

LPC와 DTW 기법을 이용한 유도전동기의 고장검출 및 진단

황철희*, 김용민**, 김철홍***, 김종면****

Fault Detection and Diagnosis of Induction Motors using LPC and DTW Methods

Chul-Hee Hwang*, Yong-Min Kim**, Cheol-Hong Kim***, Jong-Myon Kim****

요 약

본 논문은 유도전동기의 고장검출 및 진단을 위한 효율적인 2-단계 고장예측 알고리즘을 제안한다. 첫 번째 단계에서는 고장 패턴 추출을 위해 선형 예측 부호화 (Linear Predictive Coding: LPC) 기법을 사용하고, 두 번째 단계에서는 고장 패턴 매칭을 위해 동적시간교정법 (Dynamic Time Warping: DTW)을 사용한다. 유도전동기에서 정상 및 각종 이상 상태의 조건을 발생시켜 추출한 샘플링 주파수 8kHz, 샘플링 시간 2.2초의 정상상태 및 비정상 상태의 진동데이터 8개를 사용하여 모의 실험한 결과, 제안한 고장예측 알고리즘은 기존의 고장진단 알고리즘보다 약 45%의 정확도 향상을 보였다. 또한 TI사의 TMS320F2812 DSP를 내장한 테스트베드 시스템을 제작하여 제안한 고장예측 알고리즘을 구현하고 검증하였다.

▶ Keyword : 고장검출 및 진단, 선형 예측 부호화, 동적시간교정법, 유도전동기

Abstract

This paper proposes an efficient two-stage fault prediction algorithm for fault detection and diagnosis of induction motors. In the first phase, we use a linear predictive coding (LPC) method to extract fault patterns. In the second phase, we use a dynamic time warping (DTW) method to match fault patterns. Experiment results using eight vibration data, which were collected from an induction motor of normal fault states with sampling frequency of 8 kHz and sampling time of 2.2 second, showed that our proposed fault prediction algorithm provides about 45% better accuracy than a conventional fault diagnosis algorithm. In addition, we implemented and tested the proposed fault prediction algorithm on a testbed system including TI's TMS320F2812 DSP that we developed.

• 제1저자 : 황철희 교신저자 : 김종면

• 투고일 : 2010. 11. 18, 심사일 : 2010. 11. 27, 게재확정일 : 2010. 12. 01.

*울산대학교 전기공학부 석사과정(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

**울산대학교 전기공학부 석사과정(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

***전남대학교 전자컴퓨터공학과 교수(Dept. of Electronics and Computer Eng., Chonnam National University)

****울산대학교 전기공학부 교수(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

※ 이 논문은 2010년도 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

▶ Keyword : fault detection and diagnosis, linear predictive coding, dynamic time warping, induction motor

1. 서론

산업현장이 자동화됨에 따라 전동기의 활용범위가 확대되어왔다. 로봇 시스템 등의 특별한 용도의 전동기와는 달리 일반적인 성능이 요구되는 산업현장의 설비에서 간단한 구조와 기계적 견고함을 갖춘 유도 전동기는 전체 계통에 대한 동력을 공급하는 경우가 대부분이다 [1]. 이 경우 유도전동기의 고장은 유도전동기 자체의 문제뿐만 아니라 계통 전체의 치명적인 고장 및 경제적으로 막대한 손실을 발생시킬 수 있으므로 이를 미리 검출하고 진단하는 방법은 필수적으로 요청되며, 많은 연구가 진행되어 왔다.

