

해상 부유체의 진동 분석을 위한 AR-ARX 모델링에 관한 연구

† 임정빈 · 양원재* · 김종호** · 이동주**

† 목포해대 해상운송시스템학부 교수, *목포해대 해상운송시스템학부

요약 : 바람이나 파도에 의해서 해상 부유체의 진동이 발생하는데, 이러한 진동은 부유체와 부유체에 접안시킨 이동체 사이에 접촉을 야기하기 때문에 부유체나 이동체에 손상이 발생한다. 이 논문에서는 AR(Autoregressive) 모델과 ARX(AR with eXogenous) 모델을 이용하여 부유체에 발생하는 진동 모델링에 관해서 기술한다. 연구 방법은, 기준 잡음신호를 생성하여 기준 모델 계수를 구하고, 모의 충격신호를 생성하여 충격 모델 계수를 구한 후, 충격 신호만을 추출하여 가해진 충격의 정도를 분석 평가하였다. 본 연구는 향후 요트와 요트계류장의 안전확보 시스템 개발을 위한 기초 연구로 활용할 예정이다.

핵심용어 : 부유체, 요트 계류장, 안전진단, AR 모델, ARX 모델

2012년도 한국해양학회 춘계학술대회, 경주, 6.21-22

해상 부유체의 진동 분석을 위한 AR-ARX 모델링에 관한 연구

임정빈*, 양원재*, 김종호**, 이동주**
*목포해양대학교 교수, **목포해양대학교 해상운송시스템학부

Jeong-Bin YIM*, Won-Jae Yang*, Jong-Ho KIM**, Dong-Ju LEE**
Mokpo National Maritime University
Haeyangdaehag-Ro 91, Mokpo-si, Jeollanam-do, 530-729 Korea
jbyim@mmu.ac.kr

1. 개요

실험에 사용한 센서(2)

• 실험에 사용한 MEMS 기반 센서 SD 746의 성능 (Sensor Dynamics, 2008)

GYROSCOPE PERFORMANCE (over full temperature range, all axes)

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT	CONDITION
Rate measurement range	±2048	±1024	±512	±256	°/s
Noise density	0.06			mV/√Hz	User programmable
Bandwidth (-3dB)	10, 20, 40, 80			Hz	User programmable
Bias at 25°C	±5			°/s	
Bias drift over temperature	±5			°/s	
Sensitivity error at 25°C	±2			%	
Sensitivity drift over temp.	±5			%	
Cross axis sensitivity	±5			%	Against angular rates about other axis

ACCELEROMETER PERFORMANCE (over full temperature range, all axes)

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT	CONDITION
Rate measurement range	±8			g	
Noise density	0.28			mg/√Hz	
Bandwidth (-3dB)	10, 20, 40, 80			Hz	User programmable
Bias at 25°C	±0.1			g	
Bias drift over temperature	±0.2			g	
Sensitivity error at 25°C	±2			%	
Sensitivity drift over temp.	±5			%	
Cross axis sensitivity	±5			%	Against angular rates about other axis

Mokpo National Maritime University, KOREA

1. 개요

실험에 사용한 센서(1)

• 실험에 사용한 MEMS 기반 센서 SD 746의 내부 구성도 (Sensor Dynamics, 2008)

Mokpo National Maritime University, KOREA

2. 실험 장치 구축

구축한 실험장치

• 실험용 장치는 SD 746을 이용하여 국내 Fine Chip 회사에 제작 의뢰하여 구축한 것임

실험 장치 테스트

구축한 실험장치

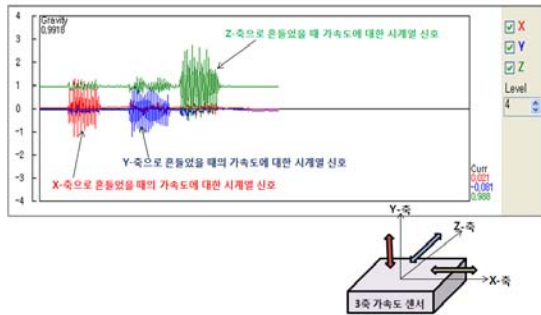
Mokpo National Maritime University, KOREA

