

이벤트 패킷을 이용한 지진관련 데이터의 추출

임인섭*, 정순기**

Earthquake-related Data Selection using Event Packets

In-Seub Lim*, Soon-Key Jung**

요약

본 논문에서는 지진 기록계에 할당된 우선순위에 따라 가장 먼저 수신되는 이벤트 패킷으로부터 실제 지진과 연관된 패킷만을 추출하여 진앙을 추정하는 기법을 제안한다. 각 관측소의 지진 기록계로부터 수신된 이벤트 패킷의 신호 시간, 신호 주기 및 SNR 등을 통계적 방법으로 평가하여 실제 지진의 P파와 연관된 패킷을 추출한다. 그리고 초동 P파의 도달시간을 이용한 진앙 추정기법을 이용하여 P파와 연관된 패킷으로부터 진앙을 추정하였다. 2007년 기상청에서 발표한 국내 지진에 대하여 해당 일자의 이벤트 패킷을 이용하여 본 논문에서 제안한 P파 연관 패킷의 추출과 진앙을 추정하였다. 지진 감지 네트워크 내에서 발생한 지진의 경우 4개 이상의 관측소로부터 이벤트 패킷이 도착한 후에 매우 작은 오차 범위 내에서 진앙이 결정되는 것으로 확인되었다. 각 관측소간의 평균거리를 감안하여 타 관측기관의 이벤트 패킷을 이용할 경우에 더욱 빠른 진앙 결정과 지진경보 발령이 가능한 것으로 검증되었다. 따라서 본 연구의 결과는 국내 지진 조기 경보체계의 구축에 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract

In this paper, we propose a method for selecting meaningful event packets from which can receive before anything else from seismograph according to allotted priority and estimate epicenter using selected packets. Event packets which received from each station will be evaluated with their onset time, signal period and SNR by statistical method and will be selected packets related with real earthquake's P-wave. And estimated epicenters using by 'Application of epicenter estimation using first P arrivals'. With local earthquakes occurred in 2007 were announced by KMA, collected event packets on earthquake happened date and selected p-wave related packets and estimated epicenter. After result of experiment, if an earthquake occurred within seismic networks, can estimate epicenter with small misfits just after event packets arrived from above 4 stations. Considering average distance of each station, in case of using all stations' data include other organization, can estimate and alert rapidly. It show this method is useful when construct a local earthquake early warning system later.

▶ Keyword : earthquake, EEW(Earthquake Early Warning), MHD(Murdock-Hutt Detector), epicenter estimation. event packet.

• 제1저자 : 임인섭 교신저자 : 정순기

• 접수일 : 2008. 8. 5, 심사일 : 2008. 9. 19, 심사완료일 : 2008. 11. 26.

* 한국지질자원연구원 지진연구센터 선임기술원 ** 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교수

※ 이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

I. 서론

많은 인명과 재산 피해를 유발할 수 있는 중·대형 크기의 지진 발생을 예측한다는 것은 현재까지 불가능한 것으로 알려져 있다. 지진 발생 시 최단 시간 내에 발생 시각, 위치 및 크기 등의 지진요소를 결정하는 것은 지진에 의한 2차 피해를 최소화하는데 매우 중요하다[1]. 국내·외에서 일정한 규모 이상의 지진이 발생할 경우 지진파가 감지된 각 관측소 데이터를 분석하여 지진 발생 위치와 규모 등을 계산하고 경보를 발령할 수 있는 지진 조기경보 시스템에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[2][3][4][5]. 미국은 지진이 자주 발생하는 캘리포니아 주 지역에 설치한 수백 개의 지진 관측소로부터 실시간 데이터를 수신하여 이벤트를 감지하고 조기 경보를 발령할 수 있는 시스템을 구축, 시험 중에 있다[6]. 일본은 전국에 걸쳐 설치된 750개 이상의 고감도 시추공 지진 기록계들로부터 데이터를 수신, 지진요소를 결정하고 조기경보를 발령하는 EEW(Earthquake Early Warning) 시스템을 구축하여 2007년 10월부터 대국민 서비스를 수행하고 있다[7]. 지진 조기경보 체계는 데이터 처리의 신속성과 함께 처리결과의 정확성이 매우 중요하므로 이 두 분야의 성능 향상에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 신속한 결과 획득을 위하여 일본 및 미국에서는 센서에 의해 생성되는 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 그 즉시 데이터를 데이터 통합 센터로 전송하는 지진 기록계를 설치, 운영하고 있다. 우리나라의 경우 고감도 센서가 설치된 모든 관측소에는 Q4128이나 Q730 등의 지진 기록계가 설치되어 있기 때문에 감지된 원시 데이터의 즉시 전송이 불가능하다. 따라서 원시 데이터를 이용한 진앙 결정은 각 관측소로부터 원시 데이터가 도착할 때까지 기다려야 한다. 본 연구에서는 지진 기록계로부터 원시 데이터의 전송에 앞서 데이터 통합 센터에 도착하는 이벤트 패킷을 평가하여 실제 지진의 P파와 연관된 패킷을 추출하고 이를 이용하여 지진발생 시각과 위치를 추정하는 기법을 제안하고자 한다.