유도전동기의 고장상태를 효과적으로 표현할 수 있는 특징 추출 기법에는 Park변환에 의해 d-q 패턴을 추출하는 방법 [2], 전류신호의 주파수 스펙트럼(Fast Fourier Transform)을 이용하여 특정 주파수를 추출하는 방법[3] 등이 주로 사용되어 왔다. 그러나 d-q 패턴의 경우 다양한 고장상태별로 고유의 패턴을 얻기가 어렵고, 노이즈가 존재하는 환경 하에서는 고장패턴을 분류하는데 어려움이 있다. 주파수 스펙트럼의 경우, 부하변동 또는 입력전원의 고주파성분 때문에 주파수 성분이 변동되고, 고장상태별로 정확한 주파수 스펙트럼을 추출하는데 한계점이 있다[4],[5]. 또한 신호의 주파수 특성을 자세히 알아 볼 수 있는 특징을 가지고 있는 반면, 연산시간이 비교적 오래 걸리는 단점을 가지고 있으며, 특히 시스템의 입력으로 사용할 특정 파라미터를 추출하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 고장패턴 추출과 고장패턴 매칭의 두 가지 단계로 구성된 고 신뢰성 알고리즘을 제안한다. 유도전동기의 고장패턴 추출을 위해서는 선형 예측 부호화 (Linear Predictive Coding: LPC)기법을 사용하였고, 고장 분류를 위한 패턴매칭을 위해서는 동적 시간교정법 (Dynamic Time Warping: DTW)기법을 사용하였다. 유도전동기에서 추출한 정상상태 및 비정상상태의 진동데이터 8개를 사용하여 모의 실험한 결과, 제안한 알고리즘은 기존의 교차공분산 (cross-covariance)을 이용한 방법보다 약 45%의 정확도 향상을 보였다. 또한 본 논문에서는 TI사의 TMS320F2812 DSP를 내장한 테스트베드 시스템을 제작하여 제안한 알고리즘을 구현하고 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 유도전동기의 진동데이터를 이용하여 분석하는 방법을 소개하고, 3장에서

는 제안하는 고장예측 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 제안한 고장예측 알고리즘의 성능을 분석하고 기존의 고장진단 알고리즘과의 성능을 비교함으로써 제안하는 알고리즘의 우수성을 입증한다. 또한 테스트베드 시스템을 제작하여 제안한 고장예측 알고리즘을 검증한다. 끝으로 5장에서 이 논문의 결론을 맺는다.

II. 진동신호의 분석

실험에 사용된 진동신호의 측정은 전동기의 베어링 하우징에서 축 방향, 수평방향, 그리고 수직방향의 세 방향에서 가속도 센서를 이용하였다. 측정은 8000 Sampling Rate로 하였으며, 2.1333초 동안 16384개의 Sample을 취득하였으며, 각 실험 조건마다 각각 20개의 시간신호 데이터를 취득하였다.

(그림 1)은 정상상태와 7개의 비정상 상태 (angular misalignment: 각도 정렬불량, parallel misalignment: 평행 정렬불량, fault bearing: 베어링 결함, broken rotor bar: 회전자봉 균열, broken rotor shaft: 굽은 회전자축, rotor unbalance: 회전자 불균형, phase unbalance: 위상 불균형)에 대한 진동데이터를 시간영역에서 표현한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 시간영역에서는 정상상태와 비정상상태의 신호를 구분하기가 매우 어렵다.

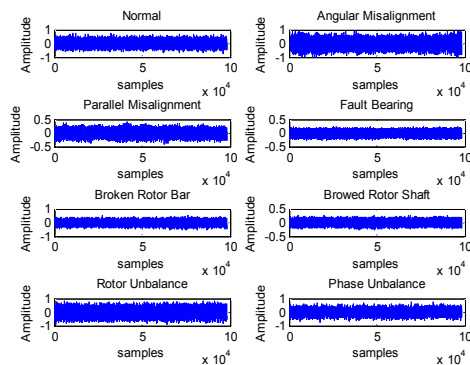


그림 1. 시간영역에서의 진동신호
Fig. 1. Vibration signals in time domain

또한, (그림 2)와 같이 FFT를 이용하여 주파수 영역에서 정상상태와 비정상상태의 신호를 분석하면 각 신호의 주파수 특성을 자세히 알 수 있는 장점은 있으나, 연산속도가 비교적

오래 걸리는 단점이 있어 특정 파라미터를 구하는데 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 두 단계로 구성된 (패턴추출, 패턴매칭)로 효율적인 고장예측 알고리즘을 제안한다.

