

ISO/IEC 18000-6 Type B RFID 시스템을 위한 미약 태그신호 검출

김완진, 김형남
부산대학교 전자공학과
hnkim@pusan.ac.kr

Detection of a weak tag signal for the ISO/IEC 18000-6 Type B RFID System

Wan-Jin Kim, Hyoung-Nam Kim
Department of Electronics Engineering, Pusan National University

요 약

UHF RFID 시스템에서는 동일 채널 및 인접 채널에서 사용되는 전자기기와의 간섭을 최소화하기 위해 리더에서의 출력 전력을 엄격하게 제한하고 있다. 이러한 제약으로 인해, 태그에서 후방산란 되는 신호는 매우 낮은 전력을 가지는 미약 신호가 되어 잡음에 의한 영향이 크게 나타나게 된다. 또한 표준에 정의된 응답신호의 높은 허용오차로 인해 비트 타이밍 문제가 야기되어 미약 태그신호 신호 복원을 어렵게 만든다. 본 논문에서는 잡음 환경 하에서 미약신호를 효율적으로 검출하기 위해 상관기를 사용하는 방법을 제시하고, 비트 타이밍 에러로 인해 발생하는 신호복구문제를 해결하기 위해 비트 간격 추정 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법이 낮은 SNR 에서도 우수한 성능을 가지고 있음을 보인다.

I. 서론

900 MHz RFID (Radio Frequency Identification) 시스템에서 수동형 태그는 리더에서 전송된 신호로부터 에너지를 공급받고, 공급받은 에너지를 안테나에 연결된 부하저항을 이용해 선택적으로 반사하는 후방산란 (backscatter) 방법을 이용하여 자신의 데이터를 리더로 전송한다 [1]. 수동형 태그는 리더로부터 전력을 공급받아 동작하므로 전력소비에 민감하며, 내부 메모리나 연산능력에 제한을 받게 된다 [2]. 또한 FCC (Federal Communication Commission)의 Part 15.247 규정은 리더의 방사전력을 엄격히 제한하고 있어서, 후방산란 되는 태그의 응답 신호는 매우 미약한 신호가 된다 [3]. 리더로 입사되는 태그의 신호 전력 약화는 잡음 환경 하에서 신호의 검출을 어렵게 만든다.

ISO/IEC 18000-6 Type B 표준에 정의된 비트 타이밍에 대한 높은 허용오차 (tolerance)는 리더의 성능을 저하시키는 또 다른 장애 요소이다 [4]. 수신 신호의 정확한 비트 간격이 알려지지 않은 경우 비트 타이밍 문제로 인하여 데이터 획득에 필요한 시간이 증가하므로 리더의 성능이 저하된다. 게다가 다중 태그 환경에서는 동시에 다수의 태그가 응답하므로, 응답신호가 매우 복잡한 형태로 나타나며, 리더는 충돌 신호와 잡음으로 인해 훼손된 신호를 구분하지 못한다. 이러한 경우에 충돌방지가 이루어지더라도 리더가 태그를 인식하지 못하므로 false alarm 이 발생하게 된다.

본 논문에서는 잡음과 비트 타이밍 에러로 인해 발생하는 미약 태그 신호 검출의 문제점을 해결하고 RFID 시스템의 성능을 향상 시키기 위해 상관기 (correlator)와 비트 간격 추정기 (bit-duration estimator)를

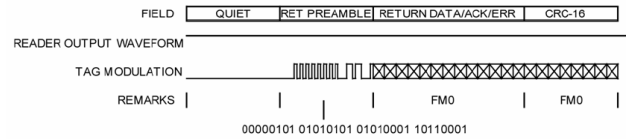


그림 1. GROUP_SELECT 명령에 대한 응답 신호의 구성.

표 1. Return link parameters

Data Rate	Trlb	Tolerance
40 kbps	25 μ s	+/- 15%

이용하는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 잡음 환경 하에서 미약 신호와 높은 허용오차에 따른 수신 신호의 검출에 대해 살펴보고, 3 절에서는 제안된 방법을 소개한다. 4 절에서는 제안된 방법의 시뮬레이션 결과를 제시·분석하고, 마지막 5 절에서는 결론을 맺는다.

II. 미약 신호 검출 문제

그림 1 에서 보는 바와 같이 태그 응답은 Quiet, Return preamble, Data fields, 그리고 CRC (Cyclic Redundancy Code) -16 으로 구성되며, Data fields 와 CRC-16 은 FM0 를 이용하여 코딩된다. 한 비트를 전송하는 데 필요한 시간인 Trlb (Return Link Bit Time)는 표 1 에 정의되어 있다 [4].

