

حرکات قوی زمین (Strong Ground Motions)

تقسیم بندی حرکات زمین : ۱- حرکات ضعیف زمین : Microseismic Activity : حرکاتی که توسط انسان قابل احساس نیستند بیشتر مورد توجه لرزه شناس ها هستند تا مهندسان زلزله

۲- حرکات قوی زمین : Strong Ground Motions : حرکاتی که آلوده قوی هستند که بر انسان محیط اطراف تأثیر گذار هستند.

حرکات زمین شامل زمین لرزه ها جابجایی در سطح زمین است که در اغلب موارد از مولفه های دورانی بدون تقریبی شوند در سطح جابجایی اندازه گیری می گردد.

حرکات زمین شامل مجموعه ای از داده ها (نقاط) است که در بازه زمانی مشخصی مثلاً 0.025 ثانیه ثبت شده اند اطلاعات بسیار مهمی را در خود ذخیره کرده اند.

پارامترهای حرکت زمین (Ground Motion Param.)

مجموعه ای از پارامترها هستند که برای مشخص نمودن شاخص های یک حرکت زمین به کاری روند و شامل موارد زیر هستند :

۱- پارامترهای دامنه (Amplitude Parameters)

۲- محتوی فرکانسی (Frequency Content)

۳- زمان حرکت (Duration of Motion)

اندازه گیری حرکات قوی زمین (Strong Motion Measurement)

ثبت حرکات قوی زمین اطلاعاتی را به برای مهندسی زلزله را فراهم می آورد و بدون دانستن و اندازه گیری کافی از

از حرکات موجود آمده توسط زمین این امکان وجود ندارد که خطر لرزه ای به طور دقیق و منطقی ارزیابی شود دریا بتوان طرح لرزه ای مناسبی ارائه نمود (Housner, 1982)

اولین حرکت ثبت شده از یک زمین لرزه قوی مربوط به زلزله (long Beach, California, 1933) است

امروزه اندازه گیری حرکات زمین : ۱- لرزه نگار (Seismograms) ← لرزه نگار ← حرکات ضعیف زمین
۲- شتاب نگار (accelograms) ← شتاب نگار ← حرکات قوی زمین

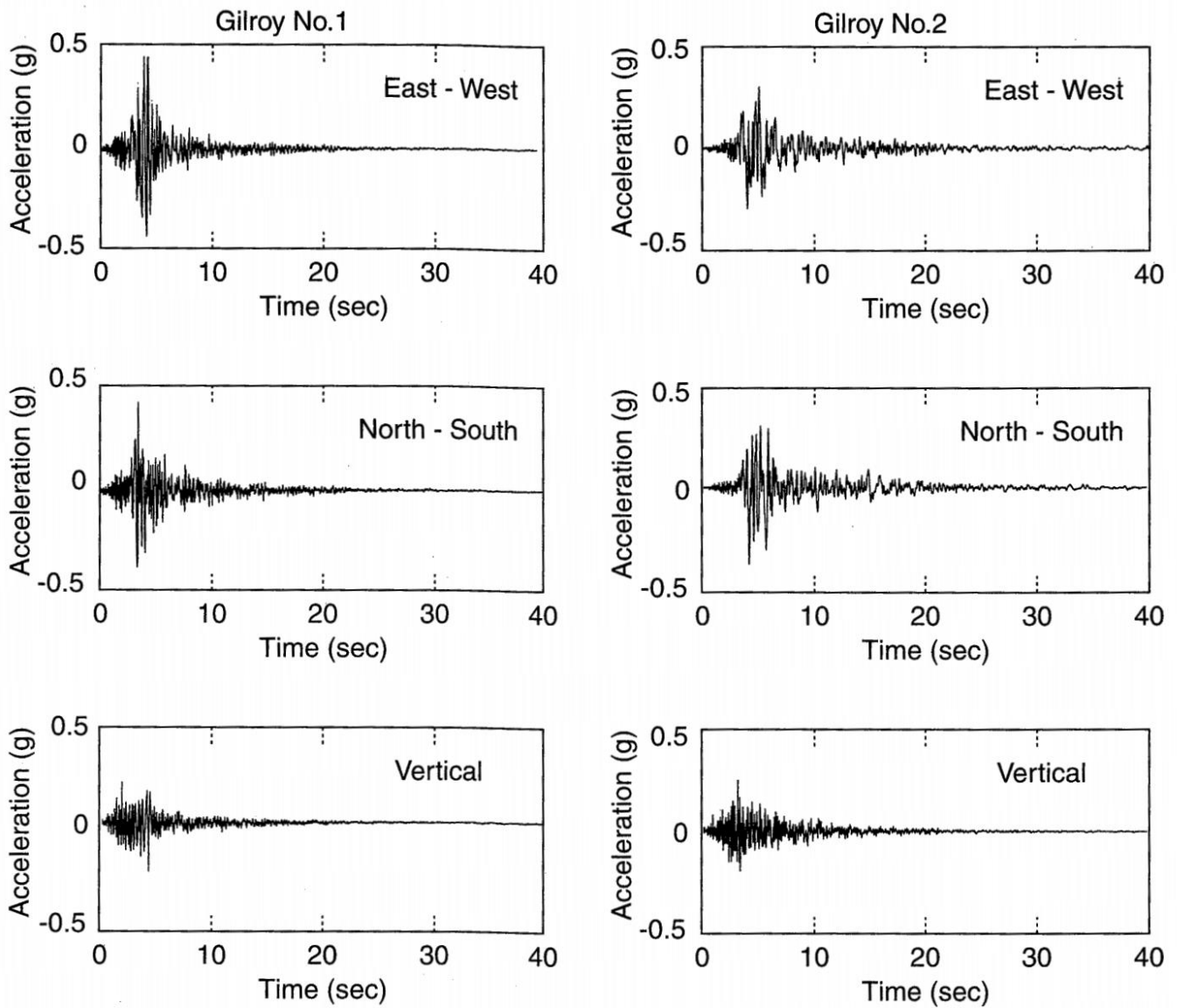
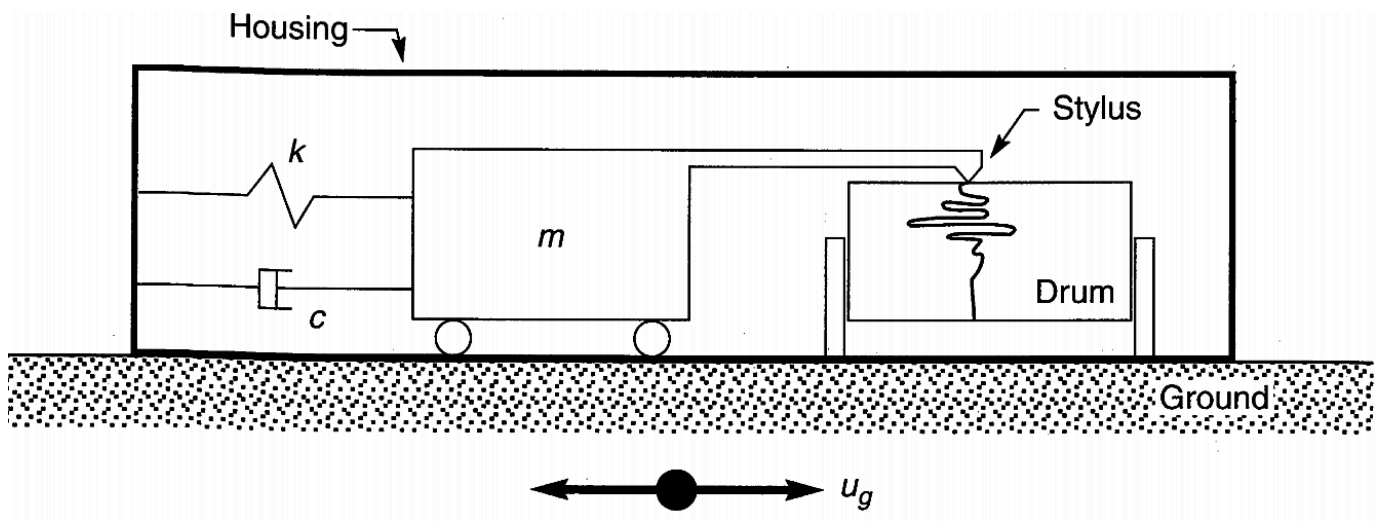


