

SAC 参考手册

基于 SAC v101.6a

作者：SeisMan

版本：4.1

日期：2020-12-01

保护环境，从阅读电子文档开始！

目 录

第一部分 教程部分	1	4.6 事件信息	45
第 1 章 SAC 简介	3	4.7 台站和分量信息	47
1.1 SAC 是什么?	3	4.8 去毛刺	47
1.2 SAC 发展史	3	4.9 去均值、去线性趋势和波形 尖灭	48
1.3 SAC 变体	4	4.10 去仪器响应	49
1.4 申请 SAC	4	4.11 数据截窗	51
1.5 Linux 下安装 SAC	5	4.12 分量旋转	52
1.6 macOS 下安装 SAC	7	4.13 数据重采样	54
1.7 邮件组	9	4.14 滤波	56
第 2 章 SAC 基础	11	4.15 震相理论到时	58
2.1 如何学习 SAC?	11	4.16 波形排序	59
2.2 如何阅读本文档?	11	4.17 质量控制	60
2.3 启动和退出	12	4.18 震相拾取	60
2.4 SAC 设计思想	12	4.19 数据分析	65
2.5 SAC 命令初探	13	4.20 信号叠加	65
2.6 文档约定	15	第 5 章 SAC 图像	69
2.7 样本数据	16	5.1 图形设备	69
2.8 SAC 读和写	17	5.2 SAC 绘图流程	70
2.9 绘图	18	5.3 绘图命令	71
第 3 章 SAC 文件格式	21	5.4 图像外观	74
3.1 SAC 格式简介	21	5.5 等值线图	79
3.2 两种数据形式	21	5.6 组合图	81
3.3 SAC 头段结构	23	5.7 图像保存	83
3.4 SAC 头段变量	25	5.8 图像格式转换	84
3.5 SAC 中的时间概念	33	第 6 章 SAC 编程	87
第 4 章 SAC 数据处理	41	6.1 SAC 宏简介	87
4.1 数据申请	41	6.2 引用头段变量值	88
4.2 数据格式转换	42	6.3 黑板变量	88
4.3 合并数据	43	6.4 内联函数	89
4.4 数据重命名	43	6.5 SAC 宏	95
4.5 时区校正	44	第 7 章 脚本中调用 SAC	103

7.1	Bash 中调用 SAC	103	12.3	abs	168
7.2	Perl 中调用 SAC	105	12.4	add	169
7.3	Python 中调用 SAC	113	12.5	addf	170
第 8 章	SAC 函数库	123	12.6	apk	171
8.1	SAC 库简介	123	12.7	arraymap	172
8.2	调用 libsacio 库	125	12.8	axes	173
8.3	调用 libsac 库	128	12.9	bandpass	174
第 9 章	SAC I/O	133	12.10	bandrej	176
9.1	C 程序中的 SAC I/O	133	12.11	bbfk	177
9.2	Fortran 程序中的 SAC I/O	138	12.12	beam	178
9.3	Matlab 中的 SAC I/O	138	12.13	begindevices	180
9.4	Python 中的 SAC I/O	140	12.14	beginframe	180
9.5	Julia 中的 SAC I/O	141	12.15	beginwindow	181
第 10 章	SAC 相关工具	143	12.16	benioff	181
10.1	saclst	143	12.17	binoperr	182
10.2	rdseed	144	12.18	border	184
10.3	pssac	147	12.19	capf	184
10.4	sac-config	147	12.20	chnhdr	184
10.5	字节序转换	147	12.21	chpf	186
10.6	sgftops	148	12.22	color	186
第 11 章	SAC 技巧与陷阱	149	12.23	comcor	188
11.1	SAC 初始化	149	12.24	contour	188
11.2	命令长度	149	12.25	convert	189
11.3	字节序	152	12.26	convolve	190
11.4	读取目录下的 SAC 文件	153	12.27	copyhdr	191
11.5	Tab 与空格	154	12.28	correlate	192
11.6	未定义的头段变量	156	12.29	cut	194
11.7	SAC debug	156	12.30	cuterr	197
11.8	wh 与 w over	158	12.31	cutim	198
11.9	修改最大允许的文件数目	158	12.32	datagen	199
11.10	SAC 与脚本的运行速度	159	12.33	decimate	201
第二部分	命令部分	161	12.34	deletechannel	202
第 12 章	SAC 命令	163	12.35	dif	203
12.1	功能命令列表	163	12.36	div	204
12.2	about	168	12.37	divf	204
			12.38	divomega	205
			12.39	echo	206
			12.40	enddevices	207
			12.41	endframe	207
			12.42	envelope	207

12.43	erase	208	12.83	lowpass	238
12.44	evaluate	208	12.84	macro	239
12.45	exp	210	12.85	map	240
12.46	exp10	210	12.86	markptp	242
12.47	fft	210	12.87	marktimes	244
12.48	fileid	212	12.88	markvalue	245
12.49	filenumber	213	12.89	mathop	246
12.50	filterdesign	213	12.90	merge	247
12.51	fir	214	12.91	message	249
12.52	floor	215	12.92	mtw	249
12.53	funcgen	216	12.93	mul	250
12.54	getbb	217	12.94	mulf	250
12.55	grayscale	218	12.95	mulomega	251
12.56	grid	220	12.96	news	252
12.57	gtext	220	12.97	null	252
12.58	hanning	221	12.98	oapf	253
12.59	help	222	12.99	ohpf	253
12.60	highpass	222	12.100	pause	254
12.61	hilbert	223	12.101	picks	255
12.62	history	224	12.102	pickauthor	256
12.63	ifft	225	12.103	pickphase	257
12.64	image	225	12.104	pickprefs	258
12.65	inimc	227	12.105	plabel	259
12.66	installmacro	227	12.106	plot	260
12.67	int	228	12.107	plot1	260
12.68	interpolate	229	12.108	plot2	261
12.69	keepam	230	12.109	plotalpha	263
12.70	khronhite	230	12.110	plote	263
12.71	line	231	12.111	plotdy	266
12.72	linefit	232	12.112	plotpk	267
12.73	linlin	233	12.113	plotpm	269
12.74	linlog	233	12.114	plotsp	270
12.75	listhdr	234	12.115	plotxy	271
12.76	load	235	12.116	print	271
12.77	loadctable	236	12.117	printhelp	272
12.78	log	237	12.118	production	272
12.79	log10	237	12.119	qdp	273
12.80	loglab	237	12.120	quantize	274
12.81	loglin	238	12.121	quit	275
12.82	loglog	238	12.122	quitsub	275

12.123	read	275
12.124	readbbf	277
12.125	readcss	278
12.126	readerr	280
12.127	readhdr	281
12.128	readsp	281
12.129	readtable	282
12.130	report	284
12.131	reverse	285
12.132	rglitches	285
12.133	rmean	286
12.134	rms	286
12.135	rotate	288
12.136	rq	290
12.137	rtrend	290
12.138	saveimg	291
12.139	setbb	292
12.140	setdevice	293
12.141	setmacro	294
12.142	sgf	294
12.143	smooth	296
12.144	sonogram	296
12.145	sort	298
12.146	spectrogram	298
12.147	sqr	300
12.148	sqrt	300
12.149	stretch	300
12.150	sub	301
12.151	subf	302
12.152	symbol	302
12.153	synchronize	304
12.154	systemcommand	305
12.155	taper	306
12.156	ticks	307
12.157	title	308
12.158	trace	309
12.159	transcript	310
12.160	transfer	312
12.161	traveltime	318
12.162	tsize	320

12.163	unsetbb	321
12.164	unwrap	321
12.165	vspace	323
12.166	wait	324
12.167	whiten	325
12.168	whpf	325
12.169	width	326
12.170	wiener	327
12.171	wild	328
12.172	window	330
12.173	write	332
12.174	writebbf	333
12.175	writecss	334
12.176	writehdr	335
12.177	writesp	335
12.178	xdiv	337
12.179	xfudge	337
12.180	xfull	338
12.181	xgrid	339
12.182	xlabel	339
12.183	xlim	340
12.184	xlin	340
12.185	xlog	341
12.186	xvport	341
12.187	ydiv	342
12.188	yfudge	342
12.189	yfull	342
12.190	ygrid	343
12.191	ylabel	343
12.192	ylim	343
12.193	ylin	344
12.194	ylog	345
12.195	yvport	345
12.196	zcolors	345
12.197	zlabels	346
12.198	zlevels	347
12.199	zlines	347
12.200	zticks	348

13.1 信号叠加子程序	351	第三部分 附录	375
13.2 addstack	352	附录 A 错误与警告	377
13.3 changestack	353	附录 B 仪器响应	383
13.4 deletestack	354	B.1 仪器响应简介	383
13.5 deltacheck	354	B.2 物理与数学	385
13.6 distanceaxis	355	B.3 仪器响应文件	388
13.7 distancewindow	356	附录 C 数据获取	395
13.8 globalstack	356	C.1 数据来源	395
13.9 incrementstack	357	C.2 地震数据申请工具	396
13.10 liststack	358	附录 D 数据命名规则	401
13.11 plotrecordsection	358	D.1 位置码	401
13.12 plotstack	360	D.2 质量控制	401
13.13 sumstack	360	D.3 通道名	402
13.14 timeaxis	361	附录 E 文档更新历史	405
13.15 timewindow	361	E.1 v4.1 (2020-09-23)	405
13.16 travelttime	362	E.2 v4.0 (2018-12-23)	405
13.17 velocitymodel	362	E.3 v3.6 (2018-03-21)	405
13.18 velocityroset	363	E.4 v3.5 (2016-01-09)	405
13.19 writestack	364	E.5 v3.4 (2015-09-15)	405
13.20 zerostack	364	E.6 v3.3 (2015-06-06)	406
第 14 章 SPE 谱估计子程序	365	E.7 v3.2 (2015-05-02)	406
14.1 谱估计子程序	365	E.8 v3.1 (2014-09-25)	407
14.2 cor	367	E.9 v3.0 (2014-04-18)	407
14.3 mem	368	E.10 v2.3 (2014-02-22)	407
14.4 mlm	369	E.11 v2.2 (2013-04-12)	407
14.5 pds	370	E.12 v2.1 (2013-04-06)	407
14.6 plotcor	371	E.13 v2.0 (2013-03-29)	407
14.7 plotpe	371	E.14 v1.2 (2012-09-18)	407
14.8 plotspe	372	E.15 v1.1 (2012-09-03)	407
14.9 readcor	372	E.16 v1.0 (2012-01-08)	408
14.10 writecor	373		
14.11 writespe	373		

保护环境，从阅读电子文档开始！

图目录

3.1 震中距、方位角、反方位角示意图	30
3.2 cmpaz 和 cmpinc 示意图	31
4.1 地震波形去毛刺	48
4.2 去均值、去线性趋势和波形尖灭	49
4.3 将 N、E 分量旋转到 R、T 分量	54
4.4 滤波器的时间响应和频率响应	57
4.5 不同参数的带通滤波效果	57
4.6 不做动校正的叠加	67
4.7 做动校正的叠加	68
5.1 SAC 绘图窗口	69
5.2 plot1 绘图效果	71
5.3 plot2 绘图效果	73
5.4 plotsp 绘制振幅谱	74
5.5 绘图外观及其相关命令	75
5.6 线条属性	77
5.7 线条属性递增	78
5.8 颜色填充图	79
5.9 contour 绘制等值线 I	80
5.10 contour 绘制等值线图 II	81
5.11 window、viewspace 和 viewport	82
5.12 绘制组合图	83
12.1 Benioff 滤波器的响应函数	182
12.2 image 示意图	227
12.3 map 绘制地震、台站分布图	242
12.4 taper 衰减函数曲线	307
12.5 Freqlimits 尖灭函数	313
12.6 展开相位	322
2.1 COLA 台站处的原始地面运动	384
2.2 仪器响应频谱图	384
2.3 COLA 台站的地震记录	385

保护环境，从阅读电子文档开始！

表目录

3.1	SAC 头段变量列表	23
3.2	变量类型说明	24
3.3	标准地震通道的 <code>cmpaz</code> 和 <code>cmpinc</code>	31
4.1	<code>ppk</code> 模式命令一览表	64
6.1	常规算数运算函数	91
6.2	字符串操作函数	93
8.1	<code>libsacio</code> 子函数	123
8.2	<code>libsac</code> 子函数	124
9.1	<code>sacio</code> 函数列表	134
9.2	<code>sacio</code> 模块中的子程序	138
10.1	6 个标准方向的 <code>cmpaz</code> 和 <code>cmpinc</code>	145
12.1	<code>plotc</code> 命令表	266
12.2	<code>taper</code> 衰减函数参数一览	307
12.3	SAC 标准文本尺寸	320
12.4	SAC 标准窗口	331
2.1	SAC 内置仪器类型列表	388
2.2	部分仪器子类型	389
4.1	频带码	402
4.2	仪器码	403
4.3	方位码	403

保护环境，从阅读电子文档开始！

第一部分

教程部分

第 1 章 SAC 简介

1.1 SAC 是什么？

Seismic Analysis Code, 简称为 SAC, 是天然地震学领域使用最广泛的数据分析软件包之一。

SAC 是一个软件, 主要在命令行下操作, 通过各种命令来处理时间序列数据, 尤其是地震波形数据, 同时也提供了一个简单的图形界面, 使得用户可以方便地查看波形并拾取震相。

SAC 同时还是一种数据格式, 定义了以何种方式存储时间序列数据及其元数据。SAC 格式是地震学的标准数据格式之一, 有很多工具可以实现 SAC 格式与其它地震数据格式间的相互转换。

SAC 实现了地震数据处理过程中的常用操作, 包括重采样、插值、自/互相关、震相拾取、快速 Fourier 变换与反变换、谱估计、滤波、信号叠加等; 同时为了满足数据批处理的需求, SAC 设计了一个基础的编程语言, 包含了变量、参数、条件判断、循环控制等特性。这些都会在稍后的章节中详细介绍。

1.2 SAC 发展史

[Lawrence Livermore 国家实验室](#) 和 [Los Alamos 国家实验室](#) 是美国承担核武器设计工作的两个实验室。SAC 于 20 世纪 80 年代诞生于实验室的 Treaty Verification Program 小组里, 该组由 W. C. Tapley 和 Joe Tull 共同领导。

起初, SAC 是用 Fortran 语言实现的, 并将源代码分发给感兴趣的学者, 允许用户进行非商业性的地震数据处理, 用户和开发者之间的合作协议要求用户提交 bug 修正和改进以换取 SAC 的使用权。到了大概 1990 年, SAC 已经成为全球地震学家的数据处理标准软件。

从 1992 年开始, SAC 的开发逐渐由 Livermore 接管, 并开始通过分发协议严格限制源代码的分发。与此同时, 开发者认为 Fortran 是一种过于局限的编程语言, 其阻碍了 SAC 特性的进一步开发, 因而开发者使用 [f2c¹](#) 转换工具将 SAC 的 Fortran 源码转换成了 C 源码²。接下来, Livermore 以转换得到的 C 源码为基础, 计划开发一个商业版的地震数据处理产品, 命名为 SAC2000。这个版本扩展了很多功能, 其中一个功能是建立一个日志数据库, 记录一个波形从原始数据到最终产品之间的所有处理步骤。这样的设计允许用户随时提交数据处理的中间结果, 也可随时回滚到之前的状态。

¹ Fortran77 语言到 C 语言的自动转换工具。

² 个人猜测, 目前 SAC 源码的混乱和不易读正是由于这次自动转换导致的。

约 1998 年, [IRIS](#) 意识到, SAC 的核心用户群 (主要是 IRIS 的成员) 无法确保能够获取 SAC 的源码。IRIS 开始和 Livermore 协商, 希望将 SAC 的开发分成两条线: 一个包含数据库特性, 供核监测机构使用; 另一个不包含数据库特性, 仅供学术机构使用。商业化的努力主要集中在含数据库功能的版本上。

终于, 在 2005 年, IRIS 与 Livermore 签订了合同, Livermore 提供给 IRIS 一个 SAC 协议, 允许其在 IRIS 社区内分享 SAC/SAC2000 的源代码, 并提供有限的支持以促进社区的发展。而学术圈对于商业版的 SAC 没有太大兴趣, 因而 Livermore 逐渐撤出了对于 SAC2000 的支持。最终 IRIS 完全接手了 SAC 的开发和技术支持, 成为了一个独立的新分支, 也就是本手册中介绍的 SAC, 有时为了区分, 也称之为 SAC/IRIS。

