

MLP기반 온라인 센서 고장검출 기법에 관한 연구

김 동 회*, 김 광 준*, 김 성 호*
* 군산대학교 전자정보공학부

A Study on the Design of Sensor Fault Detection System Based on MLP

Dong-Hoe Kim*, Kwang-Jun Kim*, Sung-Ho Kim*
*School of Electronics and Information Eng. , Kunsan National University,

Abstract - Generally, the correlation between the responses of various sensors can be exploited to detect a possible malfunctioning sensor during operation. The sensor fault detection is implemented by using the regression ability of artificial neural networks(ANN). In this work, sensor fault detection scheme based on ANN is proposed. To verify its applicability, simulation study on the water data gathered from Saemangeum measurement stations is executed.

1. 서 론

산업용 프로세스의 효율적인 모니터링 및 제어를 위해서는 다양한 센서들로부터의 신호 측정이 필수적으로 요구되고 있으며 이러한 시스템의 설계자들이 직면하는 공통된 문제 중 하나는 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 센서 신뢰도의 확보라 할 수 있다. 일반적으로 신뢰도가 높은 측정 데이터의 확보를 위해 주기적인 센서 교체와 같은 방법이 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 이는 필연적으로 시스템 운영의 중단을 초래하게 되어 상당한 시간과 비용을 요구한다는 적용상의 문제점을 갖게 된다. 따라서 센서 고장의 신속한 검출 및 교체를 자동으로 수행할 수 있도록 하는 자동화된 센서 유효화 기법의 개발이 절실히 요구되고 있다. 현재 많은 연구자들에 의해 다양한 온라인 센서 유효화기법이 제안된 바 있다. 특히 Hines 등은 Jang이 제안한 ANFIS(Adaptive Neural Fuzzy Inference System) 및 Kramer등이 제안한 AANN(AutoAssociative Neural Network)을 기반으로 한 온라인 센서 유효화 기법을 제안하고 이의 유용성을 입증한 바 있으며 Pardo 등은 일반적인 신경망을 사용하여 효율적인 센서 고장 검출을 가능케 하는 시스템을 제안하고 유용성을 확인한 바 있다[1-3].

최근 새만금 사업 등과 같은 대규모 국책사업이 진행됨에 따라 개발로 인해 발생하지도 모르는 환경문제에 대한 관심이 높아지고 있으며 현재 군산대학교 새만금 환경연구 센터에서는 완성된 새만금 호의 주된 급수원인 만경강 수계에 다수의 수질 계측 스테이션을 설치하고 다양한 수질관련 계측 데이터를 수집하여 체계적인 수질 모니터링을 수행하고 있다. 현재 계측 스테이션에 설치된 센서들은 물에 포함된 각종 유기물 등 여러 요소로 인해 유용성이 보장된 계측 값의 확보를 위해 주기적인 센서의 보정 및 교체가 이루어지고 있다. 이로 인해 연속적인 계측이 불가능하게 되어 계측 데이터의 유용성이 저하된다는 문제점을 갖는다. 따라서 본 연구에서는

Pardo 등에 의해 제안된 바 있는 전형적인 인공 신경망을 이용한 센서 고장검출 기법을 만경강 수계 상에 설치된 스테이션으로부터의 계측 데이터에 실제 적용하여 봄으로써 신경망에 의한 센서 고장의 검출 및 손실된 센서 값의 보정 가능성 여부를 확인하고자 한다.

2. 신경망 구조

현재 가장 널리 사용되고 있는 신경망은 그림 1과 같은 다층 신경망으로 교차학습에 의해 학습되며 학습된 신경망은 인식, 패턴 분류 및 함수 근사화 등에 효과적으로 사용되고 있다.

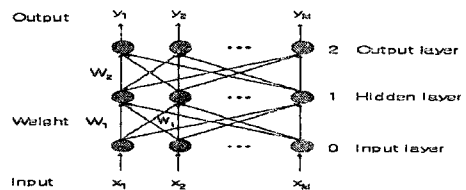


그림 1. 신경망의 구조

Fig. 1. Structure of artificial neural network

본 연구에서는 센서 드리프트 등과 같은 센서고장의 조기검출 및 고장난 센서의 교체시에 손실될 수 있는 계측 값의 효율적인 보정을 가능케 하는 그림 1의 신경망에 기반한 센서고장 검출 시스템을 새만금 환경 계측 시스템에 도입하고자 한다.