Figure 3.1 Acceleration time histories recorded at two sites in Gilroy, California during the 1989 Loma Prieta earthquake. The Gilroy No. 1 instrument was located on an outcrop of Franciscan sandstone, while the Gilroy No. 2 instrument was underlain by 165 m (540 ft) of stiff, alluvial soils. The Gilroy No. 1 (rock) and Gilroy No. 2 (soil) sites were located at epicentral distances of 21.8 km (13.5 miles) and 22.8 km (14.2 miles), respectively.



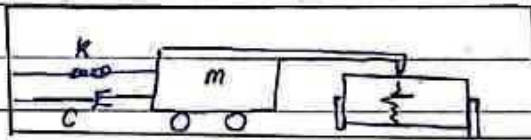
Accelograms	شتاب نداشت	Accelograph	شتاب نگار
Seismograms	لرزه نداشت	Seismograph	لرزه نگار

لرزه نگار ها و شتاب نگار ها نسبتی آنها :

5 ساده ترین لرزه نگار شامل یک سیستم تکرر درجه آزادی است که از جرم - فنر - میراگر ساخته می شود که توسط یک

معین (تعم) به روی یک سطح کاغذی متصل است. این مجموعه در یک محفظه قرار می گیرد که فنر روی زمین است. چون حرکت زمین با حرکت جرم یکی نیست (فصلب یعنی یابند) لازم است حرکت ثبت شده

10 توسط جرم به حرکت زمین تبدیل شود.



$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t)$$

15 u_g : جابجایی زمین (شتاب زمین)

u : حرکت نسبی جرم نسبت به زمین

$$\frac{|u|}{|u_g|} = \frac{\beta^2}{\left\{ (1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

20 برای پیدا کردن حرکت حادترین زمین :

$$u_g = \ddot{u}_g \sin \omega_g t$$

(mostly 60%)

$$\beta = \omega_g / \omega_n \quad ; \quad \omega_n = \sqrt{k/m} \quad ; \quad \xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$$

$$\text{if } \omega_g \gg \omega_n \text{ or } T_g \ll T_n \text{ or } \beta \gg 1 \quad |u| = |u_g|$$

25 نکته این نسبت میدی به این دلیل است که در 60% و برای $\beta > 2$ $\frac{|u|}{|u_g|} = 1$ برقرار است

$$\frac{|u|}{|u_g|} = \frac{1}{\omega_n^2 \sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}} \quad u_g = -\omega_g^2 u_g \sin \omega_g t$$

$$\text{if } \omega_g \ll \omega_n \text{ or } T_g \gg T_n \text{ or } \beta = 0 \quad \frac{|u|}{|u_g|} = \frac{1}{\omega_n^2}$$

جابجایی آن نسبت با شتاب زمین خواهد بود

Persian

$$\text{برای بدست آوردن رابطه (۴) می توان نوشت} \quad \frac{|u|}{|u_g|} = \frac{|u|}{\frac{1}{\omega_n^2} |u_g|} = \frac{\beta^2 = (\omega_g / \omega_n)^2}{\left\{ (1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \times \frac{1}{\omega_g^2} = \frac{1/\omega_n^2}{\left\{ (1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

کریه ای ارتعاش سیستم SDOF در پاسخ لرزه‌ها، به حرکت زمین

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0$$

$$u^t = u_g + u \rightarrow \ddot{u}^t = \ddot{u}_g + \ddot{u}$$

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t)$$

$$P_{eff}(t) = -m\ddot{u}_g(t)$$

5

پاسخ سیستم تک درجه آزادی به حرکت زمین همانند ارتعاش اجباری تحت اثر نیروی موثر $P_{eff}(t)$ است.

الگوی جابجایی حرکت زمین به صورت هارمونیک در نظر گرفته شود می‌توان نوشت:

$$u_g = u_{g0} \sin \omega t$$

$$\ddot{u}_g = -\omega^2 u_{g0} \sin \omega t$$

10

$$P_{eff}(t) = m\omega^2 u_{g0} \sin \omega t$$

پایزن هارمونیک بودن حرکت زمین معادله دینامیک را به

$$P_{eff}(t) = P_0 \sin \omega t$$

ارتعاش اجباری هارمونیک با دامنه P_0 تبدیل می‌شود:

$$P_0 = m\omega^2 u_{g0}$$

در این صورت دامنه بارگذاری هارمونیک، P_0 برابر است با:

15

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P_0 \sin \omega t$$

پاسخ سیستم SDOF به بارگذاری هارمونیک

در حالت دائمی از رابطه روبرو حاصل می‌شود

$$u(t) = u_0 \sin(\omega t - \phi) = (u_{st})_0 R_d \sin(\omega t - \phi)$$

20

$$R_d = \frac{u_0}{(u_{st})_0} = \frac{1}{\left\{ \left[1 - (\omega/\omega_n)^2 \right]^2 + \left[2\xi_0 (\omega/\omega_n) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}; \quad (u_{st})_0 = \frac{P_0}{k}$$

$$(u_{st})_0 = \frac{P_0}{k} = \frac{m\omega^2 u_{g0}}{k}$$

در مورد حرکت زمین دامنه جابجایی استاتیکی، $(u_{st})_0$:

25

$$(u_{st})_0 = \frac{\omega^2}{\omega_n^2} u_{g0}$$

$$\rightarrow u(t) = u_{g0} \frac{(\omega/\omega_n)^2}{\left[\left(1 - (\omega/\omega_n)^2 \right)^2 + \left(2\xi_0 (\omega/\omega_n) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \sin(\omega t - \phi)$$

$$u_0 = u_{g0} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 R_d = R_a u_{g0}$$

در نتیجه برای دامنه جابجایی u_0 داریم

30

$$u(t) = -u_{g0} \sin \omega t$$

حرکت $\omega \rightarrow \infty$ $R_a = 1, \phi = \pi$

$$\frac{U_o}{U_{g_o}} = \frac{|U|}{|U_{g_o}|} = 1$$

✓ هر چه $\omega \gg \omega_n$ باشد دیم عبارت دیگر $T \ll T_n$ آنگاه

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{2\xi(\omega/\omega_n)}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \right) \quad \text{در مورد } \phi \text{ می توان نوشت:}$$

$$\ddot{u}_g(t) = -U_{g_o} \omega^2 \sin(\omega t)$$

✓ هرگاه نسبت حرکت زمین مساوی باشد

$$\ddot{u}_{g_o} = U_{g_o} \omega^2 \Rightarrow U_{g_o} = \frac{\ddot{u}_{g_o}}{\omega^2}$$

