

SISTEMA DE INFORMACION Y PROCESAMIENTO DE ACELEROGRAMAS

Ing. Enrique Mena Sandoval (I)
Ing. Carolina Carmona Paredes (I)

RESUMEN

El Instituto de Ingeniería opera alrededor de 130 acelerógrafos para registro de temblores fuertes distribuidos en la zona sísmica del país en ciudades y obras de ingeniería importantes.

Las diferencias en los tipos de instrumentos y medios de registro, que conducen a varios procedimientos para captura de datos y a formatos diferentes, y la cantidad de acelerogramas obtenidos en el transcurso de los años, hizo necesario el desarrollo de un sistema computarizado para el manejo, almacenamiento, proceso, recuperación y presentación de los datos derivados del registro de sismos fuertes.

El sistema está siendo implementado en una computadora PRIME 550. Es un conjunto de programas interactivos que permite el manejo de información desde su organización inicial, catalogada por fecha, instrumento, sitio, tipo de suelo, etc. hasta su presentación final.

El sistema podrá ser operado a través de menús fácilmente intelegibles. Está programado en FORTRAN y hace uso de un paquete de base de datos de la computadora PRIME 550 empleada.

INTRODUCCION

Para la realización de estudios de ingeniería sísmica se registra la aceleración a que se ven sujetos terreno y estructuras durante los temblores. Estos registros se obtienen mediante instrumentos especialmente diseñados, llamados acelerógrafos, que normalmente operan automáticamente al detectarse un temblor. Los hay de registro analógico (película fotográfica, cinta magnética) o digital (cassettes, cintas magnéticas, etc).

En el caso de registros en película fotográfica es necesario convertirlos a forma digital por medio de aparatos semiautomáticos de lectura, operados por una persona especialmente entrenada. Los registros analógicos obtenidos en medios magnéticos se convierten a forma digital empleando conversores análogo-digitales automáticos. El manejo de la información analógica introduce, en ambos casos, perturbaciones a la señal original, contaminándola y reduciendo su calidad.

Los instrumentos de registro digital, de reciente empleo, detectan la aceleración mediante un sensor analógico y la discretizan empleando un conversor analógico-digital antes de la grabación o registro. Dicho con-

(I) Instituto de Ingeniería, UNAM
Coordinación de Sismología e Instrumentación Sísmica

versor introduce a la señal errores derivados de la tasa de muestreo, del número de bits con que se realiza la operación, etc.

De cualquiera de las dos formas de registro, una vez que se logra tener la información digital es necesario depurarla y corregirla antes de llevar a cabo cualquier análisis, lo cual se realiza empleando diversos procedimientos, basados principalmente en filtros digitales o ajustes por mínimos cuadrados.

Adicionalmente, debido al gran número de datos que se manejan en cada señal, es necesario de tales análisis y correcciones se realicen en un equipo de cómputo de regular capacidad, que cuente con facilidades para presentar en forma gráfica los resultados, así como de procedimientos para almacenar y recuperar dicha información en medios magnéticos.

Estas tareas se realizan actualmente en una computadora Burroughs B-7800 de la UNAM (1), la cual presenta problemas crecientes de congestión debido al gran número de usuarios. La adquisición reciente de un equipo PRIME P-550 en el Instituto de Ingeniería permitirá realizar el procesamiento de acelerogramas contando con facilidades que no se tenían en B-7800.

Dadas las diferencias entre ambos equipos de cómputo y a las posibilidades adicionales en PRIME, se decidió construir totalmente un paquete de programas que permitan realizar el análisis, la obtención de gráficas y el manejo de la información en la computadora P-550, añadiéndole necesidades detectadas recientemente, obteniendo a cambio ventajas operativas que se derivarán de tal decisión.

OBJETIVO

Contar con un sistema de programas, en una computadora PRIME P-550, que permita corregir, analizar, archivar, acceder y graficar datos de series de tiempo, con énfasis en acelerogramas obtenidos en instrumentos del Instituto de Ingeniería, así como datos complementarios de estaciones, sismos, aparatos, etc.

FILOSOFIA

El paquete de programas se diseñó para ser usado en forma interactiva desde una terminal remota, debido a la velocidad de respuesta de la computadora a emplear.

La programación, realizada en FORTRAN (2), se está haciendo en forma modular, con base en subrutinas para confinar la depuración del código a cada una de ellas y facilitar adiciones, empleando lo mas posible las rutinas ya existentes en las bibliotecas del sistema PRIME (3).