1.3 SAC 变体

SAC 的发展史还是很曲折的, 这也导致 SAC 存在多个不同的变体。

Fortran SAC 即 SAC 的 Fortran 语言实现。最后一个分发版本发布于 2003 年, 版本号 10.6f。曾经以限制性的形式在 iaspei 软件库中分发。

SAC2000 从 Fortran 源码转换为 C 源码, 并以 C 源码为基础继续维护。该版本加入了数据库特性以及一些新的命令。目前该版本已不再分发。

SAC/IRIS 由 SAC2000 衍生的版本, 不包含数据库特性¹, 也就是本文档所介绍的版本, 在本文档中称为 SAC。现在由 IRIS 下的 SAC 开发小组负责维护, 并由 IRIS 分发。

SAC/BRIS 也称为 MacSAC, 主要在 MacOS X 下使用。该变种由 10.6d Fortran 源码衍生而来, 后期与 10.6f 集成。该变种除了提供 macOS 下预编译的安装包外, 还提供了编译脚本方便用户自行在其他 Linux 系统下编译使用。该变种的功能是 SAC/IRIS 的超集, 相对于 SAC/IRIS 的最主要扩展在于增强了宏语言的功能以及处理台阵数据的能力, 以及支持直接读取 miniSEED 格式的数据文件。其作者为 [George Helffrich](#)。

1.4 申请 SAC

在[SAC 发展史](#)中已经说到, SAC 协议仅允许 IRIS 将 SAC 源码包及二进制包分发给地震学相关人员。所以想要从官方渠道获取 SAC 软件包, 必须在 IRIS 网站上申请。

SAC 软件包申请地址: <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/forms/sac/>

申请的过程中需要注意以下几点:

- 认真填写个人信息, 否则可能会被拒绝
- 电子邮箱最好填写学术邮箱, 一般邮箱可能会被拒绝¹

¹ 目前的 SAC/IRIS 中还可以看到一些与数据库特性相关的命令和选项, 比如很多命令中的 commit、roll-back、recalltrace 选项, 这些选项的存在属于历史遗留问题, 且已经基本不再维护, 因而本文档中完全没有提及。

¹ 学术邮箱是指能证明你学术身份的邮箱, 如 edu 结尾的邮箱。

- 若无学术邮箱，则需要其他信息证明你是地震学相关人员

IRIS 提供了 SAC 最新版的源码包、Linux 64 位下的二进制包和 macOS 64 位下的二进制包。其中，二进制包可以在相应的平台下直接使用，源代码包则需要编译才能使用。具体申请那个包由用户的操作系统决定：

- Linux 64 位系统可以申请源码包或 Linux 64 位包
- macOS 64 位系统可以申请源码包或 Mac 64 位包
- 其他系统，如 Linux 32 位、Mac OSX 32 位、Cygwin，申请源码包

提交申请之后，需要人工审核，若审核通过，则 IRIS 会通过邮件将软件包发送给你。一般审核时间为两到三个工作日。由于审核周期稍长，建议同时申请 64 位二进制包和源码包。

重要： SAC 协议规定了用户没有分发 SAC 软件包的权利。所以，请勿将 SAC 软件包在网络上公开。

1.5 Linux 下安装 SAC

Linux 下安装 SAC，可以直接安装二进制包，也可以从源码安装。下面会分别介绍两种安装方式，用户根据需求任选其一即可。对于大多数用户而言，建议直接安装二进制包。

1.5.1 安装二进制包

安装依赖

官方提供的二进制包中的可执行文件可以直接使用，在运行时需要用到几个动态链接库。大部分 Linux 发行版下，都默认安装了这几个动态链接库。若不幸没有安装或不确定有没有安装，可以通过如下命令安装所需的软件包。

对于 Ubuntu/Debian：

```
$ sudo apt update
$ sudo apt install libc6 libsm6 libice6 libxpm4 libx11-6
$ sudo apt install zlib1g libncurses5
```

对于 CentOS/Fedora/RHEL：

```
$ sudo yum install glibc libSM libICE libXpm libX11
$ sudo yum install zlib ncurses
```

安装二进制包

直接将官方提供的二进制包解压并移动到安装目录即可：

```
$ tar -xvf sac-101.6a-linux_x86_64.tar.gz # 解压
$ sudo mv sac /usr/local # 安装
```

1.5.2 安装源码包

安装依赖包

编译源码时需要安装若干软件包。

对于 Ubuntu/Debian:

```
$ sudo apt update
$ sudo apt install build-essential
$ sudo apt install libncurses5-dev libsm-dev libice-dev
$ sudo apt install libxpm-dev libx11-dev zlib1g-dev
```

对于 CentOS/Fedora/RHEL:

```
$ sudo yum install gcc gcc-c++ make
$ sudo yum install glibc ncurses-devel libSM-devel libICE-devel
$ sudo yum install libXpm-devel libX11-devel zlib-devel
```

编译源码

将源码按如下命令解压、配置、编译、安装:

```
$ tar -xvf sac-101.6a_source.tar.gz
$ cd sac-101.6a
$ mkdir build
$ cd build
$ ../configure --prefix=/usr/local/sac
$ make
$ sudo make install
```

1.5.3 配置变量

向 `~/.bashrc`¹ 中加入如下语句以配置环境变量和 SAC 全局变量:

```
export SACHOME=/usr/local/sac
export SACAUX=${SACHOME}/aux
export PATH=${SACHOME}/bin:${PATH}

export SAC_DISPLAY_COPYRIGHT=1
export SAC_PPK_LARGE_CROSSHAIRS=1
export SAC_USE_DATABASE=0
```

¹ 某些发行版需要修改 `~/.bash_profile`

其中，

- SACHOME 定义了 SAC 的安装目录
- SAC_AUX 定义了 SAC 运行所需的辅助文件所在的目录
- PATH 为 Linux 系统环境变量，使得系统可以正确找到 SAC 的可执行文件
- SAC_DISPLAY_COPYRIGHT 用于控制是否在启动 SAC 时显示版本和版权信息，一般设置为 1。在脚本中多次调用 SAC 时会重复显示版本和版权信息，干扰脚本的正常输出，因而在脚本中一般将其值设置为 0。具体的设置方法可以参考“[脚本中调用 SAC](#)”中的相关内容
- SAC_PPK_LARGE_CROSSHAIRS 用于控制震相拾取过程中光标的大小，在[震相拾取](#)时会用到
- SAC_USE_DATABASE 用于控制是否允许将 SAC 格式转换为 GSE2.0 格式，一般用不到该特性，故而设置其值为 0

修改完 `~/.bashrc` 后，执行以下命令使配置的环境变量生效：

```
$ source ~/.bashrc
```

1.5.4 启动 SAC

终端键入小写的 `sac`²，显示如下则表示 SAC 安装成功：

```
$ sac
SEISMIC ANALYSIS CODE [11/11/2013 (Version 101.6a)]
Copyright 1995 Regents of the University of California

SAC>
```

1.6 macOS 下安装 SAC

macOS 下安装 SAC，可以直接使用官方提供的二进制包，也可以手动编译源码包。对于大多数用户而言，建议安装二进制包。下面会分别介绍两种安装方法。

警告： 似乎在最新版本的 macOS 下手动编译的 SAC 无法使用，暂无解决办法。

1.6.1 准备工作

首先要安装 macOS 下的命令行工具。在终端执行如下命令即可安装：

```
$ xcode-select --install
```

此外，还需要安装 X11 图形界面相关工具，即 XQuartz。可以按照 [Apple 的官方支持](#) 来

² Ubuntu 的源里有一个名叫 `sac` 的软件，是用来显示登录账户的一些信息；CentOS 的源里也有一个名叫 `sac` 的软件，是 CSS 语法分析器的 Java 接口。所以一定不要试图用发行版自带的软件包管理器安装 `sac`！

解决。Homebrew 用户可以使用如下命令安装：

```
$ brew cask install xquartz
```

1.6.2 安装二进制包

直接将官方的二进制包解压并移动到安装目录即可：

```
$ tar -xvf sac-101.6a-mac_x86_64.tar.gz
$ sudo mv sac /usr/local
```

1.6.3 编译源码

按照如下命令即可正确编译源码。需要注意的是，由于 SAC 默认使用的 editline 库在 macOS 下无法正常编译，因而执行 `configure` 时使用了 `--enable-readline` 选项使得 SAC 使用 readline 库而不是 editline 库。

```
$ tar -xvf sac-101.6a_source.tar.gz
$ cd sac-101.6a
$ mkdir build
$ cd build
$ ../configure --prefix=/usr/local/sac --enable-readline
$ make
$ sudo make install
```

1.6.4 配置变量

向 `~/.bash_profile` 中加入如下语句以配置环境变量和 SAC 全局变量：

```
export SACHOME=/usr/local/sac
export SACAUX=${SACHOME}/aux
export PATH=${SACHOME}/bin:${PATH}

export SAC_DISPLAY_COPYRIGHT=1
export SAC_PPK_LARGE_CROSSHAIRS=1
export SAC_USE_DATABASE=0
```

其中，

- SACHOME 定义了 SAC 的安装目录
- SACAUX 定义了 SAC 运行所需的辅助文件所在的目录
- PATH 为 Linux 系统环境变量，使得系统可以正确找到 SAC 的可执行文件
- SAC_DISPLAY_COPYRIGHT 用于控制是否在启动 SAC 时显示版本和版权信息，一般设置为 1。在脚本中多次调用 SAC 时会重复显示版本和版权信息，干扰脚本的正常输出，因而在脚本中一般将其值设置为 0。具体的设置方法可以参考“[脚本中调用 SAC](#)”中的相关内容
- SAC_PPK_LARGE_CROSSHAIRS 用于控制震相拾取过程中光标的大小，在[震相拾取](#)

时会用到

- `SAC_USE_DATABASE` 用于控制是否允许将 SAC 格式转换为 GSE2.0 格式，一般用不到该特性，故而设置其值为 0

修改完 `~/.bash_profile` 后，执行以下命令使配置的环境变量生效：

```
$ source ~/.bash_profile
```

1.6.5 启动 SAC

终端键入小写的 `sac`，显示如下则表示 SAC 安装成功：

```
$ sac
SEISMIC ANALYSIS CODE [11/11/2013 (Version 101.6a)]
Copyright 1995 Regents of the University of California

SAC>
```

现在，新版本的 Mac 系统在启动 `sac` 时，因为安全限制会拒绝启动 `sac`。可以在系统偏好设置的安全性及隐私中，通过输入密码或 Touch ID 选择仍然启动 `sac`。

1.7 邮件组

邮件组类似于 QQ 群。在加入了邮件组之后，如果你在使用 SAC 的过程中遇到问题，可以向这个邮件组的邮箱发送邮件，该组内的所有成员都会收到你的邮件。如果某人知道答案，他或许就会给你回复。发现了 SAC 的 bug 也可以向这里报告，开发者会尽快给你回复的。当然问问题之前要思考，提交 bug 的时候要详细指出 bug 是如何出现的，也可以给出代码或文件以使得开发者能够重现该 bug。

- 订阅地址：<http://ds.iris.edu/message-center/topic/sac-help/>
- 邮件组邮箱：sac-help@lists.ds.iris.edu

保护环境，从阅读电子文档开始！

第 2 章 SAC 基础

2.1 如何学习 SAC ?

学习 SAC 最好的方式是找一个有经验且有耐心的人，让他/她给你演示 SAC 是如何工作的。如果没有这样一个人的话，那么你就需要打开终端从头开始自学。

学习 SAC 的过程大致可以分成三个阶段，下面列出了每个阶段的具体要求。普通用户需要达到 SAC 进阶才能满足日常数据处理的要求。

2.1.1 SAC 初阶

1. 掌握 SAC 中最常用的命令，包括但不限于[help](#)、[read](#)、[write](#)、[plot](#)、[quit](#)、[plotpk](#)、[listhdr](#)、[chnhdr](#)、[rmean](#)、[rtrend](#)、[taper](#)、[bandpass](#)、[plot1](#)、[plot2](#)、[cut](#)、[fft](#)、[transfer](#)；
2. 理解地震数据处理流程，参见[SAC 数据处理](#)一章；
3. 了解[SAC 文件格式](#)，掌握常见的[SAC 头段变量](#)，理解[SAC 中的时间概念](#)；
4. SAC 相关工具：[saclst](#)、[pssac](#)；

2.1.2 SAC 进阶

1. 掌握 SAC 的大部分命令，至少要知道哪个命令可以实现什么功能；
2. 掌握如何绘制波形图，见[SAC 图像](#)；
3. 了解 SAC 编程以及如何在脚本中调用 SAC，见[SAC 编程](#)和[脚本中调用 SAC](#)；
4. 学会在自己的程序中读写 SAC 文件，见[SAC 函数库](#)和[SAC I/O](#)；

2.1.3 SAC 高阶

1. 了解 SAC 软件包的内部结构；
2. 自己写程序实现 SAC I/O 库；
3. 阅读 SAC 源码，了解命令的技术细节；
4. 向 SAC 贡献代码；

2.2 如何阅读本文档？

本文档的内容主要分为三个部分：教程部分、命令部分和附录。

- 教程部分介绍了 SAC 的基础及进阶知识，并通过尽可能多的示例来演示如何操作和使用 SAC。初学者应该坐在计算机前，打开终端，键入¹书中的示例，试着理解每一个步骤的原理以及结果，并不断熟悉常用的 SAC 命令。
- 命令部分详细地列出了 SAC 中的每一个命令的语法、参数以及一些技术细节，并包

¹ 严禁复制！不许偷懒！

含了大量示例，适合作为参考，在需要的时候查阅。

- 附录部分包含了一些与 SAC 有关但又稍微有些偏离本文档的主线的内容。

在阅读教程部分的同时，应随时翻看相应命令的说明，在实践的过程中掌握基础命令的语法和用法。这样基本就完成了 SAC 初阶的要求。

在读完教程部分之后，应浏览 SAC 的几乎所有命令，并挑选其中感兴趣的一些进行尝试。此后，在平常的科研工作中经常使用 SAC，有了实践经验和对 SAC 的进一步认识之后，可以阅读文档中的进阶内容，达到 SAC 进阶的要求。

最后，如果对 SAC 的内部机理感兴趣，可以阅读 SAC 的源码，重新实现一些 SAC 底层的功能。

2.3 启动和退出

在终端键入 `sac` 即可启动 SAC，显示如下版本号以及版权信息¹：

```
$ sac
SEISMIC ANALYSIS CODE [11/11/2013 (Version 101.6a)]
Copyright 1995 Regents of the University of California

SAC>
```

其中，“SAC>”是 SAC 程序特有的命令提示符。

退出 SAC：

```
SAC> quit
```

也可以使用 `done`、`exit` 命令退出 SAC，但不推荐。

一次完整的启动和退出称为一个 SAC 会话。

2.4 SAC 设计思想

SAC 的设计思想大概可以总结如下：

1. 每个信号¹被保存到单独的 SAC 格式数据文件中；
2. SAC 格式包含了描述数据特征的头段区和存储信号的数据区，见[SAC 文件格式](#)一章；
3. 将单个或多个 SAC 文件从磁盘读入内存；
4. 通过各种命令对内存中的数据进行操作；
5. 操作完毕，将内存中的数据写入到磁盘，可以覆盖原 SAC 文件或写入新文件中。

¹ Livermore 实验室由 University of California 于 1952 年创立，2007 年改由 University of California、Bechtel National、BWX Technologies、Washington Group International 共同组成的安全机构管理。

¹ 信号，或称之为 trace，即单个台站单个仪器单个分量记录到的连续时间序列。

读取 SAC 文件时的若干限制：

- SAC 一次性最多处理 1000 个 SAC 文件；想要修改这个上限，见[修改最大允许的文件数目](#)一节；
- 单个文件名所允许的最大长度为 128 字符；