제 2장에서는 각 관측소의 지진 기록계에서 작동하는 이벤트 탐지기의 기능에 대하여 기술하고, 제 3장에서는 각 관측소로부터 전송된 이벤트 패킷의 처리과정에 대하여 기술한다. 제 4장에서는 이벤트 패킷으로부터 P파와 연관된 데이터를 추출하여 진앙을 추정하는 기법과 실험에 대하여 기술한다. 그리고 제 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

II. 이벤트 탐지기

2.1 지진 기록계

국내 대부분의 지진 관측소에는 미국 Quanterra사제품으로 Motorola 6800 CPU와 OS-9 운영체제가 탑재된 Q4128 또는 Q730 지진 기록계가 설치, 운영되고 있으며[8], 근래에는 Q330이나 영국 Guralp사의 지진 기록계가 보급되고 있다. 최근에 보급되고 있는 지진 기록계는 센서로부터 전달받은 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시키고 매 초마다 데이터를 전송하는 기능을 갖고 있다. 이에 반해 Q4128, Q730 등 기존에 설치된 지진 기록계들은 네트워크 대역폭을 고려하여 512바이트 크기의 패킷에 steim-2라는 압축방식을 적용하여 많은 데이터를 한 번에 압축, 전송한다. 따라서 100sps(sample per second)인 경우 평균 4~5초, 20sps인 경우 평균 20~30초의 전송 지연 시간이 발생한다. 즉 원시 데이터의 수신에 일정한 시간이 소요되며, 진앙 결정에 필수적인 최소 개수의 관측소들로부터 원시 데이터를 모두 수신하기까지는 비교적 많은 시간이 소요된다.

원시 데이터의 수신 이전에 각 관측소 부지의 지진동 특성을 제공하기 위해 Q4128 및 Q730 지진 기록계는 매 초마다 채널별로 특성 데이터를 전송시킬 수 있는 DSS(Data Subscription Service)를 지원하고 있다[9]. DSS 데이터를 이용할 경우 매우 짧은 시간 내에 지진 발생 위치, 시간 및 지진동 크기를 대략적으로만 확인할 수 있다[1][10]. 그러나 DSS는 전처리 과정 없이 원시 데이터를 순차적으로 조사하여 일정한 시간 내에(주로 1초) 데이터의 최대, 최소 및 평균(MMA: Maximum, Minimum, Average) 값만을 전송하기 때문에 정확한 지진요소의 결정보다는 대략적인 지진 발생 지역 정보만을 제공할 수 있다.

대략적인 정보 제공의 한계와 전송 지연 문제를 해결하기 위하여 Q4128과 Q730 지진 기록계에 이벤트 탐지기가 작동한다. 관측소의 기록계에서 수직 성분의 원시 데이터에 대한 조사를 수행한 후 일반적인 잡음 수준을 넘어서는 신호를 포착하여 이벤트 패킷을 생성, 전송하고 있다. 이벤트 탐지기는 간단한 알고리즘을 이용하여 원시 데이터로부터 특정 이벤트 정보를 추출하고 이벤트패킷을 생성한다[9]. 국내에 설치된 Q4128이나 Q730의 경우 STA(Short Term Average)/LTA(Long Term Average)와 MHD(Murdock-Hutt Event Detector)의 이벤트 감지기를 지원하고 있다. 사용자의 선택 사항이지만 현재 국내 관측소의 지진 기록계는 MHD를 기본적으로 탑재하고 있다[9]. MHD에 의해 원시 데이터로부터 검출된 이벤트 정보는 패킷으로 조직되며, 이 패킷

의 전송에 가장 높은 우선순위가 할당되므로 이벤트 패킷이 원시 데이터보다 먼저 데이터 통합센터로 전송된다.

2.2 Murdock-Hutt 이벤트 탐지기

미국 Quanterra사의 Q4128이나 Q730 지진 기록계에 탑재되어 있는 MHD는 1983년에 제안되어 사용되고 있다. MHD는 실시간 이벤트 감지기로써 원시 데이터에서 band-pass filter를 거친 데이터를 대상으로 상대적인 최대·최소값을 이용하여 시간적으로 연속적인 P-T(Peaks and Troughs) 데이터를 생성하며, 데이터 분포도의 측정값과 미리 입력된 임계값과의 비교를 통하여 이벤트를 감지한다[11]. 또한 이벤트가 감지된 시점에서의 P-T 데이터를 측정하여 그 시점에서의 배경 잡음(background noise), 최대 신호 진폭(maximum signal amplitude), 신호 주기(signal period) 및 신호 대 잡음 비율(SNR: Signal Noise Ratio) 등의 정보를 추출하여 전송한다. 현재 국내에서 사용하고 있는 대부분의 지진 기록계는 다음 <표 1>과 같은 band pass filter를 사용하고 있으며 각 필터에 대한 특성은 지진 기록계의 환경 설정 시 파일에 정의된다(표 2). 원시 데이터에 해당 filter를 적용시키고 P-T데이터를 생성한 후, 다음 <표 3>과 같은 임계값과 비교하여 이벤트를 탐지한다.

표 1. MHD를 위한 기본 필터
Table 1. Default filter for MHD

Name	대상	Band	Type
I100H1L12	속도 100 sps	1.25-12.5 Hz	IIR
SPWVSS	속도 20 sps	0.95-1.33 Hz	IIR
LPSRO	속도 1 sps	0.02-0.04 Hz	IIR

표 2. I100H1L12 필터의 특성
Table 2. Characteristic of I100H1L12 filter

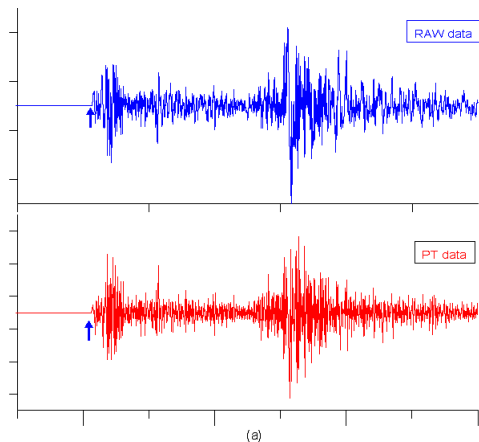
I100H1L12 필터의 특성
2 rate=100, cut=1.25, Butt, high pass
'A(i)' coefficients:
9.459768e-01 -1.891953e+00 9.459768e-01
'B(i)' coefficients:
1.000000e+00 1.889033e+00 -8.948743e-01
2 rate=100, cut=12.50, Butt, low pass
'A(i)' coefficients:
9.763107e-02 1.952621e-01 9.763107e-02
'B(i)' coefficients:
1.000000e+00 9.428090e-01 -3.333333e-01

