

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.4.7>
JIIBC 2019-4-2

주변 후방산란 통신에서의 채널 추정기법

Method for Channel Estimation in Ambient Backscatter Communication

김수현*, 이동구*, 선영규*, 심이삭*, 황유민*, 신요안*, 김동인*, 김진영**

Soo-Hyun Kim*, Donggu Lee*, Young-Ghyu Sun*, Issac Sim*, Yu-Min Hwang*,
Yoan Shin*, Dong-In Kim*, Jin-Young Kim**

요약 주변 후방산란 통신은 송신 전력효율 문제로 기존 RF통신에서 채널 추정방법인 파일럿(pilot) 신호를 통한 채널 추정기법이 제한된다. 제한된 송신 전력 환경에서 기존 주변 후방산란통신의 연구는 채널 상태로 인한 신호 변동을 고려하지 않은 이상적인 채널로 가정을 하고 연구되어 왔다. 본 논문은 주변 후방산란 통신 시스템에서 정규분포를 따르는 채널 상태인 주변 후방산란 통신 시스템에서 채널 추정 방법으로 블라인드 채널 추정기법 중 하나인 기댓값-최대화 알고리즘을 제안한다. 모의실험은 제안한 시스템 모델에서 기댓값-최대화 알고리즘과 추정값의 최소 분산을 나타내는 Bayesian Cramer-Rao 하한 경계를 이용하여 평균 제곱 오차(Mean Square Error, MSE)값이 하한 경계와 근접해 가는 것을 확인하고, 주변 후방산란 통신 시스템에서 채널 파라미터의 추정이 가능함을 증명한다.

Abstract Ambient backscatter communication is limited to channel estimation technique through a pilot signal, which is a channel estimation method in current RF communication, due to transmission power efficiency. In a limited transmission power environment, the research of traditional ambient backscatter communication has been studied assuming that it is an ideal channel without signal distortions due to channel conditions. In this paper, we propose an expectation-maximization(EM) algorithm, one of the blind channel estimation techniques, as a channel estimation method in ambient backscatter communication system which is the state of channel following normal distribution. In the proposed system model, the simulations confirm that channel estimate through EM algorithm is approaching the lower bound of the mean square error compared with the Bayesian Cramer-Rao Boundary(BCRB) to check performance. It shows that the channel parameter can be estimated in the ambient backscatter communication system.

Key Words : RF energy harvesting, Ambient Backscatter Communication, IoT, WSN, EM Algorithm.

*준회원, 광운대학교 전자융합공학과
**정회원, 광운대학교 전자융합공학과
접수일자 2019년 6월 14일, 수정완료 2019년 7월 14일
게재확정일자 2019년 8월 2일

Received: 14 June, 2019 / Revised: 14 July, 2019 /
Accepted: 2 August, 2019

*Corresponding Author: Jin Young Kim, jinyoung@kw.ac.kr
Dept. of Electronic Convergence Engineering, Kwangwoon
Univ., Seoul, Korea

I. 서론

무선 전력 통신에서 RF 에너지 하베스팅 기술^[1]과 주변 후방산란 통신^[2]은 자가 유지 가능한 에너지 공급 및 네트워크 기능을 갖는 기술로 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN) 및 사물인터넷(Internet of Thing, IoT)에 적용될 기술 연구 분야 중 하나이다^[3].

주변의 RF 신호를 주변 후방산란 태그의 임피던스 mismatching을 이용하여 데이터를 송신하는 주변 후방산란 통신 방법은 제한된 전력 사용량으로 인해 송신 신호의 에너지 효율 문제가 있고, 이를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다^[4].

무선 통신에서 수신된 신호는 채널 상태에 따라 신호 왜곡현상이 발생한다. 채널 상태가 좋은 경우 무선 센서 및 사물인터넷 기기는 적은 송신 전력으로 데이터를 송수신할 수 있다. 반면, 채널 상태가 좋지 않은 경우 수신기가 송신 신호를 오류 없이 받기 위해서는 높은 송신 전력을 요구한다. 이와 같이, 무선통신에서 채널 상태를 파악하는 것은 송신 신호의 전력을 조절 할 수 있는 요소이다.