2.1 신경망에 기반 한 센서 고장검출 시스템의 구조

본 연구에서 사용하고자 하는 신경망 기반 고장검출 시스템의 구조를 나타내다면 그림 2와 같다.

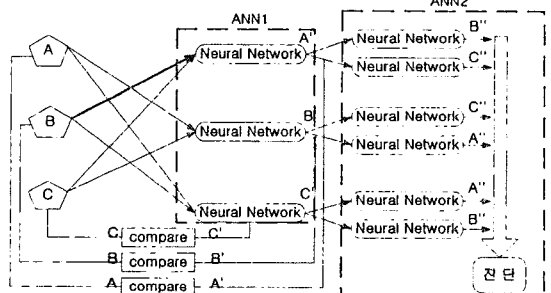


그림 2. 신경망기반 센서고장검출 시스템의 구조

Fig. 2. Structure of sensor fault detection system based on ANN

여기서 A, B, C는 센서에서 계측된 실제 데이터들을 의미하며 A', B', C'와 A'', B'', C''는 각각의 신경망 출력을 의미한다. 그림 2에서 신경망 입력인 센서 계측 데이터들은 매우 큰 상관관계를 가져야 한다. 이러한 데이터들간의 상관관계를 이용하여 구성된 신경망은 센서 고장이 발생할 경우에도 상관관계가 큰 다른 센서들의 데이터로부터 정상상태의 센서값을 출력할 수 있다는 특성을 갖는다. 그림2의 ANN1에 속한 신경망의 입출력 관계는 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} A' &= f(B, C) \\ B' &= f(A, C) \\ C' &= f(A, B) \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)로부터의 A', B', C' 과 실제 계측 데이터 A, B, C로부터 각 센서간의 잔차를 구할 수 있으며 잔차의 임계치 검사에 의해 센서 고장의 검출이 가능하게 된다. 그러나 식(1)로부터 알 수 있듯이 만일 센서 A가 고장이라면 A를 입력으로 받아들이는 B' 과 C'은 실제 고장이 없는 값을 추정하지 못하게 된다. 결과적으로 고장검출은 가능하나 정확한 고장진단은 불가능하게 된다. 상기와 같이 센서 A가 고장일 경우 고장센서의 식별을 위해서는 ANN1 후반부에 이들 출력을 입력으로 하는 별도의 ANN2 신경망 블록이 도입되어야 하며 이에 속한 각 신경망의 입출력 관계는 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} B''(CA) &= f(A', B) \\ C''(BA) &= f(A', C) \end{aligned} \quad (2)$$

ANN2에 속한 신경망은 ANN1으로부터 얻어진 출력과 실제 센서값을 입력으로 받아들이며 고장 센서의 식별은 실제 계측 데이터 B, C와 식(2)로부터 구해진 B'', C''간의 잔차의 검사를 통해 수행된다. 만일 센서 A가 고장이라면 나머지 센서에 대한 잔차는 임계치 이하가 된다.

3. 새만금 환경 모니터링 시스템의 적용

3.1 새만금 환경 모니터링 시스템

현재 군산대학교 새만금 환경연구센터에서는 새만금 사업 종료 후 생성되는 새만금 담수호의 주변 수급원이 될 만경강유역의 수질관리를 위해 5개소에 계측 스테이션을 설치운영중이며 이를 나타내면 그림 3과 같다.

