

다중주성분분석기법과 독립성분분석기법을 이용한 상태진단알고리즘 System-Diagnosis Algorithm by Using MPCA and ICA

이규호*, 공병학*, 정완섭**, 이수갑†

Lee Kyuho, Kong Byunghak, Cheung Wan-Sup, Lee Soogab

1. 서 론

일정한 환경유지를 필요로 하거나, 동일한 과업을 수행하는 시스템에서는 자기진단을 위해 다중주성분분석(MPCA) 혹은 독립성분분석(ICA) 통계기법이 쓰이고 있다. 이 통계기법들을 진공펌프 시스템의 상태/자기진단 알고리즘에 적용해 보고 그 결과를 비교한다.

2. 상태진단 알고리즘

2.1 상태진단 알고리즘의 기본 가정

시스템의 운행 초기 상태를 정상상태로 본다면 현재 시스템의 상태가 초기상태와 비교함으로써 현재상태가 정상상태에서 얼마나 벗어났는가를 판별할 수 있다. 그러나 시스템의 상태진단에 필요한 압력, 진동, 전류 등의 다수의 상태변수들의 변화를 한눈에 파악하기는 무리가 있다. 그러므로 통계기법을 사용하여 다수의 상태변수 데이터를 하나의 값(T^2)으로 변환 할 수 있다면, 현재 시스템의 상태를 T^2 의 추세변화를 통해 손쉽게 파악할 수 있을 것이고, 더 나아가 시스템이 정상상태에서 얼마나 벗어나 있는지 정량적으로 평가가 가능할 것이다.

2.2 다중주성분분석기법

상태진단에 사용되는 상태변수들은 서로 독립적인 변수가 아니다. 특히 이중 서로 강한 선형적 상관관계(Correlation)를 가진 변수들은 해의 발산을 야기한다. 다중주성분분석(MPCA)은 이러한 선형적인 상관관계를 제거하기 위해 좌표축을 회전시켜 기여도가 큰 데이터 성분을 추출하는 기법이다. 이때 고유벡터가 변환된 주좌표로 사용되며, 고유치는 각 주좌표 방향으로의 데이터 분산을 의미한다. 고유벡터와 고유근은 SVD(Singular Value Decomposition) 기법을 이

용해 간단히 구현 할 수 있다. 이후 기존데이터들을 각 고유벡터에 정사영하여 주성분들을 얻을 수 있고, 각 주성분은 고유근에 해당하는 분산을 가진다. 주성분을 T_{score} 라 하고, 고유벡터를 $P_{loading}$ 으로 명명하면 T^2 는 다음과 같이 계산된다.

$$T^2 = (T_{score})S_D(T_{score})^T = \sum_i \frac{t_{score,i}^2}{\lambda_i} \quad (1)$$

2.3 독립성분분석기법

독립성분 분석기법(ICA)은 상태변수들이 근원적 독립변수들의 조합으로 이루어져있다는 가정에서 출발한다.

$$\vec{x} = A\vec{s}, \vec{x} = \sum_{i=1}^n a_i s_i \quad (2)$$

이러한 상태변수들은, 신호가 중첩될수록 가우스분포로 수렴하며 신호를 분해할수록 가우스 분포와 멀어져간다는 중심극한정리를 통해, 가우스 분포와 가장 동떨어진 분포를 가지는 독립성분들로 분해 할 수 있다고 본다.

상태변수가 독립변수의 선형적 조합으로 이루어져 있을 경우 평균을 0으로 조정하는 Centering과정과 분산을 1로 조정하는 Whitening 과정을 거친 후 FFP(fast fixed-point algorithm)기법을 통해 Non-gaussianity를 극대화 하는 계수 행렬 W를 탐색 하여 상태변수의 조합을 독립변수로 분해 할 수 있다. 서로 독립인 변수는 선형적인 상관관계가 없으므로 바로 T^2 값을 얻는 것이 가능하다.

2.4 통계기법의 상태진단 알고리즘 적용

상태변수들을 서로 비교하기 위해 일정한 묶음(batch)을 생성한다. 일정한 시간단위로 batch를 생성하여 batch 당 하나의 대푯값(T^2)을 찾아낸다. 공정의 불연속성으로 인해 batch의 길이가 각각 다를 경우 각각의 batch의 길이를 기준이 되는 하나의 reference batch와 동일하게 조정하는 DTW(dynamic time wrapping)기법을 사용한다. 또한 상태변수는 압력, 전류, 가속도 등 전혀 다른 단위의 변수들이므로 변수간의 기여도를 동일하게 맞추는 Scaling 과정을 거치며, batch간의 동일한 평가를 위해 batch간의 평균지점을 동일하게 조정하는 Centering 과정을 추가하여 각 통계기법을 상태진단 알고리즘에 적용 가능토록 한다.