درمورد نسبت حرکت زمین برابر است با:

$$\Rightarrow \frac{U_o}{U_{g_o}} = \frac{U_o}{\ddot{u}_{g_o}/\omega^2} \Rightarrow \frac{U_o \omega^2}{\ddot{u}_{g_o}} = \frac{(\omega/\omega_n)^2}{\left[(1 - (\omega/\omega_n)^2)^2 + (2\xi(\omega/\omega_n))^2 \right]^{1/2}}$$

$$\frac{U_o}{\ddot{u}_{g_o}} = \frac{R_d}{\omega_n^2 \left[(1 - (\omega/\omega_n)^2)^2 + (2\xi(\omega/\omega_n))^2 \right]^{1/2}} = \frac{R_d}{\omega_n^2}$$

$$\ddot{u}_{g_o} = \frac{U_o \omega_n^2}{R_d}$$

$$\ddot{u}_{g_o} = U_o \omega_n^2$$

✓ برای مثال اگر $R_d = 1 \leftarrow \frac{\omega}{\omega_n} \rightarrow 0 \leftarrow \omega \ll \omega_n$

حرکت نسبت شده توسط دستگاه متناسب با نسبت زمین است.

$$\frac{U_o}{U_{g_o}} = R_d \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 = R_a$$

$$\frac{\omega}{\omega_n} \rightarrow \infty \Rightarrow R_a = 1$$

ملاحظه و جمع بندی:

$$\frac{U_o}{\ddot{u}_{g_o}} = \frac{R_d}{\omega_n^2}$$

$$\frac{\omega}{\omega_n} \rightarrow 0 \Rightarrow R_d = 1$$

در مورد نسبت های آنالیز بیشتره: $f_n = 25 \text{ Hz}$; $\xi = 60\%$; $f = 15 \text{ Hz}$ نسبت

درمورد نسبت های بیشتره: $f_n = 50 \text{ Hz}$; $\xi = 70\%$; $f = 30 \text{ Hz}$ نسبت

$$\beta = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{f_n}{f}$$

بنابراین با فرض نسبت سراسری $\epsilon = 60\%$ چنانچه مقدار $\beta = \frac{\omega_g}{\omega_n}$ باشد (فرکانس حرکت زمین 0.55 فرکانس طبیعی دستگاه باشد) دستگاه با دقت بالایی می تواند شتاب را در دست دهد.

5 برای اغلب دستگاه $\epsilon = 60\%$ که فرکانس طبیعی آنها حدود $f_n = 25 \text{ Hz}$ است، دقت اندازه گیری دستگاه تا فرکانس $f_g = 13 \text{ Hz}$ قابل قبول است.

روند فوق اساس سیستمی را نشان می دهد که می تواند لرزه نگار و یا شتاب نگار باشد. این سیستم در نسبت کمی فرکانس بالا جایگاهی را اندازه گیری می کند (لرزه نگار است) و در نسبت های فرکانس بسیار کم مناسب است.

10 برای لرزه سنج جدید آندرسون $\epsilon = 0.80$ ، $T_n = 0.8 \text{ sec}$ و در دستاورد قرار گرفته است.

Wood - Anderson Seismograph : $T_n = 0.80 \text{ sec}$ T_g : زمان نادرین حالت اعوجاج لرزه ای
 $f_n = 1.25 \text{ Hz}$

$\epsilon = 80\%$ از نوع 3-3.a برای نسبت $\beta \approx 2.5$

15 $|u| \approx 1$ $\beta = \frac{\omega_g}{\omega_n} = \frac{f_g}{f_n} = \frac{T_n}{T_g} \Rightarrow T_g = \frac{0.8}{2.5} = 0.32 \text{ sec}$
 $|u_g|$

20 با توجه به برورد غالب لرزه بر حسب فاصله مشاهده می شود که در فاصله 100 km $0.30 \text{ s} \leq T_g \leq 0.25 \text{ s}$ پس نسبت $\beta = \frac{T_n}{T_g} \approx 2.5$ برقراری شود و می توان حرکت زمین را با دقت بالایی لرزه نگار فرض کرد

R (km)	0-50	51-100	101-200	201-250
T_g (Sec)	0.25	0.30	0.4	0.6

25 برای لرزه سنج های پرتاب با برورد کمی بالا $T = 20 \text{ sec}$ که برای نسبت بزرگای اعوجاج سطحی به کار می بند:

$T_n = 20 \text{ sec}$ $\beta = 2$ $\frac{|u|}{|u_g|} = 1$ $\beta = \frac{\omega_g}{\omega_n} = \frac{T_n}{T_g} \Rightarrow \frac{20}{T_g} = 2$
 $\epsilon = 60\%$ فرض شود

30 دستگاه سطحی حرکت را برود موج 10 sec را ثبت می کند $T_g = 20/2 = 10 \text{ sec}$

برای شتاب شتاب‌های بیشتره آنالوگ $f_n = 25 \text{ Hz}$ و $\xi = 60\%$ وقت مناسب برای $f \leq 15 \text{ Hz}$

دیجیتال $f_n = 50 \text{ Hz}$ و $\xi = 70\%$ وقت مناسب برای $f \leq 30 \text{ Hz}$

لخت بیشتر و دقت تر برای شتاب نگار لرزه نگار

به طور دقیق تری توان نوشته که:

$$\frac{u(t)}{u_g(t)} = \frac{1}{\omega_n^2 \sqrt{\{ (1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2 \}}^{\frac{1}{2}}} \cos(\omega t - \phi(\omega))$$

5

بنابراین سلف اصلی در طراحی شتاب‌سنج این است که ضریب تشدید $\phi(\omega)$ به خوبی مقول از فرکانس باشند.
 به این ترتیب هر بولنه حارونیک از شتاب‌سنج تنها یک مرتبه ثابت مناسب با حرکت دستگاه خواهد بود. به عبارت دیگر

10 تمام مولدهای حارونیک یک حرکت با یک ضریب اصلاح می‌شوند. چنانچه برای دستگاه $\xi = 70\%$ باشد، برای $\beta = \frac{\omega}{\omega_n} \ll 0.5$ (با خطای $e=2\%$) ضریب تقویت $R_d = 1$ است. پس یک دستگاه بانزکاس $f_n = 50 \text{ Hz}$ ، مناسب است برای شتاب یک حرکت حاوی فرکانس های تا 25 Hz .