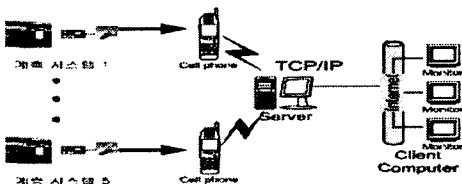


그림 3. 새만금 환경 모니터링 시스템의 구조
Fig. 3. Structure of saemankeum monitoring system

그림 3의 무선 계측시스템은 만경강 수계상의 5곳에 설

치되어 있으며 3 종류의 수질관련 데이터를 측정할 수 있는 계측기와 이로부터의 신호를 원격에 설치된 서버로 전송하기 위한 PCS 무선 단말기로 구성된다. 측정된 계측 데이터는 한 시간마다 원격의 서버로 데이터를 전송하면 원격의 서버는 각 측정현장으로부터의 실시간 데이터를 데이터베이스에 저장함과 동시에 이들 데이터를 인터넷상의 공유케 함으로써 다수의 클라이언트들에게 현재 운영 상황을 모니터링 할 수 있도록 한다.

3.2 새만금 수질 데이터에 대한 ANN의 적용

만경강 유역에 설치되어 운영되고 있는 5개소의 원격 계측 스테이션으로부터 수위, 전기전도도(EC) 및 온도 등의 3가지 계측 값이 새만금 환경연구센터의 서버로 전송되고 있다. 특히 이들 센서중 온도 및 EC 센서는 센서 바이어스 등과 같은 센서 고장으로 인해 주기적인 캘리브레이션 및 교체를 수행해야 한다. 따라서 이들 센서 고장의 검출 및 진단은 필수적이며 본 연구에서는 2장에서 제안된 신경망 기반 센서 고장검출 및 진단 시스템을 온도, 전기전도도(EC), 수위 센서 고장검출 및 진단에 적용하고자 한다.

3.2.1 수질 계측 데이터

스테이션으로부터 계측된 수위, 온도, 전기전도도(EC) 센서 데이터를 나타내면 그림 4와 같다.

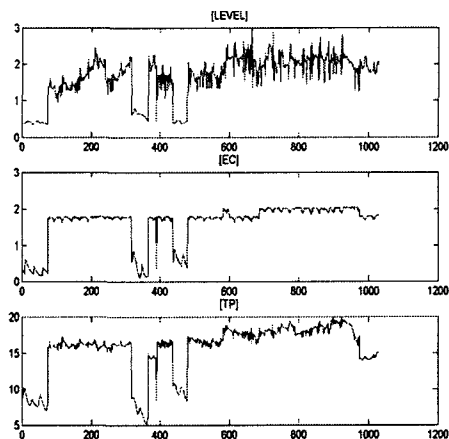


그림 4 계측 스테이션으로부터의 센서 값
Fig. 4. Sensor values from measurement stations

그림 4는 2002년 11월 1일부터 2003년 1월까지 3개월간 스테이션으로부터 1시간마다 3가지 센서로부터 받아들이는 데이터들로서 센서보정을 마친 후의 것이다.

3.2.2 신경망의 학습

2장에서 언급한바와 같이 신경망은 한 센서의 출력을 예측하기 위해 상관관계가 큰 다른 센서 값을 입력으로 사용하여 학습 하였다. 이와 같이 구성함으로써 고장이 발생한 센서의 데이터가 들어와도 정상 데이터를 신경망은 출력하게 된다. 본 연구에서는 1, 3, 5호기로부터 얻은 온도, 전기전도도(EC), 수위 계측 데이터를 학습에 사용하였다. Input layer는 2개의 뉴런, Hidden layer는 20개의 뉴런, Output layer는 1개의 뉴런으로 구성하였다. 신경망 학습은 Matlab 신경망 툴의 newff(Feedforward-backpropagation network) 함수를 사용하였으며 이를 나타내면 그림 5와 같다.

