
임베디드 리눅스와 유전자 알고리즘을 이용한 교량 진단 시스템 설계

박세현* · 송근영*

The Design of Bridge Diagnosis System Using Genetic Algorithm & Embedded LINUX

Se-Hyun Park* · Keun-Young Song*

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 R01-2002-000-00588-0 지원으로 수행되었으며, 이에
감사드립니다.

요 약

본 논문에서는 임베디드 리눅스와 유전자 알고리즘을 이용한 교량 진단 시스템의 설계에 대하여 기술한다. 제안된 시스템은 임베디드 리눅스 환경 하에서 동작하며, 교량의 상태는 인터넷을 통해 원격으로 모니터링을 한다. 그리고 다양한 교량 진단용 센서에 대해서 최적의 이득과 오프셋을 찾기 위해 유전자 알고리즘을 내장하고 있어 계측의 측정 범위가 크다. 제안된 방법의 검증은 시스템 기반에서 이루어졌다.

ABSTRACT

This paper proposes bridge diagnosis system using Embedded LINUX and Genetic algorithm. The proposed system consists of MPC860 processor, FPGA, Bridge sensors and Genetic algorithm for bridge diagnosis. And the proposed system can operate with World Wide Web in GUI environment by Java, therefore, system is useful in diagnosing bridge at all times. Using genetic algorithm, this system can measure various bridge sensors with best gain and offset, therefore, range of measurement can be enlarged. Proposed system is certified by system-based test. .

키워드

Embedded LINUX, 원격 모니터링, 자바(Java), 자바애플릿(Java applet), 유전자 알고리즘, 교량진단

1. 서 론

교량은 주요 국가 기반의 시설물 중 하나로서,

설계 혹은 시공 상 오류에 의한 결함이나 외적 환경 등에 의하여 시간이 경과함에 따라 그 기능을 상실하거나 붕괴될 가능성이 있다. 더욱이 노후화

되고 있는 교량의 수가 늘어가는 현실과 교량의 기능 상실로 인한 피해규모에 비추어 볼 때, 교량의 안정성을 확보하고, 장기간의 교량 기능 유지를 위한 유지관리 기술의 개발이 요구된다[1][2][5].

현재 교량의 진단은 육안검사, 비파괴 검사, 재하시험 등의 방법으로 시행되고 있다. 그리고 교량의 상태 계측 및 진단에서 기존의 문제점은 고가의 외국 계측 장비에 대한 인적 물적 비용 등의 문제로 인해 상시 계측은 거의 이루어지지 않는데 있다. 상시계측은 진단 장비의 설치 및 해체 시 전문 인력과 부가 장비의 필요성, 진단 실험상에서 발생하는 차량의 통제 등과 같은 문제를 수반할 수밖에 없다. 따라서 정상 교통 상태에서의 상시계측을 통한 교량 진단의 필요성이 요구되고 있으나, 한시적인 재하시험에만 이용되고 있는 실정이다 [3][4][5].

본 논문에서는 교량의 상시 계측에 용이하고 다양한 교량 환경에 대해 유연성을 가지는 교량 진단 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 임베디드 리눅스 운영 체제 하에 동작, 서버기능을 가지며, 인터넷을 통해 교량의 상태를 원격으로 관찰하는 기능을 제공한다. 그리고 유전자 알고리즘을 내장하여 다양한 센서, 다양한 교량 응답에 대해 최적의 계측범위를 찾아낼 수 있도록 하였다.

II. 본론

일반적으로 교량 진단 시스템의 기능은 교량의 상태를 측정하고, 측정 데이터를 별도의 저장 장치에 저장하는 것이며, 현재 측정 상황을 화면에 표시하는 것이다.