El sistema de programas se ha dividido en varios paquetes, siendo los principales: el de procesamiento de acelerogramas en donde se realizan las tareas de corrección, cálculo de espectros, integración, etc., y el que manejará la información derivada del anterior, y aquélla destinada a complementarla con datos comunes a varios acelerogramas, como son estación,

instrumento, sismo, etc.

Además se ha creado un tercer paquete para realizar funciones de transferencia de información, lectura de cassettes, de cintas, y otras tareas de apoyo.

MODULO DE CALCULO

Este módulo cuenta con rutinas para integración, interpolación, lectura y grabación a disco, corrección de línea base empleando el método de CALTECH-BASILI, cálculo de transformada de Fourier, cálculo de espectros de respuesta, graficación y otras rutinas de soporte.

En la primera etapa, este módulo solo realiza operaciones en una señal a la vez, por lo que no se han incluido aún las rutinas para efectuar suma, resta y promedio de señales, proyecciones y giros, etc., las cuales serán incorporadas en una segunda etapa.

El módulo de cálculo está siendo implementado en un solo programa dividido en partes que agrupan un conjunto de subrutinas con funciones similares, de tal forma que al programador le sea mas sencillo localizar la rutina que se desea revisar, modificar o sustituir.

El programa principal se encarga de interpretar los comandos del usuario, revisar si es posible de efectuarse y llamar, con los parámetros necesarios, a la subrutina que realizará la instrucción pedida.

Cada instrucción está compuesta de cuatro caracteres que constituyen la ORDEN, un MODIFICADOR de hasta cuatro caracteres, y una serie de parámetros que complementan la información necesaria para ejecutarla correctamente. La lista de las instrucciones que serán implementadas se muestra en la tabla 1, las cuales se han agrupado de acuerdo con el carácter de la orden que va a ejecutarse, en:

- a) Ordenes de entrada. Permiten la lectura de los datos que se van a procesar, o la generación de señales de prueba
- b) Ordenes de salida. Permiten obtener resultados en listados, disco magnético o, principalmente, en gráficas
- c) Ordenes de proceso. Son en realidad la parte más importante del procesamiento de acelerogramas. Entre otras, se tienen órdenes para corrección de línea base por varios métodos, cálculo de espectros de Fourier, de espectros de respuesta, integración por varios métodos, estimación del valor RMS, multiplicación por un escalar, interpolación, etc.
- d) Ordenes de control. Permiten realizar operaciones de apoyo al módulo de cálculo, como reiniciar ejecución, borrar archivos, cambiar características o parámetros, etc.

MODULO DE BASE DE DATOS

En este módulo se están codificando los programas necesarios para manejo de información complementaria a la obtenida en el procesamiento. Este paquete consiste en una base de datos formada por cuatro archivos principales:

- a) APARATOS. Contiene los principales parámetros de los instrumentos, tales como clave, marca, número de serie, constantes de calibración, fecha de adquisición, estaciones donde ha sido instalado y fechas, etc.
- b) ESTACIONES. Almacena la información relativa a las estaciones: clave, nombre, localización geográfica, descripción del sitio, nombre del patrocinador, clave del instrumento que está instalado, etc.
- c) SISMOS. Contiene los principales datos sismológicos de los temblores registrados, como fecha, hora, localización, profundidad, magnitud, etc.
- d) ACELEROGRAMAS. Este es el archivo principal de este paquete. Contiene los vectores de identificación de todos los acelerogramas, compuesto de 250 localidades, donde se almacenan los parámetros que aparecen en la tabla 2. Como puede observarse, no se incluyen todos los datos referentes a los tres archivos anteriores, sino que se da únicamente la clave asociada, con lo que se optimiza el almacenamiento de la información.

El módulo de base de datos está siendo construido de manera que permita al usuario realizar búsquedas rápidas de información proporcionando cualquiera de los parámetros señalados en la tabla 3. Como podrá notarse, cada archivo contiene una llave principal, que es única, y varias secundarias, las cuales en algunos casos pueden ser comunes a varios registros.

Al proporcionar una de ellas, los programas realizan una búsqueda en el índice asociado a ella, el cual solo contiene los apuntadores para determinar en el archivo principal la localidad donde se encuentra la información buscada y leerla directamente, sin que sea necesario leer la información colocada antes de la requerida.

Para lograr lo anterior, todos los archivos empleados son de acceso directo, lo que da mayor velocidad a la búsqueda, y son creados empleando bibliotecas de programas ya existentes en PRIME. Asimismo, es posible modificar, sustituir o borrar uno o varios renglones del archivo sin que sea necesario reconstruirlo.