일반적으로 이상적인 채널 환경에서는 태그로부터 후방산란 되어 들어오는 신호가 왜곡되지 않으므로 태그 응답의 검출과 데이터 추출이 용이하다. 하지만 잡음이 존재하는 채널 환경에서는 다양한 잡음에 의한 신호 왜곡이 발생하므로 태그로부터의 응답 신호가 훼손되는 문

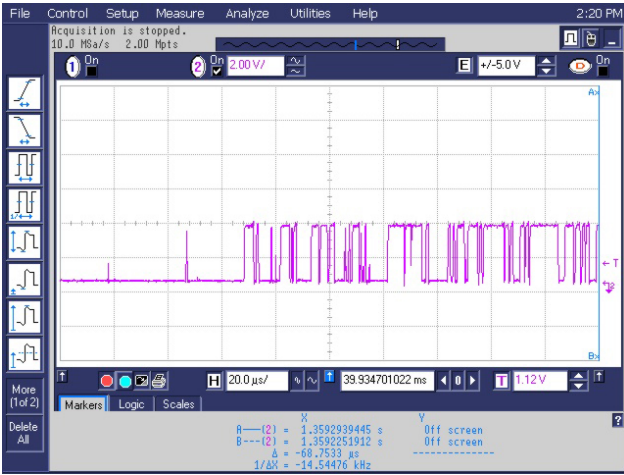


그림 2. Preamble 이 훼손된 응답신호의 예.

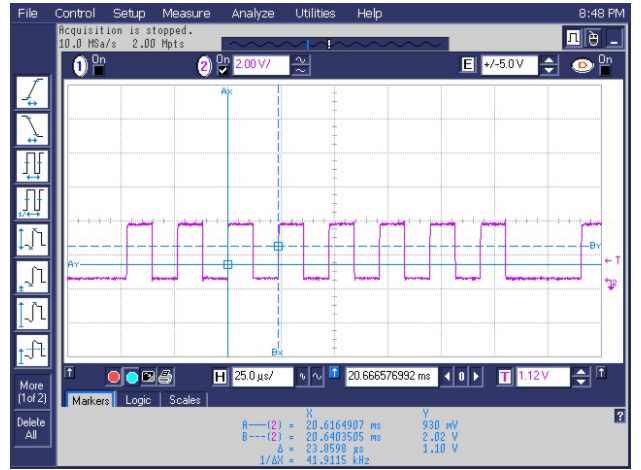


그림 4. 허용오차가 -4.6%인 응답신호.



그림 3. 유효한 응답 신호의 예.

제가 발생한다 [5]. 그림 2는 훼손된 신호의 예로서, 그림 1의 이상적인 응답과는 달리 return preamble 이 훼손되어 있음을 볼 수 있다.

또한 UHF RFID Type B 표준에서는 Type A, C 표준과는 달리 비트 타이밍의 허용오차를 $\pm 15\%$ 까지 허용하고 있는데, 비트 간격의 허용오차가 높으면 비트 타이밍 에러가 발생한다. 일례로 그림 3에서 보듯이 후방산란 된 정상적인 태그 응답 신호를 한 비트 간격의 절반인 $12.5 \mu\text{s}$ 로 샘플링하여 처리할 경우 데이터의 복구가 불가능하다. 그림 4에서 보듯이 수신된 신호의 정확한 비트 간격은 약 $23.86 \mu\text{s}$ 이기 때문에, 데이터를 추출하기 위해서는 샘플링 간격 조정이 필요하다.

유통·물류 등 다양한 분야에 활용 가능한 UHF RFID 시스템에서는 태그 인식에 소요되는 시간을 줄이는 것이 중요한 문제이기 때문에, 이러한 두 가지 문제의 해결은 시스템의 성능 향상을 가져온다. 이를 위해 본 논문에서는 상관기를 이용하여 잡음의 영향을 감소시키고, 이 상관기의 출력을 이용하여 비트 간격을 추정하는 방법을 제시한다.

III. 제안된 미약 신호 검출 방법

그림 5에서 보듯이 제안된 시스템은 크게 상관기와 비트 간격 추정기로 구성되어 있다. 상관기는 수신 신호와 알려진 기준 신호를 상호 상관하는 역할을 수행한다. 상관기 출력에서는 잡음의 영향이 감소하는 이점이 있어

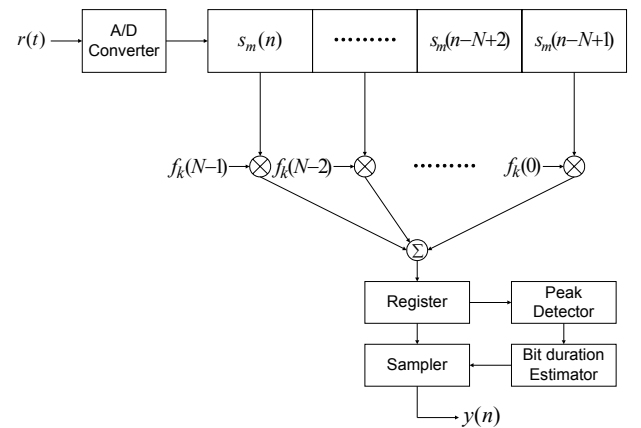


그림 5. 제안된 시스템 구조.