15 به عبارت کلاسیک تر، یک شتاب‌نگار اگر به اندازه کافی سخت باشد، در این صورت شتاب طیف آن متناسب است با دامنه شتاب تحریک:

$$\frac{|u|}{|u_g|} = \frac{1}{\omega_n^2} \Rightarrow |u| \omega_n^2 = |u_g|$$

در مورد دستگاه لرزه نگار باید دستگاه آنقدر نرم و انعطاف پذیر باشد که حرکت زمین متناسب با حرکت لرزه نگار باشد.

$$\beta = 1 \quad \frac{|u|}{|u_g|} = 1 \Rightarrow |u_g| = |u|$$

20 عا لسیه شتاب شتاب‌های دیجیتال در آنالوگ:

14 در مورد شتاب‌سنج های آنالوگ دشوار است که بتوان با انفرال گیری از شتاب، سرعت و جابجایی را بدست آورد چون این شتاب نگارها در استای مشخصی از شتاب، به حرکت در می آیند و لذا شرایط اولیه را از دست می دهند

25 بنابراین فرآیند انفرال گیری در آنها با خطا همراه است. بنابراین خطا شتاب صفر در آنها مشخص نیست.

17 شتاب‌سنج های دیجیتال بر این شکل عمل کرده اند چون حافظه کوتاه مدتی دارند که در آن مشخصات مذکور ثبت می گردد.

30 تفاوت در شتاب‌سنج های موجود به علت نحوه دیجیتال سازی شرایط اولیه و شیوه انتخاب ضرایب ضریب

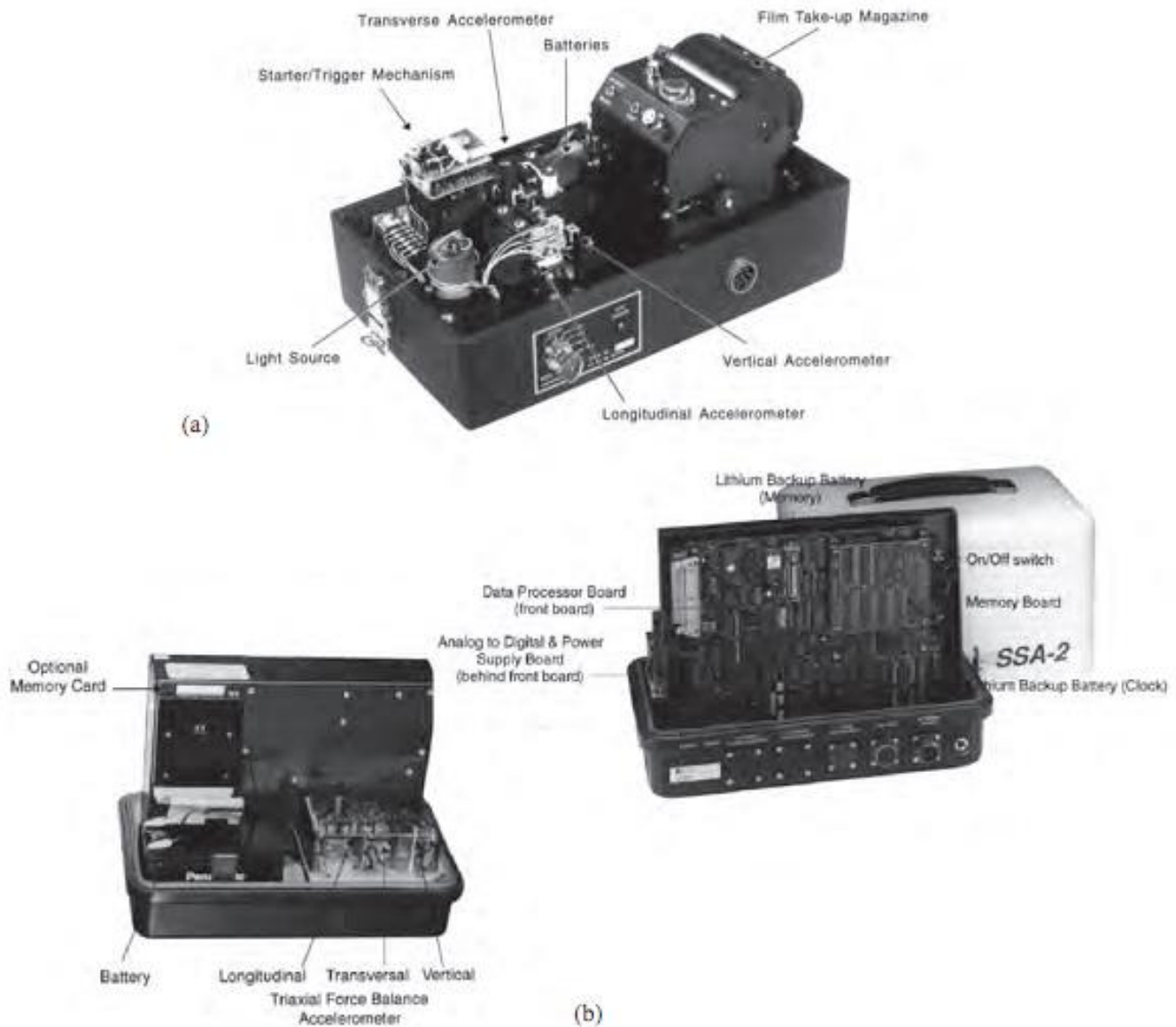


Figure 6.1.1 Strong motion accelerographs: (a) SMA-1, an analog-recording instrument with undamped natural frequency of 25 Hz and damping 60% of critical; (b) SSA-2, a digital recording instrument with undamped natural frequency of 50 Hz and damping 70% of critical. (Courtesy of Kinematics, Inc.)

۴ لرزه نگارها مناسب برای ثبت حرکات دور زمین با دامنه کوچک هستند دلرزش های کوچک زمین را به خوبی ثبت می کنند
چنانچه حرکت شدید زمین در تردیل آشکارخ بعد دچار اشباع شدگی می شوند.

۵ در مقابل سنجش ها حرکات قوی زمین با تناسب های بالاتر از ۱۰ به راحتی ثبت می کنند در شبکه های ثبت حرکات
زمین در دنیا هم دستگاه سنجک - وهم دستگاه لرزه نگار وجود دارد.

۶ لرزه نگارها و سنجشگرهای آنالوگ در لرزه نگارهای آنالوگ یک مدل الکتریکی وجود دارد که حرکت الفاه شده به آن
تبدیل یک سیگنال آنالوگ (پیوسته) می گردد. ثبت سیگنال متناسب با ثبت صولت مورد نظر است. در سنجشگرهای
آنالوگ ثبت یک مدل الکتریکی وجود دارد که ولتاژ الکتریکی بوجود می آید که متناسب با حرکت زمین است.

۱۰ سنجشگرهای نیندرتال در این سنجشگرها به جرم مدل تغییر مکان متصل است
که به علت حرکت نسبی جرم نسبت به محفظه یک سیگنال تولید می کند این سیگنال برای تولید نیندری معادل کنده

۱۵ استفاده می شود که باید جرم را به وضعیت اولیه برگرداند این نیندر متناسب با سنجش حرکات زمین است خوب صورت
الکتریکی ثبت می گردد.
ماه نیندر الکتریکی یا برای این های نیندر الکتریکی (نیندر مغناطیسی)

۲۰ سنجشگرهای نیندر الکتریکی در این سنجشگرها جرم - جایی فر به مواد خاصی مانند کوآرتز متصل می گردد. (برای وجود
ندارد) نیندری اینرسی بوجود آمده در جرم به علت شتاب گرفتن، به صورت انرژی گرمایی در کوآرتز
زنده می شود. گرمش حاصله باعث ایجاد ولتاژ الکتریکی در سطح کوآرتز می شود که متناسب با سنجش است.

