

# 전력선통신 시스템을 위한 인공지능 기반 효율적 신호 검출

김도균\*, 황유민\*, 심이삭\*, 김진영\*

## Efficient Signal Detection Based on Artificial Intelligence for Power Line Communication Systems

Do Kyun Kim\*, Yu Min Hwang\*, Issac Sim\*, and Jin Young Kim\*

### 요약

전력선통신 시스템에서는 전력망을 활용한 통신 방식을 사용하기 때문에 일반적 통신선로를 활용한 통신 방식에 비해 잡음이 많고, 이것으로 인한 성능 저하가 문제가 되고 있다. 이러한 잡음으로 인한 성능 저하를 완화시키기 위해, 본 논문에서는 전력선통신 시스템에서의 임펄스 잡음 환경에서 신호를 검출하는 인공지능 알고리즘을 제안한다. 다항식 회귀법을 이용하여 임펄스 잡음 신호의 원신호를 예측하고, 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제안한 인공지능 알고리즘을 적용한 전력선통신 시스템에서 임펄스 잡음 환경 내 신호 검출 성능 향상을 입증한다.

**Key Words** : Power line communications, Artificial intelligence, Polynomial regression, Neural network, Impulse noise

### ABSTRACT

It is known that power line communication systems have more noise than general wired communication systems due to the high voltage that flows in power line cables, and the noise causes a serious performance degradation. In order to mitigate performance degradation due to such noise, this paper proposes an artificial intelligence algorithm based on polynomial regression, which detects signals in the impulse noise environment in the power line communication system. The polynomial regression method is used to predict the original transmitted signal from the impulse noise signal. Simulation results show that the signal detection performance in the impulse noise environment of the power line communication is improved through the artificial intelligence algorithm proposed in this paper.

## I. 서론

알파고의 등장으로 인해 인공지능이 큰 관심을 얻고 있다. 4차 산업혁명 시대를 맞이함에 따라, 인공지능을 활용한 기술들의 개발이 활발하게 이루어지기 시작했다. 테슬라(Tesla), 우버(Uber), 구글(Google) 등에서 딥러닝(Deep Learning)을 이용한 자율주행차를 개발 중이다. 의료 분야에서는 인공지능이 방대한 양의 정보를 학습해 환자에게 맞춤형 치료방법을 제공한다. 대표적인 예로는 IBM의 인지컴퓨터 시스템 ‘왓슨(Watson)’이 있다. 금융·서비스 산업 역시 인공지능 기술을 활용 중이다. ‘로보어드바이저(roboadvisor)’라는 인공지능이 탑재된 로봇이 알고리즘과 빅데이터를 통해 포트폴리오 자문, 운용 서비스를 제공한다. 수수료가 굉장

히 저렴하고, 보다 객관적인 정보를 제공하며, 언제 어디서나 쉽고 편리하게 이용할 수 있다. 이렇게 인공지능 기술은 다양한 분야에서 성능 향상을 가져오고 있다. 본 논문에서는 인공지능 기술을 전력선통신 분야에 적용시켜, 임펄스 잡음 환경 내에서 신호 검출 성능을 향상시킨다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안한 시스템 모델에 대해서 설명하고, III장에서는 다항식 회귀법(polynomial regression)

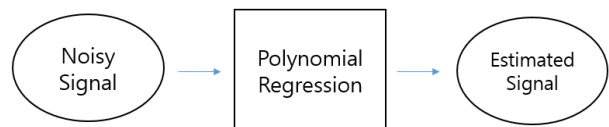


그림 1. 시스템 모델

\* 본 연구는 한국연구재단 이공학 개인기초연구지원사업(NRF-2016R1D1A1B03933872)의 일환으로 수행되었음.

\*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 통신 연구실 (kyun0580@kw.ac.kr, yumin@kw.ac.kr, mygwan112@kw.ac.kr, dltkr34@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2017년 4월 30일, 수정완료일자 : 2017년 5월 10일, 최종 게재확정일자 : 2017년 5월 11일

을 이용하여 임펄스 잡음 신호의 원신호를 예측하는 과정에 대해 설명한다. 마지막으로 IV과 V장에서 본 논문의 시뮬레이션과 결론으로 논문을 맺는다.