2.5 SAC 命令初探

2.5.1 SAC 命令长什么样？

一个完整的 SAC 命令一般由“命令 + 选项 + 参数”构成，其中命令必须有，选项和参数可以成对出现，也可以只出现其中一个。命令、选项以及参数之间用空格分开。如果要将多个命令写在一行，要用**分号**隔开每个命令。例如：

```
SAC> funcgen random delta 0.1 npts 1000
SAC> rmean; rtrend; taper                # 一行内多个命令用分号隔开
SAC> write rand.SAC
```

这几行命令，首先在内存中生成了一个采样间隔为 0.1 秒，数据长度为 1000 个点的随机序列，然后对这一时间序列去均值、去线性趋势和两端尖灭操作，然后将处理后的序列写入到磁盘文件中。其中：

- funcgen、write、rmean、rtrend 和 taper 是命令；
- random、delta 和 npts 是选项；
- 0.1 是选项 delta 的参数，1000 是选项 npts 的参数；
- rand.SAC 则是一个无选项的参数¹。

注解：官方文档的原文是“command”、“keyword”和“option”，本文档 v2.0 中译为“命令”、“关键字”和“参数”。个人感觉，无论是官方的用词还是 v2.0 版的译词都很容易让使用 C 语言和 Linux 的人困惑，因而 v3.0 中一律将其改为命令（command）、选项（option）和参数（argument）。

这里解释一下选项（option）和参数（argument）的区别。一个命令有哪些选项是由命令规定的，其控制了命令的一些特性，因而选项的作用是告诉命令“**要**改某个特性”。但是具体**怎么**改呢？这个就交给参数来控制了。命令或选项只规定了参数的类型（整型、浮点型、字符串、枚举型或者逻辑型），用户需要根据自已的需求给定参数值。

2.5.2 大小写

SAC 的命令和选项都是不区分大小写的，这意味着你可以根据自己的喜好使用 funcgen 或者 FUNCGEN，SAC 在解释命令前都会将其转换为大写字母。

¹ 其实可以有多个选项，这里都省略了。

需要注意的是，由于 Linux 本身是区分大小写的，所以对于出现在参数中的文件名、目录名或者由引号包围的字符串来说，大小写是完全不同的。比如 `rand.SAC` 和 `RAND.SAC` 是两个完全不同的参数。

2.5.3 命令简写

SAC 的大多数命令及选项都有简写形式。比如上面的命令简写形式如下：

```
SAC> fg r d 0.1 n 1000
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> w rand.SAC
```

命令和选项究竟可以简写成怎样的形式，是由 SAC 自身规定的。简写的好处在于，在不产生歧义的前提下尽量减少用户的击键数；坏处在于，若对命令不够熟悉，简写后的命令变得很难读和难理解。比如你一看就知道 `delta` 代表的是采样周期²，而 `d` 却不那么直观，可能是 `delta`，也可能是 `demon`。所以，在终端调用 SAC 时，可以多用简写以减少击键数，但在脚本中调用 SAC 时应仅使用那些常用命令的简写，不要滥用，否则一段时间后你会看不懂自己写的脚本的。

2.5.4 查看命令语法

SAC 自带了英文的帮助文档，详细解释了每个命令的语法，可以通过 `help` 命令查看相应文档：

```
SAC> help funcgen write # 命令的简写是 h fg w
```

也可以直接查看 `$SACHOME/aux/help` 下的文档，或者查看本文档的命令部分。

2.5.5 参数默认值

为了让 SAC 易学易用，几乎所有命令参数都有一个“系统默认参数值”，这些“系统默认参数值”都是经过精心挑选的，同时用户又可以随时修改参数值。这样的设计使得 SAC 易用同时又不失灵活性。

SAC 中的参数分为两类，全局参数和局部参数。SAC 命令的具体执行效果由全局参数和局部参数决定。根据修改参数的类型，SAC 命令可以分为两类：

- 参数设定类：修改 SAC 的全局参数值
- 操作执行类：修改局部参数值，并对数据进行某些操作

在启动 SAC 时，所有的参数都会被初始化为指定的“系统默认参数值”。使用参数设定类命令的时候，其修改了 SAC 的全局参数，会影响接下来与之相关的所有其它命令的执行效果。使用操作执行类命令的时候，在命令中设定参数，相当于修改局部变量的值，不仅会影响当前命令的执行，也会影响之后所有同名命令的执行。

² 也称为采样时间，即两次数据采样的时间间隔，本文档将统一使用“采样周期”。

当你在某个命令中为某个选项指定了一个参数值的时候，该参数值会成为该命令的该选项的“参数当前值”，该“参数当前值”即成为接下来所有该命令的该选项的“当前默认值”。

鉴于 SAC 的这样一个特性，在一次会话中，多次执行同一个命令时，一定需要注意选项的当前值是多少，因为这可能会影响到后面的一系列结果，这个必须理解和牢记！

当你在一次会话中执行了很多个命令的时候，SAC 参数可能已经被弄得一片混乱，你可以使用 `inimcm` 命令在不退出 SAC 的情况下重新初始化。

下面用例子解释一下：

```
SAC> funcgen
SAC> plot
SAC> funcgen step delta 0.1 npts 1000
SAC> plot
SAC> funcgen boxcar
SAC> plot
```

1. `funcgen` 的默认值为 `funcgen impulse npts 100 delta 1.0 begin 0.`
2. 第一个 `funcgen` 命令没有使用任何选项和参数，其直接使用系统默认值，生成一个脉冲数据，并保存到内存中。该数据的起始时间为 0，采样周期为 1.0，数据点数为 100
3. `plot` 命令会打开一个绘图窗口，并将内存中的数据绘制在窗口中
4. 第二个 `funcgen` 命令生成了一个 `step` 函数³，并设置其采样周期为 0.1，数据点数为 1000
5. 0.1 和 1000 分别成为 `delta` 和 `npts` 的“参数当前值”
6. 第三个 `funcgen` 命令生成了 `boxcar` 函数，从绘图结果可以看出 `delta` 的值为 0.1，`npts` 的值为 1000，即继承了上一次命令的参数值

2.6 文档约定

约定这个事情，说起来容易做起来难，遇到不符合约定的地方只能靠读者自己领悟了。

2.6.1 语法定约

1. 命令和选项使用大写字母，参数使用小写字母
2. 命令和选项均使用全称，简写形式可省略的部分用小写字母表示
3. “[XXX]”表示中括号内的 XXX 为可选项
4. “A|B|C”表示可以在 A、B、C 中任选一项

示例如下：

```
BandPas BUTter|BEssel|C1|C2 Corners v1 v2 Npoles n Passes n Tranbw v Atten v
```

需要特别说明的是，命令语法中选项的简写形式是在保证不产生歧义下的前提下所允许的

³ 注意：内存中的脉冲函数已经没了。

最简形式。本例中，CORNERS 的最简形式为首字符 C，用户也可以使用 CO、COR 等来表示 CORNERS。

2.6.2 示例约定

1. 命令、选项、参数均使用小写字母
2. 常见的命令和选项均使用简写表示
3. 含有提示符“SAC>”的行是用户键入的命令，无提示符的行是 SAC 输出行
4. SAC 输出行中可能会删除一些不重要的信息
5. 示例中加入注释以帮助用户理解，注释使用了行注释符号 #
6. 命令长度过长时会被拆分成多行，每一行的行尾会加上续行符 \，但需要注意，SAC 中不能使用续行符
7. 示例中若出现 ...，表示省略了一堆对数据的处理流程
8. 除非上下文说明，否则每个例子都运行在单独的 SAC 会话中，即每个命令都省略了启动 SAC 和退出 SAC 的命令
9. 除特殊情况外，均省略 plot 命令，用户应该学会随时 plot 以查看当前内存中的波形结果

示例如下：

```
$ sac                                # 该行省略
SAC> fg seis                         # 这是注释
SAC> p                               # 该行省略
SAC> lh o
      o = -4.143000e+01              # SAC 输出行
SAC> q                               # 该行省略
```

2.7 样本数据

想要学习 SAC，手头必须有 SAC 格式的数据，SAC 提供了两个命令可以用于生成 SAC 格式数据，分别是 funcgen 和 datagen。

2.7.1 funcgen

funcgen（简写为 fg）表示“function generator”，即该命令可以生成一些特定的函数，比如脉冲、阶跃、正弦等等，还可以生成一个地震波形样本：

```
SAC> fg impulse                      # 生成脉冲函数
```

上面的命令生成了一个脉冲函数并存储在 SAC 的内存中，可以用命令 plot（简写为 p）在图形界面上查看这个函数的样子：

```
SAC> p
```

在学习 SAC 的过程中，funcgen 可以生成地震波形样本：

```
SAC> fg seismogram      # 生成地震波形样本，简称为 fg seis
```

这个命令在 SAC 内存中产生了一个地震波形样本，同时删除了内存中刚才生成的脉冲信号，可以使用 `plot` 命令查看地震波形。这个地震波形样本在以后的教程中经常用到。

2.7.2 datagen

`datagen` (简称为 `dg`) 表示 “data generator”。顾名思义，就是用来生成数据的。

下面的示例在内存中生成了 CDV 台站记录到的一个近震的三分量波形数据¹，并用 `plot1` (简写 `p1`) 将三个波形画在一张图上：

```
SAC> dg sub local cdv.?
SAC> p1
```

更多示例参考 `datagen` 命令的语法说明。

2.8 SAC 读和写

SAC 的读命令是 `read` (简写为 `r`)，写命令为 `write` (简写为 `w`)。读和写是紧密联系的，所以把这两者放在一起讲。

注意： 本节的所有示例都运行在同一个 SAC 会话中。

要演示如何读 SAC 文件，首先得有一些 SAC 数据才行，利用上一节提到的 `datagen` 生成一些数据。

```
$ ls          # 空文件夹
$ sac         # 启动一个 SAC 会话
SEISMIC ANALYSIS CODE [11/11/2013 (Version 101.6a)]
Copyright 1995 Regents of the University of California

SAC> dg sub local cdv.n cdv.e cdv.z      # 生成三个 SAC 数据
SAC> w cdv.n cdv.e cdv.z                # 将 SAC 数据写入磁盘
SAC> ls                                  # SAC 中调用常见的系统命令
cdv.e  cdv.n  cdv.z

# 注意：这里并没有退出 SAC
```

有了数据之后，就可以练习如何去读了，在读数据之前，先说一说通配符的概念。

SAC 中，在指定文件名的时候，可以使用绝对路径，也可以使用相对路径。可以使用其全名，也可以使用通配符。SAC 的通配符与 Unix 定义的通配符一致，只包含如下三种：

¹ v101.4 的软件包中没有自带波形数据，因而无法使用该命令。

1. “*” 匹配任意长度的字符串（包括零长度）；
2. “?” 匹配任意单个非空字符；
3. “[]” 匹配列表中的任意单一字符；
 - “[ABC]” 或 “[A,B,C]” 匹配单个字符 A 或 B 或 C
 - “[0-9]” 匹配任意一位数字
 - “[a-g]” 匹配从 a 到 g 范围内的任意单个字符

下面的例子展示了如何读取 SAC 文件：

```
SAC> r cdv.n cdv.e cdv.z      # 读入三个文件，分别指定其文件名
SAC> r cdv.?                  # 问号可以匹配单个字符
./cdv.e ...cdv.n ...cdv.z    # 注意！这里文件按照字符排序的顺序读入
SAC> r cdv.[nez]              # 还可以这样读
./cdv.e ...cdv.n ...cdv.z
SAC> r *                      # 也可以这样读
./cdv.e ...cdv.n ...cdv.z
```

需要注意的是，SAC 在执行读取命令时，会读入新的波形数据，并删除内存中原有的波形数据，所以经过上面四次`read`之后，内存中依然只有三个波形。

如果想要在读取新数据时将波形直接追加到内存中的波形数据集之后，而不替换内存中的原有波形，则需要使用`read`的 `more` 选项¹：

```
SAC> r ./cdv.n                # one file      3 -> 1
SAC> r more ./cdv.e           # one MORE file 1 -> 2
SAC> r more ./cdv.z           # one MORE file 2 -> 3
```

将数据读入到内存中之后，对内存中的数据做一些处理，然后就需要将内存中的数据写回到磁盘中：

```
SAC> w test.n test.e test.z    # 分别写入到三个新文件中
SAC> w over                    # 覆盖磁盘原文件
SAC> w append .new             # 在原文件名的基础上加上后缀".new"
cdv.e.new cdv.n.new cdv.z.new
SAC> ls
cdv.e cdv.e.new cdv.n cdv.n.new cdv.z cdv.z.new tesn.n test.e test.z
SAC> q                         # 退出本节的 SAC 会话
```

2.9 绘图

SAC 中有四个常用的绘图命令，分别是`plot`、`plot1`、`plot2`、`plotpk`。这一节只介绍最基础的 `plot` 命令，其他的命令及更多的绘图功能将在[SAC 图像](#)中说明。

`plot` 命令会在单个图形窗口中显示单个波形：

¹ 在执行完上面的例子之后，内存中有三个 SAC 文件，所以本例在执行 `read` 命令时内存中的文件数由三个变成 1 个。

```
SAC> r cdv.[nez]
SAC> p
Waiting
Waiting
SAC>
```

上面的示例中，首先将三个波形数据读入内存，然后使用 `plot` 命令绘图，此时焦点位于绘图窗口，且绘图窗口中只显示第一个波形，终端中出现“Waiting”字样；将焦点切换¹回终端，敲击回车键，绘图窗口中显示第二个波形，终端中出现第二个“Waiting”字样，焦点位于终端中；再次敲击回车键，窗口中显示第三个波形，焦点位于终端，由于已经没有更多的波形需要显示，此时终端中显示 SAC 提示符。

如果内存中还有波形在“Waiting”，而你想要退出 `plot`，不想要再继续查看后面的波形，可以在终端中键入 `kill`（简写为 `k`），即可直接退出 `plot`，如下例：

```
SAC> r cdv.[nez]
SAC> p
Waitingk
SAC>
```

¹ Linux 下的快捷键是 `Alt+Tab`。

保护环境，从阅读电子文档开始！

第 3 章 SAC 文件格式

3.1 SAC 格式简介

一个地震波形数据包含了时间上连续的一系列数据点，数据点可以是等间隔或不等间隔采样。SAC 的数据格式要求一个文件中只包含一个地震波形数据，这样的定义更适合单个地震波形的处理。

每个 SAC 文件包含两个部分：一个头段区和一个数据区。

头段区位于每个文件的起始处，其大小是固定的，用于描述数据的相关信息，比如数据点数、采样周期等等。

数据区紧跟在头段区之后，数据区又包含了一个或多个子数据区：

- 如果数据是时间序列，且是等间隔采样的，则只有一个子数据区，包含因变量（Y，也就是数据）的值，自变量（X）的信息可以直接从头段区中获得；
- 如果数据是时间序列，但是不等间隔采样的，则有两个子数据区，分别包含因变量（Y）和自变量（X）的值；
- 如果数据是谱数据而非时间序列，则有两个子数据区，分别包含振幅和相位或者实部和虚部；
- 如果数据是三维数据（XYZ），则包含 `nxsize*nysize` 个子数据区。

最经常使用的数据是等间隔采样的数据，即文件中只有一个头段区和一个数据区。

3.2 两种数据形式

SAC 文件格式有两种形式：二进制型和文本型¹。文本型与二进制型是完全等价的，只是文本型是给人看的，二进制型是给机器读写的。从 C 程序的角度来看，两者的区别在于，写文件时前者使用 `fprintf` 后者使用 `fwrite`。

二进制型的 SAC 数据，占用更小的磁盘空间，读写速度更快，因而是最常用的 SAC 格式形式。当文件出现问题时，文本型数据便于查看文件内容。

通常，文本型的 SAC 文件以 `ASC`² 结尾，二进制型的 SAC 文件以后缀 `SAC` 结尾。但是，SAC 在读取文件时是不判断文件后缀的，所以文件后缀是什么并不重要，在某些情况下，会以 `BHE`、`BHN`、`BHZ` 这样的后缀结尾。在下面的示例中，很多 SAC 文件甚至没有后缀。

¹ 原为 alphanumeric，译为文数字。

² ASCII 的简写。

3.2.1 两种形式的互相转换

你是否想要一个文本型的 SAC 文件，用编辑器打开好好看看 SAC 数据究竟长什么样？SAC 自带的命令可以实现两种形式的转换³。

```
SAC> fg seis
SAC> w seis          # 先生成一个二进制型 SAC 数据，以做测试
```

将二进制型转换成文本型：

```
SAC> r seis          # 读二进制型文件
SAC> w alpha seis.asc # 以文本型写入
```

将文本型转换成二进制型：

```
SAC> r alpha seis.asc # 读文本型文件
SAC> w sac seis.sac   # 以二进制型写入，可以省略 sac，写成 w seis.sac
```

试试用你最喜欢的文本编辑器打开文本型的 seis.asc 吧，其内容如下：

```
0.01000000    -1.569280    1.520640    -12345.00    -12345.00
 9.459999    19.45000    -41.43000    10.46400    -12345.00
-12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00
-12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00
-12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00
-12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00
-12345.00    48.00000    -120.0000    -12345.00    -12345.00
48.00000    -125.0000    -12345.00    15.00000    -12345.00
-12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00
-12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00
373.0627    88.14721    271.8528    3.357465    -12345.00
-12345.00    -0.09854718    0.000000    0.000000    -12345.00
-12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00
-12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00    -12345.00

 1981    88    10    38    14
   0    6    0    0    1000
-12345    -12345    -12345    -12345    -12345
   1    50    9    -12345    -12345
-12345    -12345    42    -12345    -12345
-12345    -12345    -12345    -12345    -12345
-12345    -12345    -12345    -12345    -12345

   1    1    1    1    0
CDV      K8108838
-12345    -12345    -12345
-12345    -12345    -12345
-12345    -12345    -12345
```

(下页继续)

³ 也可以使用 SAC 的 `convert` 命令进行转换，不过此命令即将被淘汰，因而这里不会介绍。

(续上页)

```

-12345 -12345 -12345
-12345 -12345 -12345
-12345 -12345 -12345
-12345 -12345 -12345
-0.09728001 -0.09728001 -0.09856002 -0.09856002 -0.09728001
-0.09600000 -0.09472002 -0.09344001 -0.09344001 -0.09344001
-0.09344001 -0.09344001 -0.09472002 -0.09472002 -0.09344001
.....