سنجشگرهای آنالوگ دیجیتال: سنجشگرهای آنالوگ الکتریکی
در سنجشگرهای آنالوگ دیجیتال، اثر سوزن روی سطح دوار، دیا اثر بار تابش آینه ای روی ملام عایق ثبت می گردد.

۲۵ این دستگاه ها که بر اساس مفاهیم های نیندری حرکات زمین را ثبت می کنند، در دفع به صورت سیگنال های
پیوسته ثبت نگاری می کنند در اصطلاح آنالوگ نامیده می شوند. در سنل های جدیدتر سنجشگرهای

آنالوگ مدل های الکتریکی روی نوارهای مغناطیسی حرکت زمین را به صورت سیگنال پیوسته ثبت
می کنند. این سنجشگرهای دارای خطای مدار Baseline هستند سیگنال الکتریکی ثبت شده

۳۰ در این دستگاه ها ناشی از ولتاژ الکتریکی است که مقدار ولتاژ متناسب با سنجش حرکات زمین است. ولتاژ الکتریکی
می تواند علت حرکت نسبی در یک میدان مغناطیسی ایجاد شود، چون تغییر در شار مغناطیسی
عادل ایجاد ولتاژ الکتریکی است.

که منابع اصلی رخطای شتاب‌دهنده‌های آکاترونک :

۱- شیبی از ابتدای شتاب‌دهنده از دست می‌رود. چراکه شتاب‌دهنده‌های آکاترونک پس از رسیدن شتاب به آستانه مشخصی به کاری افتند.

۲- خطی به عنوان محور صفر وجود ندارد تا شتاب نسبت به آن اندازه‌گیری شود. چون تا پیش از آستانه شتاب دستگاه قانون است و به همین دلیل نقطه صفر روی محور شتاب مشخص نیست.

که در نقطه موارد خطای نوع اول ابتدای شتاب‌دهنده را باید خط به خط و وصل کنیم و اگر به عنوان خط مسالطاطمی کنیم، نقطه این است که تاریخچه سرعت حواره دو به صعود رفته و در انتها به صفر می‌رسد.

که منابع دیگر که دارای noise در یک شتاب‌دهنده می‌تند عبارتند از :

۱- حرکت اجزای دریا و لایه‌های
۲- ساخت و ساز در محیط اطراف

۳- اثر عبور بارهای تریگلی به ویژه از روی پل‌ها
۴- اثر فرسایش باد که از طریق درختان و ساختمان‌ها اتفاق می‌افتد

۵- اثر تغییرات فشارجو

که مثال : برای یک دورد 30 ثانیه‌ای با خطای $a_0 = 0.01g$ داریم
$$e_0 = e_{at} = 9.81 \times 30 = 294 \frac{cm}{s}$$

$$e_1 = e_{a \frac{t^2}{2}} = 9.81 \times \frac{30^2}{2} = 4410 \text{ cm}$$

روش‌های تصحیح شتاب‌دهنده :
۱- روشن تصحیح محور
۲- روشن تصحیح در حوزه فوکالی

روش تصحیح محور : تاریخچه شتاب‌دهنده، سرعت و جایابی را با a_r ، v_r و d_r نمایش می‌دهیم.

در این صورت با انتخاب تابع درجه دوم برای خطای شتاب‌دهنده داریم
$$e = a + c_2 t + c_3 t^2$$

$$a_r - e_a = a_r - (c_1 + c_2 t + c_3 t^2)$$

ماتریس بردار انرژی یعنی اجزای داده می‌شود

$$v_r - e_v = v_r - (c_0 + c_1 t + c_2 \frac{t^2}{2} + c_3 \frac{t^3}{3})$$

$$R = \int_0^1 v_c^2 dt = \int_0^1 (v_r - (c_0 + c_1 t + c_2 \frac{t^2}{2} + c_3 \frac{t^3}{3}))^2 dt$$

که دقت شود که a_r توسط شتاب‌دهنده کار شده است و a_r با روش‌های اصلاح‌گیری عددی به صورت ریاضی و حاصل می‌گردد.

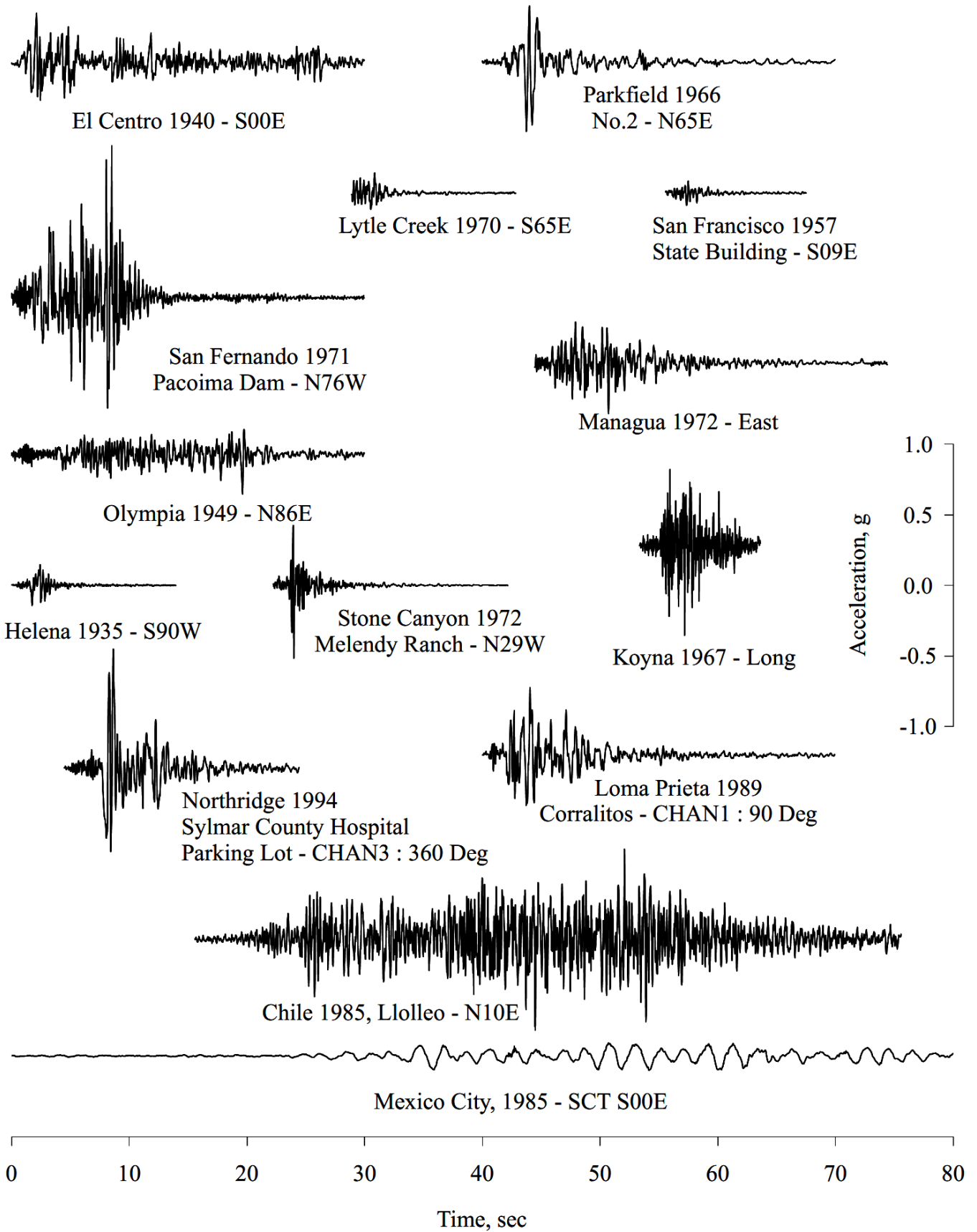


Figure 6.1.3 Ground motions recorded during several earthquakes. [Based in part on Hudson (1979) 1

