detect the position of the tag in applications that recognize only a tag at a specific position. In this study, we propose a new RFID system that can interrogate the tag of a specific location selectively by using the position information of the tag. This can be done by only adjusting the reader's operating frequency. To verify the feasibility of the proposed system, we implemented a 2.4 GHz RFID reader whose frequency can be varied by using a phase-locked loop circuit and a backscattered tag. Experimental results confirm that the tag position can be sensed exactly.

Key words: Doppler Radar, Distance Sensing, 2.4 GHz Radar, Multi-Tone Radar, Gesture Sensing

I. 서 론

현재까지 상용화된 RFID 시스템은 크게 13.56 MHz로 대표되는 HF(High Frequency) 대역과 900 MHz로 대표되는 UHF(Ultra High Frequency) 대역 및 초고주파 대역에서 동작하는 RFID 시스템으로 분류할 수 있다. HF 대역의 RFID 시스템은 일반적으로 자기결합을 응용하므로 반경

이 수 cm에서 수십 cm 이하로 교통카드나 NFC(Near-Field Communication) 용도로 사용된다. 반면, UHF 대역 및 초고주파 대역에서 동작하는 RFID 시스템은 RFID 리더 안테나 전방 수 m 반경 안에 위치한 복수개의 태그를 인식하는 것이 가능하여 유통·물류 등 다양한 응용 분야에 사용되고 있다^[1].

UHF 대역 및 초고주파 대역의 RFID 시스템 응용 분야

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

국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received February 14, 2019 ; Revised April 4, 2019 ; Accepted April 5, 2019. (ID No. 20190214-022)

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

중에서 반경이 넓으면서 특정한 위치에 있는 태그만을 인식하는 응용분야가 있다. 예를 들어 공장에서 컨베이어 벨트에 순차적으로 들어오는 제조품을 관리하기 위해서 특정 위치에 있는 제조품에 부착된 태그를 한 번에 한 개씩 인식하는 경우가 대표적이다. 예를 들어 금호타이어에서는 타이어 생산관리를 위해 타이어에 RFID 태그를 부착하고, 타이어가 컨베이어벨트를 따라 이동할 때마다 어떤 공정을 지나고 있는지 기록하는 스마트공장을 운영 중에 있다^[2]. 이러한 응용에서는 인식거리가 길면서도 한 번에 하나씩 정해진 위치의 타이어에 부착된 태그만을 인식할 필요가 있다. 하지만 그림 1에서 보는 바와 같이 생산공장은 철제 기구물이나 모터장치 등이 다양하게 붙어 있어 전파환경이 복잡하다. 따라서 기구물이나 사람에 의한 반사파로 인해 실제 정보를 인식해야 할 위치에 있는 RFID 태그가 아닌 다른 위치에 있는 RFID 태그가 인식되는 경우가 발생할 수 있다. 이를 막기 위해 태그가 컨베이어 벨트를 지나갈 때 태그 인식지점 좌우에 전자파 흡수체나 전자파 차단막을 설치하는 경우도 있으나, 유지비용이 많이 들 뿐만 아니라, 설치할 수 없는 생산공장도 많아 스마트공장의 구현에 장애가 되고 있다.

이를 극복하기 위해서는 RFID 리더 안테나가 특정방향으로만 방사패턴을 갖도록 하는 것이 필요한데, UHF 대역의 긴 파장으로 인해 안테나 크기가 커진다는 단점이 있다. 예를 들어 참고문헌 [3]에서는 반파장 떨어진 안테나 2개와 하이브리드를 이용한 모노필스 기능의 RFID 리더가 제안된 바 있다. 이러한 기술들은 기본적으로 2개 이상의 안테나로 구성된 배열안테나의 특성을 이용한 것으로 그림 1과 같이 생산시설이 밀집되어 있는 생산공장의 특성상 설치가 어렵다.