표 3. MHD 관련 기본 설정값
Table 3. Default value of MHD configuration

대상	fhi	flo	iw	nht	x1	x2	x3	xx	tc	wa	av
속도 100	2	40	160	4	66	46	8	13	500	3000	8
속도 20	2	40	160	4	33	23	8	13	500	500	8
속도 1	2	60	120	4	24	20	16	20	15000	3600	2
가속도100	2	40	160	4	66	46	8	13	500	3000	8
가속도 20	2	40	160	4	33	23	8	13	500	500	8
가속도 1	2	60	120	4	24	20	16	20	15000	3600	2

다음 <그림 1>은 100sps 원시 데이터(파란색)에서 band-pass filter를 거친 데이터를 대상으로 생성된 P-T 데이터(빨간색)와 탐지된 이벤트 시각(파란색 화살표)을 나타낸다. 그림의 아래 부분은 이벤트가 감지된 부분을 확대하여 표시하였다.

위와 같이 생성된 이벤트 패킷은 지진 기록계의 CPU에 할당된 우선순위에 따라 원시 데이터보다 먼저 데이터 통합센터로 전송된다. 다음 <표 4>는 지난 2008년 1월 1일 오전 6시 33분 33초 함경남도 장진 남남서쪽 21Km 지역에서 발생한 지진(기상청 발표)에 대하여 한국지질자원연구원 지진 관측소에서 감지된 이벤트 패킷과 20sps(BHZ, SLZ), 100sps(HHZ, ELZ) 원시 데이터의 수신 순서를 수신 시스템의 시각을 기준으로 나타내고 있다. 이벤트 패킷(EVT)은 원시 데이터(RAW)보다 먼저 전송되고 있다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 원시 데이터를 이용한 진앙 추정방법보다는 이벤트 패킷을 이용한 진앙 추정방법이 보다 빠른 결과를 얻을 수 있다는 것이 확인되었다.



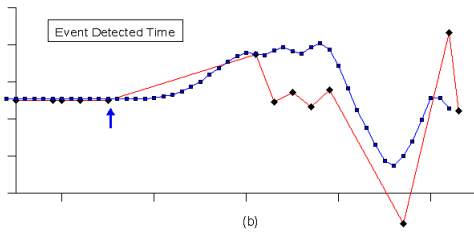


그림 1. 원시 데이터와 P-T 데이터의 비교
Fig 1. Comparison between raw data and P-T series

표 4. 패킷의 도달 순서

Table 4. Sequence of packets arrival

관측소	채널	수신시간 (분:초)	데이터시간 (분:초)	samples
KSA	HHZ(EVT)	34:06.192	34:04.703	0
	HHZ(RAW)	34:08.343	34:00.842	419
	BHZ(RAW)	34:20.712	33:59.237	305
KHD	ELZ(EVT)	34:16.702	34:15.396	0
	ELZ(RAW)	34:21.062	34:13.676	412
	SLZ(RAW)	34:34.051	34:12.891	318
SNU	ELZ(EVT)	34:27.821	34:25.973	0
	ELZ(RAW)	34:31.841	34:25.432	333
	SLZ(RAW)	34:34.751	34:11.717	340
BRD	HHZ(EVT)	34:31.012	34:28.699	0
	HHZ(RAW)	34:34.371	34:27.969	326
	BHZ(RAW)	34:41.871	34:20.634	300

이벤트 패킷은 원시 데이터로부터 추출된 이벤트 정보를 포함하고 있으며, 이는 국제적으로 많이 사용되는 지진 데이터 공유를 위한 프로토콜인 SEED(Standard for the Exchange of Earthquake Data) 매뉴얼에 Blockette 201번 'Murdock Event Detection Blockette'으로 정해져 있다[13]. 다음 <표 5>는 MHD에 의해 원시 데이터로부터 추출된 이벤트 정보를 나타낸다. 패킷의 내용 중 'event detection flag'는 의미 있는 최초 신호의 방향성 즉 상(Compression) 또는 하(dilatation) 값을 갖는다. 각 관측소에서 감지된 지진 신호의 이러한 방향성을 분석하면 지진 발생의 원인이 되는 단층의 움직임을 확인할 수 있다. <표 5>의 이벤트 정보는 지진의 진앙뿐만 아니라 지진 규모나 지진발생 메커니즘 등의 지진요소 분석에도 사용될 수

있을 것으로 판단된다.

표 5. 이벤트 패킷의 내용
Table 5. Contents of event packets

이벤트 정보	의미
signal amplitude	신호 진폭
signal period	신호 주기
background noise estimate	배경 잡음 추정
signal onset time	신호 시작 시점
signal-to-noise ratio value	신호 대 잡음 비율
event detection flag	최초 신호의 방향성

한편 각 지진 관측소의 주변 환경이나 센서, 지진 기록계 등의 하드웨어적인 특성에 따라서 탐지되어 전송되는 이벤트 패킷의 개수에 많은 차이를 보이고 있다. 전송된 이벤트 패킷 중에서 실제 지진과 관련된 패킷만을 추출해야하며, P와 연관 패킷의 정확한 추출은 진앙 및 지진요소 분석의 신뢰성을 결정짓는 중요한 절차가 된다.