برای به حداقل رساندن انرژی می توان نوشت: $\frac{\partial R}{\partial C_0} = 0$; $\frac{\partial R}{\partial C_1} = 0$; $\frac{\partial R}{\partial C_2} = 0$; $\frac{\partial R}{\partial C_3} = 0$

$$\frac{\partial R}{\partial C_0} = 0 \Rightarrow \int_0^T 2 \left(v_r - \left(C_0 + C_1 t + \frac{C_2 t^2}{2} + \frac{C_3 t^3}{3} \right) \right) (-1) dt = 0$$

$$\Rightarrow \int_0^T v_r dt = C_0 T + C_1 \frac{T^2}{2} + C_2 \frac{T^3}{6} + C_3 \frac{T^4}{12}$$

$$\frac{\partial R}{\partial C_1} = 0 \Rightarrow \int_0^T 2 \left[v_r - \left(C_0 + C_1 t + \frac{1}{2} C_2 t^2 + \frac{1}{3} C_3 t^3 \right) \right] (t) dt = 0$$

$$\Rightarrow \int_0^T t v_r dt = \int_0^T t C_0 + C_1 t^2 + C_2 \frac{t^3}{2} + C_3 \frac{t^4}{3} dt$$

$$\Rightarrow C_0 \frac{T^2}{2} + C_1 \frac{T^3}{3} + C_2 \frac{T^4}{8} + C_3 \frac{T^5}{15} = \int_0^T t v_r dt$$

$$\frac{\partial R}{\partial C_2} = 0 \Rightarrow \int_0^T 2 \left[v_r - \left(C_0 + C_1 t + \frac{1}{2} C_2 t^2 + \frac{1}{3} C_3 t^3 \right) \right] \left(\frac{1}{2} t^2 \right) dt = 0$$

$$\Rightarrow \int_0^T v_r t^2 dt = \int_0^T C_0 t^2 + C_1 t^3 + \frac{1}{2} C_2 t^4 + \frac{1}{3} C_3 t^5 dt$$

$$\Rightarrow \frac{C_0 T^3}{3} + \frac{C_1 T^4}{4} + \frac{C_2 T^5}{10} + \frac{C_3 T^6}{18} = \int_0^T v_r t^2 dt$$

$$\frac{\partial R}{\partial C_3} = 0 \Rightarrow \int_0^T v_r t^3 dt = \int_0^T C_0 t^3 + C_1 t^4 + C_2 \frac{t^5}{2} + \frac{1}{3} C_3 t^6 dt$$

$$\Rightarrow \frac{C_0 T^4}{4} + \frac{C_1 T^5}{5} + \frac{1}{12} C_2 T^6 + \frac{1}{21} C_3 T^7 = \int_0^T v_r t^3 dt$$

جای: $C_0 = D_0$, $C_1 = D_1$, $C_2 = \frac{1}{2} D_2$, $C_3 = \frac{1}{3} D_3$ فرض شود

$$D_0 + \left(\frac{1}{2} T\right) D_1 + \left(\frac{1}{3} T^2\right) D_2 + \left(\frac{1}{4} T^3\right) D_3 = \frac{1}{T} \int_0^T v_r dt$$

$$\frac{D_0}{2} + \left(\frac{1}{3} T\right) D_1 + \left(\frac{1}{4} T^2\right) D_2 + \left(\frac{1}{5} T^3\right) D_3 = \frac{1}{T^2} \int_0^T v_r t dt$$

$$\frac{D_0}{3} + \left(\frac{1}{4} T\right) D_1 + \left(\frac{1}{5} T^2\right) D_2 + \left(\frac{1}{6} T^3\right) D_3 = \frac{1}{T^3} \int_0^T v_r t^2 dt$$

$$\frac{D_0}{4} + \left(\frac{1}{5} T\right) D_1 + \left(\frac{1}{6} T^2\right) D_2 + \left(\frac{1}{7} T^3\right) D_3 = \frac{1}{T^4} \int_0^T v_r t^3 dt$$

۱۱ با حل دستگاه فوق ضرایب D_0, D_1, D_2, D_3 و عبارت a_r حاصل شده و توابع a_r و a_c نسبت به سرعت و جایگاه بر حسب t آید.

$$e(t) = a_r(t) - a_c(t)$$

ب) روش حداقل خطا:

۱۲ اگر تابع خطا به صورت سهمی درجه دوم فرض شود آنگاه اختلاف بین شتاب ثبت شده و شتاب واقعی شده برابر است با:

شتاب ثبت شده a_r

شتاب واقعی شده $a_c + a_0 + a_1 t + a_2 t^2$

در واقع کمتر است بگوئیم عبارت زیر

$$a_r - (a_0 + a_1 t + a_2 t^2)$$

شتاب نداشتن تصحیح شده است a_c

شتاب نداشتن واقعی است a_c

$$R = \int_0^T [a_r - (a_0 + a_1 t + a_2 t^2) - a_c]^2 dt$$

$$R = \int_0^T [a_r(t) - a_c(t) - (a_0 + a_1 t + a_2 t^2)]^2 dt$$

هدف حداقل کردن R است

$$\frac{\partial R}{\partial a_0} = 0 \Rightarrow \int_0^T a_r dt - \int_0^T a_c dt = \int_0^T (a_0 + a_1 t + a_2 t^2) dt$$

$$\frac{\partial R}{\partial a_1} = 0 \Rightarrow \int_0^T a_r t dt - \int_0^T a_c t dt = \int_0^T t (a_0 + a_1 t + a_2 t^2) dt$$

$$\frac{\partial R}{\partial a_2} = 0 \Rightarrow \int_0^T a_r t^2 dt - \int_0^T a_c t^2 dt = \int_0^T t^2 (a_0 + a_1 t + a_2 t^2) dt$$

شتاب نداشتن ثبت شده a_r :

$$\int_0^T a_c dt = v_T - v_0$$

شتاب نداشتن واقعی شده $a_r - a_c = a_r - (a_0 + a_1 t + a_2 t^2)$

شتاب نداشتن واقعی a_c

$$\int_0^T a_c t dt = v_c t \Big|_0^T - \int_0^T v_c dt = T v_T - (d_T - d_c)$$

$$\int_0^T a_c t^2 dt = v_c t^2 \Big|_0^T - 2 \int_0^T v_c t dt$$

$$= v_c t^2 \Big|_0^T - 2 \left[d_c t \Big|_0^T - \int_0^T d_c dt \right]$$

$$= v_T T^2 - 2 d_T T + \int_0^T d_c dt$$

اعمال شرایط اولیه: سرعت در ابتدا و انتها صفر است (معمولاً شتاب صفر است) $v_0 = v_T = 0$