이에 본 연구에서는 안테나는 기존 RFID 안테나를 동일하게 사용하면서도 RFID 리더의 동작 주파수의 조정만으로 리더와 태그 사이의 위치 정보를 센싱할 수 있도록 함으로써 특정 거리의 태그만을 인식할 수 있도록 하는 가상의 빔포밍 기능을 갖는 RFID 시스템을 새롭게 제안한다. 제안된 방식은 도플러 레이더 등에서 새롭게 연구가 시작되고 있지만, 아직까지 RFID 시스템에 적용된 바는 없다^{[4][5]}.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 제안된 방식의 동



그림 1. 타이어 생산공장에서 RFID 적용 사례
Fig. 1. RFID system in tire manufacturing.

작원리를 제시하고, 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시한다. 또한 실험실에서 제작한 RFID 리더와 태그를 이용하여 구현가능성을 확인하고, 결론을 맺도록 한다.

II. 제안기술의 동작 원리

일반적인 UHF 대역 및 마이크로파 대역의 RFID 시스템의 구성은 다음 그림 2와 같다. 리더는 태그에 전력을 공급하기 위하여 CW(Continuous Wave) 신호를 송신하고 있으며, 태그는 리더로부터 수신한 CW 신호의 일부를 부하변조(load modulation)를 통해 역산란(backscattering)시킨다. 역산란된 신호는 리더에서 복조되어 태그의 정보를 추출한다. 부하변조란 태그의 입력 임피던스의 변화를 이용하는 것으로 진폭이 가변되면 ASK(Amplitude Shift Keying), 위상이 가변되면 PSK(Phase Shift Keying)가 된다^[6].

리더의 구성은 송수신안테나, 송신기, 수신기 및 주파

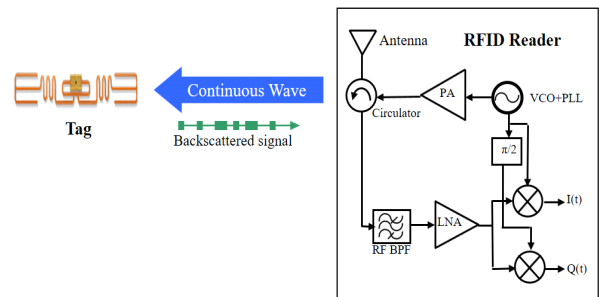


그림 2. RFID 시스템의 구성도
Fig. 2. Configuration of a RFID system.

수합성기로 구성되는데, 일반적으로 RFID 시스템은 주파수 호핑을 위해 VCO(Voltage-Controlled Oscillator)와 PLL(Phase Locked Loop) 회로를 갖는다. 먼저 리더의 송신신호 $s(t)$ 는 크기가 1이라고 가정하면 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$s(t) = \cos[\omega t + \theta_{LO}(t)] \quad (1)$$

여기서 ω 는 각주파수, $\theta_{LO}(t)$ 는 국부발진기의 위상잡음(phase noise)에 해당된다. 식 (1)의 신호는 안테나를 통과하여 태그로 방사되고, 태그는 이 신호를 부하변조를 통해 역산란시킨다. 만약 두 개의 태그가 각각 리더로부터 d_1 , d_2 만큼 떨어져 있고, 각각의 태그가 $b_1(t)$, $b_2(t)$ 로 ASK변조하는 경우 역산란되어 리더에 수신되는 신호는 식 (2)와 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$r_1(t) = A_1 b_1(t) \cos\left[\omega t - \frac{4\pi d_1}{\lambda} + \theta_{LO}\left(t - \frac{2d_1}{c}\right)\right] \quad (2)$$

$$r_2(t) = A_2 b_2(t) \cos\left[\omega t - \frac{4\pi d_2}{\lambda} + \theta_{LO}\left(t - \frac{2d_2}{c}\right)\right] \quad (3)$$

여기서 $b_1(t)$ 와 $b_2(t)$ 는 각각의 태그의 이진 데이터로 “0”또는 “1”에 해당되는 진폭값이며, $4\pi d_1/\lambda$ 는 d_1 떨어진 태그의 전파의 왕복거리에 따른 위상 변화, $4\pi d_2/\lambda$ 는 d_2 떨어진 태그의 위상 변화, A_1 과 A_2 는 각각의 태그로부터 수신되는 신호의 크기에 해당한다.