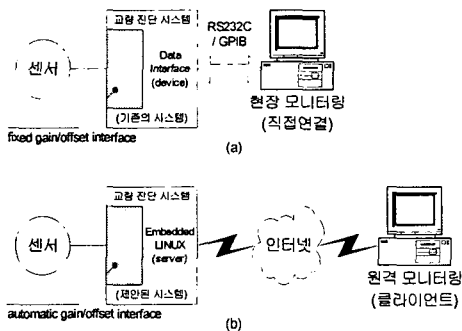


그림 1. 기존의 시스템(a)과 제안된 시스템(b)
Fig. 1 Existing system(a) vs. Proposed system(b)

그림 1(a)은 기존의 교량 진단 시스템의 구성도이며, 그림 1(b)은 본 논문에서 제안되고 구현된 교량 진단 시스템의 구성도이다. 기존의 교량 진단 시스템의 경우, 현장에서 직접 모니터링을 해야 하며 이를 위한 분석도 시스템과 직접적으로 연결된 케이블 즉 RS232 혹은 GPIB 등과 같은 규격의 데이터 통신을 통해 이루어진다. 따라서 이러한 방식은 현장에서의 관리 인력을 요구되거나 원격 모니터링을 위한 서버를 부가적으로 필요하게 된다. 또한 기존 시스템은 센서와 진단시스템의 인터페이스에 있어서 센서의 종류와 센서와 진단 시스템의 연결 케이블의 길이에 따른 이득(Gain)과 오프셋(Offset) 전압을 수동으로 일일이 맞추어 주어야 측정 범위를 설정하여야 하는 불편함이 있다. 따라서 기존 시스템은 다양한 센서에 대한 적정 측정 범위에 대한 신뢰도의 문제를 가지고 있으며, 대부분의 기존의 계측 시스템은 각 센서의 전기적 응답 범위를 모두 포함할 수 있는 고정된 계측 범위 내에서 계측을 수행하게 된다. 그리고 각 센서가 가진 전기적 응답의 차이와 편차는 소프트웨어 환경에서 이를 처리하거나, 혹은 무시하게 된다.

한편, 그림 1(b)와 같이 제안된 시스템은 원격 모니터링을 위해 인터넷을 접근하는데 있어 임베디드 리눅스를 내장하였으며 통합된 관제시설에서 교량의 상태를 원격으로 확인할 수 있게 하였다. 또한 제안된 시스템은 유전자 알고리즘을 사용하여 다양한 센서의 특성과 센서와 시스템 간의 케이블 길이에 따른 편차에 무관하게 각 센서의 최적화된 측정 범위를 찾고, 이득(Gain)과 오프셋(Offset) 전압이 자동으로 조정되는 인터페이스를 제안하고 구현하였다.

본 논문에서 제안된 교량 진단 시스템은 기존의 시스템이 현장 분석만 가능 하는데 반해 계측 데이터를 원격지의 DB서버에 실시간 저장되어, 필요에 따라 즉각적으로 분석하여 교량의 상태를 정밀 분석을 통해 확인할 수 있다.

2.1. 교량 진단 시스템의 하드웨어 설계

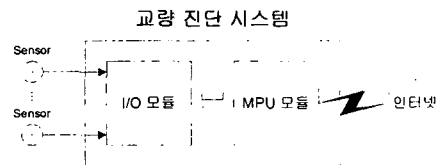


그림 2. 제안된 시스템의 구성도
Fig. 2 Block diagram of proposed system

그림 2는 교량 진단 시스템의 하드웨어 구성도를 보여준다. 현장에 설치되는 교량 진단 시스템은 크게 센서의 값을 취득하는 I/O모듈부와 계측된 데이터를 처리하는 MPU 모듈부로 나뉜다. I/O모듈에서는 교량 상태 계측 신호를 디지털로 변환하고, MPU 모듈에서는 이 디지털 신호를 수집하여 네트워크로의 전달을 담당한다. 그림 3은 I/O모듈부의 구성도이다. I/O모듈은 센서에서 취득된 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 마이크로프로세서 모듈에 이를 전달하는 기능을 한다. I/O모듈은 증폭기, 아날로그 멀티플렉서, AD변환기, FIFO, FPGA로 구성된다.

증폭기는 교량에 설치된 다양한 종류의 센서를 통해 취득된 미세한 아날로그 신호를 측정하기 용이하게 큰 변화를 갖는 신호로 증폭하여 아날로그 멀티플렉서의 입력으로 전달한다.