## II. 시스템 모델

### 1. 시스템 모델

본 연구에서는 인공지능을 기반으로 한 전력선통신 시스템에서 임펄스 잡음 환경 내 신호 검출을 한다. 잡음이 포함된 신호를 다항식 회귀법을 이용하여 원신호를 예측한다. 예측된 원신호는 임펄스 잡음이 많이 감소된 상태가 되며, 따라서 SNR이 크게 향상된다. 향상된 SNR 신호를 토대로 복조를 하게 되면 정확도가 크게 향상이 되며, 향후 전력선통신 성능 향상 연구에 큰 도움이 될 것으로 보인다.

### 2. 다항식 회귀법(Polynomial Regression)

본 연구에서는 임펄스 잡음 신호에서 원신호를 예측하기 위해 다항식 회귀법을 사용한다. 다항식 회귀법은 원래 데이터 분석을 위해 개발된 통계 기법이다. 독립 변수가 하나인 경우, 다항식 회귀법은 시간을 나타내는 독립 변수  $x$ 와 해당되는 종속 변수  $y(x)$ 의 조건부 평균 간의 비선형 관계를 모델링한다. 이러한 모델링을 하는 이유는 데이터 세트의 특징이나 트렌드를 쉽게 보기 위해서이고, 회귀 함수라는 다항식 함수를 사용하여 많은 양의 데이터를 표현한다. 주로 Mean square error(MSE)를 사용하여 회귀 함수와 실제 데이터의 차이를 최소화한다.

## III. 다항식 회귀법을 이용한 원신호 예측 방법

이 섹션에서는 다항식 회귀법을 이용한 원신호 예측 방법을 제안한다. 처음으로 다항식 회귀법에 대하여 자세하게 소개하고, 그 이후엔 다항식 회귀법을 임펄스 잡음이 포함된 신호에 적용하여 원신호를 예측하는 방법에 대하여 설명한다.

### 1. 다항식 회귀법(Polynomial regression)

다항식 회귀법은 회귀 함수를 이용하는데, 이 함수는 실측 데이터를 표현하는데 사용된다[4]. 이를 이용하여 임펄스 잡음이 포함된 신호를 적당한 차수의 다항식으로 표현하면 잡음이 제거된 형태의 모양이 나오는데, 이를 통해 원신호를 예측할 수 있다. 하나의 독립 변수  $x$ 를 가지는 회귀 함수  $y(x)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다 [1].

$$y(x) = \sum_{p=0}^m a_p x^p. \quad (1)$$

$m$ 은 다항식의 차수를 의미하고  $a_p$ 은 각  $x$ 승마다 해당하는 상수 계수이다. 다항식 회귀법은  $n$ 개의 실측치에 대하여  $m$ 차 다항식에 의하여 근사하는 방법이다. 계수  $a_0, a_1, \dots, a_m$ 을 구하여 최종적인 다항식을 구하는 것이 목적이다. 실측 데이터와 회귀 함수 간 오차  $e_n$ 을 아래와 같이 표현하면 다음과 같다.

$$e_n = y(x_n) - o_n. \quad (2)$$

$y(x_n)$ 는 다항식 회귀법을 이용하여 실측치를 근사한 회귀 함수이고,  $o_n$ 은 실측 데이터를 의미한다. 오차 제곱의 합  $S$ 는 다음 식으로 표현된다 [1].

$$S = \sum_{i=1}^n (y(x_i) - o_i)^2 = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{p=0}^m a_p x_i^p - o_i \right)^2. \quad (3)$$

주어진 실측 데이터를 가장 잘 표현하는 다항식을 구하기 위해, 오차 제곱의 합이 최소화되어야 한다. 오차가 최소가 되기 위한 조건은 오차 제곱의 합  $S$ 를 계수  $a_0, a_1, \dots, a_m$ 들에 대하여 미분하고, 그 미분 결과들이 0이 되어야 한다. 그 미분 결과는 다음과 같이 나타낼 수 있다 [2].

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 2 \sum_{i=1}^n \left( \sum_{p=0}^m a_p x_i^p - o_i \right) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 2 \sum_{i=1}^n \left( \sum_{p=0}^m a_p x_i^p - o_i \right) x_i = 0, \quad (5)$$

⋮

$$\frac{\partial S}{\partial a_m} = 2 \sum_{i=1}^n \left( \sum_{p=0}^m a_p x_i^p - o_i \right) x_i^m = 0. \quad (6)$$

위 미분한 식으로 인해 계수  $a$ 에 관한  $(m+1)$ 원 1차 연립방정식이 얻어진다 [1].

$$a_0 n + a_1 \sum x_i + \dots + a_m \sum x_i^m = \sum o_i, \quad (7)$$

$$a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 + \dots + a_m \sum x_i^{m+1} = \sum o_i x_i, \quad (8)$$