Dado que es posible hacer búsquedas múltiples, podrán localizarse datos que cumplan con varios requisitos simultáneamente, según deseos del usuario (5).

Los programas para despliegue y manejo de información se encuentran en etapa de implementación.

MODO AUXILIAR

Este módulo se ha creado para incluir en él los programas de apoyo para transferencia de información entre diversos equipos: para el traslado de archivos de acelerogramas ya procesados de Burroughs B-7800 a PRIME P-550, para la lectura directa en P-550 de cassettes digitales leído en la lectora correspondiente, para la comunicación y transferencia de información entre una APPLE-II (que captará la salida de la digitización manual de acelerogramas analógicos) y la P-550, además de otras rutinas de conversión y manejo de datos, prueba de programas, etc.

Entre los ya implementados se encuentran los de cálculo de distancias, graficación de la República Mexicana (o la parte deseada de ella), etc.

Para adecuar algunas tareas que realiza la computadora PRIME a algunos requisitos, se diseñaron e implementaron modificaciones y adiciones al sistema operativo PRIMOS. Entre ellas se tienen varios métodos de leer cintas magnéticas, de obtener atributos de archivos, protocolos de comunicación con otras computadoras, etc.

RECONOCIMIENTO

Luis Alonso aportó valiosas ideas durante el diseño de todos los paquetes de programas. Los comentarios de J. Prince han sido también de gran valía. Juan Jiménez, Rosario Delgado y Ricardo Mayrén han participado en forma entusiasta. Se agradece también la colaboración de Alejandro Hinojosa de CICESE.

REFERENCIAS

1. Mena S, E. y Alonso C, L. "Sistema para procesar series de tiempo. Descripción y manual de usuario. Versión para B-7800". Instituto de Ingeniería, UNAM. Junio 1982.
2. PRIME Computer "The FORTRAN reference guide". Natick, MA 1980.
3. PRIME Computer "PRIMOS subroutines", PDR 3621, Rev A. Natick, MA. 1980.
4. M.D. Trifunac and V. Lee. "Routine computer processing of strong motion accelerograms" California Institute of Technology, EERL 73-03. October, 1973.
5. PRIME Computer "The MIDAS user's guide". IDR 4558. Natick, MA. 1980.

Tabla 1. ORDENES ACEPTADAS EN EL MODULO DE PROCESAMIENTO.

1. Ordenes de ENTRADA:	
DIGC	Lee tarjetas del digitizador del II.
OENE	Genera señales de caract. especiales.
LEE	Lee tarjetas con formato especial.
LEED	Lee de disco una componente.
SENO	Genera una función senoidal.
TRIA	Genera una señal triangular.
APLE	Lectura de datos provenientes de APPLE.
2. Ordenes de SALIDA:	
DISC	Graba en disco tiempo-acel-vel-desp y espectros.
GRAT	Grafica tres señales de A, V o D.
HISC	Imprime T-A-V-D en forma compacta.
IDEN	Cambia identificación componente.
IMPE	Imprime espectros de respuesta.
IMPF	Imprime espectro de Fourier.
IMPR	Imprime tiempo-aceleración.
L4F	Grafica FFT de A y V lineal y logarítmicos.
LOGF	Grafica de FFT ejes log. (una página).
L4E	Grafica de los 4 esp. resp. ejes logarítmicos.
L4EL	Grafica de los 4 esp. resp. ejes lineales.
L4E2	Grafica de esp. resp. amort=0 de 2 señales.
L4L2	Grafica de esp. resp. amort=0; 2 señales, ejes lin.
NEWA	Grafica de A, V y D en función del tiempo.
PLTE	Grafica de los 4 esp. resp. una pág. c/u.
PLTF	Grafica del espectro de Fourier.
TESP	Grafica esp. resp. en función del tiempo.
3. Ordenes de PROCESO:	
AFOV	Integración haciendo A,V,D finales igual a cero.
AJUS	Corrección por mínimos cuad. ajustando parábolas en desp.
CALT	Corrección empleando el método de Caltech.
COPI	Copia una componente en memoria.
CORT	Corta una señal entre dos tiempos dados.
ESCA	Multiplica las ordenadas por un escalar.
ESPE	Calcula el espectro de respuesta.
BESM	Corrección minimizando el desplazamiento.
FI	Integración a partir de senos y cosenos.
FFT	Calcula transformada de Fourier.
HYPS	Calcula vel. y despl. de una señal corregida por CALT.
INTP	Interpola una señal por Lagrange.
MAUD	Interpola a intervalo cte. por el método de Maude.
NEIC	Corrección por medio de transformada de Fourier.
NORM	Normaliza empleando el valor rms de la señal.
OFFS	Corrección de corrimiento de cero para SISSEX.
ORMS	Filtrado digital por el método de Ormsby.
PRES	Promedia espectros de respuesta.
PROM	Corrección por promedios móviles.
PROY	Obtiene la proy. de 2 señales ortogonales.
REST	Obtiene la resta de dos señales.
RMS	Obtiene el valor medio cuadrático rms.
SUMA	Obtiene la suma de dos señales.
SUME	Obtiene la suma de espectros de respuesta.
NBOY	Corrección por el método de Boyce.
4. Ordenes de CONTROL:	
CTES	Modifica alguna constante para procesamiento.
CUAL	Indica que componentes se tienen en memoria.
FILE	Cambia de archivo de datos.
LIMP	Limpia vectores y reinicia proceso.
FIN	Termina ejecución del programa.
HELP	Obtiene esta salida en terminal.
INTG	Integra la señal según SLAC,BETA,FI.
5. MODIFICADORES:	
ACEL	Aceleración, para FFT, etc.
BASI	Para CALTec: procedimiento modificado por Basili.
BETA	Integración por método Beta-Newmark.
DESP	Desplazamiento, para FFT, etc.
FI	Integración método FI.
NRMA	Espectros normales: 5 amort., 98 periodos.
SLAC	Integración con SLAC.
VELO	Velocidad, para FFT, etc.