기존 RF 통신에서 채널 추정방법으로는 파일릿 신호를 이용한 최소제곱법(Least Square, LS)과 최소 평균 제곱오차(Minimum Mean Square Error, MMSE)^[5] 방식 그리고 데이터 심볼의 정보를 이용한 결정지향(Decision-directed) 알고리즘^[6] 등이 있다. 주변 후방산란 통신은 주변의 RF 신호를 이용하기 때문에 송신 전력 세기가 제한되어 채널 상태 정보를 갖는 신호 전송은 에너지 효율을 떨어뜨린다. 따라서 앞서 언급한 채널 추정방법으로는 주변 후방산란 통신에 적합하지 않다.

본 논문에서는 주변 후방산란 통신에서의 채널 추정방법으로 기댓값 - 최대화(Expectation-Maximization, EM)알고리즘^[7]을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 주변 후방산란 통신의 시스템 모델을 기술하고 제안한 EM알고리즘 대한 설명을 진행한다. III장에서 주변 후방산란 통신에서 EM 알고리즘을 통한 채널 추정 방법을 설명하고, IV장에서 EM 알고리즘의 모의실험 결과를 채널 추정이 가능함을 보이고, 마지막으로 V장에서 결론을 짓는다.

II. 시스템 모델

1. 네트워크 시스템

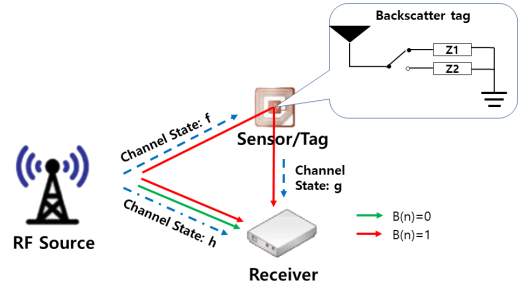


그림 1. 시스템 모델.
Fig. 1. System model.

주변 후방산란 통신 시스템은 그림 1과 같이 RF 소스, 후방산란 태그(backscatter tag), 센서 데이터를 받는 수신기로 이루어진다. 센서는 주변 RF 소스를 하베스팅 하여 내부의 후방산란 태그의 임피던스 mismatching을 통해 센서의 데이터를 수신기로 이진 비트 형태로 전송한다. 후방산란 태그가 수신기로 이진데이터 '0'을 전송할 경우 태그는 RF 소스를 하베스팅 기능을 하고, '1'을 전송할 경우 RF 신호를 반사시켜 데이터를 전송한다.

RF 소스와 후방산란 태그 채널상태를 $f \sim N(0, N_f)$, RF 소스와 수신기 채널상태를 $h \sim N(0, N_h)$, 후방산란 태그와 수신기 사이의 채널상태를 $g \sim N(0, N_g)$ 로 정의하고 각 채널 상태는 정규 분포로 가정한다^[8].

$$y(n) = \begin{cases} hx(n) + w(n), & B(n) = 0 \\ hx(n) + \beta fgx(n) + w(n), & B(n) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

수식 (1)은 주변 후방산란 통신 시스템에서 수신기가 받는 신호 $y(n)$ 를 의미한다. 위 수식에서 $x(n)$ 은 RF 소스에서 전송한 송신 신호, β 는 주변 후방산란 태그에서 임피던스 mismatching으로 인한 감쇄상수, $B(n)$ 은 후방산란 태그가 전송하는 이진 데이터, $w(n)$ 은 백색 잡음이다. 태그에서 수신기로 이진 데이터 '0'이 전송할 경우 채널 파라미터를 θ_1 로, 데이터 '1'이 전송할 경우 채널 파라미터를 θ_2 로 정의한다.

$$\begin{cases} \theta_1 = h \\ \theta_2 = h + \beta fg \end{cases} \quad (2)$$

2. 기댓값-최대화 알고리즘

본 논문에서는 후방산란 통신에서 채널 상태 추정 방

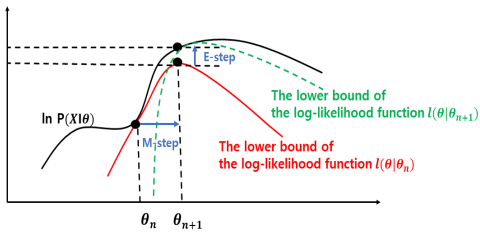


그림 2. 기댓값-최대화 알고리즘시스템 모델.
 Fig. 2. EM 알고리즘.