⋮

$$a_0 \sum x_i^m + a_1 \sum x_i^{m+1} + \dots + a_m \sum x_i^{2m} = \sum o_i x_i^m. \quad (9)$$

이를 행렬과 벡터로 표현하면 다음과 같다 [1].

$$\vec{A}a = \vec{b}. \quad (10)$$

각각의 성분은

$$A = \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \dots & \sum x_i^m \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \dots & \sum x_i^{m+1} \\ \sum x_i^m & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum x_i^m & \sum x_i^{m+1} & \sum x_i^{m+2} & \dots & \sum x_i^{2m} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\vec{a} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_m \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} \sum o_i \\ \sum o_i x_i \\ \dots \\ \sum o_i x_i^m \end{bmatrix}, \quad (13)$$

으로 표현되고, 이는 가우스-조던 소거법(Gauss-Jordan Elimination)을 통해서  $\vec{a}$ 를 구하는 것이 가능해짐을 의미한다 [2]. 행렬  $A$ 와 벡터  $\vec{b}$ 는 함수  $C$ 와 벡터  $\vec{o}$ 를 도입함으로써 구할 수 있다 [2].

$$A = C^T C, \quad (14)$$

$$\vec{b} = C^T \vec{o}, \quad (15)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$\vec{o} = \begin{bmatrix} o_1 \\ o_2 \\ \dots \\ o_n \end{bmatrix}. \quad (17)$$

## 2. 다항식 회귀법을 이용한 원신호 예측

그림 2과 같이 전력선통신 시스템 내에서 임펄스 잡음과 백색 잡음이 포함된 신호가 있다. 이 신호의 원신호를 예측하기 위해 본 논문에서는 다항식 회귀법을 이용한다고 설명하였다. 다항식 회귀법을 그림 2와 같은 신호에 적용한다면 오차제곱의 합을 최소화하는 방식으로 근사를 한 회귀 함수가 생성이 되고, 이는 그림 3와 같이 원신호에 가까운 모양이 된다. 다항식의 차수가 높아질수록 원신호에 가깝게 표현이 되지만, 너무 높아지면 오히려 오차가 커질 수 있다. 다항식 회귀법의 경우 차수가 높아지게 되면  $x$ 축의 값이 커질수록 근사하고자 하는 데이터를 제대로 표현할 수 없게 되는 문제가 있다. 따라서 적절한 차수의 다항식을 선택하여 다항식 회귀법을 적용하는 것이 최적의 근사 방법이다. IV장에서 시뮬레이션 결과를 통해 최적의 근사를 할 수 있는 차수를 알아낸다.

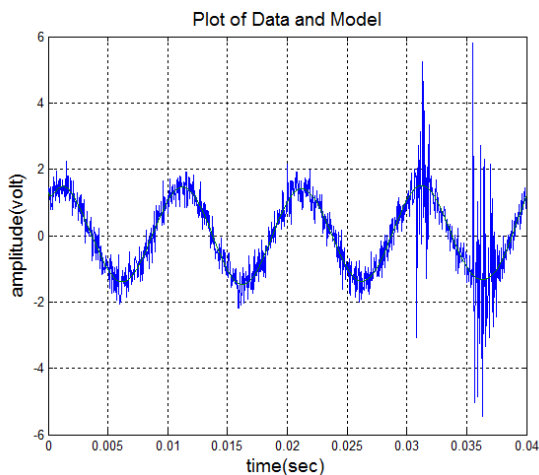


그림 2. 임펄스 잡음과 백색 잡음이 포함된 신호.

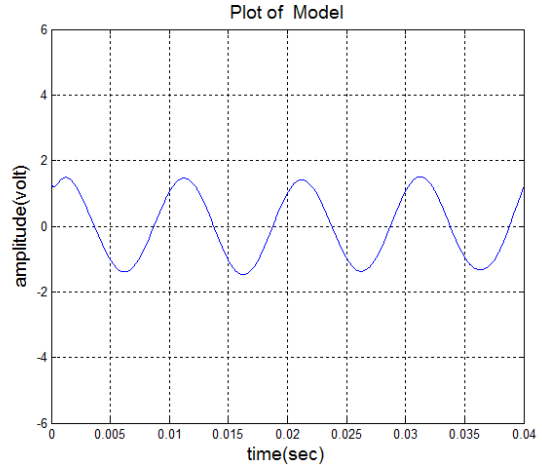


그림 3. 다항식 회귀법을 이용한 예측 신호.

