

# 오차 역전파 알고리즘을 이용한 전파신호 추적 연구

김홍기<sup>\*</sup> · 김현빈<sup>\*</sup> · 신옥현<sup>\*\*</sup> · 이원돈<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>한국전자통신연구원 · <sup>\*\*</sup>충남대학교

## A Study of Radio Signal Tracking using Error Back Propagation

Kim Hong Kee<sup>\*</sup> · Kim Hyun Bin<sup>\*</sup> · Shin Wook Hyeon<sup>\*\*</sup> · Lee Won Don<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Electronics and Telecommunications Research Institute · <sup>\*\*</sup>Chungnam National University

E-mail : hkimrock@etri.re.kr

### 요 약

전파신호의 추적은 국방을 비롯한 다양한 분야에서 여러 가지 기술 발전을 이루고 있다. 특히 시간의 경과에 따라 변경되는 PRI 및 주파수를 갖는 전파에 대해서는 Adaptable한 추적 능력을 필요로 한다. 본 논문에서는 다양하게 변하는 PRI 및 주파수 변경 신호들에 대해 지능적으로 적응해 가면서 추적할 수 있는 추적 방식을 제안하고 이를 실험하였다. 제안된 방식은 신경회로망의 오차 역전파 알고리즘을 이용한 방법으로, 모의 전파 신호를 시간 구간으로 나누어 학습하였고 이에 대한 성능 테스트를 한 결과 제안된 방법이 전파 신호를 효율적으로 추적할 수 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

Radio signal tracking has been developed especially in military as well as in other industries. It is necessary that an adaptive system trace the signal varying its PRI and frequency. In this paper we proposed a system to adapt various PRI and frequency using a neural network model named Error Back Propagation. First we prepared learning data by separating signal into time intervals and did some experiments with the learning data. We found that the system had good effectiveness in tracing varying PRI and frequency signals.

### 키워드

오차 역전파 알고리즘, 전파신호 추적, PRI

## I. 서 론

전자파의 이용이 급증함에 따라 전자파 환경이 점차 고밀도화되고 그 사용 방법도 지능화되고 있다. 이러한 전자파 환경에서 대상 전자파의 특성을 탐지하고 분석하여 그 신호를 추적하는 일은 점차 그 중요성을 더해 가고 있다. 특히 현대의 전자전에서는 연속되는 펄스 신호의 도착시간을 예측하는 PRI(Pulse Repitition Interval)추적과 주파수 변경 신호[1]에 대해 펄스 단위로 주파수 값을 예측하는 주파수 추적이 필수적이다.

본 논문에서는 이러한 변경신호들에 대해 지능적으로 적응해가면서 추적[2]할 수 있는 전파신호 추적용 신경망을 제안하고 실험 결과를 제시하였

다. 이는 신경망 모델 중 오차 역전파 알고리즘을 이용한 구현으로 실험 데이터는 신호 모의기에 의해 발생된 전파 신호를 이용하였다. 여러 가지 형태의 신호들에 대한 실험 결과 제안된 방법으로 정확하게 전파신호를 추적함을 확인할 수 있었다.

## II. 전파신호 및 변수 특성

전파신호에서는 표적까지의 거리를 알기 위하여 펄스 신호를 사용한다. 이 펄스는 어떤 특정 시간 간격을 가지고 계속적으로 방사하게 되는데 이 시간 간격을 PRI라고 한다[3]. 많은 군사장비

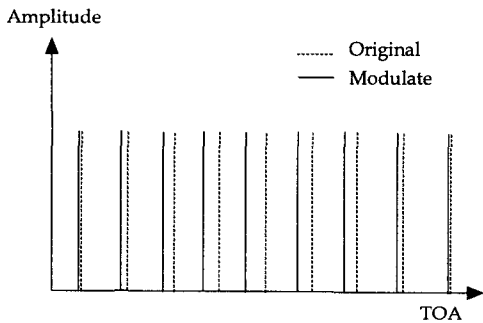
들은 펄스추적장치로부터 PRI를 추적당하는 것을 방지하기 위하여 이 PRI값들을 변화시키면서 운용하게 되는데 PRI의 변화 형태 중 대표적인 것들의 특징은 다음과 같다.

▶ Stable PRI는 펄스가 매번 발생될 때의 PRI가 일정한 형식이다. 어떤 펄스가 발생한 시점을  $t_1$ 이라 하고 그 다음 연속된 펄스가 발생한 시점을  $t_2$ 라고 하면 두 펄스간의 시간차, 즉 PRI T는 다음과 같이 표현할 수 있다.