III. 지진 연관 데이터의 추출

3.1 이벤트 패킷

각 관측소로부터 전송되는 이벤트 패킷의 수는 해당 관측소의 환경에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 지난 2008년 5월 31일 하루 동안에 각 관측소로부터 수신된 이벤트 패킷의 개수는 다음 <표 6>과 같다. <표 6>은 100sps 속도의 원시 데이터로부터 추출되어 전송된 이벤트 패킷 수와 함께 이날 기상청에서 발표한 제주시 서쪽 78Km 해역에서 발생한 규모 4.2의 지진과 직접적으로 연관된 이벤트 패킷 수를 함께 보여 주고 있다. 지진과 연관된 이벤트 패킷이란 지진이 발생한 시점으로부터 수분 내에 생성된 패킷을 의미한다. 특히 MHD는 하나의 이벤트가 발생된 후에 약 1분 동안은 새로운 이벤트를 감지하지 않으며, 약 1분 경과한 후에 이벤트 감지를 재개한다. 따라서 일정 규모의 지진이 발생하여 지진동이 지속되면 각 관측소에서는 한 개 이상의 이벤트를 감지할 수 있다.

표 6. 2008년 5월 31일 수신된 이벤트 패킷 수
Table 6. Event packets on 2008/05/3

관측소	채널	개수	기상청 발표 지진 연관 패킷
TJN	HHZ	4	1
SNU	HHZ	35	3
SND	HHZ	12	5
NPR	HHZ	19	5
MGB	HHZ	45	3
KSA	HHZ	27	3
KMC	ELZ	72	5
KHD	ELZ	13	4
JSB	HHZ	28	4
JRB	HHZ	72	5
JJB	HHZ	7	5
HWSB	HHZ	8	5
HSB	HHZ	5	4
HKU	HHZ	30	4
GSU	HHZ	4	3
GRE	ELZ	16	4
GKP1	HHZ	3	-
CHNB	HHZ	14	4
BGD	HHZ	7	5

지진과 연관이 있는 패킷으로부터 실제 P파와 연관이 있는 패킷만을 추출해야 한다. 각 관측소로부터 전송되는 많은 수의 이벤트 패킷으로부터 의미 있는 패킷 즉, 실제 지진의 P파와 연관된 패킷만을 추출하기 위해서 신호 주기 및 SNR 등의 이벤트 정보를 이용한다.

3.2 P파와 연관된 패킷 추출

지진과 중 가장 속도가 빠른 P파가 한반도를 관통하는 데는 1분이면 충분하다. 2007년 1월 20일 강원도 평창에서 발생한 지진의 경우 정선(JSB) 관측소에서는 11:57:00.42에 이벤트가 감지되었으며, 전라남도 완도군 보길도(BGD) 관측소에서는 11:57:54.129에 감지되었다. 따라서 어떤 관측소로부터 전송된 최초의 이벤트 패킷 도착 시점으로부터 60초 내에 전송된 다른 관측소의 이벤트 패킷은 동일한 지진으로부터 감지된 것으로 간주할 수 있다. 또한 최소 4개 이상의 관측소로부터 이벤트 패킷이 전송될 경우 실제 지진이 발생된 것으로 판단하여 진앙을 추정하였다.

원시 데이터로부터 P파와 연관된 이벤트 패킷을 추출하기 위하여 2006년 6월 1일부터 2008년 5월 31일까지 최대 17개 관측소로부터 전송된 총 28,594개의 이벤트 패킷 중에서 실제 지진과 연관된(P파와 관련된) 506개의 패킷을 분석하였다. 506개의 이벤트 패킷을 신호 주기에 의해 필터링한 결과 다음 <그림 2>에서 같이 0.26 초 이하인 것으로 확인되었다(파란색).

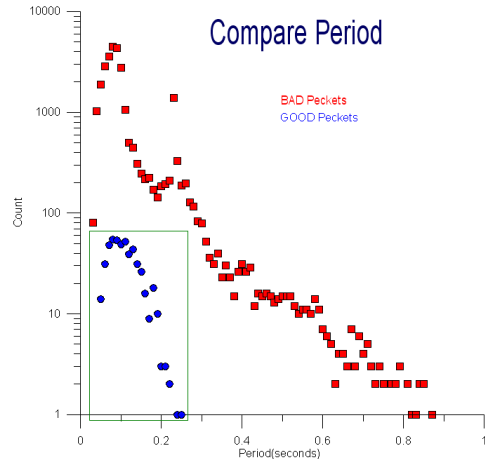


그림 2. 신호 주기에 의한 필터링
Fig. 2. Filtering by using signal period

또한 이벤트 패킷은 5자리 숫자로 구성된 SNR을 포함하고 있다[11], SNR은 숫자 자체에 의미가 있는 것이 아니라 각 자릿수 별로 신호의 특성을 표시한다(그림 3). 어떤 특이 신호를 탐지할 때 각 진폭과 표준편차× 2의 비율의 값을 0부터 9까지 정수 형태로 나타낸 것으로 아주 미미한 잡음 신호였다가 갑자기 큰 신호가 들어오는 형태의 가장 이상적인 지진 신호의 경우는 SNR 값은 00999()을 가질 수 있으며 잡음과 구별되지 않는 가장 좋지 않은 신호는 11111()를 갖는다. 이들 SNR 값의 각 자리수 별 연관성을 분석한 결과 SNR 앞의 두 자리는 40보다 작으며(그림 4), SNR(0)과 SNR(1)의 합은 7보다 작은 것으로 확인되었다(그림 5).