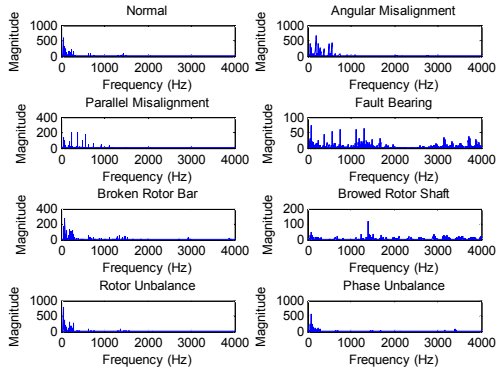


그림 2 주파수 영역에서의 진동신호
Fig. 2. Vibration signals in the frequency domain

III. 제안한 고장예측 알고리즘

(그림 3)은 본 논문에서 제안한 고장예측 알고리즘의 블록 다이어그램을 보여준다.

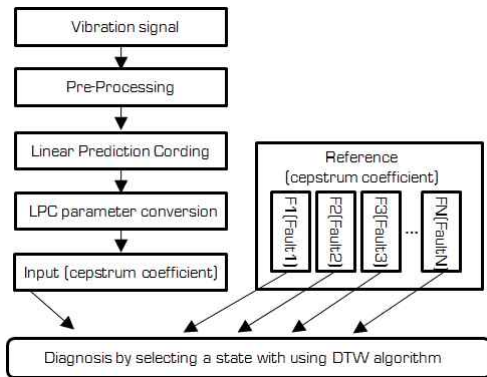


그림 3. 제안된 고장예측 알고리즘의 블록다이어그램
Fig. 3. The block diagram of the proposed failure prediction algorithm

제안한 고장예측 알고리즘은 크게 특징 파라미터 추출 단계와 특징 파라미터의 패턴 매칭 단계로 구성된다. 패턴을 비교하는 파라미터로서 진동 및 미세신호 분석에서 많이 사용되는 캡스트럼 계수를 사용하였다. 하지만 입력 신호에서 푸리에 변환을 수행하여 캡스트럼 계수를 추출하는 방법은 연산의

오버헤드가 많기 때문에 시간적 분석 방식을 사용하여 선형 예측 부호화 (Linear Predictive Coding: LPC) 계수를 구한 후 캡스트럼 계수로 변환하였다. 제안한 고장예측 알고리즘의 상세한 설명은 다음 절들에서 보여준다.

3.1 입력신호의 전처리 단계

(그림 4)에서 보는바와 같이 입력 신호는 프리엠퍼시스 (pre-emphasis) 과정을 통해 신호 대 잡음비(S/N), 주파수 특성, 일그러짐 특성이 개선됨으로써 왜곡 없이 스펙트럼 특성을 추출할 수 있다 [6].

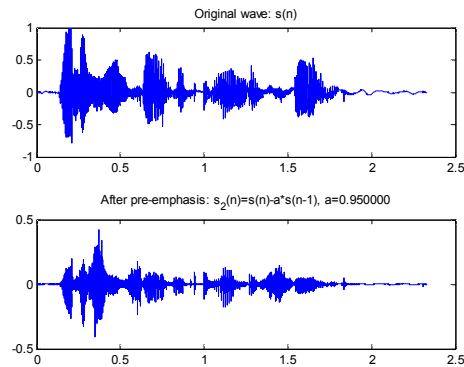


그림 4. 원 신호와 프리엠퍼시스 수행 후의 신호
Fig. 4. Original signal and the signal after performing pre-emphasis

프리엠퍼시스 필터 $H(z)$ 과 출력 $s(n)$ 은 식 (1), (2)와 같다.

$$H(z) = 1 - \lambda z^{-1} \dots\dots\dots (1)$$

$$s(n) = \bar{s}(n) - \lambda \bar{s}(n-1) \dots\dots\dots (2)$$

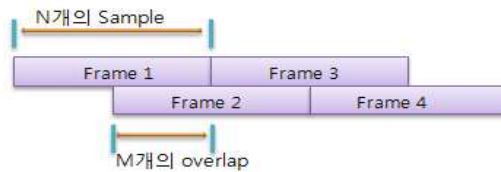


그림 5. 프리엠퍼시스 출력신호의 프레임 블럭킹
Fig. 5. Pre-emphasis output signal of the Frame Blocking

프리엠퍼시스 과정에서 추출된 스펙트럼 특성 정보는 프레임 블럭킹 (frame blocking) 과정의 입력으로 사용된다. 이때, 경계부분에서의 불연속으로 인한 정보 손실이 발생하기 때문에 이를 방지하기 위해 (그림 5)와 같이 분리된 각 프레임의 일정 샘플만큼 중첩시켜 프레임을 블럭킹한다.