그림 3. I/O모듈의 구성도
Fig. 3 Block diagram of I/O module

아날로그 멀티플렉서는 증폭된 여러 센서의 신호를 순차적으로 선택하여 AD변환기에 전달한다. 전달된 아날로그 신호는 AD변환기에 의해 디지털 신호로 변환되어 FIFO에 저장된다. 최종적으로 FIFO의 저장된 데이터는 MPU 모듈에 전달된다. 일련의 신호 계측 과정에서 각 장치의 제어는 FPGA를 통해 이루어진다. FPGA는 아날로그 멀티플렉서의 채널 선택, AD변환기의 변환 및 FIFO 입출력을 위한 제어를 담당한다. 채널의 변경은 데이터 신뢰성을 위해 동일한 시간 간격으로 고속으로 이루어져야 하며, 따라서 FPGA는 각 채널에 대해 일정한 샘플링을 주기를 갖도록 설계하였다.

2.2 교량 진단 시스템의 소프트웨어 설계

교량 진단 시스템은 교량의 상태를 실시간으로 계측하게 되는데, 이렇게 계측된 데이터는 원격리에 위치한 교량 관리자에게 전달되어야 필요가 있다.

그림 4는 계측된 교량에 대한 상태를 확인하기 위한 원격 인터페이스 구성도이다. 현장 측정 시스템은 계측서버로서 동작하여 교량 상태의 실시간

계측을 수행하면서, 동시에 웹 서버로서의 기능을 수행하게 된다. 현장 측정 시스템에서 웹서버의 기능은 단순히 웹 페이지를 제공하는 것이지만, 원격 모니터링을 위한 자바애플릿을 포함한 웹 페이지를 제공함으로써, 클라이언트 웹브라우저 상에서는 원격 모니터링 프로그램을 실행되게 된다. 웹서버에 의해 제공된 원격 모니터링 프로그램은 교량 진단 시스템의 측정서버에 접속하여 측정 데이터 수신을 위한 별도의 채널을 구성하게 되며, 측정서버는 이 채널을 통해 실시간으로 측정되는 데이터를 원격지에 전달하게 되며, 원격 모니터링 프로그램은 측정서버 측에서 받은 정보를 분석, 처리하여 적절한 형식으로 이를 화면에 표시하게 되며, 이밖에도 FFT분석 등과 같은 다양한 분석방법을 적용하여 교량의 상태에 대한 다각도의 관찰이 가능하다.

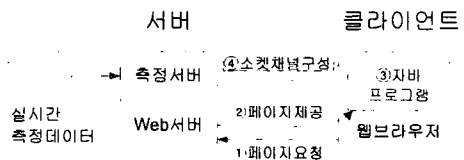


그림 4. 원격 인터페이스 구성도
Fig. 4 Block diagram of remote interface



그림 5. 계측 정보 전달 과정
Fig. 5 Process of transferring measured value

자바애플릿은 웹브라우저 상에서 실행되는 자바 프로그램으로, 통상 프로그램의 본체가 웹서버 내에 존재하며, 사용자가 자바애플릿이 포함된 웹 페이지에 접속하였을 때 수행된다. 따라서 사용자는 별도의 모니터링 프로그램을 설치할 필요가 없으며, 단지 웹을 통해 접속하는 과정을 통해 원격 모니터링 프로그램을 수행할 수가 있다. 그리고 개발 및 운용 과정에서 운영체제 종류에 영향을 받지 않으며, 다양한 플랫폼에서 이를 그대로 활용할 수가 있다.

제안된 교량 진단 시스템은 서버-클라이언트 모델을 바탕으로 다중 접속이 가능한 서버로 동작하도록 설계하여, 측정값의 실시간 관찰, 데이터베이스 저장, 동시 접속 관찰 등 측정결과의 다중 처리를 가능케 하였다.

2.3. 유전자 알고리즘을 이용한 신호 계측

현재 교량 진단에 사용되는 센서는 그 종류가 다양하며, 각 센서의 전기적 응답 또한 다양하다. 심지어는 동일 제조사의 동일 모델의 센서에 대해서도 전기적인 응답 편차가 존재하고 있어, 제조사에서는 각각의 센서에 대한 테스트 결과를 일련번호를 맞추어 제품 출고 시 동봉하고 있다.