식 (2) 또는 식 (3)으로 표현된 역산란된 신호는 리더의 국부발진기와 혼합되어 기저대역 신호로 주파수 변환된다. 이상적인 수신기를 가정하면 I(in-phase) 신호와 Q(quadrature-phase) 신호는 식 (4)에서 식 (7)과 같이 주어진다.

$$I_1(t) = A_1 b_1(t) \cos\left[\frac{4\pi d_1}{\lambda} + \theta_0 + \Delta\theta(t)\right] + n_0(t) \quad (4)$$

$$Q_1(t) = A_1 b_1(t) \sin\left[\frac{4\pi d_1}{\lambda} + \theta_0 + \Delta\theta(t)\right] + n_0(t) \quad (5)$$

$$I_2(t) = A_2 b_2(t) \cos\left[\frac{4\pi d_2}{\lambda} + \theta_0 + \Delta\theta(t)\right] + n_0(t) \quad (6)$$

$$Q_2(t) = A_2 b_2(t) \sin\left[\frac{4\pi d_2}{\lambda} + \theta_0 + \Delta\theta(t)\right] + n_0(t) \quad (7)$$

여기서 θ_0 는 회로 내부의 고정된 위상값에 해당하며, $\Delta\theta(t)$ 는 range correlation 효과에 의한 residual phase error로 보통은 무시할 수 있다^[7].

식 (4)에서 식 (7)로부터 주파수가 고정된 경우, 리더와 태그 사이의 거리가 d_1 , d_2 만큼 다른 경우 I와 Q 신호의 위상은 $\theta_0 + 4\pi d_1/\lambda$ 와 $\theta_0 + 4\pi d_2/\lambda$ 만큼 차이가 남을 알 수 있다. 하지만 위상차는 상대적인 값이고, 리더와 태그 상이의 거리가 반파장 차이가 날 때마다 반복되므로 위상변화에 모호성(ambiguity)이 발생하여 반파장 이상 거리가 떨어진 두 태그의 위상차는 구분해 낼 수 없다.

반면에 동작 주파수를 수 MHz 정도로 가변하는 경우에는 위치가 다른 두 태그에서 발생하는 위상차의 변화는 ambiguity가 상대적으로 적어 측정이 가능하다. 즉, 리더의 동작주파수가 f_1 에서 f_2 로 변할 경우 태그에서 역산란되는 d_1 떨어진 태그로부터 역산란된 신호의 위상변화 $\Delta\theta_1$ 과 d_2 떨어진 태그로부터 역산란된 신호의 위상변화 $\Delta\theta_2$ 는 다른 고정항을 제외하면 식 (8) 및 식 (9)와 같이 주어진다.

$$\Delta\theta_1 = \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) 4\pi d_1 \quad (8)$$

$$\Delta\theta_2 = \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) 4\pi d_2 \quad (9)$$

식 (8)과 식 (9)로부터 거리 d_1 , d_2 를 계산하면 식 (10)과 식 (11)이 된다^[3].

$$d_1 [m] = \frac{\Delta\theta_1 \times c}{\Delta f \times 4\pi} \quad (10)$$

$$d_2 [m] = \frac{\Delta\theta_2 \times c}{\Delta f \times 4\pi} \quad (11)$$

여기서 c 는 빛의 속도, Δf 는 $|f_1 - f_2|$ 이고, $\Delta\theta$ 는 $|\theta_1 - \theta_2|$ 을 의미한다. 식 (10)과 식 (11)로부터 주파수차에 따른 위상변화를 측정할 수 있다면 이를 통해 리더와 태그 사이의 절대거리를 측정할 수 있음을 알 수 있다. 즉, RFID 리더의 중심주파수를 f_1 에서 f_2 로 가변하고, 이에 따른 위상 변화를 측정하여 리더와 태그와의 거리를 계산할 수 있다. 이를 바탕으로 특정 거리 범위에 위치한 태그만을 인식할 수 있는 새로운 RFID 시스템을 구현하는 것이 가능하다.

위상의 변화는 I신호와 Q신호를 이용한 \arctangent 를 취함으로써 계산할 수 있다. 즉, 식 (4)에서 식 (7)까지의 식에서 위상잡음과 잡음신호를 무시하고 \arctangent 취하면 식 (12)를 얻을 수 있다.

$$\tan^{-1}\left(\frac{Q_{1,2}(t)}{I_{1,2}(t)}\right) = 4\pi d_{1,2}/\lambda + \theta_0 \quad (12)$$

식 (12)로부터 리더와 태그 사이의 위상의 변화가 계산된다.