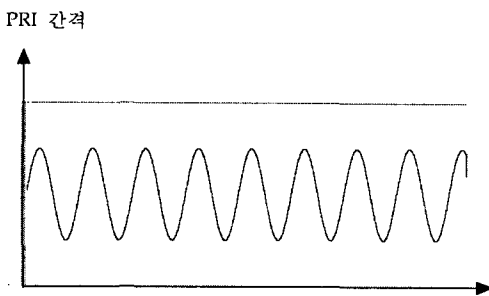
$$T = t_2 - t_1$$

이때, T가 일정한 값을 가지는 신호 형태를 Stable PRI 신호라고 말한다.

▶ Patterned PRI는 어떤 정해진 형태로 변화하는 일련의 PRI들로 구성된다. [그림 1]에 Patterned PRI의 한 모양을 보였다. 그림에서 보면 기준이 되는 펄스를 중심으로, 발생하는 펄스의 간격이 점점 증가하다가 어느 시점을 지나면 점점 감소하고, 다시 한 주기를 지나면 점점 증가하는 과정을 반복한다. 이런 PRI의 증감은 전형적으로 정현파(Sine Wave) 모양, 삼각파(Triangle Wave) 모양, 톱니파(Saw Tooth Wave) 모양을 따른다.



[그림 1] Patterned(Sign형) PRI 신호



[그림 2] Sine형태의 PRI 간격 시간

[그림 2]는 발생하는 PRI들의 간격을 시간에

대한 값으로 나타낸 것으로 어느 정도의 범위 내에서 Sine파 형태로 변경되고 있는 것을 알 수 있다.

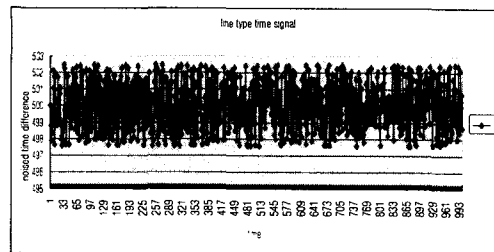
### III. 역전파 알고리즘을 이용한 신호 추적

본 논문에서는 전파의 신호 추적을 위한 방법 중 하나로 신경회로망 기법 중에 오차 역전파(Error Back Propagation) 알고리즘[4]을 사용하였다. 전파 신호는 1차적으로 시간 도메인에서 고려하였다. 전파신호의 크기(amplitude) 및 frequency는 시간 도메인에 대한 신경회로망이 구축된 후 진행할 예정이다.

시간 영역에 대한 전파 신호의 형태는 3가지로 가진다고 가정한다. 하나는 전파가 일정 시간 간격으로 들어오는 것이고 또 하나는 간격이 사인과 형태를 띄며, 나머지 하나는 톱니형태를 이룬다.

#### (1) 신호의 PRI값이 일정간격을 이룰 때

이 신호 시스템에서는 시간 간격이  $500 \mu\text{sec}$  단위의 신호가 들어온다. 아래의 [그림 3]은 오차 역전파 알고리즘을 학습하기 위한 전파의 시간에 대한 신호이다. 그림을 살펴보면 신호의 1000개의 시간 간격이  $500 \mu\text{sec}$ 를 기준으로  $\pm 3$  사이에 분포하는 선형형태임을 알 수 있다.



[그림 3] 학습 신호의 형태

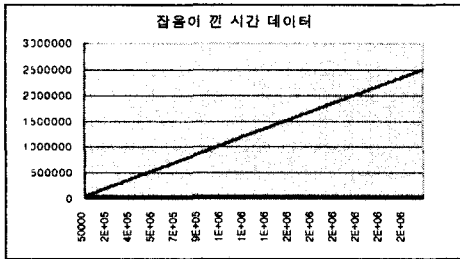
위 [그림 3]과 같은 시간의 정보를 갖는 신호를 학습하기 위해 오차 역전파 알고리즘의 구현은 입력층의 노드 100개, 1개의 은닉층의 노드 150개, 출력층 노드 1개로 구성되었고 각 노드 사이에는 초기값으로 임의의 가중치 값을 주었다. 오차 역전파 알고리즘을 학습하기 위해서 우선, 전파신호의 1000개의 시간 데이터와 그에 해당되는 잡음이 긴 1000개의 데이터의 차이 D(1000)을 구한다. 아래 [표 1]은 오차 역전파 알고리즘을 학습하기 위한 학습데이터 구성에 관한 표이다. 입력층에서는 100개의 노드 값이 입력값으로 들어가고 출력층에서는 입력층 100개 노드 바로 다음의 값이 목표값으로 지정된다. 시스템은 입력층의 값을 가지고 학습을 하면서 상위층으로 올라

가 출력층의 output 값을 얻고 이를 목표값과 비교하여 그 에러를 구한다.