```

第 1–30 行是头段区，31 之后的行是数据区。目前你可能还看不懂头段区的这些数字或者字符代表什么。没关系，在下一节会详细介绍 SAC 头段区，记得一定要一边看下一节的内容，一边对照着这个例子，好好琢磨每一个头段的含义。

3.3 SAC 头段结构

SAC 头段区包含了一系列头段变量，从这些头段变量中可以了解到波形记录的很多信息，比如台站经纬度、发震时刻、震相到时等等。下表列出了 SAC 头段区的全部头段变量。

表 3.1: SAC 头段变量列表

字节	类型					
0	F	delta	depmin	depmax	scale	odelta
20	F	b	e	o	a	internal
40	F	t0	t1	t2	t3	t4
60	F	t5	t6	t7	t8	t9
80	F	f	resp0	resp1	resp2	resp3
100	F	resp4	resp5	resp6	resp7	resp8
120	F	resp9	stla	stlo	stel	stdp
140	F	evla	evlo	evel	evdp	mag
160	F	user0	user1	user2	user3	user4
180	F	user5	user6	user7	user8	user9
200	F	dist	az	baz	gcarc	internal
220	F	internal	depmin	cmpaz	cmpinc	xminimum
240	F	xmaximum	yminimum	ymaximum	unused	unused
260	F	unused	unused	unused	unused	unused
280	N	nzyear	nzjday	nzhour	nzmin	nzsec
300	N	nzmsec	nvhdr	norid	nevid	npts
320	N	internal	nwfid	nxsize	nysize	unused
340	I	iftype	idep	iztype	unused	iinst
360	I	istreg	ievreg	ievtyp	iqua	isynth

下页继续

表 3.1 – 续上页

字节	类型					
380	I	imagtyp	imagesrc	unused	unused	unused
400	I	unused	unused	unused	unused	unused
420	L	leven	lpspol	lovrok	lcalda	unused
440	K	kstnm	kevn ^m *			
464	K	khole	ko	ka		
488	K	kt0	kt1	kt2		
512	K	kt3	kt4	kt5		
536	K	kt6	kt7	kt8		
560	K	kt9	kf	kuser0		
584	K	kuser1	kuser2	kcmpnm		
608	K	knetwk	kdatrd	kinst		

整个头段区，共有头段变量 133 个，占 632 个字节。头段区的前四个字节是第一个头段变量 `delta`，第 5–8 个字节是第二个头段变量 `depmin`，第 21–24 个字节是第 6 个头段变量 `b`，以此类推。

表的第一列给出了当前行的第一个头段变量在文件中的起始字节，第二列给出了当前行的头段变量的变量类型。

下表列出了 SAC 头段中的头段变量类型及其相关信息。第一列为头段变量类型代码，第二类给出了其代表的头段变量类型，第三列指出 C 源码中该变量的是用什么类型定义的，第四列给出了每个变量所占据的字节数，第五列给出了写字符型 SAC 文件时的输出格式，最后一列则给出该类型的未定义值。

表 3.2: 变量类型说明

类型码	类型	C 类型	字节数	printf	未定义值
F	浮点型	float	4	%15.7f	-12345.0
N	整型	int	4	%10d	-12345
I	枚举型	int	4	%10d	-12345
L	逻辑型	int	4	%10d	FALSE
K	字符型	char*	8	%-8.8s	"-12345 "
A	辅助型				

说明：

- 所有头段变量的变量名均以变量类型码开头，比如 `nvhdr` 是 N 型变量，`leven` 是 L 型变量，但 F 型变量除外；
- 枚举型变量本质上是 `int` 型，只能在固定的几个值中取值；
- 逻辑型变量可以取值 `TRUE` 和 `FALSE`，本质上分别是整型的 1 和 0；

- 字符型变量长度为 8¹，只有 `kevm` 很特殊，其长度为 16；
- 变量名为 `internal` 表示该变量是 SAC 内部使用的头段变量，用户不可对其进行操作；
- 变量名为 `unused` 表示该变量尚未使用，为以后可能出现的新头段变量占位；
- 当某个头段变量未定义时，其包含未定义值；不同类型的头段变量有不同的未定义值；若一个整型头段变量的值为 `-12345`，则认为该变量未定义；实际使用时，可以直接用 `undef` 表示所有类型的头段变量的未定义值，SAC 会根据头段变量的类型自动将其转换成相应类型的未定义值。
- 辅助型变量并不在 SAC 头段区中，而是从其它头段变量推导得到的。

3.4 SAC 头段变量

3.4.1 基本变量

nvhdr*

SAC 头段版本号。`nvhdr`¹是 SAC 中很重要但是不太常用的头段变量。目前版本号为 6，旧版本的 SAC 文件 (`nvhdr < 6`) 在读入时头段区会自动更新。

nzyear, nzjday, nzhour, nzmin, nzsec, nzmsec

分别表示“年”、“一年的第几天”²³、“时”、“分”、“秒”、“毫秒”⁴。这六个头段变量构成了 SAC 中唯一的绝对时刻，SAC 中的其它时刻都被转换为相对于该时刻的相对时间（单位为秒）。关于 SAC 中的绝对时间和相对时间的概念，参考[SAC 中的时间概念](#)一节。

根据这六个头段变量还可以推导出其它一些辅助型头段变量：

- `kzdate`：字符数字格式的参考日期，由 `nzyear` 和 `nzjday` 导出
- `kztime`：字符数字格式的参考时间，由 `nzhour`、`nzmin`、`nzsec`、`nzmsec` 导出

如下例所示：

```
SAC> fg seis
SAC> lh nzyear nzjday nzhour nzmin nzsec nzmsec

nzyear = 1981
nzjday = 88
nzhour = 10
nzmin = 38
nzsec = 14
nzmsec = 0
```

(下页继续)

¹ C 语言中用 `\0` 作为字符串的结束标识符，因而源码中变量的实际长度为 9。

² 星号表示该头段变量在 SAC 中必须有定义值，下同。

³ 使用 `jday` 而不是“month+day”可以少用一个头段变量。

⁴ 1 月 1 日对应的 `nzjday` 是 1 而不是 0。

⁴ 1 s = 1000 ms

(续上页)

```
SAC> lh kzdate kztime
```

```
kzdate = MAR 29 (088), 1981
kztime = 10:38:14.000
```

iztype

等效参考时刻。SAC 的参考时刻是可以任意指定的，但一般选取某个特定的时刻（比如文件起始时刻、发震时刻等等）作为参考时刻。其可以取如下枚举值⁵：

- IUNKN：未知
- IB：以文件开始时刻为参考时间
- IDAY：以参考日期当天的午夜作为参考时间
- IO：以事件发生时间为参考时间
- IA：以初动到时为参考时间
- ITn：以用户自定义的时间 Tn 为参考时间（n 可取 0-9）

若 iztype=IO，则表示数据以发震时刻作为参考时刻，此时头段变量 o 的值应为 0。

iftype*

SAC 文件类型，其决定了头段区之后有几个子数据区。可以取如下枚举值：

- ITIME：时间序列文件（即 Y 数据，一般的地震波形数据）
- IRLIM：频谱文件（实部-虚部格式）
- IAMPH：频谱文件（振幅-相位格式）
- IXY：一般的 X-Y 数据
- IXYZ：一般的 XYZ (3D) 文件

idep

因变量（Y）类型，该头段变量可以不定义，其可以取如下枚举值：

- IUNKN：未知类型
- IDISP：位移量，单位为 nm
- IVEL：速度量，单位为 nm/s
- IVOLTS：速度量，单位为 V⁶
- IACC：加速度量：单位为 nm/s²

3.4.2 数据相关变量

npts*

数据点数，其值决定了在数据区有多少个数据点。

⁵ 枚举型在 C 源码中使用 #define 宏来定义的，比如 #define IO 11，所有可取的枚举值都以字母 I 开头。

⁶ 不解

delta*

等间隔数据的数据点采样周期（标称值）。

odelta

采样周期的实际值，若实际值与标称值不同则有值，一般来说都是未定义的。

b, e*

文件的起始时间和结束时间（相对于参考时刻的秒数）。

leven*

若数据为等间隔则为 TRUE，否则为 FALSE。

depmin, depmax, depmen

因变量（Y）的最小值、最大值和均值。

在读入 SAC 文件以及对数据进行处理时，这三个头段变量的值会被自动计算并更新。示例如下：

```
$ sac
SAC> fg seis
SAC> lh depmax
    depmax = 1.520640e+00    # 最大值
SAC> ch depmax 1000        # 强行修改数据最大值
                             # 这是错误的示范，不要这样做
SAC> lh depmax 1000        # 查看 depmax，修改成功
    depmax = 1.000000e+03
SAC> w seis.SAC            # 写到磁盘中
SAC> q
$ saclst depmax f seis.SAC # 调用 saclst 查看磁盘文件中的 depmax
seis.SAC      1000        # 可以看到磁盘中的文件 depmax=1000
$ sac
SAC> r ./seis.SAC          # 读入 SAC
SAC> lh depmax
    depmax = 1.520640e+00    # 此时 depmax 被自动计算并更新
```

scale

因变量比例因子，即真实物理场被乘以该比例因子而得到现有数据。

假设真实物理场的 Y 值大概在 10^{-20} 量级，由于数据量级太小处理起来可能不太方便。此时可以将数据乘以 10^{20} 变成合适的量级，并修改 `scale=1.0e20`，这样就可以知道自己对数据人为放大了多少倍。

v101.5 之前的版本中，在使用 `transfer` 命令去仪器响应时，若 `scale` 的值有定义，则输出的数据会根据该值进行放大并修改 `scale`。在 v101.5 及其之后的版本中，`scale` 被忽

略。

xminimum, xmaximum, yminimum, ymaximum

仅用于 3D (XYZ) 文件中，记录 X 和 Y 的最小/大值。

nxsize, nysize

仅用于 3D (XYZ) 文件中，表示 X 和 Y 方向的数据点数。

igual

igual⁷标识数据质量，可取如下值：

- IGOOD：高质量数据
- IGLCH：数据中有毛刺 (glitches)
- IDROP：数据有丢失 (dropouts)
- ILOWSN：低信噪比数据
- IOTHER：其它

isynt

合成数地震图标识。

- IRLDTA：真实数据

3.4.3 事件相关变量

kevn

事件名，长度为 16 个字节。

evla, evlo, evel, evdp

分别代表事件的纬度 (-90 到 90 度)、经度 (-180 到 180 度)、高程 (单位为 m) 和深度 (单位为 km, 以前为 m)。

ievreg

事件地理区域⁸。

ievt

事件类型，这里仅列出部分常见的枚举值：

- IUNKN：未知事件
- INUCL：核事件
- IEQ：地震

⁷ 标识仅表示 SAC 程序内部未使用该头段变量，即变量有值或者无值、有何值，对于程序的运行不会产生任何影响，但用户可以在自己的程序中自由使用这些头段变量。下同。

⁸ Flinn-Engdahl Regions: http://en.wikipedia.org/wiki/Flinn-Engdahl_regions

- IOTHER: 其它

mag

事件震级。

imagsrc

震级信息来源，可以取如下枚举值：

- INEIC: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- IPDE: <http://earthquake.usgs.gov/data/pde.php>
- IISC: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>
- IREB: 人工检查过的事件目录
- IUSGS : [USGS](#)
- IBRK : [UC Berkeley](#)
- ICALTECH: [California Institute of Technology](#)
- ILLNL: [Lawrence Livermore National Laboratory](#)
- IEVLOC: Event Location
- IJSOP: Joint Seismic Observation Program
- IUSER: The individual using SAC2000
- IUNKNOWN: 未知

imagtyp

震级类型，取如下枚举值：

- IMB: 体波震级
- IMS: 面波震级
- IML: 区域震级
- IMW: 矩震级
- IMD: 持续时间震级
- IMX: 用户自定义震级

gcarc, dist, az, baz

- gcarc: 全称 Great Circle Arc，即震中到台站的大圆弧的长度，单位为度；
- dist: 震中到台站的距离，单位为 km；
- az: 方位角，震中到台站的连线与地理北向的夹角，单位为度；
- baz: 反方位角，台站到震中的连线与地理北向的夹角，单位为度。

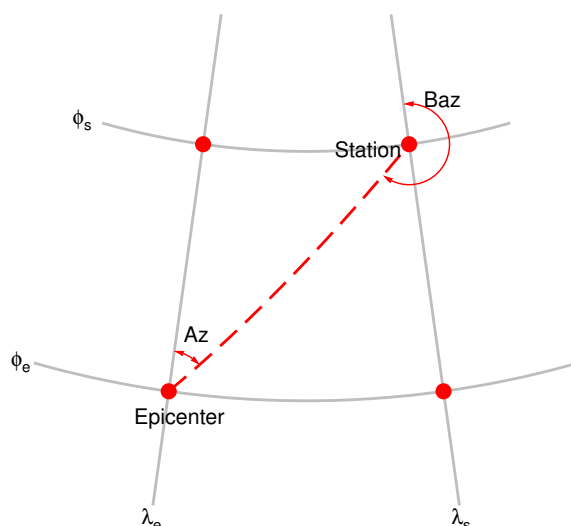


图 3.1: 震中距、方位角、反方位角示意图

震中距、方位角和反方位角的计算涉及到球面三角的知识，具体公式及其推导可以参考相关代码及书籍。此处列出部分仅供参考：

- <http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/Courses/EASA462/>
- <http://www.seis.sc.edu/software/distaz/>
- SAC 源码 `src/ucf/distaz.c`
- CPS330 源码 `VOLI/src/udelaz.c`

o, ko

`o` 为事件的发生时刻相对于参考时刻的秒数。`ko` 是绘图时时间变量 `o` 的标识符。

khole

若为核爆事件，则其为孔眼标识；若为其它事件，则为位置标识。

nevid, norid, nwfid

三者分别标识事件 ID、起始时间 ID 和波形 ID，仅用于 CSS 3.0 文件中。CSS 3.0 是 SAC 可以处理的一种数据格式，应该是当初 SAC 商业化的产物，目前仍保留在 SAC 头段中。