낮은 SNR (Signal to Noise Ratio) 에서도 리더의 성능을 보장할 수 있는 이점이 있다. 이에 관한 증명은 III.A 절에서 보인다. 다음으로, 비트 간격 추정기는 비트 간격의 큰 허용오차 범위에서 고정된 샘플링 간격을 사용할 경우 발생하는 에러를 줄이기 위해 사용된다. 상관기의 출력을 이용하여 비트 간격을 추정하기 가능하기 때문에 샘플링 간격을 조정하여 데이터를 추출하는 것이 가능하다. 이에 관한 보다 자세한 내용은 III.B에서 설명한다.

III.A. Correlator

수신신호 $r(n)$ 이 L 개의 상호 상관기로 구성된 병렬 뱅크를 통과한다고 가정하자. 상호 상관기는 $r(n)$ 을 L 개의 basis 함수 $\{f_k(n)\}$ 에 투영하는 것이므로

$$\sum_{l=0}^{N-1} r(n-l)f_k(l) = \sum_{l=0}^{N-1} [s_m(n-l) + v(n-l)]f_k(l) \quad (1)$$

$$r_k = s_{mk} + v_k, \quad k=1,2,\dots,L \quad (2)$$

여기서

$$s_{mk} = \sum_{l=0}^{N-1} s_m(n-l)f_k(l), \quad k=1,2,\dots,L \quad (3)$$

$$v_k = \sum_{l=0}^{N-1} v(n-l)f_k(l), \quad k=1,2,\dots,L \quad (4)$$

이다. 또한, n , l 그리고 N 은 각각 시간 인덱스, 필터링 인덱스, 필터의 탭 수를 의미한다. 지금부터 수신신호를 s_{mk} , $k=1,2,\dots,L$ 를 성분으로 가지는 벡터 \mathbf{s}_m 으로 표현하면, 각 성분의 값은 전송된 M 개의 신호에 의존하게 된다. $\{v_k\}$ 는 가산성 잡음에 의해 발생하는 확률변수를 의미한다 [6]. 만약 n 이 시간간격 T 에서 무한대로 접근하면 수식 (1), (3), (4)를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\int_0^T r(t)f_k(t)dt = \int_0^T [s_m(t) + v(t)]f_k(t)dt \quad (5)$$

$$s_{mk} = \int_0^T s_m(t)f_k(t)dt, \quad k=1,2,\dots,L \quad (6)$$

$$v_k = \int_0^T v(t)f_k(t)dt, \quad k=1,2,\dots,L \quad (7)$$

사실상 시간간격 $0 \leq t \leq T$ 에서 수신신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있고

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{k=1}^L s_{mk}f_k(t) + \sum_{k=1}^L v_kf_k(t) + v'(t) \\ &= \sum_{k=1}^L r_kf_k(t) + v(t) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $v'(t)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$v'(t) = v(t) - \sum_{k=1}^L v_kf_k(t) \quad (9)$$

$v'(t)$ 는 원 노이즈 프로세스 $v(t)$ 와 $v(t)$ 중 basis 함수 $\{f_k(n)\}$ 에 의해 투영된 부분의 차에 의해 얻어지는 평균 0 의 가우시안 노이즈 프로세스를 의미한다 [6]. 수신신호 $\{s_m(t)\}$ 가 확정적이므로, 수신신호의 각 성분도 역시 확정적이 된다. 잡음성분 $\{v_k\}$ 의 각 성분은 가 가우시안 잡음에 의해 여기된 선형필터의 샘플링 된 출력으로 간주되기 때문에 $\{v_k\}$ 는 가우시안이다. 따라서 $\{v_k\}$ 의 평균값은 모든 k 에 대하여

$$E(v_k) = \int_0^T E[v(t)]f_k(t)dt = 0 \quad (10)$$

이고, 공분산은

$$\begin{aligned} E(v_k v_m) &= \int_0^T \int_0^T E[v(t)v(\tau)]f_k(t)f_m(\tau)dtd\tau \\ &= \frac{1}{2}N_0 \int_0^T f_k(t)f_m(t)dt = \frac{1}{2}N_0\delta_{mk} \end{aligned} \quad (11)$$