III. 모의 실험 결과

II장에서 제시한 이론의 타당성을 확인함으로써 특정 거리 범위에 위치한 태그만을 인식할 수 있는 새로운 RFID 시스템을 모의실험하였다. 먼저 리더와 태그 사이의 거리에 따라 $\theta_0 + 4\pi d/\lambda$ 의 주기적인 위상변화가 발생함을 확인하기 위하여 미국 UHF 대역(902~928 MHz)의 RFID 시스템을 가정하였고, 리더와 태그의 사양은 참고문헌 [6]의 규격을 가정하였다. 태그가 리더 정면으로부터 50 cm에서부터 1.5 m까지 이동하는 경우 902 MHz와 928 MHz 두 주파수에서 I 채널의 크기 변화를 그림 3에 나타내었다. 식 (4)에서 알 수 있듯이 위상잡음이 없다고 가정하면 $4\pi d/\lambda$ 가 π 의 정수배가 될 때 I신호가 최대가 되고, $4\pi d/\lambda$ 가 $\pi/2$ 의 홀수배가 되면 최소가 된다. 따라서 주파수가 고정될 경우 UHF RFID에서 태그 복조신호인 I 신호나 Q신호의 크기 또는 절대 위상으로부터 거리를 측정하는 것은 모호성 문제로 불가능함을 알 수 있다. 하지만 주파수가 가변되는 경우 각각의 거리에서 위상 변화는 주파수차의 함수로 조금씩 다르다. 그림 3에서 알 수 있듯이 주파수차가 26 MHz인 경우 50 cm에서 1.5 m로 거리

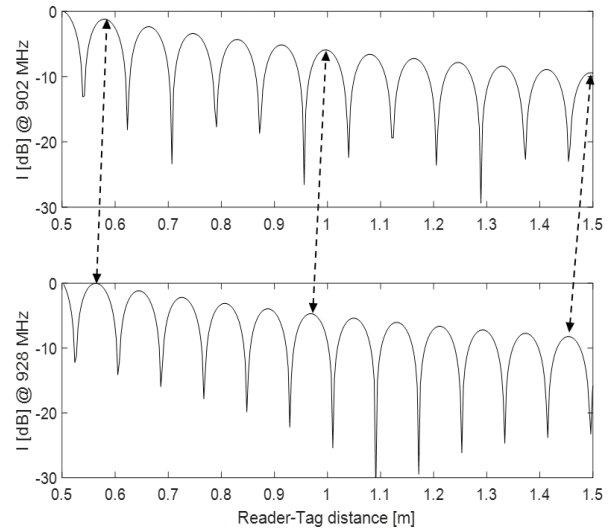


그림 3. 주파수 및 위치 변화에 따른 위상차 변화

Fig. 3. The variation of phase difference with respect to frequency and tag location.

가 늘어남에 따라 점선의 기울기가 조금씩 커지는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법의 핵심은 모호성이 있는 절대적인 위상값으로 거리를 계산하지 않고, 주파수 변화에 따라 거리에 따른 위상의 변화에 차이가 있음을 이용하는 것이다.

주파수의 변화가 902 MHz에서 928 MHz로 가변될 경우, 리더로부터 각각 50 cm에서 1.5 m까지 떨어진 RFID 태그의 위상차의 변화는 식 (10)과 식 (11)에 의해 계산할 수 있다. 주파수 변화폭이 최대 26 MHz이므로 50 cm 떨어진 태그의 위상변화는 31.4° , 1 m 떨어진 태그는 62.4° , 1.5 m 떨어진 태그의 위상변화는 93.6° 로 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 위상변화는 거리가 클수록 주파수 차이가 클수록 커짐을 알 수 있다. 또한 동작주파수가 클수록 위상차도 커지게 된다. 하지만 위상차가 90° 이상인 경우, 모호성이 발생할 수 있으므로 사용하는 RFID 동작주파수와 구분해야 하는 태그의 동작거리에 따른 최적의 주파수 차를 계산할 필요가 있다. 단, 주파수의 변화는 기술기준의 함수이므로 기술기준의 최대값 이상으로 가변시킬 수는 없다. 예를 들어 UHF 대역의 미국 RFID의 경우, 최대 26 MHz, 2.4GHz 국내 RFID의 경우 15 MHz 범위 내에서 결정하여야 한다.