수신되는 전체 관측소의 이벤트 패킷 중 P파와 연관된 패킷만을 추출하는 절차는 비교적 간단한 방식에 의해 수행될 수 있으며 그 절차를 <그림 6>에 도시하였다.

$$SNR \text{ series} = \frac{A}{S'} \cdot \frac{B}{S'} \cdot \frac{C}{S'} \cdot \frac{D}{S'} \cdot \frac{E}{S'}$$

A,B,C,D,E는 진폭

S'는 P-T 데이터의 표준편차의 2배

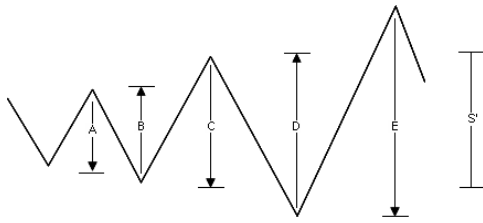


그림 3. SNR 값의 의미
Fig. 3. Meaning of SNR value

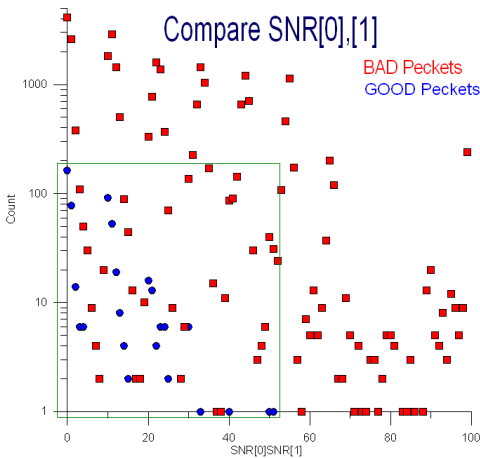


그림 4. SNR(0), (1)에 의한 필터링
Fig. 4. Filtering using SNR(0), (1)

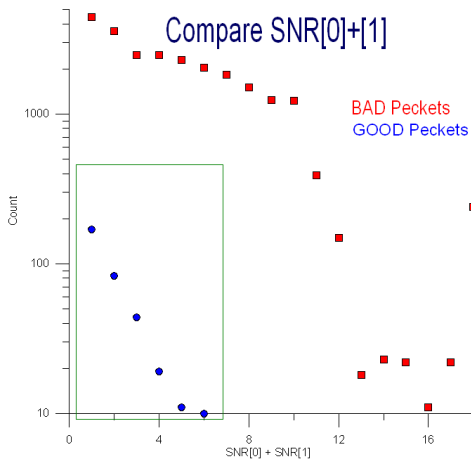


그림 6. (SNR(0)+SNR(1))에 의한 필터링
Fig. 5. Filtering using (SNR(0)+SNR(1))

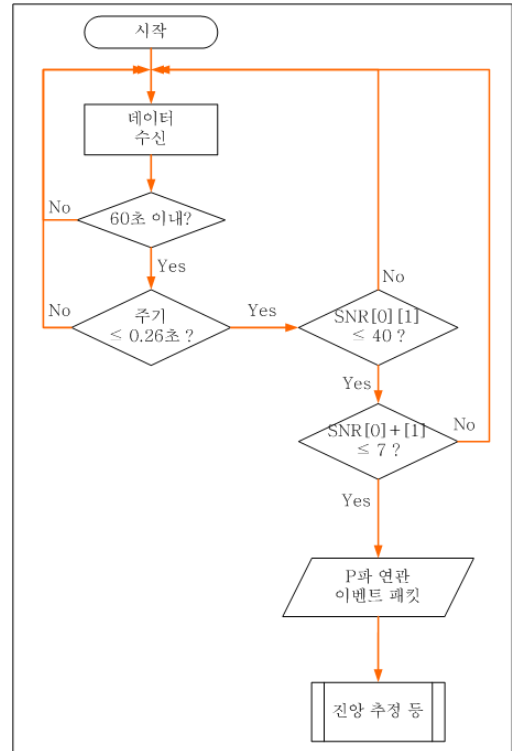


그림 6. P와 연관 패킷 추출 순서도
Fig. 6. Flow chart for selecting P-wave related event packet.

이벤트 패킷으로부터 실제 지진과 연관된 패킷을 선택하는 일련의 체계는 기본적으로 무한 반복하게 설계되어져야 한다. 관측소로부터 전송되는 각종 데이터 패킷은 이후 처리를 위해 공유메모리 영역에 적재된다. 데이터가 적재되어 있는 공유메모리 영역에 접근하여 이벤트 패킷만을 선택하여 처리한다. 이벤트 패킷의 처리는 우선 압축된 512Bytes의 헤더 부분을 읽고 필요한 경우 데이터 부분에 대해 압축을 해제한다. 해제된 패킷 정보를 이용하여 <그림 6>의 조건식을 거치며 실제 지진의 P파 연관 이벤트 패킷을 선택한다.

IV. 실험 및 결과분석

4.1 실험 데이터

정보의 양은 데이터의 수에 비례한다고 알려져 있다. 1sps 데이터 보다는 100sps 데이터에서 더 많은 양의 정보를 추론할 수 있다. 그러나 많은 양의 데이터 처리에는 CPU 자