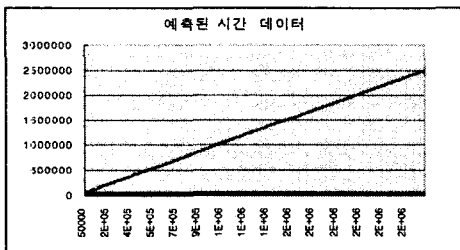
[표 1] 오차역전파 알고리즘의 학습데이터

	입력층의 노드	출력층의 노드
1	D(1) D(2) ... D(100)	D(101)
2	D(2) D(3) ... D(101)	D(102)
....	.....	.....
899	D(899) D(900) ... D(998)	D(999)
900	D(900) D(901) ... D(999)	D(1000)

학습을 완료한 후에는 테스트로서 5000개의 전파 신호의 시간 데이터와 잡음이 섞인 노이즈 데이터간의 차이를 가지고 위 [표 1]처럼 100개 단위로 입력층에 보내고 출력층에서 나온 값으로 전파신호의 다음 시간을 예측한다. 5000개의 전파 신호 시간에 대한 평균 오차값은 1.616  $\mu$ sec이었고 표준편차는 1.119이었다. 아래의 그래프[그림 4]는 테스트 데이터에 대한 전파신호의 시간을 나타내고 [그림 5]의 그래프는 오차 역전파가 예측한 전파 신호의 시간에 대한 그래프이며 서로 일치됨을 알 수 있다.



[그림 4] 테스트 전파신호의 시간

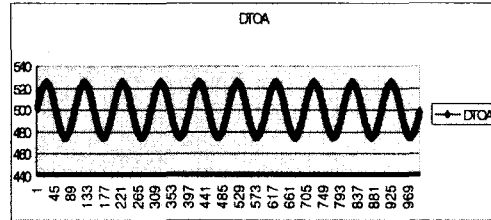


[그림 5] 예측된 전파신호의 시간

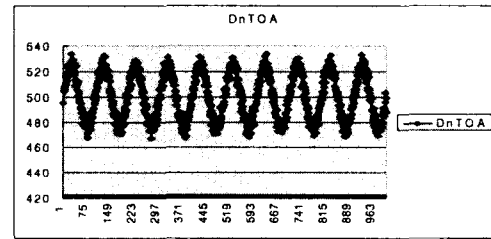
(2) 신호의 PRI값이 사인형태를 이룰 때

다음은 신호의 시간 간격이 사인형태를 이루면

서 시스템에 들어올 때 오차 역전파 알고리즘이 학습하고 예측한 실험 내용이다. 아래 [그림 6]은 잡음이 없는 본래의 시간 간격이 사인형태를 갖는 그래프이고 [그림 7]은 잡음이 낀 상태의 시간 간격 그래프이다.

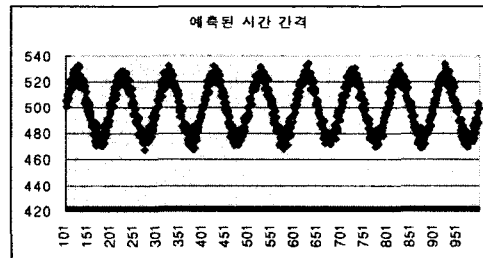


[그림 6] 잡음이 없는 사인형 그래프



[그림 7] 잡음이 섞인 사인형 그래프

오차역전파 알고리즘은 위 두 그래프의 차이를 학습하게 된다. 학습방법은 시간 간격이 상수 형태를 가질 때 수행했던 방식과 동일하게 수행한다. 아래의 [그림 8]의 그래프는 학습을 완료한 후 [그림 7]의 시간 데이터를 예측한 것이다.



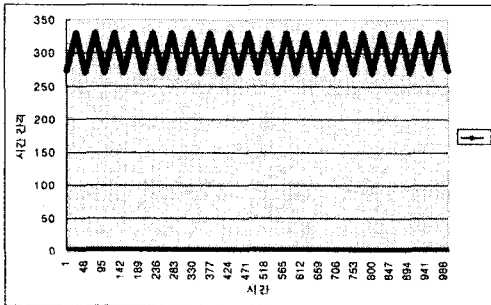
[그림 8] 잡음이 섞인 사인형 시간 그래프 예측

오차 역전파 알고리즘이 수행한 결과는 평균이 2.56e-4이고 표준편차가 1.5347e-4이다.