프레임 블럭킹 과정에서 출력된 신호는 필터 윈도우 (filter window) 과정을 통해 프레임 사이에서 발생하는 불연속성이 최소화된다. 이때, (그림 6)에서 보는바와 같이 rectangular 윈도우 기법보다 hamming 윈도우 기법을 사용한 경우의 사이드로브 크기가 더 작아서 프레임간의 위상 왜곡 (phase distortion)을 줄일 수 있기 때문에 본 논문에서는 hamming 윈도우 기법을 사용하였다 [7],[8].

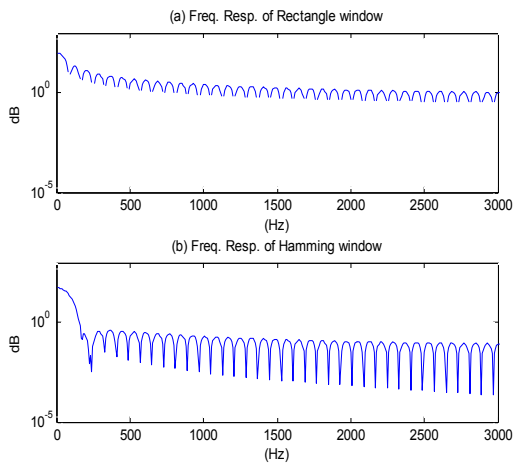


그림 6. Rectangular 윈도우와 hamming 윈도우의 스펙트럼
Fig. 6. Spectrum of rectangular window and hamming window

3.2 패턴추출을 위한 LPC 기법

3.1절의 hamming 윈도우를 통해 추출된 신호로부터 선형 예측 부호화 (LPC) 계수를 구하기 위해서 다음과 같은 두 단계를 사용하였다. 첫 번째 단계에서는 자기상관 (auto-correlation) 방법을 사용하여 자기 상관 계수 R_n 를 구하였고, 두 번째 단계에서는 Durbin 알고리즘을 이용하여 자기 상관 계수로부터 LPC 계수 $a_j (1 \leq j \leq p)$ 를 추출하였다. Durbin 알고리즘은 아래와 같다 [9].

$$E_n^{(0)} = R_n^{(0)} \dots (3)$$

$$K^i = \left[R_n(i) - \sum_{j=1}^{i-1} a_j^{i-1} R_n(i-j) \right] / E_n^{(i-1)} \quad 1 \leq i \leq p \dots (4)$$

$$a_i^{(i)} = k_i \dots (5)$$

$$a_j^{(i)} = a_j^{(i-1)} - k_i a_{i-j}^{(i-1)} \quad 1 \leq j \leq i-1 \dots (6)$$

$$E_n^{(i)} = (1 - k_i^2) E_n^{(i-1)} \dots (7)$$

Durbin 알고리즘에 의해 구해진 LPC 계수 a_j 와 식 (8)을 이용하여 캡스트럼 (cepstrum) 계수 c_m 을 구할 수 있다.

$$c_m = a_m + \sum_{k=1}^{m-1} \left(\frac{k}{m} \right) c_k a_{m-k}, \quad 1 \leq m \leq p \dots (8)$$

캡스트럼 계수를 스펙트럼으로 표현하면 낮은 차수의 계수는 필터(LPC 파라미터)의 정보를 나타내고 높은 차수의 계수는 음원정보를 나타낸다 [10]. 캡스트럼 계수는 차수에 따라 전체 스펙트럼 기울기가 민감하기 때문에 차수에 따른 가중치를 부여함으로써 민감성을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 식 (9)을 이용하여 캡스트럼 계수의 가중치 (W_m) 값을 구하였다 [10],[11].

$$W_m = \left[1 + \frac{Q}{2} \sin\left(\frac{\pi m}{Q}\right) \right], \quad 1 \leq m \leq Q \dots (9)$$