3.4.4 台站相关变量

knetwk, kstnm

地震台网名和台站名。

istreg

台站地理区域。

stla, stlo, stel, stdp

- **stla**: 台站纬度 (-90 到 90 度)
- **stlo**: 台站经度 (-180 到 180 度)
- **stel**: 台站高程, 即地震仪与海平面之间的高程差 (单位为米), 正值表示仪器位于海平面以上
- **stdp**: 地震仪相对于当地地表的深度 (单位为米)

cmpaz, cmpinc, kcmpnm, kstcmp

一个台站至少需要三个正交的通道/分量才能完整地记录地面运动物理量。**cmpaz** 和 **cmpinc** 指定了单个通道记录的方向矢量。

下图给出了 SAC 所使用的 NEU 坐标系, 需要注意的是这是一个左手坐标系。图中蓝色箭头为通道所记录的方向矢量, 若地面运动与该方向一致, 则为正, 否则为负。其中, 头段变量 **cmpaz** 表征通道的方位角, 其定义为从 N 向开始顺时针旋转的角度, 即图中的角度 ϕ ; **cmpinc** 表征通道的入射角, 定义为相对于 U 方向向下旋转的度数, 即图中的角度 θ 。

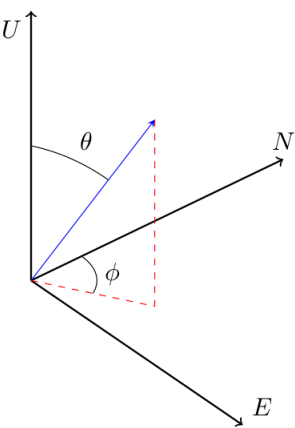


图 3.2: cmpaz 和 cmpinc 示意图

根据定义, 地震仪标准通道的 **cmpinc** 和 **cmpaz** 值如下表:

表 3.3: 标准地震通道的 **cmpaz** 和 **cmpinc**

方向	cmpaz	cmpinc
N	0	90
E	90	90
U	0	0

对于非标准方向的地震通道来说, 很容易根据 **cmpinc** 和 **cmpaz** 的值, 将其旋转到 NEU 坐标系或者 RTZ 坐标系, 这些将在[分量旋转](#)一节中说到。

kcmpnm 用于存储分量名称。SEED 格式规定通道名的三个字符中的最后一个代表通道的分量方位，比如通道名 **BHE** 表示该通道为东西向。通常 **kcmpnm** 可以取为 **E**、**N**、**Z**。由于很多台站的水平分量并不严格是东西、南北方向，因而现在更倾向于用 **1** 和 **2** 代替 **N** 和 **E**。

kstcmp 为辅助型变量，表示台站分量，由 **kstnm**、**cmpaz**、**cmpinc** 推导得到。

lpspol

如图 **cmpaz** 和 **cmpinc** 示意图所示，在左手坐标系下，若三通道都是正极性则为真，否则为假。

3.4.5 震相相关变量

a, f, tn

a 和 **f** 用于存储事件的初动时刻和结束时刻相对于参考时刻的秒数。

Tn ($n=0-9$) 用于存储用户自定义的时刻相对于参考时刻的秒数，常用于存储震相到时。

ka, kf, ktn

a、**f** 以及 **Tn** 都有一个对应的以 **k** 开头的字符型头段变量，称之为时间标识。时间标识用于说明对应的时间头段变量中所包含时间的含义。

比如头段变量 **a** 中通常包含 **P** 波到时，则此时 **ka** 的值可以设置为 “**P**”；头段变量 **t1** 中包含了震相 **PcP** 的到时，则一般定义 **kt1** 为 “**PcP**”。

在绘图时，若时间头段变量中有值，则默认会在该时刻处绘制一条垂线，若相应的时间标记有定义，则将时间标记的值显示在垂线附近。

Xmarker

震相相关的变量对可以构成一个辅助型变量。**a** 和 **ka** 可以构成 **amarker**，**f** 和 **kf** 可以构成 **fmarker**，**o** 和 **ko** 可以构成 **omarker**，**tn** 和 **ktn** 可以构成 **tnmarker** ($n=0-9$)。

这些辅助型变量可以在 **listhdr** 中使用。

3.4.6 仪器相关变量

kinst, iinst, respn

kinst 为记录仪器的通用名称，**iinst** 为记录仪器的类型，**respn** 为仪器相应参数。

3.4.7 其它变量

usern

usern ($n=0-9$) 用于存储用户自定义的浮点型数值。

kusern

kusern (n=0-2) 用于存储用户自定义的字符型值。

lovrok

若为 TRUE，则磁盘里的原始数据可被覆盖；若为 FALSE，则原始数据不可被覆盖。主要用于保护原始数据，一般来说很少用到，若是出于保护原始数据的目的，应优先考虑对原始数据做备份。

lcalda

全称为 *Calculate Distance and Azimuth*。若为 TRUE，则当事件和台站的坐标被写入或被修改时，头段变量 `dist`、`gcarc`、`az`、`baz` 将自动计算，否则不会被自动计算，SAC 头段中会存在信息的不兼容。

kdatrd

数据被读入计算机的日期（一般很少使用）。

3.5 SAC 中的时间概念

3.5.1 基本思路

SAC 的头段区有很多与时间相关的头段变量，包括 `nzyear`、`nzjday`、`nzhour`、`nzmin`、`nzsec`、`nzmsec`、`b`、`e`、`o`、`a`、`f`、`tn` (n=0-9)。正确使用它们的前提是理解 SAC 中的时间概念。这一节将试着说清楚这个问题。

首先，SAC 处理的是地震波形数据，SAC 格式里保存的是时间序列数据。先不管其它的一些台站经纬度、事件经纬度信息，就数据而言，至少需要一系列数据值以及每个数据值所对应的时刻。

在本节接下来的内容中，将严格区分两个高中物理学过的概念：时刻和时间。简单地说，在时间轴上，时刻是一个点，时间是一个线段。

一个简单的例子如下：

2014-02-26T20:45:00.000	0.10
2014-02-26T20:45:01.000	0.25
2014-02-26T20:45:02.000	0.33
2014-02-26T20:45:03.000	0.21
2014-02-26T20:45:04.000	0.35
2014-02-26T20:45:05.000	0.55
2014-02-26T20:45:06.000	0.78
2014-02-26T20:45:07.000	0.66
2014-02-26T20:45:08.000	0.42
2014-02-26T20:45:09.000	0.34
2014-02-26T20:45:10.000	0.25

其中第二列是数据点，每个数据点所对应的时刻放在第一列，格式为“yyyy-mm-ddThh:mm:ss.xxx”。数据点是以 1 秒的等间隔进行采样的。

若把这堆时刻以及数据点直接写入文件中，将占据大量的磁盘空间，读写也很不方便。考虑将某一个时刻定义为参考时刻，并把其它所有的时刻都用相对于该参考时刻的秒数来表示，这样可以简化不少。

比如取“2014-02-26T20:45:00.000”为参考时刻，即

```
nzyear = 2014
nzjday = 57
nzhour = 20
nzmin  = 45
nzsec  = 00
nzmsec = 000
```

则上面的数据可以简化为

```
00.000    0.10
01.000    0.25
02.000    0.33
03.000    0.21
04.000    0.35
05.000    0.55
06.000    0.78
07.000    0.66
08.000    0.42
09.000    0.34
10.000    0.25
```

其中第二列是数据点，第一列是每个数据点对应的时刻相对于参考时刻的相对秒数，下面简称其为相对时间。

显然参考时刻的选取是任意的，若取“2014-02-26T20:45:05.000”为参考时刻，则上面的数据简化为

```
-05.000    0.10
-04.000    0.25
-03.000    0.33
-02.000    0.21
-01.000    0.35
00.000     0.55
01.000     0.78
02.000     0.66
03.000     0.42
04.000     0.34
05.000     0.25
```

一般来说，会选取一个比较特殊的时刻作为参考时刻，比如第一个数据点对应的时刻，或者地震波形数据中的发震时刻。

下面还是回到以“2014-02-26T20:45:00.000”为参考时刻简化得到的结果。因为数据是等间距的，相对时间这一列完全可以进一步简化，比如用“起始相对时间 + 采样间隔 + 数据点数”或者“起始相对时间 + 采样间隔 + 结束相对时间”就完全可以表征第一列的相对时间。

SAC 选择了另外一种简化模式，“起始相对时间 + 采样间隔 + 数据点数 + 结束相对时间”，即头段变量中的“b+delta+npts+e”，这其实是存在信息冗余的，这就造就了头段变量 e 的一些特殊性，后面会提到。

按照 SAC 的模式在对相对时间进行简化之后，整个数据可以表示为

```
nzyear = 2014
nzjday = 57
nzhour = 20
nzmin  = 45
nzsec  = 00
nzmsec = 000
b      = 0.0
e      = 10.0
delta  = 1.0
npts   = 11

0.10
0.25
0.33
0.21
0.35
0.55
0.78
0.66
0.42
0.34
0.25
```

似乎到这里就结束了。

地震学里的一个重要问题是拾取震相到时（时刻），所以还需要几个额外的头段变量来保存这些震相到时（时刻），不过显然不需要真的把“时刻”保存到这些头段变量中，不然上面的一大堆就真是废话了。SAC 将震相到时（时刻）相对于参考时刻的时间差（即相对时间）保存到头段变量 o、a、f、tn 中。

综上，SAC 中跟时间有关的概念有三个：

参考时刻 由头段变量 nzyear、nzjday、nzhour、nzmin、nzsec、nzmsec 决定

相对时间 即某个时刻相对于参考时刻的时间差（单位为秒），保存到头段变量 b、e、

o、a、f、tn (n=0-9)

绝对时刻 = 参考时刻 + 相对时间

3.5.2 一些测试

下面以一个具体的数据为例，通过修改各种与时间相关的头段来试着去进一步理解 SAC 的时间概念。

生成样例数据

```
SAC> fg seis
SAC> lh iztype
      iztype = BEGIN TIME
SAC> ch iztype IUNKN
SAC> w seis
```

lh 是命令 listhdr 的简写，用于列出头段变量的值。ch 是 chnhdr 的简写，用于修改头段变量的值。

注解： 这里额外多做了一个操作修改 iztype 的操作，这是由于这个数据稍稍有一点 bug。

iztype 指定了参考时刻的类型，其显示为 BEGIN TIME，实际上其枚举值是 IB，也就是说这个数据选取文件第一个数据点的时刻作为参考时刻，那么 b 的值应该为 0。而实际上这个数据的 b 值并不为 0，这其实是这个数据的一点小 bug。这也从另一个侧面说明 SAC 只有在修改与时间相关的头段变量时才可能会检查到这个错误/警告，所以这里先将其修正为 IUNKN。

修改文件起始时间 b

```
SAC> r seis
SAC> lh kzdate kztime b delta npts e o a f

      kzdate = MAR 29 (088), 1981
      kztime = 10:38:14.000
          b = 9.459999e+00
      delta = 1.000000e-02
      npts = 1000
          e = 1.945000e+01
          o = -4.143000e+01
          a = 1.046400e+01
SAC> ch b 10
SAC> lh

      kzdate = MAR 29 (088), 1981
```

(下页继续)

(续上页)

```

kztime = 10:38:14.000
  b = 1.000000e+01
delta = 1.000000e-02
npts = 1000
  e = 1.999000e+01
  o = -4.143000e+01
  a = 1.046400e+01

```

修改 **b** 前后的变化仅在于 **b** 和 **e** 值的变化，而参考时刻以及其它相对时间并没有发生变化。

这意味着整段 SAC 数据中的任意一个数据点所对应的时刻都向后延迟了 0.54 秒！这样做很危险，因为 **b** 和 **e** 的绝对时刻被修改了，而其它头段如 **o**、**a**、**f**、**tn** 的绝对时刻却没有变。

使用的时候必须非常小心：

- 如果 **o**、**a**、**f**、**tn** 都没有定义，那么修改 **b** 值可以用于校正仪器的时间零飘¹以及时区差异²。关于时区的校正，参考[时区校正](#)一节。
- 如果 **o**、**a**、**f**、**tn** 已经被定义，则修改 **b** 值会导致与震相相关的头段变量出现错误³。

修改文件结束时间 **e**

```

SAC> r ./seis
SAC> lh kzdate kztime b delta npts e o a f

kzdate = MAR 29 (088), 1981
kztime = 10:38:14.000
  b = 9.459999e+00
delta = 1.000000e-02
npts = 1000
  e = 1.945000e+01
  o = -4.143000e+01
  a = 1.046400e+01
SAC> ch e 0
SAC> lh

kzdate = MAR 29 (088), 1981
kztime = 10:38:14.000
  b = 9.459999e+00

```

(下页继续)

¹ 零飘，即仪器中的时刻与标准时刻不同。

² 时区差异可以理解成另一种零飘。

³ 如果只定义了 **o** 值，或者 **a**、**f**、**tn** 为理论震相到时而非计算机拾取或人工拾取的到时，修改 **b** 也是没有问题的。有些乱，不多说了。总之不要随便修改 **b** 的值。

(续上页)

```

delta = 1.000000e-02
npts = 1000
e = 1.945000e+01
o = -4.143000e+01
a = 1.046400e+01

```

可以看到，修改前后所有变量均没有发生变化，即 **e** 的值是不可以随意改变的，根据上面的结果可知，**e** 的值是通过 **b**、**delta**、**npts** 的值动态计算的。这也与上一节说到的头段变量冗余问题相符合。不要试图修改 **delta**、**npts**，这不科学！

修改 **o**、**a**、**f**、**tn**

这几个头段变量完全是由用户自定义的，因而任何的定义、修改、取消定义都不会对数据的正确性产生影响，因而这里不再测试。

修改参考时间

```

SAC> r ./seis
SAC> lh kzdate kztime b delta npts e o a f

kzdate = MAR 29 (088), 1981
kztime = 10:38:14.000
b = 9.459999e+00
delta = 1.000000e-02
npts = 1000
e = 1.945000e+01
o = -4.143000e+01
a = 1.046400e+01
SAC> ch nzsec 15
SAC> lh

kzdate = MAR 29 (088), 1981
kztime = 10:38:15.000
b = 9.459999e+00
delta = 1.000000e-02
npts = 1000
e = 1.945000e+01
o = -4.143000e+01
a = 1.046400e+01

```

试图修改参考时刻，整个 SAC 头段，除了参考时刻外其它时间变量都没有发生变化。根据“绝对时刻 = 参考时刻 + 相对时间”可知，这导致所有 SAC 数据点的绝对时刻发生了平移，这一点理论上可以用于校正零飘或者时区，但是由于 SAC 不支持智能判断时间（比如不知道 1 时 80 分实际上是 2 时 20 分），所以修改时区时需要获取参考时刻 6 个头段变量，加上时区的校正值，再写入到参考时刻 6 个变量中，相对较为繁琐，因而若要校正时区，建议直接修改头段变量中的 **b** 值。

修改发震时刻

数据处理中一个常见的需求是修改发震时刻，这可以通过修改头段变量 `o` 来实现，但是经常需要将参考时刻设置为发震时刻。上面的测试表明，直接修改参考时刻是很危险的，所以 SAC 的 `ch` 命令提供了 `allt` 选项来实现这一功能，在[事件信息](#)一节中会具体解释。

3.5.3 总结

将 SAC 中的时间变量分为三类：

1. 参考时刻：即 `nzyear`、`nzjday`、`nzhour`、`nzmin`、`nzsec`、`nzmsec`；
2. 相对时间：即 `o`、`a`、`f`、`tn`；
3. 特殊的相对时间：即 `b`⁴；

第二类时间变量可以随意修改，即震相拾取。

第一、三类时间变量的修改会导致数据绝对时刻发生改变。一般通过修改第三类时间变量来校正时间零漂和时区差异。在设置了发震时刻后，应使用 `chnhdr` 命令的 `allt` 选项修改第一、三类时间变量。

⁴ 由于 `e` 不可独立修改，所以不再考虑

保护环境，从阅读电子文档开始！

第 4 章 SAC 数据处理

地震数据处理的流程大致分为如下几个步骤：

1. 数据组织
2. 数据预处理
3. 人机交互
4. 数据分析
5. 绘制图件

本章将介绍如何高效地组织数据，以及如何利用 SAC 进行数据预处理和人机交互。

本章的各节分别介绍了数据处理流程中的各个小步骤，各节的顺序尽量按照数据处理的流程排序。但实际数据处理的流程是由具体的研究来决定的，因而本章的数据处理流程仅供参考，读者应理解每个步骤的含义及作用，根据实际情况决定要采用哪些步骤以及各个步骤之间的先后顺序。