원, 메모리 점유 또는 네트워크 부하 등의 부가적인 비용이 소요된다. 진앙 추정시간의 신속성과 추정된 진앙의 정확성 문제는 서로 상대적인 관계성을 가지므로 최소한의 비용으로 일정 수준 이상의 정확한 진앙의 추정이 중요하다. 본 연구에서 제안한 P파 관련 이벤트 패킷 추출과 이를 이용한 진앙 추정 실험에는 2007년도 국내에서 발생한 규모 2.5 이상의 지진(기상청 발표 지진목록[15] 참고)에 대하여 한국지질자원연구원의 관측소로부터 전송된 이벤트 패킷만을 사용하였다. 다음 <그림 7>에서 노란색 별표는 실험에 사용된 지진발생 지점을 나타내며, 빨간색 사각형은 실험에 사용된 이벤트 패킷을 전송하는 한국지질자원연구원의 지진 관측소를 의미한다. 파란색 삼각형은 타 기관의 관측소 위치로써 MHD에 의한 이벤트 패킷 전송을 지원하는 Q4128이나 Q730 지진 기록계가 설치되어 있다. 이때 다른 기관이라 함은 기상청, 한국전력연구원 및 한국원자력안전기술원 등 자체적으로 지진 관측망을 운영하고 있는 조직을 의미한다. 또한 <그림 7>에 표시된 모든 관측소는 속도 자료를 제공할 수 있는 관측소만 표시되어 있는데 여기에 가속도계만 설치되어 있는 관측소를 포함하면 보다 조밀한 지진 관측망의 구성이 가능할 것이다. 그러나 가속도 관측소로부터 전송되는 이벤트 패킷과 속도 관측소의 이벤트 패킷의 동시 처리는 시간을 갖고 추가적인 연구가 필요하다.

실시간으로 전송되는 원시 데이터와 이벤트 패킷은 컴퓨터 하드디스크에 저장되는데 기상청에서 발표한 지진이 발생한 날의 이벤트 패킷을 추출하고 해당 일에 수신된 이벤트 패킷 중에서 본 논문에서 제안하는 P파 관련 이벤트 패킷 추출 방법을 사용하였으며 추출된 이벤트 패킷의 정보를 이용하여 진앙을 추정하였다. 진앙 추정에는 초동 P파의 도달시간을 이용하는 진앙 추정기법[14]을 사용하였다.

4.2 결과분석

각 관측소로부터 실시간으로 전송된 이벤트 패킷들에 제안된 P파 추출 방법을 적용한 결과를 <표 7>에 나타냈다. 지진 발생 일자과 지진의 규모, 그리고 해당 일자에 관측소로부터 수신된 이벤트 패킷의 총 개수와 제안한 방법으로 추출된 이벤트 패킷의 개수, 실제 기상청에서 발표한 지진과 연관이 있는 패킷의 수(본지진) 그리고 4개 이상의 관측소에서 패킷이 수신되어 지진 발생으로 감지한 횟수(지진감지)와 추출 패킷 개수와 총 개수의 비를 선택률로 표시하였다. 선택률은 평균 4.7%이며 발표된 지진과 연관된 패킷 선택률은 평균 2.9%로 나타나 매우 좋은 성능을 보인다. 회색으로 음영된 지진을 제외하고는 규모 2.5 이상의 지진을 모두 감지할 수 있는 것으로 확인되었다. 관측망 바깥 지역인 북한 황해북도 송림시

에서 발생한 지진을 감지하지 못했으며 이는 몇몇 관측소로부터 데이터 수신에 원활하지 못해 충분한 숫자의 패킷이 도달하지 않아서 지진이 감지되지 않은 것으로 판단된다.

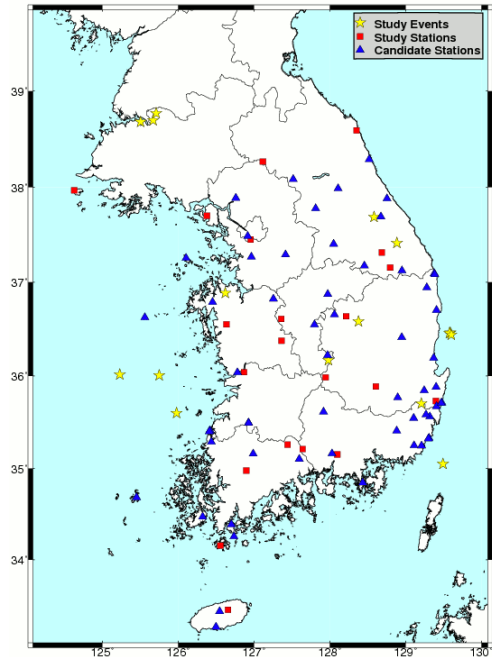


그림 7. 실험에 사용된 지진 및 관측소 위치
Fig. 7. Location of earthquake and seismic stations for experiment

표 7. P파 연관된 패킷 추출
Table 7. Selection of P-wave related packets
*선택률은 추출패킷과 총패킷의 비율

지진 발생일	규모	총 패킷	추출 패킷 (본지진)	선택률* (%) (본지진)	지진 감지	관측소
2007/01/20	4.8	502	55(17)	11.0(3.4)	8	17
2007/03/15	3.0	369	35(18)	9.5(4.9)	5	19
2007/03/28	2.8	594	28(11)	4.7(1.9)	5	16
2007/05/16	2.5	443	16(12)	3.6(2.7)	2	20
2007/05/26	2.5	430	15(6)	3.5(1.4)	3	19
2007/07/22	2.6	430	15(15)	3.5(3.5)	1	18

지진 발생일	규모	총 패킷	추출 패킷 (본지진)	선택률*(%) (본지진)	지진 감지	관측소
2007/08/18	2.5	332	20(9)	6.0(2.7)	2	17
2007/08/30	2.9	173	5(0)	2.9(0)	1	13
2007/09/12	2.7	343	15(10)	4.4(2.9)	2	17
2007/09/17	3.0	188	11(11)	5.9(5.9)	1	15
2007/09/24	2.6	305	12(12)	3.9(3.9)	1	17
2007/10/04	2.9	280	15(11)	5.4(3.9)	2	16
2007/10/06	2.5	314	9(4)	2.9(1.3)	2	16
2007/10/16	2.9	237	7(7)	3.0(3.0)	1	13
2007/10/29	2.5	298	13(13)	4.4(4.4)	1	17
2007/12/22	2.6	254	10(5)	3.9(2.0)	2	16
2007/12/28	2.7	301	7(7)	2.3(2.3)	1	17
평균				4.7%(2.9%)		

한편 지진감지 횟수는 1분 이내에 4개 이상의 관측소로부터 이벤트 패킷이 수신된 경우의 횟수로 2007년 1월 20일 평창지진의 경우 총 8회가 감지되었는데 기상청에서 발표한 지진 이외에 위치가 비슷한 지역에서 규모가 작은 지진이 수 회 발생했음을 알 수 있다(표 8).