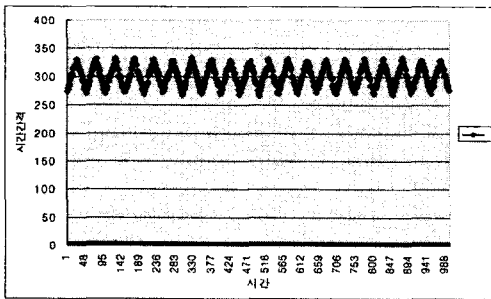
(3) 신호의 PRI값이 톱니 모양일 때

다음은 시스템에 들어오는 신호의 PRI값이 [그림 9]처럼 삼각형 형태의 톱니모양을 이룰 때 수행한 실험이다. [그림 9]는 잡음이 없는 톱니모양의 시간 간격 전파 신호의 그래프이다. 잡음

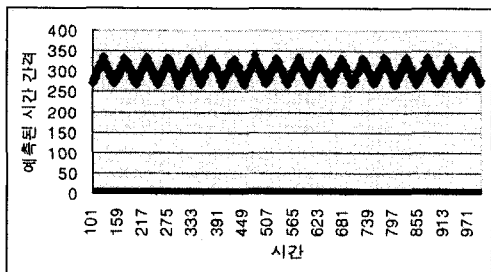
이 없기 때문에 그 모양이 고른 것을 볼 수 있다. [그림 10]은 잡음이 있는 형태의 그래프로서 오차 역전파 알고리즘은 [그림 9]와 [그림 10] 사이의 잡음으로 인한 시간 간격의 차이를 학습하게 된다. 학습방법은 전과 동일하다. 학습 후, 성능 평가를 위해서 학습은 시간 데이터를 넣어 평균  $2.428e-4$ , 표준편차  $1.5035e-4$ 를 얻었다. 이에 대한 그래프는 [그림 11]에 나타나 있다. 객관적인 평가를 위해서는 모의 신호가 아닌 실제 수집한 전파신호를 사용하여 테스트 해 볼 필요가 있다.



[그림 9] 잡음이 없는 톱니 모양 신호



[그림 10] 잡음이 있는 톱니 모양 신호



[그림 11] 오차 역전파 알고리즘이 [그림 10]을 예측한 그래프

신경회로망을 이용한 전파신호의 예측에서는 신호의 도착시간, 신호의 크기 및 주파수에 대해 생각해 볼 수 있다. 역전파 알고리즘을 이용한 본 실험에서는 1차적으로 신호의 도착시간을 예측하는 시스템을 구축하였다.

시간에 대한 입력 신호의 형태는 PRI가 Stable인 경우와 패턴 PRI중 사인파를 이루며 변화하는 형태, 그리고 삼각형 모양 신호의 형태를 가진다고 할 때, 실험을 위해서 이 3가지 형태의 신호에 대해 목적신호와 잡음이 섞인 신호의 차이를 가지고 역전파 알고리즘을 학습하였다. 또한 최적의 학습을 위해서 은닉층의 수, 노드의 수, Learning Rate 및 Momentum을 경험적으로 변화시키며 각각 실험하였다. 학습을 완료한 후에 개발 알고리즘의 성능 측정을 위해 잡음이 섞인 테스트 데이터를 가지고 측정하였으며 그 결과 전파신호의 도착시간 예측이 잘 됨을 확인할 수 있었다.

앞으로, 신호의 시간에 대한 학습을 보완 마무리하고, 신호의 주파수 및 시간에 대한 구간이 변하는 데이터에 대해 추적할 수 있도록 알고리즘을 보완할 예정에 있다. 그리고 이들 작업이 모두 끝나면 신호의 도착시간 및 주파수에 대한 신호의 예측을 하나의 시스템에서 할 수 있도록 기능들을 통합할 계획이며 실시간 환경에서 본 알고리즘이 수행될 수 있도록 연구를 계속할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis, "Digital Signal Processing", Prentice Hall, 1996.
- [2] 유태선, "복합신호환경에서의 적응성 에미터 식별", 공학박사 학위논문, 1999.
- [3] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer, "Discrete-Time Signal Processing", 2nd ed., Prentice Hall, 1998.
- [4] McClelland, Rumelhart, and the PDP Research Group, "PARALLEL DISTRIBUTED PROCESSING Vol 2", The MIT Press, 1986.

#### IV. 결 론