4.1 数据申请

申请地震波形数据，按照具体的需求，大致可以分为两大类，即事件波形数据和连续波形数据。这两者的主要区别在于如何确定要申请的数据时间窗，前者需要震相到时信息，后者则不需要。

4.1.1 事件波形数据

1. **筛选事件**：从地震目录中找出某个特定事件的信息，或根据条件筛选出需要的事件，筛选条件通常包括：经纬度范围、深度范围、时间范围、震级范围等
2. **筛选台站**：台站位置、仪器类型（宽频段、长周期或短周期）、分量类型（三分量或 Z 分量）
3. **确定起始和结束时间**：根据发震时刻和震中距信息，计算震相理论到时，由此确定要申请的数据时间窗

事件波形数据又可以进一步分成两类：以事件为中心的事件波形数据（比如地震定位、震源机制）和以台站为中心的事件波形数据（比如接收函数）。对于以事件为中心的事件波形数据，通常先筛选地震事件，在筛选台站时，还可以加上震中距范围和方位角范围的约束；对于以台站为中心的事件波形数据，通常先确定要使用的台站，在筛选地震事件时，还可以加上震中距和反方位角范围的约束。

4.1.2 连续波形数据

连续波形数据中没有地震事件的信息，因而都是以台站为中心的，比如背景噪声相关研究。

1. **选择台站**：台站位置、仪器类型、分量类型
2. **确定时间范围**：选择合适的时间范围

当然也可以根据地震事件的信息，确定申请数据的时间范围，所以，某种程度上，事件波形数据属于连续波形数据的一个子集。

4.2 数据格式转换

4.2.1 数据格式

地震数据格式有很多种，常见的包括 SEED、miniSEED 和 SAC。

SEED¹ 即 Standard for the Exchange of Earthquake Data，其可以存储多台站多分量的波形数据以及台站元数据²。SEED 格式本质上是一个压缩格式，因而可以大大减少网络传输的数据量以及硬盘空间，同时又可以通过特定的软件将其中的波形数据解压成其他常见的地震数据格式，也可以将从台站元数据中提取出仪器响应信息。

除了 SEED 格式，还有 miniSEED 格式和 dataless SEED 格式。miniSEED 格式中仅包含波形数据，dataless SEED 格式中仅包含台站元数据。之所以要将 SEED 格式拆分成 miniSEED 和 dataless SEED，是因为若每个 SEED 文件中都包含台站元数据，会造成台站元数据的冗余，浪费网络资源及硬盘容量。目前，miniSEED 格式逐渐取代 SEED 成为数据保存和传输过程中的主要格式。

除了 SEED 格式之外，还有其他数据格式，比如为数据库设计的 CSS 3.0 格式，以及众多数据处理软件自定义的格式，如 SAC、AH、evt 等等。不同国家的台网也可能会自定义自己的数据格式，比如日本 Hi-net 台网的数据使用自己定义的 win32 格式。

4.2.2 格式转换

IRIS 提供了 `rdseed` 软件，用于提取 SEED 数据中的连续波形数据以及台站元数据，并将连续波形数据保存为多种地震数据格式。

下面的命令可以从 SEED 数据中提取 SAC 格式的波形数据，以及台站的 RESP 仪器响应文件：

```
$ rdseed -Rdf file.seed
```

下面的命令可以从 SEED 数据中提取 SAC 格式的波形数据，以及台站的 PZ 仪器响应文件：

```
$ rdseed -pdf file.seed
```

¹ SEED 格式的详细说明参考官方文档：http://www.fdsn.org/seed_manual/SEEDManual_V2.4.pdf

² 台站元数据 (Metadata) 中包含了台站相关的全部信息，比如台站位置、分量信息、仪器响应等。

4.3 合并数据

相关命令: [merge](#)

相关脚本: [Perl 脚本](#)、[Python 脚本](#)

有些时候, 从 SEED 或 miniSEED 中提取出的同一台站同一分量的连续波形数据, 会被分割成多个等长或不等长的文件, 数据断开的可能是仪器在某些时刻存在问题导致连续数据出现间断, 也可能是出于其它考虑将数据进行切割。此时需要首先对数据进行合并。

假定解压出来的台网 NET、台站 STA、位置为 00 的 BHZ 分量的连续波形被分割成了多个文件, 需要将多个文件合并成单个文件。

SAC 在 v101.6 之前, 只能先读取第一段数据, 然后合并第二段数据, 再合并第三段数据。对于多个数据段的合并, 需要执行多次合并命令, 且合并时文件的顺序必须按照绝对时间的先后顺序。即使用如下命令进行合并:

```
SAC> r 2012.055.12.00.00.0000.NET.STA.00.BHZ.Q.SAC
SAC> merge 2012.055.12.25.00.0000.NET.STA.00.BHZ.Q.SAC
SAC> merge 2012.055.12.40.00.0000.NET.STA.00.BHZ.Q.SAC
SAC> ...
SAC> merge 2012.055.13.20.00.0000.NET.STA.00.BHZ.Q.SAC
SAC> w NET.STA.00.BHZ
```

SAC 从 v101.6 开始重写了 [merge](#) 命令, 可以使用如下更简洁的形式:

```
SAC> r *.NET.STA.00.BHZ          # 读入所有需要合并的文件
SAC> merge                        # 内存中的所有文件被合并为一个文件
SAC> w NET.STA.00.BHZ           # 写回到磁盘中
```

对于所有要合并的数据文件, SAC 会检测 `knetwk`、`kstnm`、`kcmpnm` 和 `delta` 是否完全匹配, 并智能判断每个文件的合并顺序。

实际合并的过程中, 可能会出现数据间断或数据重叠的情况:

- 若数据存在间断, 可对其直接补零或线性插值;
- 若数据存在重叠, 则可以比较重叠部分数据是否相同或对重叠的波形进行平均。

4.4 数据重命名

相关脚本: [Perl 脚本](#)、[Python 脚本](#)

用 rdseed 软件从 SEED 格式中解压得到的 SAC 数据, 一般都具有固定格式的文件名。示例如下:

```
2012.055.12.34.56.7777.YW.MAIO.01.BHE.Q.SAC
2012.055.12.34.50.6666.YW.MAIO.01.BHN.Q.SAC
```

(下页继续)

(续上页)

```
2012.055.12.34.54.5555.YW.MAIO.01.BHZ.Q.SAC
```

这三个文件是 YW 台网 MAIO 台站的宽频地震仪记录的宽频带三分量（BHE、BHN、BHZ）波形数据。文件名中每一项的具体含义在[数据命名规则](#)中有介绍，这里不再重复。

默认的文件名比较长，在数据处理时可能会显得比较麻烦，一般都会根据实际需求进行适当的简化。

是否要对数据文件做重命名，以及按照什么格式重命名，都是没有固定的标准的。通常需要用户根据自己所做研究的实际情况来决定。

在某些情况下，需要将同一事件在所有台站的波形数据放在同一个文件夹下，并将文件名以事件的发生日期/时间来命名。那么，SAC 文件名中的时间等信息就可以被省略掉。数据文件名简化为：

```
YW.MAIO.01.BHE
YW.MAIO.01.BHN
YW.MAIO.01.BHZ
```

有时候，需要将不同事件在同一个台站的波形数据放在同一个文件夹下，并将文件名以台站名来命名，此时数据文件名中可能需要保留事件的日期信息。数据文件名可以简化为：

```
YW.MAIO.01.20120224.BHE
YW.MAIO.01.20120224.BHN
YW.MAIO.01.20120224.BHZ
```

数据重命名这一步骤可以单独执行，也可以在执行其他操作的过程中顺便进行重命名（比如将数据合并并写入磁盘的时候）。通常需要写脚本来完成重命名的操作。

4.5 时区校正

假设有一个数据文件，数据中的时间都是中国时间，即东八区时间，现想将数据修改至国际标准时间，即要对数据做时区校正，将数据的绝对时间整体减少 8 个小时。前面说过，时区校正可以通过修改头段变量 `b` 的值来实现。

```
SAC> r nykl.z          # 读入数据
SAC> lh b e kzdate kztime # 查看头段信息

      b = 1.999622e+02    # b=200
      e = 1.600968e+03    # e=1600
      kzdate = SEP 10 (254), 1984
      kztime = 03:14:07.000
SAC> ch b (&1,b& - 8*3600) # 取 b 值，减去 8 小时，再赋值给 b
SAC> lh
```

(下页继续)

(续上页)

```

        b = -2.860004e+04          # 此时 b=200-8*3600=-28600
        e = -2.719903e+04
        kzdate = SEP 10 (254), 1984    # 参考时间不变
        kztime = 03:14:07.000
SAC> ch allt (0 - &l,b&) iztype IB    # 将参考时间设置为文件起始时间
SAC> lh b e kzdate kztime

        b = 0.000000e+00
        e = 1.401006e+03
        kzdate = SEP 09 (253), 1984    # 中国时间的 9 月 10 日 3 时
        kztime = 19:17:26.963          # => 国际标准时间的 9 月 9 日 19 时

```

从上面的例子中可以看出，头段变量 **b** 的值被减去了 8 个小时，而数据的参考时间并没有改变，因而数据整体向前移动了 8 个小时，即完成了时区校正。

需要注意的是，若数据中头段 **o**、**a**、**f** 或 **tn** 这些相对时间是有定义的，则这些相对时间都会由于 **b** 值的修改而出错，因而时区校正要尽早做。

4.6 事件信息

相关头段： **evla**、**evlo**、**evdp**、**mag**、**o**、**nzyear**、**nzjday**、**nzhour**、**nzmin**、**nzsec**、**nzmsec**

相关脚本： [Perl 脚本](#)、[Python 脚本](#)

若 SAC 文件中没有事件信息或者事件信息不准确，则需要用户从地震目录中获取事件的发震时刻、经度、纬度、深度和震级信息，并将这些信息写入到 SAC 文件的头段中。SAC 提供了用于可以修改头段变量的命令 **chnhdr**，以及将修改后的头段变量写到磁盘文件的命令 **writehdr**¹。

4.6.1 经纬度、深度与震级

想要修改事件的经纬度、深度和震级，操作如下：

```

SAC> r cdv.?
SAC> ch evla 37.52 evlo -121.68 evdp 5.95    # 修改三个头段变量
SAC> ch mag 5.0                             # 修改一个头段变量
SAC> wh                                     # 将修改后的头段写入文件

```

4.6.2 发震时刻

通常，需要将发震时刻信息写入 SAC 头段，并设置 SAC 文件的参考时刻为发震时刻。这样设置的好处在于，可以直观地从 X 轴坐标上读取震相走时。要实现这一操作，需要用

¹ 也可以使用 **w over** 将修改写回磁盘文件。关于 **wh** 和 **w over** 的区别，参考 [wh](#) 与 [w over](#) 一节。

到`chnhdr`的两个特殊用法。

先看看如何修改一个 SAC 文件的发震时刻，假设发震时刻为 1987 年 06 月 22 日 11 时 10 分 10.363 秒：

```
SAC> r ./cdv.z
SAC> ch o gmt 1987 173 11 10 10 363 # 06 月 22 日是第 173 天
SAC> lh kzdate kztime o

kzdate = JUN 22 (173), 1987
kztime = 11:09:56.363
o = 1.400000e+01 # 发震时刻相对于参考时刻的时间为 14 秒
SAC> ch allt -14 iztype IO # 参考时间加 14 秒，其他时间减 14 秒
SAC> lh kzdate kztime o

kzdate = JUN 22 (173), 1987
kztime = 11:10:10.363
o = 0.000000e+00
SAC> wh # 写回磁盘
```

上面的例子中，首先从地震目录中获取了地震的发震时刻，然后计算发震日期是一年中的第几天，本例中为第 173 天，再利用“`ch o gmt yyyy ddd hh mm sss xxx`”语法将发震时刻赋值给头段变量 `o`，SAC 会自动将发震时刻转换为相对于参考时刻的相对时间。此时 SAC 文件的参考时刻为“1987-06-22T11:09:56.363”，而 `o` 值对应的时刻为发震时刻“1987-06-22T11:10:10.363”，所以头段变量 `o` 的值为发震时刻相对于参考时刻的时间差，即 14 秒。

将发震时刻写入头段之后，还需要将参考时刻修改为发震时刻，与此同时还要修改所有的相对时间。`ch allt xx.xx` 的功能是将所有已定义的相对时间加上 `xx.xx` 秒，同时从参考时刻中减去 `xx.xx` 秒，此时参考时刻即为发震时刻，而 `o` 值为 0。

上面的做法需要执行 5 个命令才能实现，而且需要人工查看 `o` 的值，因而无法用于处理大量数据。下面就对这一例子做进一步简化，这其中需要使用 SAC 提供的“在命令中引用头段变量的值”的功能。具体的语法以及用法在[SAC 编程](#)一章中会介绍。

```
SAC> r cdv.z
SAC> ch o gmt 1987 173 11 10 10 363
SAC> ch allt (0 - &1,o&) iztype IO
SAC> wh
```

在这个例子中，`(0 - &1,o&)` 代替了上个例子中的 `-14`。简单介绍一下 `(0 - &1,o&)` 的含义，`&1,o&` 表示引用内存中第一个 SAC 文件的头段变量 `o` 的值（即 14），然后 `(0 - 14)` 得到的结果即为 `-14`。此处简化的优点在于，不需要使用 `lh o` 查看头段变量的值，完全可以实现自动化。

在 SAC v101.6 及之后的版本中，上例中的 `(0 - &1,o&)` 还可以写成 `(0-&1,o&)`、

(-&1,o&) 或 (-&1,o)。而在 SAC v101.5c 及之前的版本中, 只能使用 (0 - &1,o&), 注意减号两边的空格。考虑到命令的通用性, 建议使用上面示例中的写法。

上面的示例只适用于为一个 SAC 数据添加发震时刻的情况。如果要一次性为多个 SAC 数据添加同样的发震时刻, 最直观的想法是:

```
SAC> r *.SAC
SAC> ch o gmt 1987 173 11 10 10 363
SAC> ch allt (0 - &1,o&) iztype IO
SAC> wh
```

这样的做法是有很大风险的。因为内存中一次性读入了很多 SAC 数据, 而在使用 `ch allt` 命令时, `&1,o&` 引用的是第一个 SAC 数据的 `o` 头段。第二个命令已经保证了内存中所有的数据的 `o` 都有相同的绝对时刻 (即发震时刻), 只要所有数据的参考时刻是一致的, 那么所有数据的头段变量 `o` 的值也必然是一样的。所以当且仅当内存中的所有数据的参考时刻完全一致时, 上面的例子才是安全的。实际处理数据时会遇到很复杂的情况, “所有数据的参考时刻完全一致” 这一假设不一定成立。

在上面的例子的基础上再加一个命令:

```
SAC> r *.SAC
SAC> synchronize # 同步所有数据的参考时间
SAC> ch o gmt 1987 173 11 10 10 363
SAC> ch allt (0 - &1,o&) iztype IO
SAC> wh
```

`synchronize` 的作用是使内存中所有的数据拥有相同的参考时刻, 在此命令的基础上, 所有数据的头段变量 `o` 将拥有相同的值, 所以直接引用第一个头段变量的 `o` 值就不再是一件危险的事情了。

4.7 台站和分量信息

相关头段: `stla`、`stlo`、`cmpaz`、`cmpinc`

一般来说, 从 SEED 数据中解压的 SAC 数据中都包含了准确的台站信息和分量信息。若数据中没有包含台站和分量信息, 则需要从其它途径获取这些信息, 并使用 `chnhdr` 将这些信息写入到相应的数据头段中。

4.8 去毛刺

相关命令: `rglitches`

地震仪器偶尔会出现问题, 导致连续地震数据流中出现尖峰或者数据丢失。这些所谓的毛刺, 肉眼很容易识别, 但是在使用程序自动处理数据时却很容易被误认为是地震信号, 因而需要在数据分析之前将毛刺去除。`rglitches` 命令可以在某种程度上检测并去除地震