표 8. 2007년 1월 20일 감지 지진과 실제 지진 비교
Table 8. Comparison between detected event and real earthquake on 2007/01/20

감지지진 시:분 (UTC)	실제 지진 발생 시각 (UTC)	위도	경도	규모	비고 (분석 또는 발표기관)
6:37	6:37:16	37.73	128.65	1.5	지질자원(연)
10:55	10:55:21	37.67	128.56	1.9	
11:57	11:56:53	37.68	128.59	4.8	기상청 발표

감지지진 시:분 (UTC)	실제 지진 발생 시각 (UTC)	위도	경도	규모	비고 (분석 또는 발표기관)
12:01	-	-	-	-	-
12:09	12:08:54	37.67	128.60	1.6	지질자원(연)
12:21	12:20:58	37.67	128.58	1.3	
12:28	12:28:03	37.67	128.58	1.7	
22:36	22:36:03	37.68	128.59	1.6	

〈표 9〉에서 확인할 수 있듯이 지진 감지 횟수는 기상청에서 발표한 지진 이외의 작은 규모의 지진과 매우 밀접한 연관을 갖고 있다. 본 논문에서 제안한 방식은 지진 발생 사실을 신속하게 감지할 수 있음을 보인다.

표 9. 감지 지진과 실제 지진 비교
Table 9. Comparison between detected event and real earthquake

발생일	지진감지 횟수	실제 지진	
		기상청 발표	지질자원(연) 분석
2007/01/20	8	1	7
2007/03/15	5	1	5
2007/03/28	5	1	3
2007/05/16	2	1	1
2007/05/26	3	1	2
2007/08/18	2	1	2
2007/08/30	1	1(감지못함)	1
2007/09/12	2	1	2
2007/09/17	1	1	1
2007/09/24	1	1	1
2007/10/04	2	1	2
2007/10/06	2	1	2
2007/10/16	1	1	1
2007/10/29	1	1	1
2007/12/22	2	1	1
2007/12/28	1	1	1

표 10. P파 관련 이벤트 패킷을 이용한 진앙 추정
Table 10. Location estimation using by P-wave related event packets

지진 발생일	KMA		KIGAM		본 연구의 실험결과			Dr. Sheen et. al		
	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Diff. (Km)	Lat.	Lon.	Diff. (Km)
2007/01/20	37.68	128.59	37.6889	128.5841	37.6799	128.5773	0.7263	37.7143	128.6368	5.6129
2007/03/15	36.18	127.97	36.1687	127.9818	36.1641	127.9758	1.8399	36.1670	127.9571	1.8509
2007/03/28	38.64	125.60	38.6974	125.6710	38.6353	125.5474	4.6102	38.6859	125.5557	6.3941
2007/05/16	35.72	129.22	35.7031	129.2088	35.6774	129.2260	4.7577	35.6999	129.2372	2.7158
2007/05/26	36.10	125.05	36.0161	125.2300	36.2478	125.2664	25.4538	35.6900	125.4510	58.164
2007/07/22	36.88	126.66	36.8846	126.6228	36.8728	126.6473	1.3859	36.8744	126.5954	5.7937
2007/08/18	35.99	125.78	36.0668	125.7490	36.0923	125.8591	13.404	35.9360	125.7980	6.232
2007/08/30	38.69	125.64	38.7689	125.7100	X	X	X	38.7540	125.5820	8.6635
2007/09/12	36.46	129.47	36.4615	129.5900	36.4631	129.6440	15.60	36.4360	129.5490	7.5425
2007/09/17	36.45	129.69	36.4570	129.5794	36.4720	129.6564	3.8772	36.4180	129.5166	15.9428
2007/09/24	36.45	129.61	36.4460	129.5980	36.4514	129.6472	3.3388	-	-	-
2007/10/04	36.43	129.55	36.4403	120.6033	36.4488	129.6269	7.2041	36.4575	129.6522	9.6541
2007/10/06	35.59	125.96	35.6004	125.9783	35.5426	126.0300	8.2419	35.5626	125.9487	3.2097
2007/10/16	37.45	128.97	37.4158	128.8870	37.4796	129.1956	20.2293	37.4590	128.8850	7.5956
2007/10/29	36.62	128.42	36.5819	128.3800	36.5702	128.4330	5.6477	36.5780	128.3922	5.2811
2007/12/22	38.63	125.50	38.6792	125.5050	X	X	X	38.5558	125.4485	9.3866
2007/12/28	34.98	129.64	35.0493	129.4936	34.9337	129.6584	5.4043	34.9150	129.5053	14.2565

지진감지와 더불어 P파와 연관된 패킷 추출의 결과로 선택된 이벤트 패킷의 신호시작시간(Onset time)을 참조하여 진앙을 추정하였다. 진앙 추정에는 초동 P파의 도달시간을 이용하는 진앙 추정기법[14]을 사용하였다. 진앙 추정 결과는 다음 <표 10>에 표시하였다. <표 10>에 표시된 Diff. (Km)는 본 실험에서 추정된 위치와 기상청(KMA) 발표 위치 간의 차이를 의미한다. <표 10>의 우측에 표시한 'Dr. Sheen'의 결과는 off-line 상에서 특정 시간대의 데이터에 대하여 STA/LTA 이벤트 감지기를 작동시킨 후에 감지된 P파 시각을 이용하여 진앙을 추정된 결과를 나타낸다[14]. 본 논문에서 제안한 방식으로서의 진앙 추정은 지진 발생 위치가 관측망 내부에서 발생한 지진의 경우 비교적 정확한 진앙 추정 결과를 보인다. 진앙을 추정하지 못한 두 지진은 모두 북한 지역

에서 발생한 지진이었다.