† 교신저자(중신회원) jbyim@mmu.ac.kr

2. 실험 장치 구축

실험장치 테스트 결과(1)
(가속도 데이터 획득 실험)

• 다음과 같이 실험실에서 수작업으로 가속도 데이터 획득 여부를 실험함

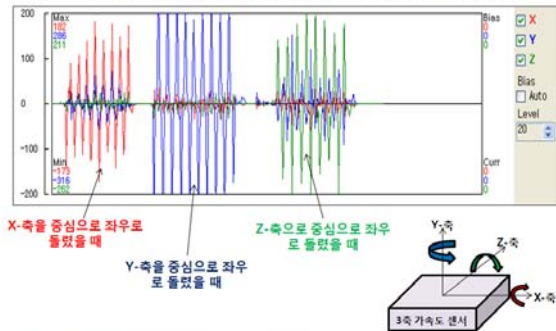


Mokpo National Maritime University, KOREA

2. 실험 장치 구축

실험장치 테스트 결과
(자이로 데이터 획득 실험)

• 다음과 같이 실험실에서 수작업으로 자이로(Gyro) 데이터 획득 여부를 실험함



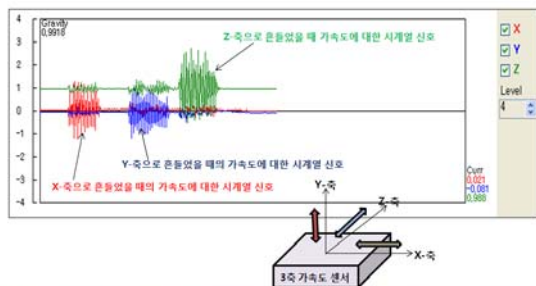
Mokpo National Maritime University, KOREA

3. AR-ARX 모델 구축

AR 기준 모델 구축(1)

1. 먼저, 참고의 기준이 되는 AR 모델을 구축한다.

1-1단계 : 다양한 충격에 대한 모델 신호를 구하기 위하여 우선, 다양한 충격을 가한 경우의 MEMS 기반 가속도 센서에서 x, y, z의 3축 가속도에 대한 시계열(time series) 신호를 획득한다.



Mokpo National Maritime University, KOREA

3. AR-ARX 모델 구축

입력신호에 대한 AR 모델 구축

2. 다음에는 실제 현장에서의 신호를 획득하여 또 다른 AR 모델을 구축하여, 기준이 되는 AR 모델과 차이를 검증한다.

2-1단계 : m 개의 블록으로 구분한 새로운 이산 신호 $\hat{y}^m(k)$ 를 MEMS 기반 가속도 센서에서 획득하여 위의 3단계와 마찬가지로 AR 모델을 구한다.

$$\hat{y}^m(k) = \sum_{j=1}^k \phi_j^m \hat{y}^m(k-j) + e_j^m(k)$$

2-2단계 : 상기 1-3단계의 $\hat{x}^m(k)$ 와 2-1단계의 $\hat{y}^m(k)$ 를 다음 식으로 비교하여 차이를 검증한다.

$$\hat{z}^m(k) = \sum_{j=1}^k (\phi_{y_j}^m - \phi_{x_j}^m)^2$$

- 상기의 결과가 만약 0이 되면, 현재 입력된 신호와 기준 신호는 일치함을 의미하고, 따라서 현재 요트 계류장의 상황은 기준 신호에 해당하는 상황임을 예측할 수 있다.
- 만약, 위의 결과가 1이 되면, 현재 입력된 신호와 기준 신호는 서로 다른 신호임을 알 수 있고, 따라서, 이미 알고 있는 기준 신호에 해당하지 않는 새로운 상황이 발생함을 의미 한다.
- 이와 같이 어떠한 기준 신호와도 일치하지 않는 새로운 상황에 대해서 적합한 기준 신호를 새로 만들어서 새로 들어온 신호와 비교하는 방법이 ARX 모델이다.

Mokpo National Maritime University, KOREA

3. AR-ARX 모델 구축

ARX 모델 구축

3. 기준 신호를 사용할 수 없는 새로운 상황에 대응하기 위한 ARX 모델을 구한다.

3-1단계 : 우선 새로운 상황을 반영한 기준 신호를 만들기 위하여 다음과 같은 ARX 모델을 이용한다.

$$\hat{x}^m(k) = \sum_{i=1}^a \alpha_i^m \hat{x}^m(k-i) + \sum_{j=1}^b \beta_j^m e_j^m(k-j) + e_x^m(k)$$

α, β : ARX 계수 a, b : ARX 모델의 차수

$e_x^m(k)$: $x^m(k)$ 와 $e_j^m(k)$ 에 대한 ARX(a,b) 모델의 최종 잔차

3-2단계 : 그리고 3-1에서 구한 ARX(a,b) 모델이 잘 구현되었는지를 새로 입력된 신호를 대상으로 평가한다.

$$e_y^m(k) = \hat{y}^m(k) - \sum_{i=1}^a \alpha_i^m \hat{y}^m(k-i) - \sum_{j=1}^b \beta_j^m e_j^m(k-j)$$

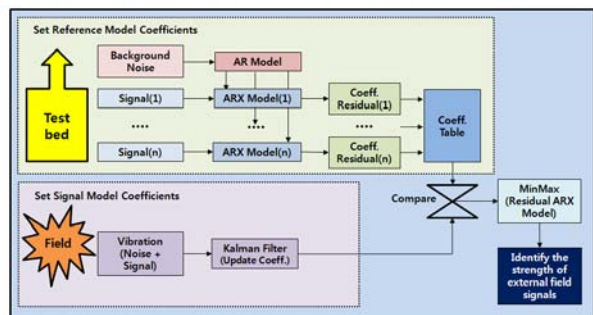
- 여기서, $e_y^m(k)$ 는 앞의 2-1단계에서 구한 AR 모델에서의 오차로 고려할 수 있다.
- 그리고, 만약 $e_x^m(k)$ 과 $e_y^m(k)$ 에 대한 표준편차 $\sigma(e_x^m)$ 와 $\sigma(e_y^m)$ 의 비율을 계산하여 ARX(a,b) 모델이 적합한지를 평가할 수 있다.
- 만약 이 비율이 1보다 크면, 환경이 변했음을 의미하는 바, 새로운 환경에 적합한 ARX(a,b) 모델을 새로운 기준으로 정한다.

Mokpo National Maritime University, KOREA

4. AR-ARX 모델 문제점

AR-ARX 모델링 방법

■ AR-ARX 모델은, 다음 같이 기준 모델과 신규 신호에 대한 모델을 비교하는 방법(K. C. Lu, 2008)



Mokpo National Maritime University, KOREA

4. AR-ARX 모델 문제점

AR-ARX 모델 적용시 문제점

- AR-ARX 모델을 이용하는 방법은 다음과 같다.
 - (1) 우선, 기준이 되는 신호를 획득하여 기준 AR 모델을 구하고, 신규 입력 신호에 대해서도 AR 모델을 구한다.
 - (2) 그리고 신규 입력 신호에 대한 AR 모델과 동일한 기준 AR 모델을 찾아서, 신규 입력 신호에 대한 환경을 정하는 방법임
 - (3) 즉, 미리 기준 환경을 정해 두고, 입력 신호를 평가하여 어느 기준 환경에 대한 신호인지를 찾는 탐색적 방법임
- 이를 위해서는 기준 환경에 대한 기준 모델을 만들어야 하는데, 특수한 실험장치가 필요한데, 장비 구축 비용보다 훨씬 고가이고, 이 장치 제작에 긴 시간이 소요됨
- 본 연구에서는 다양한 환경에 실험장치를 노출시킨 후, 충분한 상황별 데이터를 획득하여 통계적으로 입력된 신호의 환경을 추측하는 기법을 제안함