3.3 패턴매칭을 위한 DTW 기법

패턴 매칭 단계에서는 입력 패턴과 참조 패턴의 시작점과 끝점을 일치시키고 비교가 가능한 동적시간교정법 (Dynamic Time Warping: DTW)을 사용하였다 [12-14]. DTW 알고리즘은 한 패턴이 다른 패턴과 최대한 일치할 때까지 시간 축을 교정함으로써 패턴간의 시간차를 제거한다. (그림 8)과 같이 서로 길이가 다른 시간 축 상에서의 비선형 신축을 허용하며, 2차원 동적 계획법과 역추적(backtracking)을 통해서 프레임별 거리를 최소화하는 경로를 찾는다. 캡스트럼 계수의 가중치가 적용된 신호는 정상신호와 각각의 비정상 신호들의 참조 패턴 중에서 특징벡터들의 차이가 최소인 패턴을 찾게 되며, 이 패턴을 이용하여 고장예측이 가능하다.

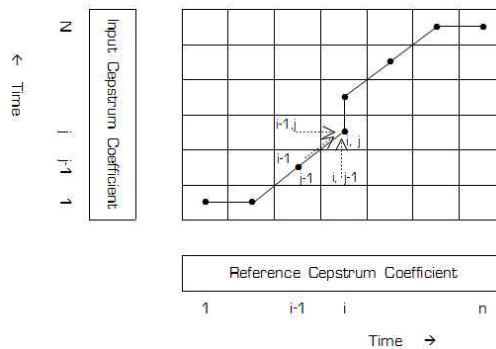


그림 8. DTW의 2차원 동적계획법
Fig. 8. Two-dimensional dynamic programming of DTW

IV. 모의실험

4.1 고장예측 알고리즘의 성능분석용 파라미터

본 논문에서 제안한 고장예측 알고리즘의 성능 분석을 위해 사용된 파라미터는 <표 1>과 같다.

표 1. 고장예측 알고리즘의 성능분석을 위한 파라미터
Table 1. Parameters for the performance evaluation of fault prediction algorithms

항목	값
고장 데이터 분류	amis - 각도 정렬불량 brs - 굽은 회전축 brb - 회전자봉 균열 fb - 베어링 결함 run - 회전자 불균형 nor - 정상 pmis - 평행 정렬불량 pun - 위상 불균형
신호원	유도 전동기
분석	시간 영역 분석, 주파수 영역분석, Cepstrum분석, 선형예측 분석
식별방법	패턴정합법
기준패턴	정규화
작성방법	평균적으로 추출한 파라미터 이용법
Cepstrum 계수의 차수	12
데이터의 길이	12초
분석 프레임의 길이	30msec
분석 프레임 중첩 길이	10msec
Sampling Frequency	8Khz

비정상 진동 신호는 인위적, 물리적 고장 재현을 통해 추출되어 본 실험에 사용되었다. 비정상 진동 신호 추출을 위한 실험 방법은 다음과 같다.

- (1) 불 평형 - 회전자에 8.4g의 불 평형 질량을 회전자에 부착하여 얻어진 진동 데이터
- (2) 정렬불량 - 축 지지대를 조절하여 편각정렬불량과 편심정렬불량의 상태를 가지게 함으로써 얻어진 진동데이터
- (3) 베어링 고장 - 여러 가지 원인 중 외륜에 고장을 발생시켜 얻어진 진동 데이터
- (4) 굽은 회전자 - 최대 0.075mm로 회전자를 굽혀서 측정된 진동 데이터
- (5) 회전자 봉의 파손과 크랙 - 34개의 회전자 봉 중에서 12개의 봉을 파손하여 얻어진 진동 데이터

4.2 실험 결과 및 성능 비교

모의실험은 유도전동기의 정상 상태 신호 및 7개의 비정상 상태 신호를 이용하여 18회 수행되었으며, <표 2>는 제안한 고장예측 알고리즘을 실험 결과를 보여준다.