법으로 기댓값-최대화 알고리즘을 제안한다. 기댓값-최대화 알고리즘은 잠재변수가 존재하는 확률 모델의 최대 우도 확률(Maximum Likelihood, ML)과 최대 사후 확률(Maximum a Posterior, MAP)을 통해 파라미터를 추정하는 알고리즘이다. 기댓값-최대화 알고리즘은 E-단계와 M-단계로 이루어져있다. E-단계는 수신 데이터와 초기 채널 파라미터를 조건부 확률을 이용하여 채널 파라미터를 추정을 한다. M-단계에서는 E-단계에서 추정된 채널 파라미터 이용한 우도 함수의 하한 조건의 최댓값을 갖는 새로운 채널 파라미터를 선정한다. 두 단계의 반복 작업을 통해 추정 채널 파라미터를 찾는다. 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$L(\theta_n) = \ln P(X|\theta_n). \quad (3)$$

$$\theta_{n+1} = \arg \max_{\theta} \{l(\theta|\theta_n)\}. \quad (4)$$

수식 (3)은 E-단계를 나타낸 수식으로 함수 L 은 로그-우도 함수이며, 수식 (4)는 M-단계를 통해 새로운 채널 파라미터를 찾는 과정을 나타낸다.

III. EM 알고리즘을 통한 채널 추정

제안한 시스템모델에서 수식의 단순화를 위해 전송 신호 $x(n)$ 는 이진 위상천이변조(Binary Phase Shift Keying, BPSK)로 가정한다. 수신 신호의 채널 상태에 따른 최대 사후확률의 수식^[9]은 다음과 같다.

$$Q_{a,b}(i) = p(C_{a,b}|y(i)) = \frac{e^{-\frac{(y(i)-C_{a,b})^2}{2\sigma^2}}}{\sum_{a=1}^2 \sum_{b=1}^2 e^{-\frac{(y(i)-C_{a,b})^2}{2\sigma^2}}}. \quad (5)$$

$$(C_{a,b} = \theta_a x_b)$$

n 번의 M-step을 통한 채널 파라미터의 $\theta_a^{(n)}$ 로 정의하며, Jensen 부등식에 의해 우도 로그함수의 하한 경계는 다음과 같다.

$$\tilde{L}(\theta_a^{(n)}) = \sum_{i=1}^N \sum_{a=1}^2 \sum_{b=1}^2 Q_{a,b}(i) \times \ln \frac{e^{-\frac{(y(i)-C_{a,b})^2}{2\sigma^2}}}{Q_{a,b}(i)}. \quad (6)$$

위 수식에서 M-단계를 통한 $n+1$ 번째 채널 파라미터를 찾기 위해 $\theta_a^{(n)}$ 로 미분을 하면 다음과 같은 수식을 얻는다.

$$\theta_a^{n+1} = \frac{\partial \tilde{L}}{\partial \theta_a^{(n)}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 Q_{a,b}(i) x_j y(i)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 Q_{a,b}(i) x_b^2}. \quad (7)$$

IV. 모의실험

본 논문에서는 주변 후방산란 통신 시스템에서 채널 추정 방법으로 기댓값-최대화 알고리즘을 제안한다. 제안한 주변 후방산란 통신 시스템에서 후방산란 통신 태그의 감쇄 상수 β 는 0.8, 채널 파라미터들의 분산값 N_f, N_h, N_g, N_w 은 1, 신호 길이 N 은 10, 채널 파라미터 h 의 초기값은 후방산란 통신시스템이 적용되지 않은 상황에서의 기댓값-최대화 알고리즘을 통해 얻은 값인 0.67로 설정하였다. 오차값(ϵ)은 기댓값-최대화 알고리즘에서 $n+1$ 번째 반복 횟수에 따른 채널 추정 파라미터와 n 번째 추정 파라미터의 차이로 값이 작을수록 반복횟수는 증가하지만 기댓값-최대화 알고리즘을 통해 실제 채널 파라미터와 근접한 값을 찾을 수 있다.

표 1. 실험 파라미터.

Table 1. Simulation system parameters.