## IV. 시뮬레이션

### 5.1 Bit error rate 측정

그림 4는 제안한 시스템 모델을 적용했을 때와 기존의 전력선통신 16QAM의 BER(Bit Error Rate)을 시뮬레이션한 결과이다. 제안한 알고리즘인 다항식 회귀법을 이용해 임펄스 잡음이 있는 신호의 원신호를 예측하기 때문에 BER이 크게 감소한다고 볼 수 있다.

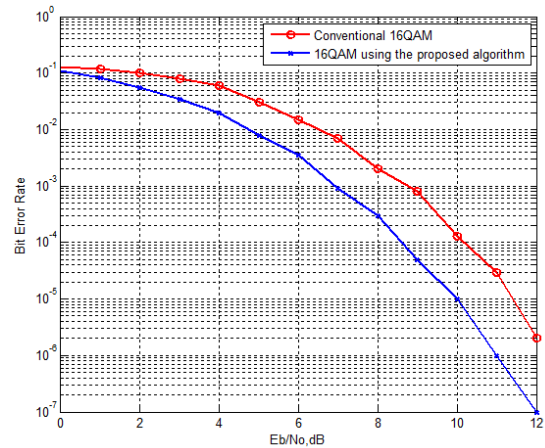


그림 4. 기존 16QAM과 제안한 모델을 적용한 16QAM BER 비교

### 5.2 다항식 회귀법을 위한 최적 차수 시뮬레이션

그림 5는 다항식 회귀법을 수행할 때 가장 적은 오차로 원신호를 예측하는데 필요한 차수를 구하기 위한 MSE(Mean Square Error) 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 오차를 적게 표현할 수 있는 차수는 22, 27, 48, 73이다. 차수가 너무 높으면 예측 신호의 끝단에서 오차가 크게 일어나기 때문에 적절한 차수를 선택하는 것이 다항식 회귀법을 이용한 원신호 예측 성능을 높일 수 있다.

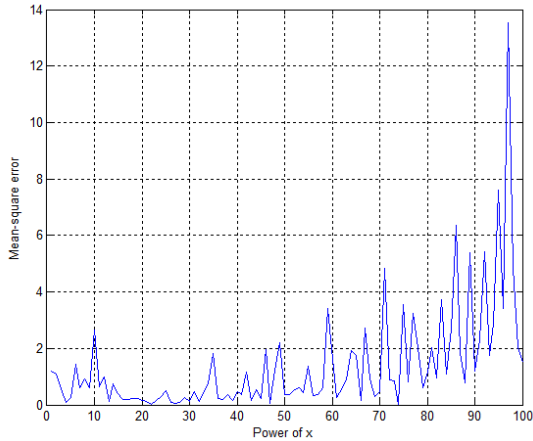


그림 5. 다항식 회귀법 차수에 따른 MSE.

## V. 결론

본 논문에서는 인공지능 기법을 이용한 전력선통신에서 임펄스 잡음 환경 내 신호 검출 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 다항식 회귀법을 이용하여 임펄스 잡음이 있는 신호의 원신호를 예측하는 것이 전력선통신 시스템 성능을 향상시킨다는 것을 시뮬레이션을 통해 증명하였다. 제안한 시스템 모델을 이용하면 기존 방식보다 BER이 향상되었다는 것과, 예측된 원신호의 MSE가 작아졌다는 것을 알 수 있다. 본 알고리즘은 전력선통신 뿐만 아니라 다른 통신 분야에 적용되었을 때도 성능 향상을 기대할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] X. Cui and A. Alwan, "Noise robust speech recognition using feature compensation based on polynomial regression of utterance SNR," *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, Vol. 13, no. 6, pp. 1161-1172, Oct. 2005.
- [2] A. Amanatiadis, L. Bampis and A. Gasteratos, "Accelerating single-image super-resolution polynomial regression in mobile devices," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 61, no. 1, pp. 63-71, Feb. 2015.

## 저자

김도균(Do Kyun Kim)

학생회원



- 2017년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 학사 졸업
- 2017년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 무선에너지하베스팅, 인공지능, 인지무선통신, 전력선통신

황유민(Yu Min Hwang)

학생회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전과공학과 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 5G, 인공지능, WPAN, LBS, 무선 에너지 하베스팅

심이삭(Issac Sim)

학생회원



- 2016년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2016년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박통합과정

<관심분야> : 에너지 하베스팅, Backscatter

김진영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신