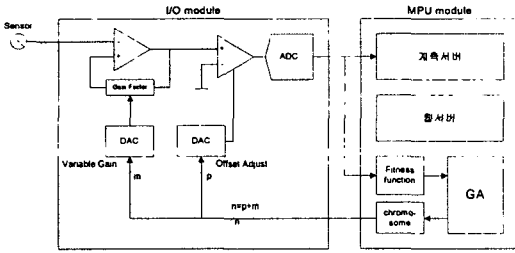


그림 6. 유전자 알고리즘이 적용된 하드웨어 구성도
Fig. 6 Block diagram of hardware for genetic algorithm

이러한 상용 진단 시스템은 제한된 환경 내에서 범용적인 사용이 가능하나, 고정된 계측 범위를 가지므로 각 센서의 미세한 반응 등을 무시하는 경향이 가지게 된다. 즉, 진단 대상의 되는 교량의 미미한 거동에 대해 측정이 제대로 이루어지지 않을 가능성을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 센서의 다양성과 교량의 미세 반응을 모두 만족시키기 위해, 인공지능 알고리즘 중 하나인 유전자 알고리즘을 적용하였다. 유전자 알고리즘은 센서의 신호 범위와 신호 편차를 고려하여 자동으로 이득과 오프셋을 조절하여 최적의 신호 이득과 오프셋을 결정하게 된다.

그림 6은 본 논문에서 제안된 유전자 알고리즘이 적용된 하드웨어의 구성도이다. MPU 모듈에서는 유전자 알고리즘의 소프트웨어 처리를 주로 담당하며, I/O모듈에서는 하드웨어 처리를 주로 담당하게 된다. 유전자 알고리즘에 의해 생성되는 염색체는 I/O모듈의 증폭 단에서 이득과 오프셋을 결정하며, 센서 신호의 추이에 따라 fitness function은 염색체에 대한 적합도를 평가하게 된다. 염색체의 크기는 이득과 오프셋을 조절을 위한 DAC의 비트수에 맞추어 각각 8bit로 되어 총 16bit로 되어있다.

적합도 함수는 증폭된 센서의 신호가 ADC의 측정 가능한 범위 내에 있으며, 예상치 못한 큰 입력에 대한 여유를 두면서도, 계측하기 용이하도록 파형 범위를 넓은 것을 더 적합한 것으로 평가해야

한다.

본 논문에서는 이러한 최적의 신호 패턴을 0V를 기준으로 $\pm 2.5V$ 의 swing을 갖는 것으로 정하였으며, 각 신호의 적합도를 결정하기 위해 그림 7과 같은 모델을 사용하였다. 이 모델은 신호의 swing의 최대값과 최소값에 대하여 각각의 적합도 값을 두고 이 둘을 합하여 적합도 값을 결정하는 하계 된다.

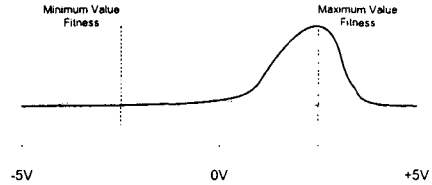


그림 7. 적합도 평가 함수
Fig. 7 Fitness function

III. 실험 및 결과

성능 실험은 제안된 시스템의 교량 계측 성능에 대한 실험과 유전자 알고리즘에 대한 실험으로 크게 나누어 수행되었다.

교량 진단 시스템의 성능 실험은 실제 영동 도대 제일교와 대구 칠성 고가교에 대한 현장의 계측을 통해 이루어졌다.

표 1은 영동 도대 제일교의 현장 동적 재하 시험을 통한 계측 데이터 분석 결과와 구조 해석 프로그램 MIDAS를 통해 구한 고유 진동수를 비교한 것이다. 각각의 경우에 대하여 교량의 4차 고유 진동수까지 구하여 이를 비교하였다.