IV. 실험 및 결과

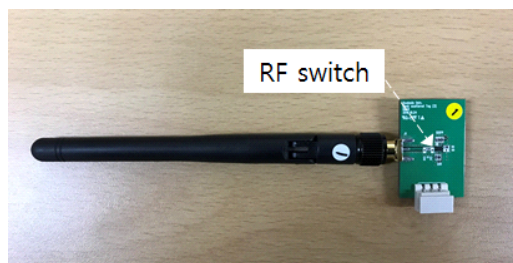
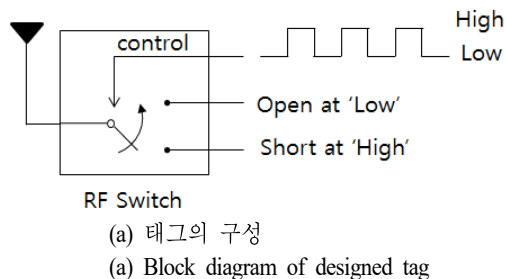
4-1 RFID 리더 및 태그 제작

일반적으로 상용 RFID 리더의 경우, 주파수 호핑 기능이 있으나, 사용자가 펄웨어를 임의로 조정하여 호핑 주파수 및 호핑 시간을 조정하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 2.4 GHz에서 동작하는 RFID 리더와 태그 시제품을 직접 제작하였다.

먼저 RFID 리더의 경우, 도플러 레이더와 RFID 리더가 동일한 동작원리를 갖는다는 것을 참고하여 기존에 개발된 2.4GHz 도플러 레이더를 RFID 기능을 갖도록 변형하여 구성하였다^[8]. 특히 RFID 리더는 PC에 연결하여 리더 내에 내장된 Atmega128 마이컴을 통해 리더 내부의 PLL을 구동함으로써 임의로 주파수를 가변할 수 있도록 하였다.

다음으로 RFID 태그는 RF 스위치를 이용하여 2.4 GHz에서 입사된 CW 신호를 ASK 방식으로 역산란할 수 있는 태그를 제작하였다. 그림 4는 실제 제작된 태그의 블록도와 2.4GHz WiFi 안테나가 연결된 제작사진을 보여준다. 그림 4(a)와 같이 태그의 정보에 따라 부하임피던스를 조절하기 위하여 Peregrine Semiconductor사의 PE4244 SPDT 스위치를 사용하여 PCB를 제작하였다. RF스위치의 제어는 외부포트를 통해 태그의 정보가 입력되면 그 정보에 따라 부하 임피던스가 조절된다. 즉, RF스위치의 제어 단자에 3.3 V 인가되며, 'high' 상태가 되어 부하 임피던스는 short되어 접지면에 연결된다. 반면, RF스위치의 제어 단자에 0 V 인가되며, 'low' 상태가 되고, 부하 임피던스는 open된다. 설계한 태그를 실제 제작하여 네트워크 분석기로 측정한 결과, short인 경우 반사계수가 $10 - j75 \Omega$ 이고, open인 경우 반사계수가 $25 + j75 \Omega$ 으로 측정되었다. 이는 안테나 연결을 위한 connector에 의해 open과 short에서 위상이 회전하였으나, Smith 도표 내 정반대에 위치하므로 ASK 변화가 가능함을 알 수 있다.