Parameters	Setting
Signal modulation	BPSK
Attenuation(β)	0.8
Channel variances(N_f, N_h, N_g, N_w)	1
Initial value of \tilde{h}	0.67
Signal length(N)	10
Error gab(ϵ)	0.01

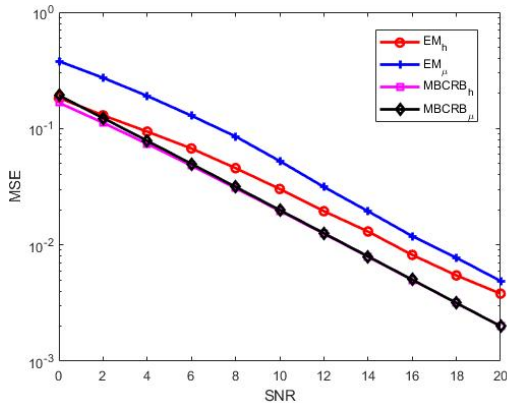


그림 3. 기댓값-최대화 알고리즘 시뮬레이션 결과.
Fig. 3. Simulation results of EM algorithm.

본 모의실험에서 오차값을 0.01로 설정하였다. 수식은 다음과 같다.

$$e = \sum |\theta_m^{(n+1)} - \theta_m^{(n)}|. \quad (8)$$

본 논문에서 제안한 주변 후방산란 통신에서 기댓값-최대화 알고리즘의 성능평가를 위해 확률적으로 분포하는 데이터 추정량이 가질 수 있는 최소 분산을 나타내는 Bayesian Cramer-Rao 하한 경계^[10]를 통해 기댓값-최대화 알고리즘의 성능을 비교해 보았다. 그림 3은 신호 대 잡음비(Signal-to-noise, SNR)에 따른 채널 추정 파라미터와 실제 채널 파라미터의 평균 제곱 오차(MSE)를 나타낸다. 그림에서 신호 대 잡음비가 높아짐에 따라 기댓값-최대화 알고리즘을 통해 추정된 채널 파라미터가

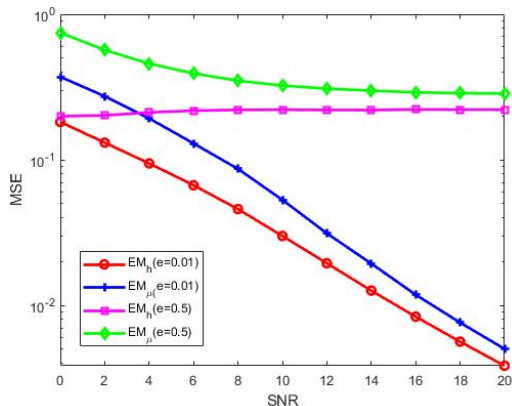


그림 4. 기댓값-최대화 알고리즘 시뮬레이션 결과.
Fig. 4. Simulation results of EM algorithm.

하한경계선인 Bayesian Cramer-Rao 하한 경계와 같은 추세로 평균 제곱오차가 감소함을 확인할 수 있다. 그림 4는 오차값(e)에 따른 기댓값-최대화 알고리즘의 성능을 보여주며, 오차값(e)이 0.5인 경우 채널 추정이 제대로 이루어지지 않음을 보인다. 이는 큰 오차값 설정으로 인해 제한한 알고리즘이 로컬 옵티멈(local optimum)에 들어가서 발생한 결과로 생각할 수 있다. 그림 4의 실험을 통해 최적의 기댓값-최대화 알고리즘의 성능을 얻기 위해 적절한 오차값 설정이 필요하다.

V. 결론

본 논문은 채널 상태를 확인하기 위한 파일럿 신호 전송이 제한된 주변 후방산란 통신 시스템에서 채널 파라미터 추정을 위한 방법으로 기댓값-최대화 알고리즘을 제안하였다. 모의실험 결과를 통해 주변 후방산란 통신 시스템에서 제안한 알고리즘을 통해 주변 후방산란 통신에서 채널 추정이 가능한 것을 확인하였다.