V. 결론

본 논문에서는 국내 대부분의 지진 관측소에서 설치, 운영 중에 있는 지진 기록계의 MHD로부터 전송되는 이벤트 패킷 으로부터 실제 지진의 P파와 연관된 패킷을 추출하여 진앙을 추정하는 기법을 제안하였다. 2007년 국내에서 발생한 지진을 대상으로, 제안한 P파 연관 이벤트 패킷의 추출 및 진앙 추정기법의 실험을 수행했으며 실험결과를 기상청 지진 목록과 다른 진앙 추정 연구와 비교, 분석하였다. 실험을 통하여 규모 2.5 이상의 지진이 관측망 내에서 발생할 경우 매우 빠

르고, 비교적 정확한 진앙 추정이 가능한 것으로 확인되었다. 본 논문에서 제안한 진앙 추정기법의 실험결과는 현재 연구가 진행 중인 국내 지진 조기경보 체계 구축에 기초 데이터로 활용될 수 있을 것이다. 특히 본 논문에서 제안한 방식은 지진 조기경보 체계의 다른 모듈 들을 동작시키는 1차 모듈로 작동시킬 경우 그 효과가 기대된다. 또한 본 논문에서 사용하지 않은 타 기관의 관측소로부터의 이벤트 패킷을 함께 사용할 경우 진앙 추정 정확도가 보다 높아질 것으로 판단된다.

이벤트 탐지기로부터 부정확한 이벤트 패킷의 생성을 최소화하는 것이 신속하고도 정확한 지진요소 결정에 필수적인 요소이다. 따라서 각 관측소의 지진 기록계에서 작동하는 이벤트 탐지기의 성능을 향상시킬 필요가 있다. 이를 위해서는 현재 일률적으로 적용되고 있는 필터와 임계값을 각 관측소에 따라 최적화해야 한다. 또한 가속도 관측소로부터의 이벤트 패킷을 함께 사용할 수 있는 방법에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 지현철 외, "지진신속평가시스템 구축 - 실시간 지진동의 2차원적 영상화", 한국지진공학회 02 추계 학술발표회 논문집, 2002.09 pp.51~60
- [2] 신동훈 외, "초동 전파시간과 진앙거리의 경험적인 관계를 이용한 진앙 추정", 2007, 한국물리탐사학회·대한국물리학회 공동학술대회, 75-79
- [3] 황의홍 외, "광대역 지진자료의 P파를 이용한 모멘트 규모 결정", 2007, 지구물리, Vol 10. No. 1, pp. 1-12
- [4] Satriano et al., "Real-Time Evolutionary Earthquake Location for Seismic Early Warning", 2008, BSSA, Vol. 98. No. 3, pp. 1482-1494
- [5] Olivieri et al., "The Potential for Earthquake Early Warning in Italy Using ElarmsS", 2008, BSSA, Vol. 98, No. 1, pp. 495-503
- [6] Elarms 홈페이지
<http://www.elarms.org>
- [7] 일본 기상청 홈페이지 EEW
<http://www.jma.go.jp/jma/en/Activities/eew.html>
- [8] 지현철 외, "지진관측 원리 및 관측망 현황", 한국지진공학회 1999 추계 학술발표회 논문집, 1999 pp.3~16
- [9] Quanterra, Inc, 1999, "Quanterra MULTI-SHEAR software configuration guide", Quanterra, Inc, Harvard, U.S.A.

- [10] 임인섭 외, "MMA 데이터를 이용한 실시간 지진동 감시 시스템 설계", 2007, 한국컴퓨터정보학회논문지, V. 12, no. 5, pp. 29-37
- [11] Murdock et al., "A new event detector designed for the seismic research observatories", 1983, Open-File report 83-785 USGS
- [12] 이희일 외, "인터넷을 이용한 진도도 작성", 한국지진공학회 2003 추계 학술발표회 논문집, 2003.03 pp.23~29
- [13] "SEED : Standard for the Exchange of Earthquake Data" Reference Manual, SEED Format Version 2.4, October, 2007, FDSN, IRIS, USGS
- [14] 신동훈 외, "초동 P파 도달시간을 이용한 진앙 추정기법의 적용", 2008, 한국지진공학회 추계학술발표회 논문집, 2008-03, pp. 21-27
- [15] 기상청 홈페이지 <http://www.kma.go.kr>

저자 소개



임인섭

2003년 : 충북대 컴퓨터공학석사
2003 ~ 현재: 한국지질자원연구원
지진연구센터
관심분야: DBMS, RTS, 지진분석
시스템



정순기

1982년 : Uni. of Dortmund,
Informatik Dipl. Inf.
취득
1994년 : Uni. of Groningen,
Computing Science,
Dr. 취득
1985년~현재 충북대 컴퓨터공학과
교수
1994년 : 충북대 전자계산소장
1998년 : 한국과학기술연구원
초과학 협력위원회 정보분과위원장
2000년 : 충북대 도서관장
2005년~KISTI 지역자문교수 겸
협력위원회
관심분야 : 데이터베이스 시스템, 소
프트 웨어 공학, 소프트
실시간 시스템