태그의 입력 데이터는 임의의 속도로 스위치 제어가 가능한 함수발생기(function generator)로 가장 간단한 단극성 NRZ-OOK 신호를 생성하여 제어단자로 인가하였다. 이를 통해 제작된 태그는 소스에서 송신한 정현파 전파를 태그의 부하임피던스를 임의의 속도로 안테나 임피



(b) 제작된 태그

(b) Implemented RFID tag

그림 4. RFID 태그

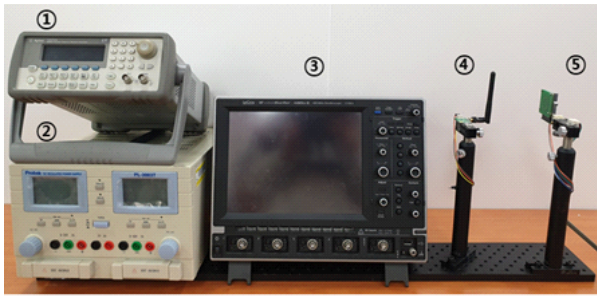
Fig. 4. RFID tag.

던스를 변경하여 역산란함으로써 태그의 정보를 리더에게 전송할 수 있게 된다.

4-2 실험 구성

본 논문에서 제안한 주파수 조정 특성을 갖는 RFID 리더를 통해 태그의 위치 인식 시스템의 실험구성을 그림 5와 같이 구성하였다. 먼저 RFID 리더를 고정하고, 태그의 위치를 가변하였다. RFID 리더와 태그 사이의 거리는 10 cm와 15 cm로 설정하여 태그로부터 반사된 신호의 위상을 측정하였다.

리더는 2.4 GHz 대역에서 동작하는 국내 RFID 리더 기술기준을 참고하여 동작주파수를 설정(2.440 GHz, 2.450 GHz, 2.455 GHz)하였고, 출력은 0 dBm으로 송신하였다. 태그의 정보는 함수 발생기를 이용하여, 10 Hz 속도로 생성하여 컨트롤 포트에 인가하면서, RFID 리더로부터 수신되는 신호를 오실로스코프로 관찰하였다. 실제 RFID 신호는 최대 4W의 EIRP 출력에 따라 수 m의 인식거리와 수십 kHz 이상의 태깅 속도를 갖지만, 본 논문에서는 제안한 방식의 본 논문에서 제안한 방식의 타당성만을 보



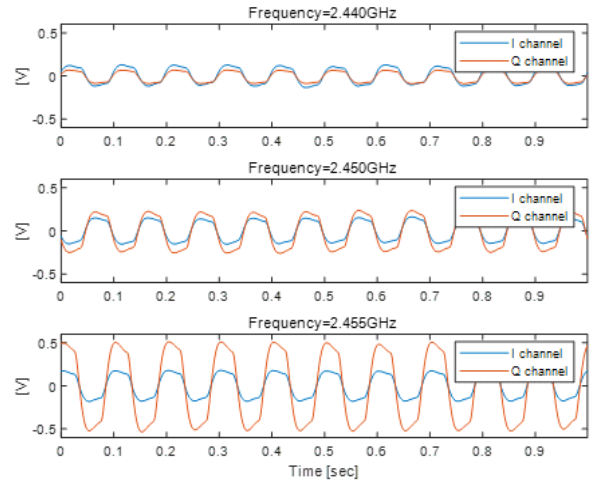
① Function Generator ② Power Supply
③ Oscilloscope ④ Tag ⑤ Reader

그림 5. 태그 거리 센싱 시스템 구성
Fig. 5. RFID tag distance sensing system.

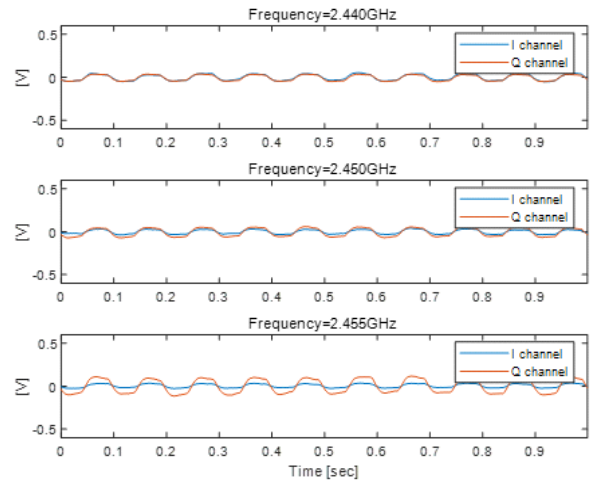
여주기 위한 실험이므로 짧은 거리에서 저속의 경우로 대체하였다.