표 1. 고유진동수 비교
Table. 1 comparison of natural frequency

		단위 : Hz			
구분		1차	2차	3차	4차
계측	제안된 시스템	3.21	5.14	6.50	8.77
	EDX-1500A	3.22	5.12	6.48	8.82
고유치 해석		3.93	5.17	7.26	9.57

*EDX-1500A:상용 교량 진단 시스템

현장 재하 시험을 각기 제안된 시스템과 상용 시스템을 통하여 데이터를 획득하여 분석한 결과에서는 두 결과가 유사한 경향을 나타내고 있다. 재하 시험이 각 시스템에 대하여 따로 이루어져 재하 조건이 완전 동일하지 않음을 고려한다면 두 시스템간의 계측치의 작은 차이는 고려될 수 있다.

따라서 위의 비교 시험의 결과를 볼 때, 제안된 시스템은 교량 상태의 진단 및 분석에 있어 신뢰성 있는 계측 데이터를 수집한다고 볼 수 있다. 반면, 계측에 의한 값과 해석에 의한 값 사이에 다소의 오차가 있는데, 이는 대상 구조물의 해석에 있어서 실제 구조물을 정확하게 모델링하지 못하고 근사 모델링을 수행한 데서 발생하는 오차로 판단된다.

표 2. 고유진동수 비교
Table. 2 comparison of natural frequency

단위 : Hz

구분		1차	2차	3차	4차	5차
계측	동적재하시험	1.71	2.00	2.47	3.02	3.59
	상시진동실험	1.72	1.98	2.48	3.02	3.60
고유치 해석		1.64	1.96	2.52	3.18	3.81

표 2는 대구 칠성 고가교에 대한 고유진동수를 동적 재하 시험 결과와 상시 진동 실험결과, 그리고 MIDAS를 이용한 해석결과를 비교하여 보여준다. 각각의 경우에 대하여 5차까지의 고유진동수를 구하여 이를 비교하였다. 위의 결과를 보면 영동 도대 제1교의 경우와 마찬가지로 해석에 의한 결과와 계측의 의한 결과는 다소 차이를 보이나 유사한 결과임을 알 수 있다. 계측에 있어서는 동적 재하 시험의 결과와 상시 진동 실험의 결과가 거의 동일함을 알 수 있으며, 제안된 시스템이 상시계측에 있어서도 신뢰성 있는 계측 데이터를 수집함을 알 수 있다.

유전자 알고리즘의 성능 실험은 서로 다른 진폭과, 오프셋을 갖는 신호를 입력하여 최적의 이득과 오프셋 조절치를 갖는 과정을 통해 수행하였으며, 유전자 알고리즘의 수행은 16bit 크기의 염색체에 대해, 각 세대에서의 개체 수는 25개로 하고, 교배율과 돌연변이율은 각각 80%, 15%로 하여 실험하였다.

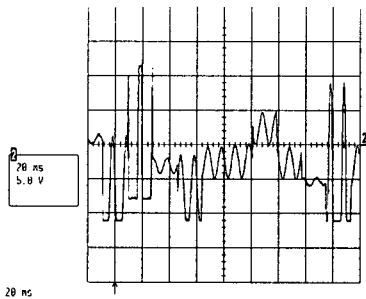


그림 8. 유전자 알고리즘의 신호 탐색
Fig. 8 Searching of best signal by genetic algorithm

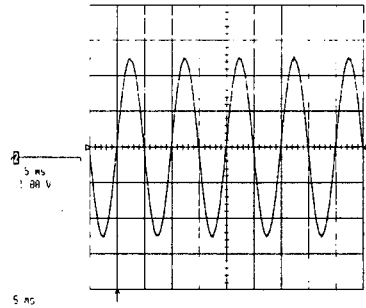


그림 9. 유전자 알고리즘의 신호 탐색 결과
Fig. 9 Result of best signal by genetic algorithm

그림 8은 입력신호에 대한 유전자 알고리즘의 최적 신호 탐색 과정에서 관찰한 파형이다. 그림 8은 유전자 알고리즘의 수행 초기의 탐색과정으로 전체적인 해 공간에서 탐색을 수행하고 있다.