이다. 여기서 $m=k$ 일 때 $\delta_{mk}=1$ 이고 다른 경우에는

0 이다. 따라서 L 개의 잡음 요소 $\{v_k\}$ 는 평균 0 이고 분산이 $\sigma_v^2 = \frac{1}{2}N_0$ 인 무상관 가우시안 확률변수이므로 통계적으로 독립이다. 따라서 전송된 m 번째 신호의 상관기의 출력 $\{r_k\}$ 는 통계적으로 독립인 가우시안 변수이다 [6]. 마지막으로

$$\begin{aligned} E[v'(t)r_k] &= E[v'(t)]s_{mk} + E[v'(t)v_k] \\ &= E[v'(t)v_k] \\ &= E\left\{v(t) - \sum_{j=1}^L v_jf_j(t)v_k\right\} \\ &= \frac{1}{2}N_0f_k(t) - \frac{1}{2}N_0f_k(t) = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$v'(t)$ 와 $\{r_k\}$ 는 가우시안이고 무상관이기 때문에, $v'(t)$ 와 $\{r_k\}$ 역시 통계적으로 독립이다. 따라서 $v'(t)$ 는 전송된 신호를 결정하는 데 관련된 어떤 정보도 포함하고 있지 않으므로, 수신신호를 디코딩하는 데 사용되지 않는다 [6]. 이것은 상관기의 출력에서 잡음의 영향이 감소되는 것을 의미하므로, 상관기를 사용하면 SNR 이 향상됨을 알 수 있다.

III.B. Bit duration 추정방법

III.A 절에서 수신신호를 판별하기 위한 모든 정보가 상관기 출력 $\{r_k\}$ 에만 포함되며, 상관기가 잡음영향을 감소시킴을 보였다. 이러한 결과를 이용하여 본 논문에서는 상관기 출력을 이용하여 샘플링 간격을 이용하여 비트 간격을 추정하는 방법을 제시한다.

비트 간격을 추정하기 위해서 우선 상관기에 사용될 basis 를 결정해야 하는데, 표준에 정의된 태그 응답 중 모든 태그 응답에 공통되는 부분인 return preamble 을 basis 로 사용한다. 특히 return preamble 중에서 3 ~ 10 번째 비트가 연속적으로 반복되므로 3 번째 비트를 상관기의 basis 로 설정한다. 채택된 basis 들은 표 2 에 제시되어 있다

채택된 basis 를 이용하여 SNR -15 dB, 허용오차 -15% 일 때의 수신신호를 상관기에 통과시켰을 때의 출력은 그림 6 과 같다. 그림 6 에서 “1”로 표시된 점선 원은 양의 최대점을 나타내며 ‘low’상태에서 ‘high’상태로 상태의 천이가 발생하였음을 의미한다. 표시 “2”는 반대 경우를 의미하므로 두 지점간의 시간차이를 이용하면 ‘high’ 상태로 유지된 시간을 구할 수 있다. ‘high’ 상태로 유지된 시간은 한 비트 간격의 절반을 의미하므로 데이터를 복구 하는데 필요한 샘플링 간격을 결정할 수 있다. 이상적인 채널 환경에서는 잡음의 영향이 없으므로 한 번의 상태 천이를 이용하여 비트 간격을 추정할 수 있다. 그러나 그림 6 과 같이 잡음의 영향이 큰 경우 정확한 최대점의 추

표 2. Bases parameters

	Bit duration	Tolerance
Basis 1	21.25 μ s	-15%
Basis 2	23.75 μ s	-5%
Basis 3	26.25 μ s	5%
Basis 4	28.75 μ s	15%

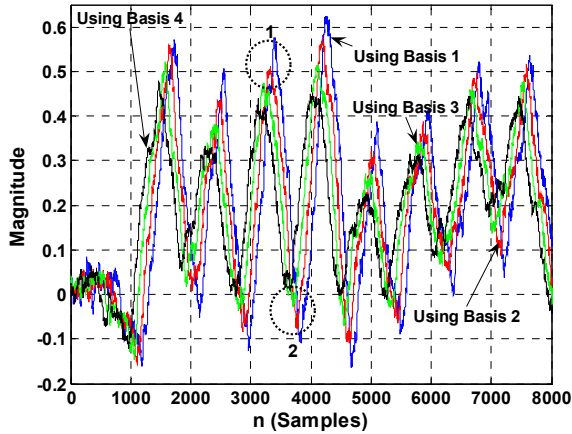


그림 6. 상관기의 출력 (SNR -15 dB, 허용오차 -15%).