† 이수갑; 서울대기계항공공학부
E-mail : solee@snu.ac.kr
Tel : (02) 880-7384,

* 서울대 기계항공공학부

** 한국표준과학연구원

3. 진공펌프 시스템의 상태진단 알고리즘 적용

3.1 진공펌프 상태진단 시스템의 개요

진공펌프는 주 업무를 담당하는 Dry Pump와 이를 보조하는 Booster pump로 이루어져 있다. 이 시스템과 직접적인 관계를 가지는 압력, 진동(가속도), 소음, 전류를 측정하여 표 1과 같은 9가지 상태변수를 얻는다. 그리고 상태진단 알고리즘을 통하여 일정시간마다 T^2 값을 산출해 낸다. 기록된 T^2 의 추세변화를 관찰하여 사용자는 시스템의 상태변화를 파악한다.

1	Inlet Pressure
2	Booster Pump Acceleration
3	Dry Pump Acceleration X
4	Dry Pump Acceleration Y
5	Dry Pump Acceleration Z
6	Acoustic Pressure
7	Exhaust Pressure
8	Booster Pump Current
9	Dry Pump Current

표 1. 진공펌프 시스템 상태변수

3.2 진공펌프 상태진단 시스템의 실제 적용

9개의 상태변수의 RMS 값을 0.1초 간격으로 받아 20초 간격으로 T^2 값을 산출해 낸다. 각각 다른 교체사유를 가지는 3가지 경우의 데이터를 각각 MPCA기법과 ICA 기법에 기반한 통계알고리즘을 통해 T^2 선도를 산출 하였다.

번호	데이터	고장 발생 사유
CASE 1	21일	Pumping speed bad
CASE 2	27일	Pump Motor Overload
CASE 3	12일	Blower Motor Overload

표 2. 진공펌프 관찰 데이터

3.3 두 알고리즘의 적용 결과 비교

MPCA와 ICA는 선형적인 상관관계를 제거한다는 점에서 같으나, 표<3>에서 보듯 그 알고리즘의 근원적인 기반이 다르다. 그럼에도 불구하고 각각의 T^2 선도는 서로 비슷한 추세를 보인다. CASE 1처럼 T^2 의 값이 천천히 증가하는, 즉 정상상태에서 점차 벗어나는 형태와, CASE 2처럼 갑자기 이상상태를 보이는 경우, 그리고 CASE 3에서 나타나듯 정상상태에서 점차 이상 징후를 보이다 급격히 발산하는 경우 모두 두 알고리즘이 동일한 추세를 보인다.

	MPCA	ICA
기본개념	좌표축 전환	기본데이터 추출
사용통계량	2차 모멘트	4차 모멘트
사용인자	고유근, 고유벡터	Kurtosis
변수간 성질	Uncorrelation	Independence

표 3. MPCA와 ICA의 비교

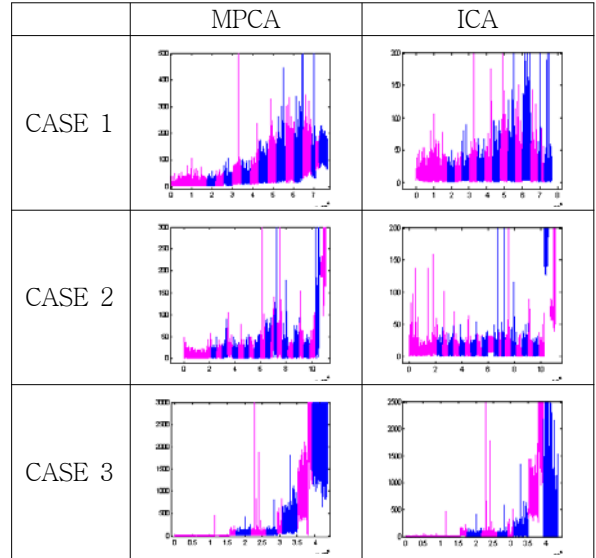


그림 1. MPCA와 ICA 기법을 이용한 상태진단 결과

그러나 MPCA와 ICA의 추세는 동일하나 그 절대값에 있어서는 전반적으로 MPCA가 큰값을, ICA가 작은 값을 가진다. 또한 ICA의 경우 분산이 아닌 분포를 다루기 때문에 이 상점에 민감하여 왜곡이 잦음을 알 수 있다.

4. 결 론

운영 중인 시스템의 현재상태가 정상상태에서 얼마나 벗어났는지를 통계기법을 통해 정량적으로 파악하려고 시도하였고, T^2 의 추세가 점차적으로 증가하다가 고장발생시 정상상태와 가장 큰 차이를 보이는 것을 확인함으로써 개발한 상태진단 알고리즘의 합리성을 입증하였다. 또한 경우의 수가 적어 단정하기에는 무리가 있으나 고장 발생사유별로 T^2 의 변화 추세가 다름을 확인하여, T^2 선도의 관찰로 고장 발생 예상시기 뿐 아니라 고장사유구명 가능성도 있음을 시사하였다.

후 기

This study is supported by Advanced Aerospace Research Institute, Seoul National University.

참 고 문 헌

- (1) Robert L. Mason, Multivariate Statistical Process Control with Industrial Application, (ASA SIAM, 2002)
- (2) Aapo Hyvarinen, Juha Karhunen, "Independent Component Analysis", Wiley Inter-Science
- (3) 성동원, 김재환, "MPCA기반의 통계기법을 이용한 진공펌프 상태진단에 관한 연구", 한국진공학회지 15권 4호 pp. 338-346