信号中的毛刺。毛刺在模拟地震记录中很常见，现在的数字地震记录中则很少见到，因而实际上很少需要执行这一步操作。

`rglitches` 的效果可以从 图 4.1 中直观地看到。

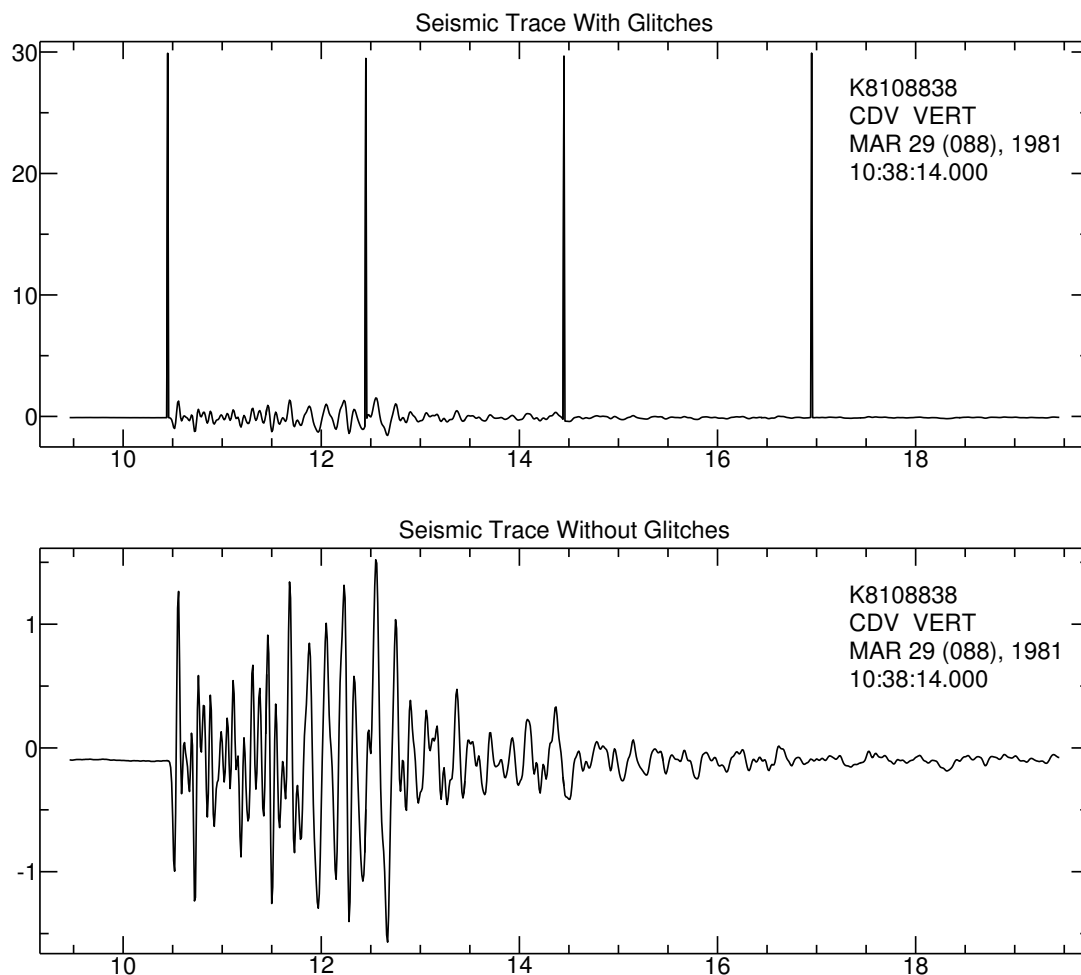


图 4.1: 地震波形去毛刺

上图为包含 `glitches` 的地震信号，下图为去除 `glitches` 后的地震信号。

4.9 去均值、去线性趋势和波形尖灭

相关命令: `rmean`、`rtrend`、`taper`

通常，波形数据总会存在一个非零的均值或者存在一个长周期的线性趋势，这会影响到数据的分析，必须在数据分析前去除。另一方面，在对数据进行谱域操作（如 FFT、滤波等）时，若数据的两端不为零，则会出现谱域假象，因而实际数据经常需要做尖灭处理，使得数据两端在短时间窗内逐渐变成零值。

```
SAC> fg seis
SAC> rmean; rtr; taper
```

在 图 4.2 中，波形从上到下依次为原始波形、去均值、去线性趋势、和尖灭之后的波形。

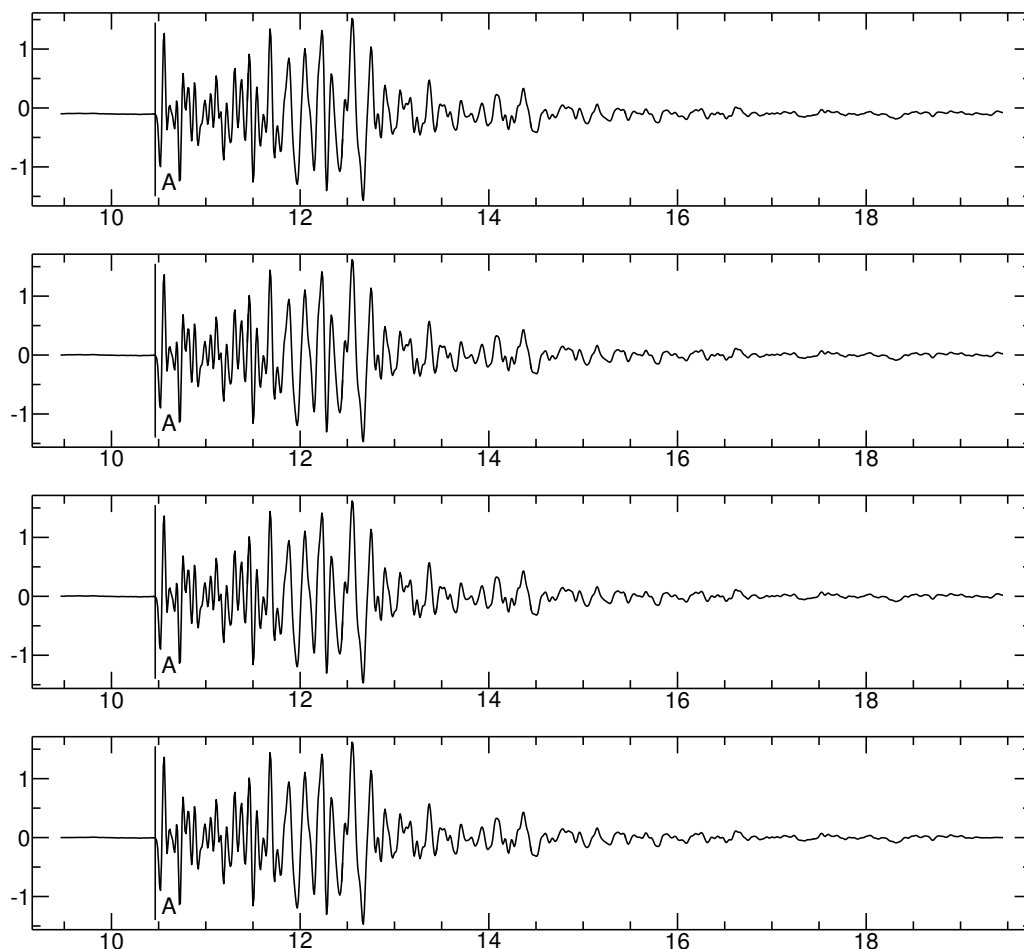


图 4.2: 去均值、去线性趋势和波形尖灭

4.10 去仪器响应

相关命令: [transfer](#)

相关脚本: [Perl 脚本](#)、[Python 脚本](#)

SAC 中可以使用命令[transfer](#)实现去仪器响应。这一节不介绍具体的原理和细节，只介绍日常数据处理时最常用的几种去仪器响应的方法。

参见:

仪器响应的基本原理以及为何需要去除仪器响应，请参考附录[仪器响应](#)以及教科书中的相关内容。[transfer](#)命令的具体用法，见该命令的语法说明及示例。

SAC 中常用的仪器响应文件有两种格式，即 RESP 文件和 PZ 文件。本节会介绍 RESP 文件和 PZ 文件的几种用法，并对每种方法的优缺点进行比较。

4.10.1 使用 RESP 文件去仪器响应

RESP 方法 1

使用 `evalresp` 选项但不指定 RESP 文件时, `transfer` 会对内存中的所有 SAC 数据进行循环。对于内存中的每个 SAC 数据, 从头段中提取台站分量信息, 然后在当前目录下寻找并使用对应的仪器响应文件 `RESP.NET.STA.LOC.CHN`。

```
SAC> r *.SAC
SAC> trans from evalresp to none freq 0.004 0.007 0.2 0.4
```

该方法的好处是, 可以一次处理多个 SAC 数据, 且无需指定仪器响应文件的文件名。

RESP 方法 2

可以使用 `evalresp fname` 选项为每个波形分别指定 RESP 文件:

```
SAC> r 2006.253.14.30.24.0000.TA.N11A..LHZ.Q.SAC
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from evalresp fname RESP.TA.N11A..LHZ to none \
      freq 0.004 0.007 0.2 0.4
```

该方法的优点在于, RESP 文件的文件名可以任意, 使用起来更灵活。缺点在于, 一次只能处理一个 SAC 数据, 数据的批量处理需要写脚本实现。

RESP 方法 3

可以将所有台站的 RESP 文件都合并到同一个文件中 (`cat RESP.*.*.*.* >> RESP.ALL`), 并指定该总 RESP 文件为仪器响应文件, 此时命令会从总 RESP 文件中自动寻找匹配的仪器响应。

```
SAC> r *.SAC
SAC> trans from evalresp fname RESP.ALL to none freq 0.004 0.007 0.2 0.4
```

4.10.2 使用 PZ 文件去仪器响应

PZ 方法 1

手动为每个波形指定 PZ 响应文件:

```
SAC> r OR075_LHZ.SAC
SAC> rmea; rtr; taper
SAC> trans from polezero subtype SAC_PZs_XC_OR075_LHZ to none \
      freq 0.008 0.016 0.2 0.4
SAC> mul 1.0e9      # 用 PZ 文件 transfer to none 得到的位移数据的单位为 m
                   # 而 SAC 默认的单位为 nm, 因而必须乘以 1.0e9
SAC> w OR075.z      # 此时位移数据的单位为 nm
```

该方法的缺点是，一次只能处理一个波形数据，且需要用户编程指定 PZ 文件名。

PZ 方法 2

可以将所有台站的 PZ 文件合并到同一个文件中 (`cat SAC_PZs_* >> SAC.PZs`)，并指定该总 PZ 文件为仪器响应文件，此时命令会从总 PZ 文件中自动寻找匹配的仪器响应。

```
SAC> r *.SAC
SAC> trans from pol s SAC.PZs to none freq 0.008 0.016 0.2 0.4
SAC> mul 1.0e9
SAC> w over
```

该方法的优点是一次可以处理多个波形数据。

4.10.3 几种方法的对比

从易用性来看，RESP 方法 1、RESP 方法 3 和 PZ 方法 2 都是比较易于使用的，只需要一个简单的命令，即可同时对所有波形数据进行处理。而 RESP 方法 2 和 PZ 方法 1，需要用户自己从数据文件的文件名或头段中提取信息，并指定对应的响应文件，这需要通过写少量的脚本来实现。

从执行效率来看，做了一个简单的测试，共 670 个波形数据，用不同的方法去仪器响应的执行效率如下：

PZ 方法 1 (8 秒) > RESP 方法 2 (43 秒) > RESP 方法 1 (58 秒) > RESP 方法 2 (90 秒) > RESP 方法 3 (227 秒)

从中可以总结出执行效率的如下规律：

1. RESP2 和 PZ1 相比，RESP3 与 PZ2 相比，可知，PZ 文件的效率要高于 RESP 文件。这很容易理解，毕竟 RESP 文件中包含了更为完整的信息，计算量要更大一些；PZ 文件中仅包含了零极点信息和总增益信息，对于日常的使用来说，已经足够；
2. RESP1 和 RESP2 相比，区别在于：后者使用指定的文件，前者则需要从数据中提取信息、构建文件名并在当前目录下搜索，因而 RESP1 要比 RESP2 慢一些；
3. RESP3 和 PZ2 方法，都是把多个响应函数放在同一个响应文件中，对于每个波形都需要对响应文件做遍历以找到匹配的响应函数，因而是所有方法中速度最慢的。

总结下来：

- 想要写起来简单，用 RESP 方法 1；
- 想要执行快，可以用 PZ 方法 1；

4.11 数据截窗

相关命令：[cut](#)

数据申请时一般会选择尽可能长的时间窗，而实际进行数据处理和分析时可能只需要其中的一小段数据，这就需要对数据进行时间窗截取。SAC 中的 `cut` 命令可以实现数据截取。

注解： `cut` 命令是“参数设定类”命令，即需要先执行 `cut` 命令再执行 `read` 命令。

4.11.1 pdw

使用 `cut` 命令对数据进行截取时需要定义数据时间窗。除了截取数据之外，其他一些命令也会需要定义时间窗，比如 `rms`、`mtw`、`xlim` 等，这些命令都使用同样的方式定义时间窗，在 SAC 中称为 `pdw`，即 `partial data window`。

`pdw` 定义了一个开始时间和一个结束时间，其格式为 `ref offset ref offset`。其中 `ref` 为参考时刻，可以取 Z、B、E、O、A、F、N 和 `Tn` ($n=0-9$)，而 `offset` 为相对于参考时刻的时间偏移量。

参考时刻 `ref` 可以取如下值：

- B：磁盘文件起始值
- E：磁盘文件结束值
- O：事件开始时间
- A：初动到时
- F：信号结束时间
- `Tn`：用户自定义时间标记， $n=0-9$
- Z：参考时刻
- N：将 `offset` 解释为数据点数而非时间偏移量，其仅可以用于结束值

若开始或结束的 `offset` 省略则认为其值为 0。若开始 `ref` 省略则认为其为 Z；若结束 `ref` 省略则认为其值与开始 `ref` 相同。

下面的例子中展示了一些常见的 `pdw` 及其含义：

```
B E           # 文件开始到文件结束，即与 cut off 相同
B 0 30        # 文件开始的 30 秒
A -10 30      # 初动前 10 秒到初动后 30 秒
B N 2048      # 文件最初的 2048 个点
T0 -10 N 1000 # 从 T0 前 10 秒起的 1000 个点
30.2 48      # 相对磁盘文件 0 点的 30.2 到 48 秒
```

4.11.2 cut

`cut` 命令是“参数设定类”命令，因而需要先 `cut` 再 `read`：

```
SAC> cut t0 -5 5      # 截取 t0 前后各 5 秒，共计 10 秒的数据
SAC> r *.SAC         # 先 cut 再 read
```

4.12 分量旋转

相关命令：[rotate](#)

相关头段: cmpinc、cmpaz

相关脚本: [Perl 脚本](#)、[Python 脚本](#)

三个正交的地震传感器即可完全记录地面运动矢量。因此可以将三个正交的分量任意旋转到其它三个正交的方向上。

出于仪器安装的考虑，地震仪三分量一般都是 N、E、U 向的。而地震学里，由于 SH 波与 P-SV 波的解耦，更常处理的是 R、T、Z 向的三分量数据。因而地震信号的旋转是有必要的。

SAC 提供了 [rotate](#) 命令，用于旋转任意两个相互正交的分量。旋转前，SAC 会检查两个分量的 cmpinc 和 cmpaz，以确定两个分量是正交的。

```
SAC> dg sub teleseis ntkl.[enz]
/opt/sac/aux/datagen/teleseis/ntkl.e ...ntkl.n ...ntkl.z
SAC> w ntkl.e ntkl.n ntkl.z
SAC> r ./ntkl.n ./ntkl.e
SAC> lh cmpinc cmpaz
FILE: ./ntkl.n - 1
-----
cmpinc = 9.000000e+01
cmpaz = 0.000000e+00
FILE: ./ntkl.e - 2
-----
cmpinc = 9.000000e+01
cmpaz = 9.000000e+01
SAC> rotate to gcp # 旋转到大圆路径
SAC> lh cmpinc cmpaz
FILE: ./ntkl.n - 1
-----
cmpinc = 9.000000e+01
cmpaz = 2.440466e+01
FILE: ./ntkl.e - 2
-----
cmpinc = 9.000000e+01
cmpaz = 1.144047e+02
SAC> w ntkl.r ntkl.t # 保存为 R 分量和 T 分量
```