Tabla 2. DATOS EN EL ARCHIVO DE ACELEROGRAMAS.

DATOS GENERALES:

Identificación del archivo.
 Clave del sismo.
 Distancias a los epicentros.
 Fecha de recolección del registro.
 Número de evento en el registro.
 Hora de inicio del registro (UT).
 Error del reloj, seg.
 Duración del registro, seg.
 Localización del original.
 Localización amplificación.
 Localización tarjetas.
 Localización cinta de protección.
 Factor de amplificación.
 Clave estación.
 Clave acelerógrafo.

POR CADA COMPONENTE:

Orientación, ejes: NOOE.
 Sensibilidad, gals/mm o gals/cta.
 Amortiguamiento, %.
 Frecuencia natural, Hz.
 Aceleración max. del registro, gals.
 Aceleración min. del registro, gals.
 Datos filtrado analógico.

DATOS DIGITIZADOS:

Número de la digitización.
 Tipo de digitización.
 Tiempo inicial, seg.
 Tiempo final, seg.
 Iniciales del operador.
 No. puntos X-Y traza aceleración.
 No. puntos X-r traza tiempo.
 No. puntos X-Y traza referencia.

DATOS SIN CORREGIR:

Número de puntos T-A.

DATOS CORREGIDOS:

Número de la prueba.
 Método de interpolación.
 Método de corrección.
 Parámetros de corrección (10 par).
 Número de puntos.
 Delta tiempo, seg.
 Tiempo inicial, seg.
 Tiempo final, seg.
 Aceleración max., gals.
 Tiempo ocurrencia de Amax, seg.
 Aceleración min., gals.
 Tiempo ocurrencia de Amin, seg.
 Velocidad máxima, cm/seg.
 Tiempo ocurrencia Vmax, seg.
 Velocidad mínima, cm/seg.
 Tiempo ocurrencia Vmin, seg.
 Desplazamiento max., cm.
 Tiempo ocurrencia Dmax, seg.
 Desplazamiento min., cm.
 Tiempo ocurrencia Dmin, seg.
 No. de cruces por cero de A, V y D.

ESPECTROS:

No. de amortiguamientos, NA=6
 Valor del amort.(j), j=1,NA
 No. periodos para AMOR(j)
 Acel. abs. max. SA(i), i=1,NA
 Vel. rel. max. SVMax(i), i=1,NA
 Desp. rel. max. SDmax(i), i=1,NA
 Periodo para SAMax(i), i=1,NA
 Periodo para SVMax(i), i=1,NA
 Periodo para SDmax(i), i=1,NA

ARCHIVO	LLAVE PRINCIPAL	LLAVES SECUNDARIAS			
		1	2	3	4
ACELEROGRAMAS	CLAVE REGISTRO	SISMO	ESTACIÓN	INSTRUMENTO	REGIÓN O DISTANCIA
ESTACIONES	CLAVE ESTACIÓN	TIPO DE SUELO	OTRA		
INSTRUMENTOS	CLAVE APARATO	MARCA Y MODELO	NÚMERO DE SERIE	OTRA	
SISMOS	CLAVE	MAGNITUD	NOMBRE	REGION	OTRA

TABLA 3. ORGANIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS