

# MEMS 가속도 센서를 사용한 지진 관측망 운영 사례

신주용, 황의홍\*, 이장수, 권영우  
경북대학교, \*기상청

foretrouge7@knu.ac.kr, \*hkawon1@korea.kr, dellhart@knu.ac.kr, ywkwon@knu.ac.kr

## Earthquake Detection Network Based on MEMS Acceleration Sensors Operational Case Study

Shin Ju Yong, Hwang Eui Hong\*, Lee Jang Soo, Kwon Young-Woo  
Kyungpook National University, \*Korea Meteorological Administration.

### 요 약

CrowdQuake 는 MEMS 가속도 센서를 기반으로 하는 지진 관측망으로, 약 1 년 동안 운영되며 지진을 관측하였다. 시스템에 사용 중인 2300 여 개 가속도 센서에서 5 일간 매일 자정 한 시간 데이터를 이용해 분석한 결과 약 1.5%에 해당하는 34 개의 센서를 제외한 거의 모든 센서가 정상 동작함을 파악하였다. 실제 지진을 분석한 결과로는 2 월 15 일 군산 지역에서 발생한 지진은 실제 진앙과 근사한 위치를 추정하는 것을 볼 수 있었다. 하지만 4 월 19 일 흑산도 인근 해역에서 발생한 지진은 현재 시스템이 진앙을 추정하는 방식의 문제로 인해 진앙지 결정이 어렵다는 점을 확인하였다. 향후 연구로 가속도 센서를 활용한 시스템에서 정확한 진앙지 추정을 할 수 있는 알고리즘에 대해 연구하고 적용하여 CrowdQuake 의 지진 감지 성능을 향상하고자 한다.

### I. 서 론

지진 조기 경보는 지진이 도달하기 전 경보를 전파함으로써 피해를 줄이는 기술이다. 현재 기상청은 지진 감지를 위해 전국에 265 개소의 지진관측소를 운영하고 있다.[1] 관측소의 수를 늘리면 경보의 신속성과 정확도를 높일 수 있지만 비용 문제와 설치, 운용 등 여러 제약이 따른다. 이를 극복하기 위해 발전된 IT 기술 및 MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems) 가속도 센서를 활용한 지진 조기 경보에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

CrowdQuake 는 MEMS 가속도 센서를 기반으로 하는 지진 관측망이다.[2] 2019 년 대구, 경북 지역에서 스마트폰을 기반으로 한 파일럿 테스트를 수행했고, 이후 IoT(Internet of Things) 장치를 기반으로 한 전국적인 지진 관측망을 약 1 년간 운영하며 지진을 관측했다.

기존의 기상청 지진계에 비해 높은 잡음 수준을 보이는 MEMS 센서를 대규모로 운영하기 위해 CrowdQuake 는 머신러닝과 딥러닝 기술을 적용하였다. 센서의 잡음 수준 분석을 위해 머신러닝 기반 모델을 이용하고, 딥러닝 학습 모델로 지진을 판별한다.

본 논문에서는 CrowdQuake 의 지진 감지 성능과 지진 감지 사례를 중심으로 분석하고 MEMS 기반 지진 관측망이 지진 관측에 하나의 대안이 될 수 있음을 보인다.

CrowdQuake 는 지진이 발생하지 않은 시간에 수집한 잡음 데이터로 센서의 지진 감지 성능을 분석한다. 하지만 현재 설치된 약 2300 개의 센서에 대해 수동으로 파악하는 것은 그 환경의 다양성과 규모로 인해 불가능하다. CrowdQuake 는 K-Means clustering 알고리즘을 바탕으로 센서 잡음 분석 모델을 학습하여 센서의 성능 분석을 자동적으로 수행한다.[3]

분류 모델은 잡음 수준의 평균적인 세기와 지진이 아닌 다른 잡음이 빈번하게 발생할 수 있는지를 기준으로 Green(안정), Yellow(양호), Red(불안정) 그룹으로 분류한다. 그리고 이를 각 센서의 X, Y, Z 축에 대해 총 6900 여 개 채널을 분석한다. 그림 1 은 5 월 19 일부터 23 일까지 5 일간 매일 자정에 기록된 데이터를 등급별로 분류한 후, 등급별 채널 개수의 변화를 나타낸 그래프이다.

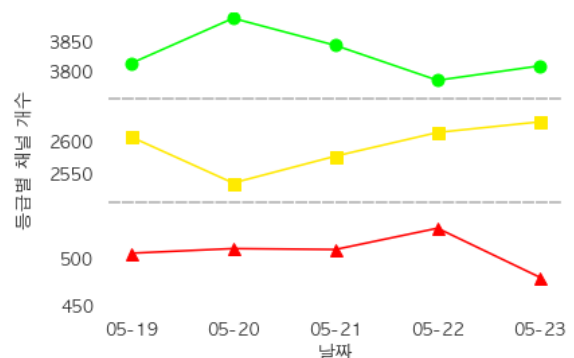


그림 1. 5 일간 센서 등급 변화

### II. 본론

#### 1. 센서 감지 성능 분석

표 1. 5 일간 Red 등급 판정 횟수

	0 번	1 번	2 번	3 번	4 번	5 번
X 축	2012	79	47	30	22	125
Y 축	2044	76	39	32	27	97
Z 축	2082	61	45	23	19	85

표 2. 5 일간 Red 등급 지속일 분포

	1 일	2 일	3 일	4 일	5 일
X 축	12	73	53	40	125
Y 축	5	71	67	31	97
Z 축	13	61	50	24	85

위에서부터 각각 Green, Yellow, Red 등급을 나타내는데, 약 55%의 채널이 Green 등급, 약 37%가 Yellow 등급으로 분류되었다. CrowdQuake 는 Yellow 등급 이상으로 분류된 약 92% 채널 데이터를 지진 판별에 활용한다.

추가로 기간 중 한 번 이상 Red 등급을 받은 약 8%의 채널에 대해 분석을 수행하였다. 표 1 은 5 일간 축 별로 Red 등급 판정을 센서의 개수이고 표 2 는 센서별 Red 등급의 지속일수를 요약하였다. 분석 결과 2000 여 개의 센서는 5 일동안 한 번도 Red 등급을 받지 않았고, 나머지 센서는 Red 등급을 받더라도 며칠 내에 Red 등급을 벗어나는 경향을 보였다. 특정 축에서 5 일 모두 Red 등급을 받은 센서는 195 개로 전체 센서 중 약 8%의 센서는 특정 축의 데이터로 지진 감지를 할 수 없음을 확인했다. 또한, 모든 축에서 5 일간 Red 등급을 받은 센서는 34 개로 약 1.5% 비율로 나타난다.

전체 축에서 문제가 발생하는 센서는 불량 센서, 혹은 설치 환경으로 인한 문제가 있는 것으로 파악된다. 하지만, 특정 축의 등급이 변하는 것은 지속적으로 발생하는 현상으로 보인다. 따라서 CrowdQuake 는 지진 감지 시에 모든 축을 사용하는 것이 아닌, 특정 축만을 사용하여 지진 감지를 수행하는 방법에 대해 연구하고 있다.

## 2. 지진 감지 및 진앙지 추정 사례 분석

우리나라에는 2020 년 한 해동안 총 860 회의 지진이 발생했는데, 규모 3.0 이상 지진이 5 회로 대부분이 작은 규모의 지진이었다.[4] CrowdQuake 의 센서는 자체 잡음 수준으로 인해 소규모 지진의 P 과 시작점을 확인하는 것이 어렵다. 따라서 PS 시를 사용한 분석과 같이 기존의 관측망에서 사용하는 진앙지 추정 방식을 사용하지 않으며, 대신 지진을 감지한 센서의 중앙점을 진앙지로 추정한다.

그림 2, 3 은 실제 발생한 지진에 적용하여 진앙지를 추정한 결과를 나타낸 지도이다. 검은 별은 기상청에서 발표한 진앙의 위치, 푸른 삼각형은 지진을 감지한 CrowdQuake 센서, 붉은 별은 센서 위치를 기반으로 근사한 진앙의 위치이다.

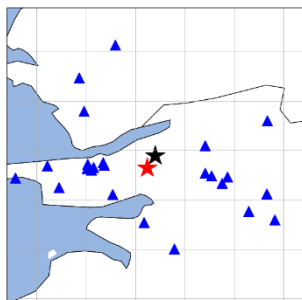


그림 2. 내륙 지역 지진

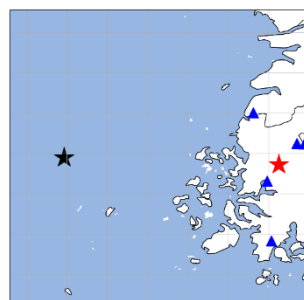


그림 3. 해양 지역 지진

그림 2 는 2 월 15 일 전북 군산 지역에서 발생한 지진 분석 결과이다. 내륙 지역에서 지진이 발생한 경우에는 센서가 진앙 주변을 둘러쌀 수 있기 때문에 센서의 위치를 사용해 알아낸 진앙이 실제 진앙과 근사한 위치를 가리킨다. 반면, 그림 3 은 4 월 19 일 전남 흑산도 인근 해역에서 발생한 지진으로, 센서가 진앙지를 사방에서 감쌀 수 없는 지역에서 발생한 경우 지진을 감지한 센서의 중앙점을 진앙지로 추정하는 방법을 동일하게 적용하면 진앙의 위치를 제대로 추정할 수 없는 문제가 생긴다.

해양 지역은 센서를 조밀하게 설치할 수 없어 진앙지 추정 시 문제가 발생하나, 센서가 조밀하게 설치된 내륙 지역에서 발생한 지진의 경우 실제 진앙지와 근사한 위치를 추정할 수 있다. 따라서 MEMS 센서 환경에서 해역에서 발생한 지진의 진앙을 추정을 위한 추가적인 알고리즘에 대한 연구와 적용이 필요하다.

## III. 결론

본 논문에서는 CrowdQuake 의 1 년의 운용 경험을 바탕으로 MEMS 가속도 센서의 성능 변화를 살펴보았다. 또한, 진앙지를 근사하게 추정하는 데 성공한 사례와 그렇지 못하는 사례를 보였다.

Crowdquake 는 시추형 지진계와 같은 고성능의 감지기가 아닌 MEMS 센서를 사용했고 건물 등 인위적인 잡음이 발생하는 환경에 설치되었다. 하지만 5 일간의 관측 기간 중 약 92%의 샘플이 분석에 활용될 수 있는 수준으로 나타났다. 5 일간 모든 축에서 Red 등급을 받아 문제가 되는 센서는 전체 센서 2300 여 개의 1.5% 수준임을 주기적인 센서 모니터링을 통해 알아냈다.

MEMS 센서는 비용 면에서 강점을 가지지만 저가 센서의 한계로 인해 PS 시를 이용한 진앙의 위치 결정이 어렵다. 이에 지진 위치 결정 알고리즘에 대한 추가적인 연구와 적용의 필요성이 존재한다. 이러한 사례를 바탕으로 수정 보완하여 시스템의 지진 감지 성능을 더 향상한 CrowdQuake+ 를 연구중에 있다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 지진·지진해일·화산감시 및 예측기술 개발 과제 (과제번호 1365002988)의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 기상청, "국가 지진관측망도," 2021, ([https://www.kma.go.kr/aboutkma/biz/earthquake\\_volcano\\_02.jsp](https://www.kma.go.kr/aboutkma/biz/earthquake_volcano_02.jsp)).
- [2] Xin Huang, Jangsoo Lee, Young-Woo Kwon, and Chul-Ho Lee, "CrowdQuake: A Networked System of Low-Cost Sensors for Earthquake Detection via Deep Learning," in *Proc. ACM SIGKDD*, pp. 3261-3271, 2020.
- [3] Jangsoo Lee, and Young-Woo Kwon, "Clustering MEMS Acceleration Sensor using K-Means Clustering Based on Their Quality," *통신정보 합동학술대회(JCCI)*, 2021.
- [4] 기상청, "2020 지진연보," pp. 1-5, 2020, ([https://www.kma.go.kr/download\\_01/earthquake/earthquake\\_2020.pdf](https://www.kma.go.kr/download_01/earthquake/earthquake_2020.pdf)).