표 2. 제안한 고장예측 알고리즘의 결과
Table 2. The result of the proposed fault prediction algorithm

18 input signals	category							
	nor	amis	pmis	fb	brb	br	run	pun
nor	18	0	0	0	0	0	0	0
amis	0	18	0	0	0	0	0	0
pmis	0	0	18	0	0	0	0	0
fb	0	0	0	18	0	0	0	0
brb	0	0	1	0	17	0	0	0
br	0	0	0	0	0	18	0	0
run	3	0	0	0	2	0	13	0
pun	0	0	0	0	0	0	0	18

회전자봉 균열(broken rotor bar: brb)과 회전자 불균형(rotor unbalance: run)의 비정상 상태 신호 예측 결과를 제외하고 완벽한 분류를 보여 준다. 회전자 불균형의 경우, 진동신호의 노이즈가 완벽하게 제거되지 않아 유사한 스펙트럼의 특성을 가진 정상상태 신호(normal) 신호와 회전자 불균형(run) 신호로 잘못 예측하는 경우가 발생하였다.

제안한 고장예측 알고리즘의 성능평가를 위해 동일한 조건에서 기존의 교차공분산(cross-covariance)기반 고장진단 기법 [15]과 비교하였으며 기존의 고장진단 기법의 실험 결과는 <표 3>와 같다.

교차공분산 방법은 wavelet의 변환과정을 통해 두 개의 서로 다른 랜덤신호에 대해서 얼마나 상관관계를 가지는지 판별하는 방법으로서 wavelet의 저주파 대역성분만을 가지고 정상신호와 비정상신호를 분류하는 것이 가능하지만 정확도 면에서는 현저히 떨어짐을 알 수 있다.

표 3. 교차공분산 기법을 사용한 고장예측 결과
Table 3. The result of fault prediction using a cross-covariance method

18 input signals	category							
	nor	amis	pmis	fb	brb	br	run	pun
nor	18	0	0	0	0	0	0	0
amis	0	13	0	0	0	0	0	0
pmis	0	4	14	0	0	0	0	0
fb	2	0	2	14	0	0	0	0
brb	2	0	0	0	16	0	0	0
br	7	0	0	0	0	9	2	0
run	8	0	0	0	0	0	10	0
pun	12	0	0	0	0	0	0	6

<표 4>는 제안하는 고장예측 알고리즘과 기존의 교차공분산 기법의 성능 비교를 보여준다. 제안한 고장예측 알고리즘은 기존의 알고리즘보다 약 45%의 정확도 향상을 보여 준다.

표 4. 고장예측 알고리즘의 성능 비교
Table 4. Performance comparison of fault prediction methods

parameter (18)	진단 방식에 따른 정확도 (%)	
	Cross-covariance 기법	제안된 알고리즘
amis	72	100
brs	33	100
brb	88	94
pmis	77	100
run	33	72
tb	77	100
nor	100	100
pun	44	100
전체 정확도(%)	66	96

4.3 고장예측 알고리즘을 위한 테스트베드 시스템

본 논문에서는 TI사의 TMS320F2812 DSP를 내장한 테스트베드 시스템을 제작하여 제안하는 고장예측 알고리즘을 구현하고 검증하였다. (그림 9)는 제안하는 고장예측 알고리즘용 테스트베드 시스템을 보여 준다.



그림 9. 제안한 고장예측 알고리즘용 테스트베드 시스템
Fig. 9. A testbed system for the proposed fault prediction algorithm

V. 결론

본 논문에서는 유도전동기의 고장진단을 위한 2단계 고장예측 알고리즘을 제안하였다. 첫 번째 단계에서는 고장 패턴 스펙트럼의 추출을 위해 선형 예측 부호화 (LPC) 기법을 사용하였으며, 두 번째 단계에서는 고장 패턴 스펙트럼의 매칭

을 위해 동적시간교정법 (DTW)를 사용하였다. 모의실험 결과, 제안한 고장예측 알고리즘은 96%의 고장예측 정확도를 보였다. 반면, 동일한 조건에서 기존의 교차공분산 (cross-covariance)기반 고장진단 알고리즘은 단지 66%의 정확도를 보임으로서 제안한 고장예측 알고리즘의 우수성을 입증하였다. 또한, 본 논문에서는 TI사의 TMS320F2812 DSP를 내장한 테스트베드 시스템을 제작하여 제안한 고장예측 알고리즘을 구현하고 검증하였다.