Mokpo National Maritime University, KOREA

결론

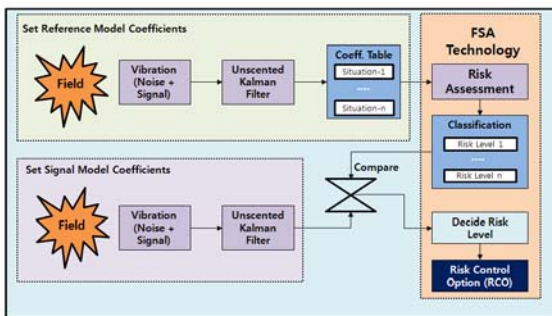
- > 본 연구는, 목표항 설치 요트 계류장과 요트의 손상, 이탈, 침수 등의 사고를 예방하기 위한 위기관리 시스템(Risk Management System) 개발이 목적이고, 이 시스템은, 요트 계류장의 건강 상태를 실시간으로 Monitoring하기 위한 것임
- > 본 논문에서는, 실험장치를 구축하여 이 데이터를 기준 AR-ARX 모델에 적용한 후, AR-ARX 모델 적용시의 문제점을 검토하여 새로운 FSA 기반 통계적인 방법을 제안하였음
- > 검토 결과, 새로 제안한 방법은 기존 AR-ARX 모델을 적용하는 경우 요구되는 고가의 실험장비가 필요 없으며, 현장에서 획득한 데이터를 그대로 사용하는 간단한 방법임을 확인하였음
- > 단, 제안한 방법은, 장기간 현장에 실험장치를 구축한 후, 많은 데이터를 확보하여 통계적인 모델을 구하는 것이 문제로 고려됨
- > 현재 연구가 진행 중인 바, 향후 실험결과를 논문에 게재할 예정임

Mokpo National Maritime University, KOREA

5. 새로운 방법 제안

통계적 기법을 적용하는 방법

■ 제안한 방법은 IMO의 FSA에 기반하여 통계적인 방법으로 요트 계류장의 손상 위험 여부를 판단

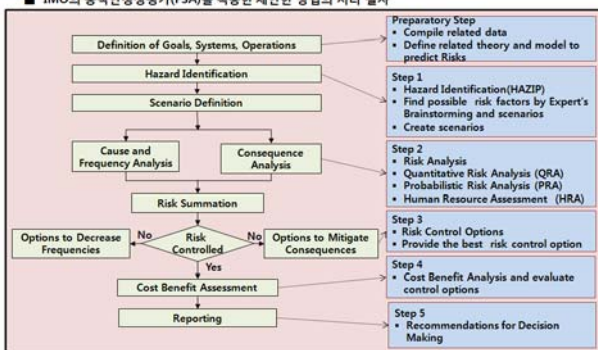


Mokpo National Maritime University, KOREA

5. 새로운 방법 제안

FSA 기반 연구 접근 절차

■ IMO의 공식안전성평가(FSA)를 적용한 제안한 방법의 처리 절차



Mokpo National Maritime University, KOREA

후기

이 논문은 2012년도 국토해양부지정 호남지역 씨그랜트 센터의 연구개발사업 과제지원에 의해 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] Hoon Sohn, Charles R. Farrar, Norman F. Hunter and Keith Worden(2001), "Structural Health Monitoring Using Statistical Pattern Recognition Techniques," ASME, Vol. 123, pp. 706-711
- [2] K. C. Lu, C. H. Loh, Y. S. Yang, J. P. Lynch and K. H. Law(2008), "Real-Time Structural Damage Detection using Wireless Sensing and Monitoring System," Smart Structures and Systems, TechnoPress, Vol. 4(6), PP.759-778.
- [3] Sensor Dynamics(2008), *Technical paper for Fail-Safe Micro-mechanical Angular Rate Sensor*, www.sensordynamics.cc
- [4] Sensor Dynamics(2011), SD746 - 6DOF Inertial Measurement Unit(3D Gyro + 3D Accelerometer) Product Datasheet v1_0.doc Revision 1.0, www.sensordynamics.cc