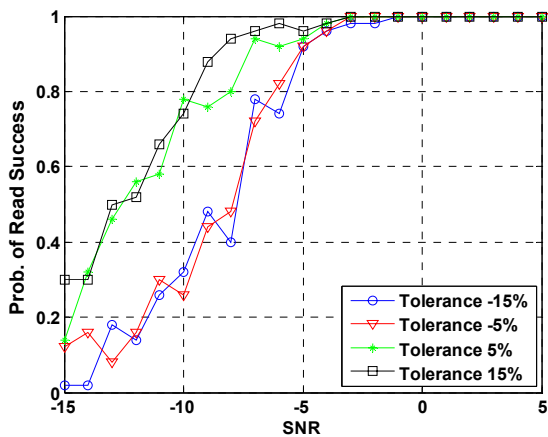


그림 7. 제안된 방법의 성능.

정에 문제점이 있으므로, return preamble 에서 ‘low’에서 ‘high’, ‘high’에서 ‘low’로 8 번의 상태전이가 발생함을 이용하여 시간차의 평균을 취함으로써 샘플링 간격을 추정한다.

상관기는 SNR 을 향상시키고 비트 간격 추정기를 통해 샘플링 간격을 추정할 수 있으므로 제안된 방법을 적용하지 않았을 때보다 수신 신호를 정확하게 복구 할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제안된 방법의 성능을 검증하기 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 채널은 가산성 백색잡음 채널이며, 태그 응답에서 허용오차는 각 비트에 균일하게 적용된다고 가정하였다. 시뮬레이션에 적용된 SNR 과 허용오차의 범위는 표 3 에 제시되어 있으며, 에러신호를 검출하기 위해 수신신호를 FM0 디코딩한 후 CRC-16 을 점검하였다.

만약 디코딩된 데이터에 에러가 존재하면 수신된 데이터를 사용하는 것이 불가능하므로, 전체 송신 횟수 중 데이터를 정확히 수신하는 경우만을 세어 각 SNR 에서의 수신 성공확률을 계산하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 7 에 제시되어 있으며, SNR 이 -5dB 이상일 때 수신신호의 90% 이상이 복구 가능함을 볼 수 있다. 그림 7 에서 bit duration 이 늘어난 경우 (허용오차가 5%, 15% 인 경우) 반대의 경우에 비해 -5dB 이하에서 상대적으로 나은 성능

표 3. Simulation parameters

	Range
SNR	-15 dB ~ 5 dB, increase by 1 dB
Tolerance	-15% ~ 15%, increase by 10%

을 보이는데, 이러한 결과는 bit duration 이 늘어나면 한 비트당 허용되는 에러시간의 마진이 증가하기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 ISO/IEC 18000-6 Type B 시스템에서 태그로부터 후방산란 되어 입사되는 미약 신호 검출을 위해 상관기와 비트 간격 추정기를 이용한 방법을 제시하였다. 제안된 방법에서 상관기는 잡음의 영향을 감소시키고, 비트 간격 추정기는 신호복구를 위해 필요한 타이밍 동기를 찾아내기 때문에 낮은 SNR 에서도 우수한 태그 인식 성능을 보여준다. UHF RFID 시스템에서는 데이터의 정확도를 높이고 재전송에 의해 낭비되는 시간을 최소화 하는 것이 중요하므로, 제안된 방법은 RFID 시스템의 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

VI. 참고문헌

- [1] T. Hassan and S. Chatterjee, “A Taxonomy for RFID,” *Proceedings of the 39th Annual Hawaii international Conference on System Sciences (HICSS ‘06)*, pp.184b–184b, 2006.
- [2] 권성호, 김희철, “EPC 네트워크를 위한 다중 RFID 태그 식별 알고리즘 분석,” *한국 인터넷 정보학회*, Vol.4 No.4, pp.27-37, 2003. 12.
- [3] FCC, “Part15 – RADIO FREQUENCY DEVICES,” FCC regulations, 2006, pp.99-111.
- [4] ISO/IEC 18000-6, “Information technology – Radio-frequency identification for item management – Part 6: Parameters for air interface communications at 806 MHz to 960 MHz,” ISO/IEC 18000-6, FDIS, 2005.
- [5] Kibum Kim, Hyunsoo Shin, and Dongil Song, “A symbol timing recovery using the segment sync data for the digital HDTV GA VSB system,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.42, No.3, pp.651-656, 1996.
- [6] John G. Ploakis, *Digital communications, 4th edition*, McGRAW-HILL, Inc., 2001, pp.232-236.