그림 9는 유전자 알고리즘의 탐색 결과 파형이다. 파형은 거의 2.5V의 진폭을 가지며 0V를 기준으로 진동하고 있다.

그림 10은 시험 파형에 대한 세대수에 따른 적합도의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 유전자 알고리즘은 50세대에서 100%의 적합도를 가지는 염색체를 얻어내었으며, 17세대에서 95%이상의 적합도를 보이고 있다. 적합도의 평균값 또한 12세대 이후에서는 80%이상의 수치를 보이고 있다.

순차적인 탐색 방법의 최적해 발견이 평균적으로 탐색 공간 50%의 탐색에서 이루어지는 반면 제안된 유전자 알고리즘 경우는 약 1.9%의 탐색에서 이루어지므로 산술적으로 26배 이상의 효율을 가짐을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 유전자 알고리즘을 이용한 탐색 방법은 순차적인 탐색 방법에 비해 속도 면에서 탁월한 결과를 보여주고 있다.

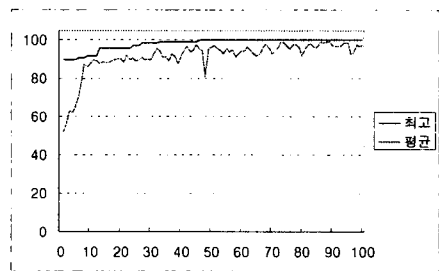


그림 10. 세대수에 따른 적합도 변화 그래프
Fig. 10 Graph of fitness by number of generation

IV. 결론

본 논문에서는 임베디드 리눅스와 유전자 알고리즘을 이용한 교량 진단 시스템 설계에 대하여 살펴 보았다. 제안된 시스템의 성능은 시스템 기반에서 확인하였으며, 기존의 상용 교량 진단 시스템을 통한 계측을 병행하였다.

제안된 시스템은 기존의 상용 시스템과 비교하여 볼 때 신뢰성 있는 계측 성능을 보였으며, 더욱이 웹 기반의 이용한 원격 모니터링을 제공하고 있어, 인터넷이 가능한 공간 어디서든 교량의 상태를 관찰할 수 있으므로, 상시 계측 시스템으로서 가능성은 더 크다고 할 수 있다. 또한 유전자 알고리즘을 내장하여 다양한 센서, 다양한 교량 응답에 대해 최적의 계측 범위를 찾아낼 수 있도록 하였다.

제안된 시스템의 상시 계측 시스템으로서 기존의 고가의 외국 상용 계측 시스템을 대신하여 교량에 비치되어 교량의 상태를 항상 관찰하여 이상 발생 시 이를 신속히 인지할 수 있어 교량의 안전성을 높일 수 있으며, 기존에 진단 과정에서 부득이하게 발생하는 차량의 통제, 계측 과정상의 인적, 물적 자원의 절약을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

[1] Anjan Dutta and S. Talukdar, Damage detection in bridges using accurate modal parameters, Finite Elements in Analysis and Design, 2002

[2] Sheinman I., Damage detection and updating of stiffness and mass matrices using mode data, Computers and Structures, Vol. 59, No. 1, pp. 149-156, 1996

[3] Salawu, O. S. and Williams, C., Review of full-scale dynamic testing of bridge structures, Engineering structures, Vol. 17, No. 2, pp. 113-121, 1995

[4] 김성곤, 박민석, 고속도로상 교량 계측 모니터링 시스템의 통합, 대한토목학회논문집, 제20권, 제7호, pp. 503-506, 2000

[5] 박세현, 송근영, 교량진단을 위한 새로운 Linux 실장 지능형 제어기 및 원격 모니터링 시스템 개발, 한국해양정보통신학회, 제7권, 제3호, pp. 526-531, 2003

저자소개

박세현 (Se-Hyun Park)

안동대학교 전자정보산업학부 교수
※관심분야 : 디지털 시스템, 임베디드 시스템, 임베디드 리눅스, 유전자 알고리즘, FPGA

송근영 (Keun-Young Song)

안동대학교 전자공학과 석사
※관심분야 : 디지털 시스템, 임베디드 시스템