첫 번째 실험은 RFID 태그와 리더 사이의 거리를 10 cm로 고정하여 진행하였다. 먼저 PLL 제어를 통해 RFID 리더의 동작 주파수를 설정하고, 태그에 인가된 정보가 실린 신호를 리더로 수신하였다. 동일한 거리에서 RFID 리더의 주파수를 3가지(2.440 GHz, 2.450 GHz, 2.455 GHz)로 가변하여 측정하였으며, 리더로 수신한 태그의 신호는 오실로스코프를 통해 저장하였고 그림 6(a)에서 확인할 수 있다. 다음으로 거리를 15 cm로 가변한 후 동일한 실험을 반복하였다 그림 6(b)와 같이 거리가 늘어남에 따라 I신호와 Q신호의 크기는 작아져 15 cm 이상에서는 관찰이 어려우므로 15 cm와 10 cm 만을 비교하였다. 본 실험에서는 0 dBm으로 송신하여 15 cm 떨어진 태그에서 역산란된 신호를 인식하였으나, 실제 기술기준에 따르면 2.4 GHz의 경우 300 mW, RFID/USN 대역의 경우 1W 까지 안테나 공급전력이 가능하므로 실제 상용화할 경우 수 m까지 가능할 것으로 판단된다.

10cm 떨어진 태그로부터 주파수를 가변한 경우 수신된 신호의 I/Q 궤적을 확인한 결과, 그림 7과 같이 주파수 별로 다른 위상을 보였다. 또한 2.440 GHz와 2.450 GHz의 궤적(10 MHz 주파수 차이가 날 경우)와 2.450 GHz와 2.455 GHz의 궤적(5 MHz 주파수 차이가 날 경우)을 비교하면 주파수차가 2배가 될 경우 위상차 역시 2배가 됨을 알 수 있다. 정밀한 위상 차이는 MATLAB에서 간단한 위상추출 알고리즘을 사용하여 위상을 구하였다^[9]. 이를 통



(a) 10 cm



(b) 15 cm

그림 6. 주파수에 따른 IQ 신호

Fig. 6. IQ signal of each frequency set.

해 주파수 차이에 따른 위상차 정보를 이용하여 계산한 거리는 표 1과 같다. 주파수 별로 정확도에 차이가 발생하는 것은 주파수 별 RF회로 특성의 차이와 실험환경 구성의 오차 등에 기인한 것으로 보인다. 이와 동일한 방법으로 태그와 리더 사이의 거리를 15 cm로 고정하여 반복 실험하였으며, 그 결과 또한 표 1에서 확인할 수 있다. 표에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 주파수 가변에 따른 위상변화를 이용하여 RFID 태그의 위치를 정확히 인식하는 것이 가능함을 확인하였다.

표 1. 실험결과
Table 1. Experimental results.

| Δf [MHz] | Theory | Estimation | Theory | Estimation | Distance error [%] |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------|
| | $\Delta\theta$ [deg] | $\Delta\theta$ [deg] | Distance [cm] | Distance [cm] | |
| 5 | 1.2 | 1.22 | 10 | 10.14 | 1.4 |
| 10 | 2.4 | 2.57 | | 10.73 | 7.3 |
| 15 | 3.6 | 3.79 | | 10.53 | 5.3 |
| 5 | 1.8 | 1.72 | 15 | 14.36 | 4.3 |
| 10 | 2.6 | 3.78 | | 15.74 | 4.9 |
| 15 | 5.4 | 5.50 | | 15.28 | 1.9 |

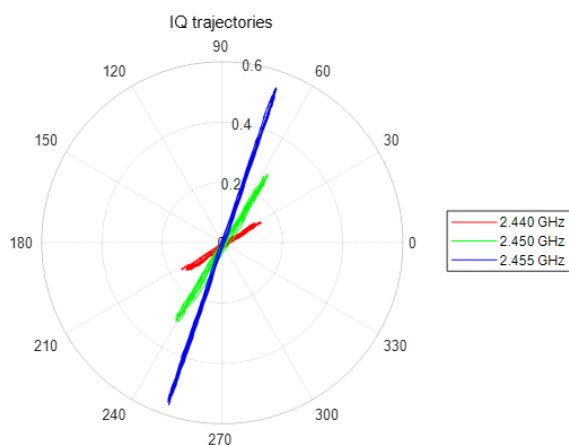


그림 7. DC offset 제거한 I/Q 신호의 궤적(10 cm)
Fig. 7. The I/Q trajectories without DC offset(10 cm).