References

- [1] L. Xiao, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim and Z. Han, "Wireless networks with RF energy harvesting: A contemporary survey," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 757-789, Nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2368999>
- [2] V. Liu, A. Parks, V. Talla, S. Gollakota, D. Wetherall and J. R. Smith, "Ambient backscatter: Wireless communication out of air," in *Proc. ACM SIGCOMM*, Hong Kong, pp. 39-50, Aug. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1145/2534169.2486015>
- [3] H. Tabassum and E. Hossain, "On the Deployment of Energy Sources in Wireless-Powered Cellular Networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 63, no. 9, pp. 3391-3404, Sept. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2015.2451648>
- [4] C. Mikeka and H. Arai, "Design issues in radio frequency energy harvesting system," in *Sustainable Energy Harvesting Technologies-Past, Present and Future*, Y. K. Tan. Ed. London: Intech Open, pp. 235-256, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5772/25348>
- [5] G. Wang, F. Gao, W. Chen and C. Tellambura, "Channel estimation and training design for two-way relay networks in time-selective fading environments," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 10, no. 8, pp. 2681-2691, Aug. 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2011.060711.101407>

- [6] G. Wang, F. Gao, Y.-C. Wu and C. Tellambura, "Joint CFO and channel estimation for OFDM-based two-way relay networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 10, no. 2, pp. 456-465, Feb. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2010.120310.091615>
- [7] A. P. Dempster, N. M. Laird and D. B. Rubin, "Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm," *Journal of The Royal Statistical Society*, vol. 39, no. 1, pp. 1-38, 1977.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1977.tb01600.x>
- [8] G. Wang, F. Gao, R. Fan and C. Tellambura, "Ambient backscatter communication system: detection and performance analysis," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, no. 11, pp. 4836-4846, Aug. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2016.2602341>
- [9] S. Ma, G. Wang, R. Fan and C. Tellambura, "Blind channel estimation for ambient backscatter communication systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no.6, pp. 1296-1299, Jun. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2018.2817555>
- [10] A. N. D'Andrea, U. Mengali and R. Reggiannini, "The modified cramer-rao bound and its application to synchronization problems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, no. 234, pp. 1391-1399, Apr. 1994.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TCOMM.1994.580247>
- [11] J. H. Lee, J. Bang, H. J. Chun, B. G. Seo and I. H. Ryu, "ICT based Wireless Power Transmission System Development," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(KAIS)*, vol. 17, no. 5, pp. 67-73, May 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.5.67>
- [12] D. G. Jeong, "A study on IoT-related industry trend," *The Journal of KIIT*, vol. 15, no. 1, pp. 31-37, Jun. 2017.

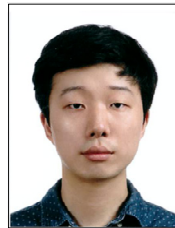
저 자 소 개

김 수 현(준회원)



- 2018년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 학사 졸업
- 2019년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 석박사통합과정
- 관심분야 : 인공지능, 스마트 그리드, Backscatter

이 동 구(준회원)



- 2018년 2월: 광운대학교 전자융합공학과 학사 졸업
- 2019년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 석박사통합과정
- 관심분야 : 인공지능, 전력선통신, 스마트 그리드

선 영 규(준회원)



- 2018년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 학사 졸업
- 2018년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 석박사통합과정
- 관심분야 : 인공지능, 무선에너지 하비스팅, 디지털통신, 전력선 통신

심 이 삭(준회원)



- 2016년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2016년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 석박사통합과정
- 관심분야 : 전력선 통신, 무선 에너지 하비스팅, Backscatter, 인공지능

황 유 민(준회원)



- 2012년 2월 : 광운대학교 전자공학과 학사 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석·박사통합과정
- 관심분야 : 디지털 통신, 무선에너지하비스팅, 무선 측위 시스템, 인공지능

신 요 안(정회원)



- 1992년 12월 : Univ. of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과 공학박사
- 1994년 7월 : 오스틴 소재 MCC 연구원 Member of Technical Staff
- 1994년 9월 ~ 현재 : 숭실대학교 전자정보공학부 교수
- 관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 무선측위 시스템

김 동 인(정회원)



- 1990년 2월 : University of Southern California 전기공학과 공학박사
- 2007년 : School of Engineering Science, Simon Fraser Univ. 정교수
- 2007년 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신공학부 정교수
- 관심분야 : 4G/5G 이동통신, 협력통신, 에너지하비스팅

김 진 영(정회원)



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수
- 관심분야 : 차세대이동통신, 가시광통신, 전력선통신, 인공지능

※ 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2014R1A5A1011478).