جابجایی در ابتدا و انتها صفر است (معمولاً سرعت صفر است) $d_0 = d_T = 0$

معمولاً جابجایی صفر است. $\int_0^T d_c = 0$

$$C_0 + \frac{C_1 T}{2} + \frac{T^2}{3} C_2 = \frac{1}{T} \int_0^T a_p dt$$

$$\frac{1}{2} C_0 + \frac{T}{3} C_1 + \frac{T^2}{4} C_2 = \frac{1}{T^2} \int_0^T a_p t dt$$

$$\frac{1}{3} C_0 + \frac{T}{4} C_2 + \frac{T^2}{5} C_2 = \frac{1}{T^3} \int_0^T a_p t^2 dt$$

روش تصحیح (فیلتر) زکانش؟

برای هر تابع دلخواه $f(t)$ می‌توان مقدار T را به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفت به طریقی که مقادیر f حساب شود در این صورت می‌توان f را به صورت سری فوری یا اسکالر فوری در نظر گرفت.

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega_n t + b_n \sin \omega_n t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(\omega_n t - \phi_n)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{T} \quad ; \quad a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$a_n = \frac{1}{2T} \int_0^T f(t) \cos \omega_n t dt \quad ; \quad b_n = \frac{1}{2T} \int_0^T f(t) \sin \omega_n t dt$$

Parsian

$$a_n = C_n \cos \phi_n$$

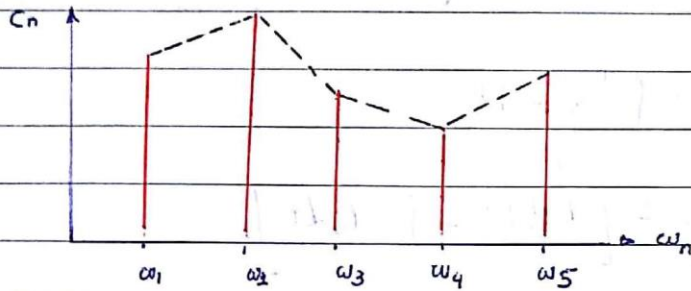
$$b_n = C_n \sin \phi_n$$

$$a_n^2 + b_n^2 = C_n^2$$

$$\phi_n = \tan^{-1} (b_n/a_n)$$

نمایش طیف فوریه: با استفاده از تکنیک فون می توان نمایش از دامنه های هارمونیک بر حسب فرکانس بدست آورد که به آن در اصطلاح طیف فوریه می گویند

$$C_n^2 = a_n^2 + b_n^2$$



برای حذف noise های حاصل از فرکانس های خیلی کوچک و یا خیلی بزرگ کافی است تابع میلر شده زیر را بدست آوریم:

$$f_T(t) = \sum_{n=n_1}^{n=n_2} a_n \cos \omega_n t + b_n \sin \omega_n t$$

ضرایب a_n و b_n بین دو مقدار $2n_1\pi/T$ و $2n_2\pi/T$ ثابت شده و $f_T(t)$ فاکتور فرکانس های کوچکتر از $2n_1\pi/T$ و یا بزرگتر از $2n_2\pi/T$ خواهد بود.

- ✓ برای شتاب نگاشت ها روشن نصفه فرکانس مناسب است.
- ✓ برای سرعت نگاشت ها روشن خط صاف مناسب است.
- ✓ برای جاگانی نگاشت ها هر دو روشن باید هم زمان به کار روند.

$$T = 30 \text{ sec} \quad \omega_1 = 0.04 \text{ Hz} \quad \omega_2 = 20 \text{ Hz} \quad \text{باید در } 2\pi \text{ لحظه راست}$$

$$\frac{2 \times n_1 \times \pi}{30} = 0.04 \Rightarrow n_1 = \frac{30 \times 0.04}{2 \times 0.04 \pi} \quad n_1 \approx 0.2$$

$$\frac{2n_2 \pi}{30} = 20 \Rightarrow n_2 = \frac{30 \times 20}{2\pi} \quad n_2 \approx 100$$

✓ محدوده فیلتر فرکانس ها بعد از آن ثابت نگار دارای دقت کافی است ($f_n = 16 \text{ Hz}$)

✓ محدوده فیلتر فرکانس ها اغلب بین $L f = 0.08 \text{ Hz}$ تا $f = 23 \text{ Hz}$ است.

شبکه‌های جهانی و محلی شبکه‌های لرزه‌نگاری:

با راه اندازی شبکه جهانی استاندارد لرزه‌نگاری در سال ۱۹۶۱ دانش بشر از فراکننده‌های تکتونیکی در
ز لرزه ها به مقدار بسیار زیاد اترایش یافته است. Worldwide Standard Seismograph Network
(WWSSN)

این شبکه در ابتدا به منظور دهگنری آزمایشات هسته‌ای انجام گرفته و
مطابقت آن ها با قوانین بین المللی راه اندازی گردید.

تایش از آن شبکه‌های لرزه‌نگاری با صنایع نظامی عملکردهای متفاوت استفاده می شدند تفاوت بین آنها

مقایسه نتایج بین آنها را دستورالعملی ساخت اما باره آنان WWSSN نه هر ایستگاه حداقل از
۲ دستگاه سه بولومتر استفاده گردید که یکی برید کوتاه و دیگری برید بلند دارد.

با این وجود توانایی های شبکه WWSSN به علت استفاده از لرزه‌نگارهای آنالوگ در مقابل استانداردهای
بیشتر نرفته محدود است و از این رو جایگزینی لرزه‌نگارهای آنالوگ با لرزه‌نگارهای دیجیتال در حلقه
طالب

نیاز ادامه دارد. این موضوع منجر به شکل گیری دو شبکه جهانی لرزه‌نگاری زیر شده است:

۱- شبکه جهانی لرزه‌نگاری دیجیتال (GDSN) Global Digital Seismometer Network

۲- شبکه جهانی لرزه‌نگاری (GSN) Global Seismographic Network

شبکه (GSN) توسط موسسه بین المللی تحقیقات لرزه‌نگاری (IRIS) نظارت و سرپرستی می شود
که یک موسسه جهانی بین المللی (انریکا و سایر کشورها) است. این موسسه مجموعه‌ای از لرزه‌نگارهای

قابل حمل طراحی کرده است که امکان نصب آنها برای ثبت زمین لرزه‌های شدید وجود دارد.

شبکه‌های محلی لرزه‌نگاری: به عنوان مثال در آمریکا توسط موسسه USGS در مناطق مختلف

کالیفرنیا راه اندازی و نظارت می گردد. در ایالت کالیفرنیا نیز "مجیش زمین شناسی و معادن کالیفرنیا"

شبکه لرزه‌نگاری کرده از برای ثبت ضربات زمین در میدان آراوا، یل هار و ساکنان ها راه

اندازی کرده است. (California Division of Mines and Geology)

Parsian

(U.S. Geological Survey)

شکله های مطلق و متمرکز شتابنگاری:

آرایش های متمرکز و محلی امدان مطالعه زمین شناسی ، لرزه نگاری و مهندسی زلزله رصیح های لرزه خیز خاص و گذوری از کسره جغرافیایی را می کند.