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 RFID 시스템에서는 불가능했던 태그와의 거리를 센싱하기 위한 새로운 방법을 제안하였고, 2.4 GHz RFID 시스템을 실제 제작하여 실험적으로 검증하였다. 이를 통해 RFID 리더의 주파수 차이에 따라 발생하는 위상차 정보로부터 태그와의 거리를 정확히 파악할 수 있음을 확인하였다. 본 제안 기술을 활용하면 타이어 공장의 태그 인식에 활용할 경우, 가까이 있는 타이어에 부착된 태그의 신호와 거리가 먼 타이어에 부착된 태그의 신호를 구분하는 것이 가능하다. 따라서 배열안테나를 이용한 빔포밍 기술이나 빔폭이 좁은 고이득 안테나를 사용하지 않고도 특정위치의 태그만을 인식할 수

있는 가상의 빔포밍 기능을 갖는 RFID 시스템을 구성할 수 있다. 그 외에도 특정한 거리의 태그만을 인식할 필요가 있는 유통·물류 등 다양한 RFID 응용 분야에 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 단, 실제 RFID 리더에 위상검출 기능을 추가하여야 하며, 실제 생산 공장 적용 시 발생하는 다양한 영향, 예를 들어 타이어 부착위치, 이동하는 태그에 의해 발생하는 도플러 편이 등 실제 환경을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] M. D. Daniel, *The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice*, Amsterdam, Elsevier Newnes, 2008.
- [2] C. M. Park, H. Y. Jang, and J. H. Han, "What characteristics make an enterprise more proactive toward innovation? Case of adopting RFID at Kumho Tire in Korea," in *2016 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology (ICMIT)*, Bangkok, 2016, pp. 309-312.
- [3] T. Sakogawa, K. Aoki, and F. Kuroki, "A technique to narrow down radiation patterns of broad beam antenna operationally and its application to security gate to prevent shoplifting based on monopulse system," in *2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Paris, 2017, pp. 1945-1948.
- [4] J. Huang, Y. Zhang, and S. Luo, "A simple estimator for localization of moving targets using dual-frequency radar with minimum system architecture," *IEEE Sensors Letters*, vol. 2, no. 1, p. 3500604, Mar. 2018.
- [5] C. Gu, J. Lien, "A two-tone radar sensor for concurrent detection of absolute distance and relative movement for gesture sensing," *IEEE Sensors Letters*, vol. 1, no. 3, p. 16865659, Jun. 2017.
- [6] 장병준, 송호준, "UHF RFID 수신기의 위상 다이버시티 및 최적 I/Q 신호결합 방법에 관한 연구," *한국전자과학회논문지*, 19(4), pp. 442-450, 2008년 4월.
- [7] B. Jang, H. Yoon, "Range correlation effect on the phase noise of an UHF RFID reader," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 18, no. 12, pp. 827-829,

Dec. 2008.

- [8] 장병준, 박재형, 육종관, 문준호, 이경중, "하나의 원형편파 안테나와 PLL을 이용하여 소형이면서도 개선된 잡음 성능을 갖는 2.4 GHz 바이오 레이다 시스템," 한국

전자과학회논문지, 20(12), pp. 1325-1332, 2009년 12월.

- [9] 장병준, 장병준, "2.4 GHz 도플러 레이다의 주파수 조정을 통한 이동체 거리 센싱," 한국전자과학회논문지, 30(2), pp. 152-159, 2019년 2월.

백 경 진 [국민대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0001-9953-2311>



2017년 2월: 국민대학교 전자공학부 (공학사)

2017년 3월~현재: 국민대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] 센서 시스템 설계, 레이다 신호처리, 무선통신시스템

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, 무선통신시스템, 전파응용