참고문헌

- [1] Sung-Suk Kim, Dae-Jeong Lee, Jang-Hwan Park, Jeong-Woong Ryu, Myung-Geun Chun "Detection and diagnosis of induction motor using conditional FCM and radial basis function network", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 14, No. 7, pp.878-882, 2004.
- [2] H. Nejari, and M. E. H. Benbouzid, "Monitoring and diagnosis of induction motors electrical faults using a current Park's vector pattern learning approach," in IEEE International Conference on Electric Machines and Drives, pp. 275-277, May 1999.
- [3] F. Zidani, M. E. H. Benbouzid, D. Diallo, and M. S. Mait-Said, "Induction motor stator faults diagnosis by a current Concordia pattern-based fuzzy decision system," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 18, No. 4, pp. 469-475, Dec. 2003.
- [4] M. Haji and H. A. Toliyat, "Pattern recognition a technique for induction machines rotor broken bar detection," IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 16, No. 4, pp. 312-317, 2000.
- [5] A. M. Trzynadlowski and E. Ritchie, "Comparative investigation of diagnostic media for induction motors : a case of rotor cage faults," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 47, No. 5, pp. 1092-1099, 2000.
- [6] Chang-Yoon Lee, Young Hoon Lee, "Study of the Noise Processing to Technique Speech Recognition System", Journal of the Korean

- Society of Computer and Information, Vol. 7, No. 2, pp. 73-78, 2002.
- [7] J. D. Markel and A. H. Gray, Jr., "Linear Prediction of Speech," Springer-Verlag, 1976.
- [8] L. R. Rabiner and R. W. Schafer, Digital Processing of Speech Signals, Prentice Hall, 1978.
- [9] P. Delsarte and Y. Genin, "The split Levinson algorithm." IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 34, No. 3, pp. 470 - 478, June 1986.
- [10] D. O'Shaughnessy, "Linear predictive coding", Potentials, IEEE, Vol. 7, No. 1, pp. 29-32, 1988.
- [11] J. Makhoul, "Stable and efficient lattice methods for linear prediction," IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 26, No. 1, p. 111, Feb. 1978.
- [12] G. M. White and R.B. Neely, "Speech Recognition Experiments with Linear Prediction, Bandpass Filtering, and Dynamic Programming," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Proc., pp. 183-188, 1976.
- [13] Sakoe, H. and Chiba, S., "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition", IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 26, No. 1, pp. 43- 49, 1978
- [14] Seok-Woo Jang, Moon-Haeng Huh, Gye-Young Kim, "Effective handwriting verification through DTW and PCA," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 14, No. 7, pp. 25-32, 2009.
- [15] Hyungseob Han, Changsu Rho, Sangjin Cho, Kabju Hwang, Uipil Chong, "Fault classification of inductor motor using cross-covariance," KISPS Conference, pp. 168-171, 2009.

저자 소개



황 철 희

2008: 울산대학교 컴퓨터공학사.
 2008: 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 석사과정 입학.
 관심분야: 임베디드 SoC, 컴퓨터 구조, 고장예측, 병렬처리
 E-mail : imus@hanmail.net



김 용 민

2009: 울산대학교 컴퓨터공학사.
 2009: 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 석사과정 입학.
 관심분야: 임베디드시스템, 컴퓨터 구조, 병렬처리
 E-mail : jafstar@nate.com



김 철 흥

1998: 서울대학교 컴퓨터공학사.
 2000: 서울대학교 컴퓨터공학부 석사.
 2006: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
 2005 - 2007년: 삼성전자 반도체총괄 책임연구원
 2007 - 현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 관심분야: 임베디드시스템, 컴퓨터구조, SoC설계, 저전력 설계
 E-mail : chkim22@chonnam.ac.kr



김 종 먼

1995 : 명지대학교 전기공학사
 2000 : University of Florida BCE 석사
 2005 : Georgia Institute of Technology ECE 박사
 2005 - 2007 : 삼성종합기술원 전문연구원
 2007 - 현재 : 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
 관심분야 : 프로세서 설계, 임베디드 SoC, 컴퓨터 구조, 병렬처리
 E-mail : jmkim07@ulsan.ac.kr