ک آرایه های شتابنگاری ژاپن: آرایه های شتابنگاری به سیوفه ای در Chuba شامل 44 شتاب نگار به مولفه ای است که 15 عدد از آنها در سطح زمین و بقیه در عمق $130\text{ft} = 40\text{m}$ قرار دارد.

ک آرایه شتاب نگاری تایوان: آرایه شتابنگاری SMART.1 در تریپلی Lotung چین بایه

شامل شبکه ای از شتاب نگارها در ناحیه مرزنی است که مشتمل بر سه حلقه (هر کدام 12 ایستگاه)

به شعاع های 200m ، 1km ، 2km است که شتاب نگار مرزنی را احاطه کرده اند.

ک آرایه های شتاب نگاری آمریکا: آرایه شتاب نگاری مطلق Elcentro یکی از مهم ترین آرایه های حالت

که در طول 45km شامل 13 ایستگاه شتاب نگاری است که آرایش آنها از گس های Imperial

و Brawley و عبوری کند. این آرایه هم چنین شامل آرایه Elcentro Differential A. (6 ایستگاه)

است. این آرایه زلزله سال 1979 به نام Imperial Valley راجع کرده است که اطلاعات

بسیار سودمند از حرکات زمین به گسل را فراهم آورده است.

ک آرایه های شتاب شناسی ایران:

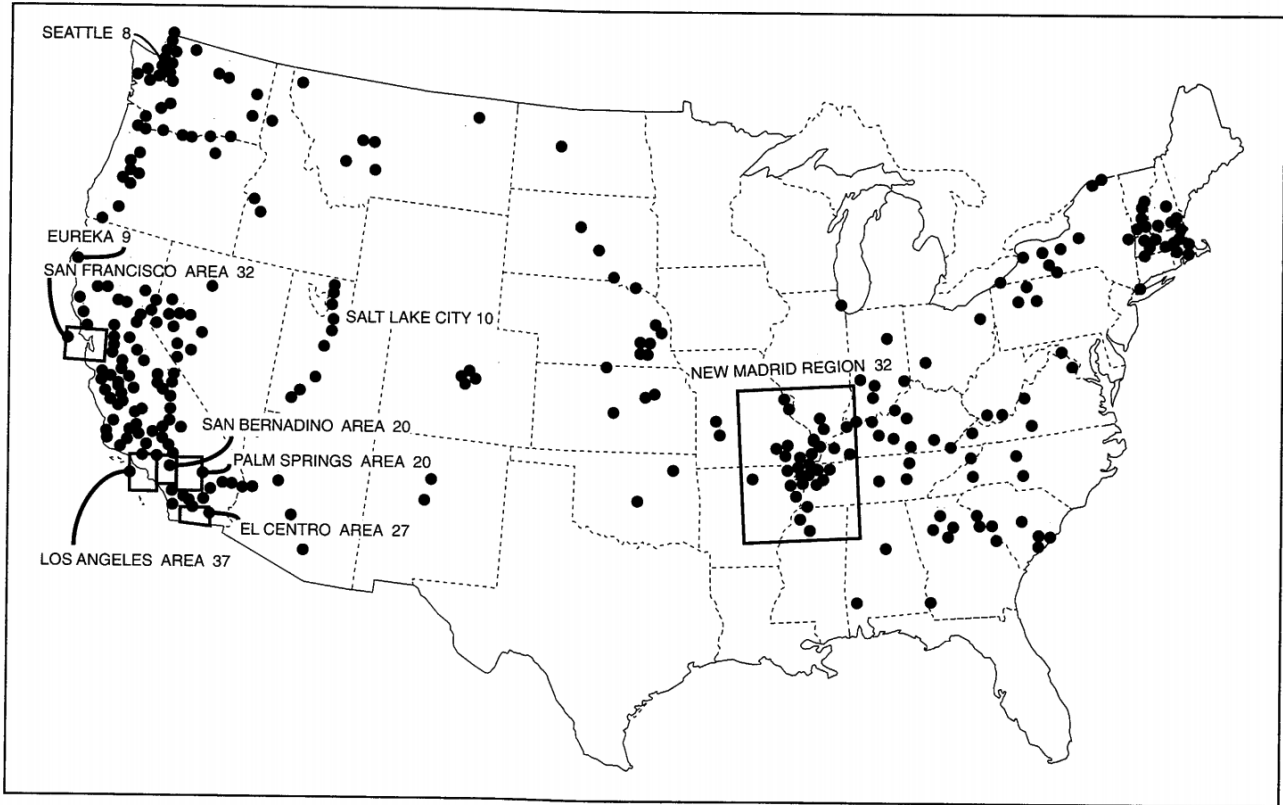


Figure 3.6 Locations of strong motion instruments operated by the U.S. Geological Survey in cooperation with other agencies as of April, 1990. Boxes in northern and southern California indicate areas with high instrument density. (After Joyner and Boore, *Geotechnical News*, March, 1991, p. 24. Used by permission of BiTech Publishers, Ltd..)

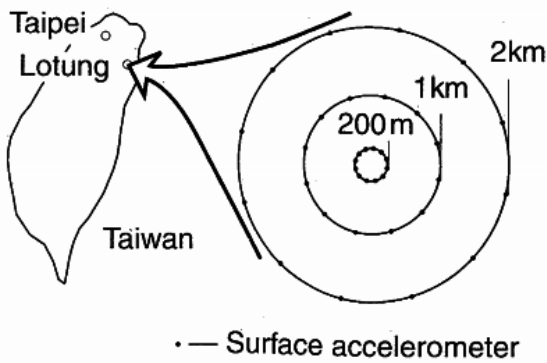


Figure 3.7 Original configuration of SMART-1 array in Lotung, Taiwan.

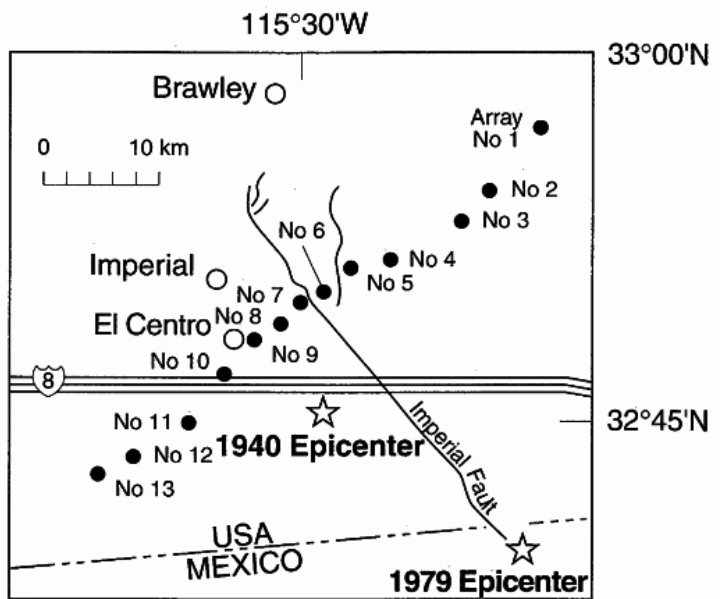


Figure 3.8 The El Centro Array in southern California. The El Centro Differential Array is located near Station 9.