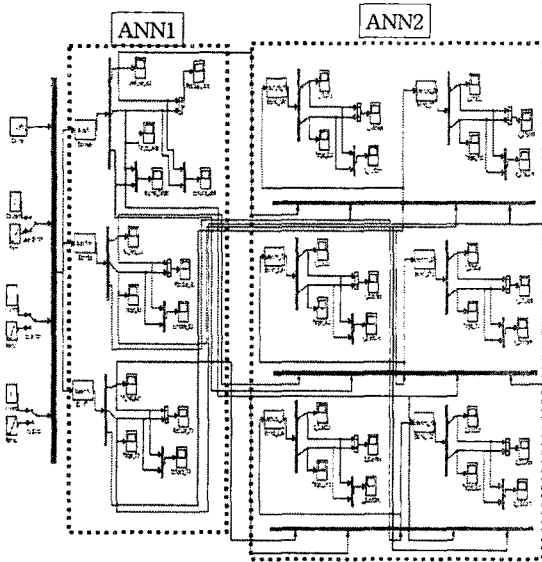


그림 5. 센서고장 검출 및 진단을 위한 Matlab 시뮬링크 블록도

Fig. 5. Simulink block diagram for sensor fault

학습 완료된 신경망의 성능확인을 위해 EC 센서값에 크기 0.5의 바이어스를 100번째 스텝에서 인가하였다. 센서 바이어스가 발생하였을 경우 ANN1 신경망 출력은 그림 6과 같으며 이로부터 센서 고장의 검출은 간단히 수행될 수 있다. 또한 고장 센서의 식별을 위해 EC 센서가 고장이라는 가정하에 EC'과 수위 및 EC'과 온도를 입력으로 갖는 ANN2에 속한 신경망의 출력을 나타내면 그림 7과 같다. 그림으로부터 알 수 있듯이 ANN1으로부터 추정된 EC' 값을 ANN2의 입력으로 사용하면 수위와 온도는 실제 계측값을 추정하게 되며 따라서 센서 EC가 고장임을 식별할 수 있게 된다.

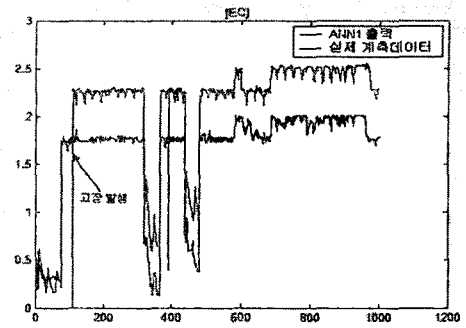


그림 6. ANN1 및 센서 응답 특성

Fig. 6. Response characteristics for each sensors and ANN1

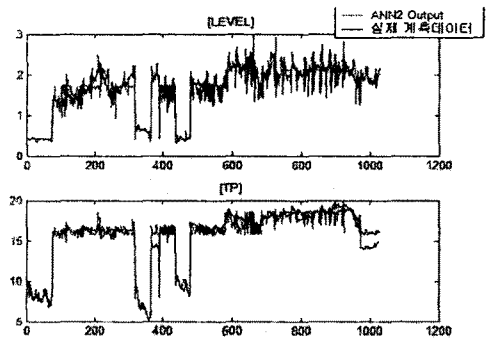


그림 7. ANN2 및 센서 응답 특성

Fig. 7. Response characteristics for each sensors and ANN2

3. 결 론

본 연구에서는 신경 회로망 중 데이터의 해석에 널리 사용되고 있는 인공신경망을 기반으로 하는 센서 고장검출 시스템의 유용성 확인을 위해 현재 설치 운영되고 있는 새만금 환경 모니터링 시스템의 데이터에 실제 적용하여 보았으며 실험 결과 효율적인 센서 바이어스(센서 고장)의 검출과 진단이 가능함을 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 고찰한 센서고장 검출시스템은 단지 하나의 센서만 고장이라는 single sensor fault의 경우만을 다루었으며 보다 효율적인 검출을 위해서는 multiple sensor fault를 처리할 수 있는 진단기법의 개발이 요망된다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지경 군산대학교 새만금 환경연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Hines, D. J. Wrest, and R. E. Uhring, "Plant Wide Sensor Calibration Monitoring," published in the proceedings of The 1996 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Sept. 15-18, pp.378-383,1996
- [2] Kramer, M.A., "Autoassociative neural networks," Computers in Chemical Eng., Vol.16, No.4, pp.313-328, 1992
- [3] Pardo, M, Gaglia, G., "Monitoring Reliability of sensors in an array by neural networks",