在 [图 4.3](#) 中，左图从上至下为 N、E、Z 分量，右图从上至下为 R、T、Z 分量。旋转到 R、T 分量后，可以很容易地识别出 Rayleigh 和 Love 波。

读入两个水平分量时，读入的顺序不重要，不管是先读 N 分量还是先读 E 分量，旋转后始终是 R 分量在前，T 分量在后。

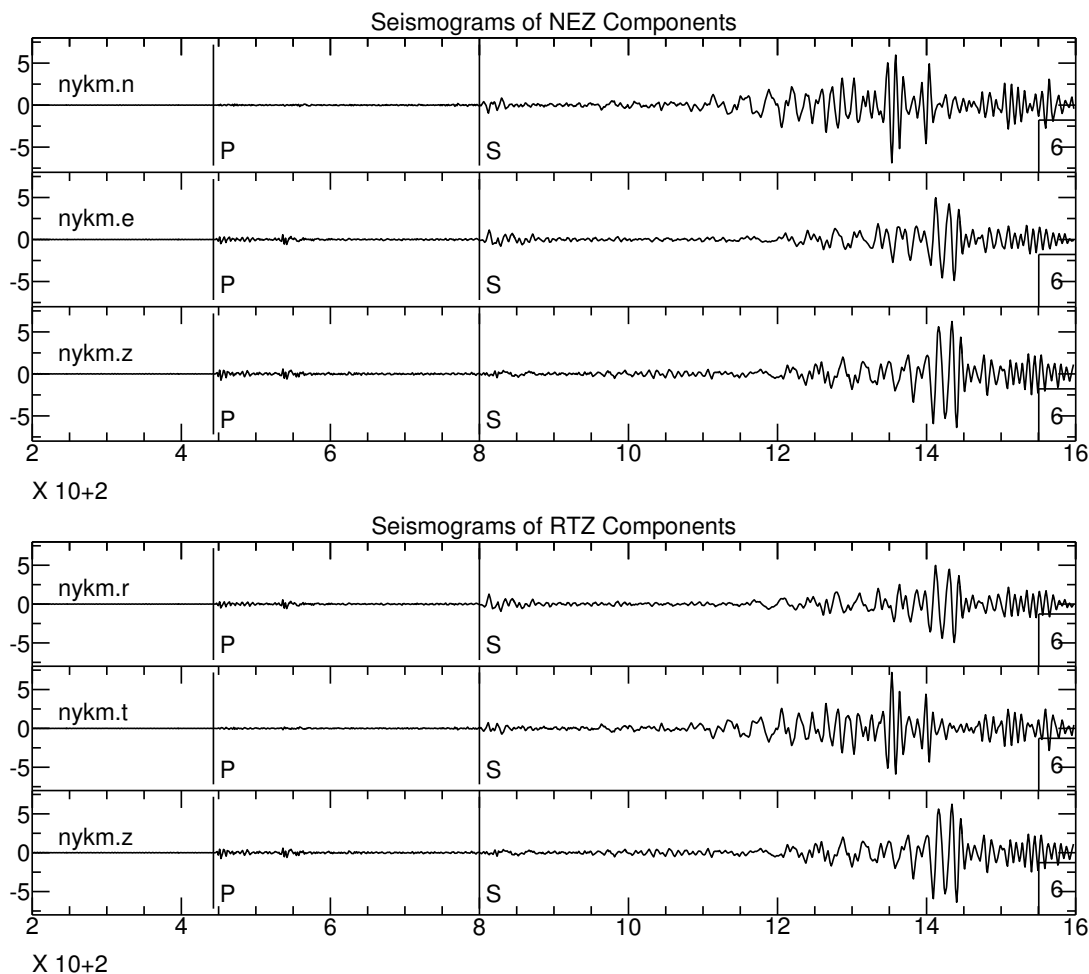


图 4.3: 将 N、E 分量旋转到 R、T 分量

4.13 数据重采样

相关命令: [decimate](#)、[interpolate](#)

如下情形，需要对数据进行重采样：

- 不同仪器的采样周期可能不同，需要将所有的数据重采样到相同的采样周期；
- 数据的采样周期很小，导致数据量很大，而实际研究中不需要如此小的采样周期，因而可以对数据做减采样以减小数据量；
- 数据的采样周期过大，实际研究中需要更小的采样周期，此时需对数据做增采样；
- 数据为不等间隔数据，需要插值成为等间隔数据；

4.13.1 decimate

[decimate](#) 专门用于解决上面所说的第二种情形，即等间隔数据的减采样。在减采样过程中，根据 Nyquist 采样定理，可能会出现混叠现象，而 [decimate](#) 对数据自动做了低通滤波，以避免混叠现象的产生。

下面的示例中，将一个等间隔数据减采样 10 倍：

```

SAC> fg seis
SAC> lh delta npts

    delta = 1.000000e-02      # 采样间隔 delta=0.01
    npts = 1000
SAC> decimate 5; decimate 2    # 减采样 10 倍
SAC> lh delta npts

    delta = 9.999999e-02      # 采样间隔 delta=0.1, 忽略浮点数误差
    npts = 100

```

4.13.2 interpolate

与`decimate`相比，`interpolate`命令功能更加强大，其可以对等间隔或不等间隔数据进行增采样或减采样。

比如增采样，即插值：

```

SAC> fg seis
SAC> lh delta npts

    delta = 1.000000e-02
    npts = 1000
SAC> interp delta 0.005      # 增采样 2 倍
SAC> lh

    delta = 5.000000e-03
    npts = 1999

```

对于减采样，`interpolate`与`decimate`的功能略有重复，但`interpolate`在减采样时不会对数据进行低通滤波，因而使用`interpolate`进行减采样时可能会出现混叠现象，故而需要手动进行低通滤波。

下面的示例将数据减采样到 20 Hz。根据 Nyquist 采样定理，为了保证不产生混叠现象，应首先对数据做 10 Hz 的低通滤波。

```

SAC> fg seis
SAC> lh npts delta

    npts = 1000
    delta = 1.000000e-02
SAC> lp c 10
SAC> interpolate delta 0.05
WARNING potential for aliasing. new delta: 0.0500 data delta: 0.0100
# 在做了 lowpass 之后，此处的警告可忽略

```

4.14 滤波

相关命令: [bandpass](#)、[lowpass](#)、[highpass](#)、[bandrej](#)

几乎所有的数据分析都需要将数据限制在一定的频率范围内，这就需要对数据做各种不同方式的滤波。关于滤波的细节，可以参考滤波命令的相关说明，以及信号处理相关书籍。至于滤波的范围，则依赖于具体的研究对象。

滤波过程中，有几个可以调节的参数：截止频率、阶数、通道数等等。不同的参数对波形造成的变形有多大区别？不同的参数得到的滤波器的频率响应又是怎样的？其实很容易就可以知道。

下面的代码生成了一个脉冲函数，然后对脉冲函数用某个参数组合做滤波，得到滤波后的波形，然后对波形做 FFT，得到波形的振幅谱和相位谱。根据定义可知，得到的波形为滤波器的时间响应，得到的振幅谱和相位谱为滤波的频率响应：

```
SAC> fg impulse delta 0.01 npts 1000 # 生成脉冲函数, delta 和 npts 可调
SAC> bp c 0.2 2 n 2 p 1 # 要查看的滤波参数
SAC> beginframe
SAC> xvport 0.1 0.9; yvport 0.7 0.9
SAC> fileid off
SAC> qdp off
SAC> title 'Time Domain Response'
SAC> p # 绘制时间域响应
SAC> fft
SAC> xvport .1 .45; yvport .15 .55
SAC> title 'Amplitude Response'
SAC> psp am loglog # 振幅响应
SAC> xvport .55 .9
SAC> title 'Phase Response'
SAC> psp ph linlin # 相位响应
SAC> endframe
```

上面的代码涉及到了一些尚未介绍的命令，在后面会具体介绍。生成的效果图如下：

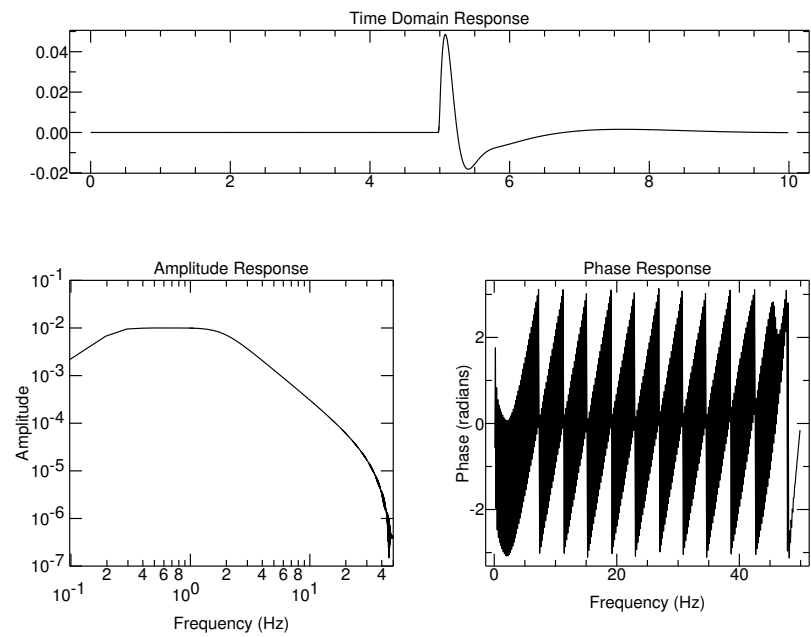


图 4.4: 滤波器的时间响应和频率响应

对脉冲波形做 0.5 Hz 到 5 Hz 的带通滤波，下图中给出了不同的阶数和通道数对波形的影响：

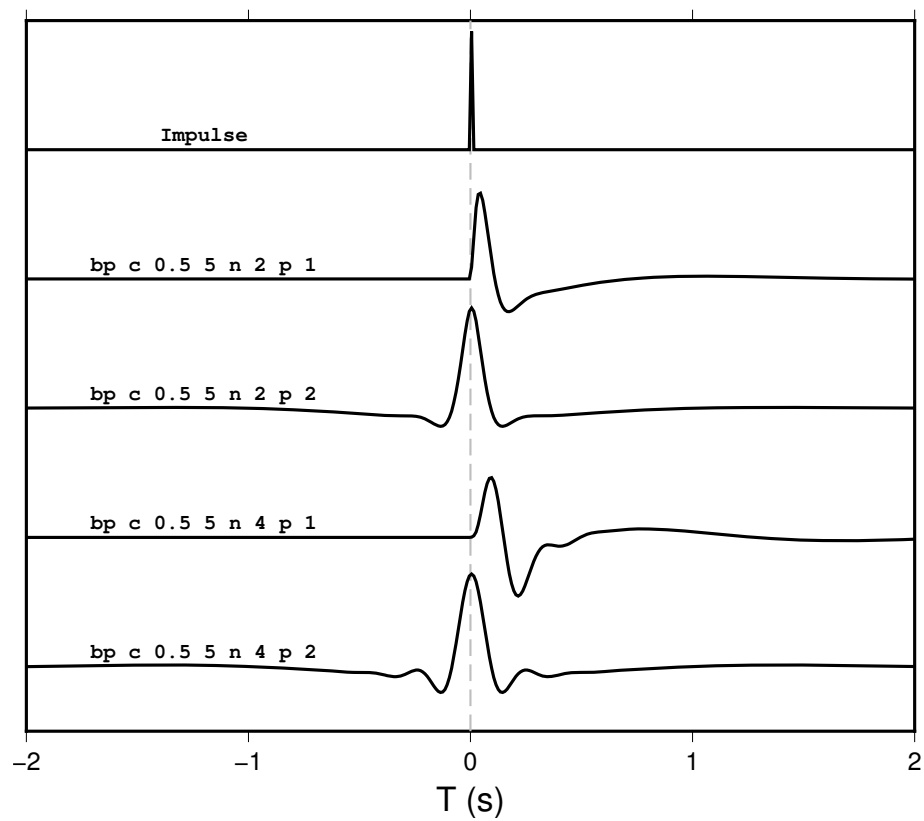


图 4.5: 不同参数的带通滤波效果

在 图 4.5 中 Impulse 为原始脉冲波形，下面四条波形是分别取不同的 n 值和 p 值的结果。

p 取 1 时，对波形做一次带通滤波，由于滤波器存在相位延迟，因而导致波形的峰值出现了时间延迟，因而会影响到震相的最大峰值的拾取，但对震相的初至却没有影响。

p 取 2 时，对波形做正反两次带通滤波，此时不存在相位延迟，因而不会影响到最大峰值的拾取，但震相的初至则存在时间上的提前。

4.15 震相理论到时

震相理论到时的计算是地震学的基础，具体的原理涉及到一大堆公式，感兴趣的读者可以阅读相关文献。

日常工作中经常需要识别震相、将波形按理论到时排序或迭加、计算震相到时残差等等，这些都需要用到震相理论到时。将震相理论到时写入到 SAC 文件的头段中，可以使得后期处理更加简单。SAC 头段中可以用于保存震相到时信息的头段包括：a、f 以及 tn (n=0-9)，ka、kf 和 ktn 则用于保存相应的震相名信息。

给 SAC 文件标记理论到时有三种方法，下面一一介绍。

4.15.1 手动标记

最直观的办法是根据 SAC 文件中的震源深度和震中距信息用某些程序计算出理论到时，然后用 `chnhdr` 命令手动将到时信息写入到 SAC 头段中。

```
SAC> dg sub teleseis nykl.z      # 以 nykl.z 为例
SAC> lh evdp gcarc              # 查看震源深度和震中距
    evdp = 0.000000e+00
    gcarc = 3.841450e+01
# 利用某程序计算得到 ak135 模型下，P 波走时为 443.14 秒，S 波走时为 799.05 秒
# 若 SAC 文件的参考时间为发震时刻，则
SAC> ch t0 443.14 t1 799.05 kt0 P kt1 S
SAC> lh t0 kt0 t1 kt1
    t0 = 4.431400e+02
    kt0 = P
    t1 = 7.990500e+02
    kt1 = S
```

该方法很直接也很基础，其缺点也很明显，那就是麻烦。如果参考时刻不是发震时刻的话，则更复杂一些。

4.15.2 traveltimes 命令

`traveltimes` 是 SAC 提供的一个命令，用于计算 iasp91 或者 ak135 地球标准模型下的震相理论走时，并自动将震相到时信息保存到 SAC 头段变量中。

```
SAC> dg sub teleseis nykl.z
SAC> traveltimes model iasp91 picks 3 phase P S
traveltimes: depth: 0.000000 km
```

(下页继续)

(续上页)

```
SAC> lh t3 kt3 t4 kt4
      t3 = 4.430530e+02
      kt3 = P
      t4 = 7.999642e+02
      kt4 = S
```

该命令会将震相 P、S 的理论到时依次写入头段变量 t3、t4 中，并在相应的 K 头段中写入震相名信息。该方法的优点在于是 SAC 内置命令，使用起来也很简单，缺点在于只支持两种地球速度模型。

4.15.3 taup_setsac 命令

TauP 软件提供的 taup_setsac 命令可用于计算震相理论到时并保存到 SAC 文件中。

```
$ taup_setsac -mod prem -ph P-6,S-7 -evdpkm *.SAC
```

该命令会根据 SAC 文件中的震中距和震源深度信息，计算震相在一维地球模型下的理论走时，将震相走时写入到头段 Tn 中，并向 KTn 中写入震相名称，向 USERn 中写入震相的射线参数（单位为 s/radian）。上面的示例中，使用了 PREM 地球模型，将 P 和 S 的走时信息写入到头段 T6 和 T7 中。

该方法的优点在于支持多种地球标准模型、自定义模型以及自定义震相。

4.16 波形排序

相关命令：[sort](#)

在画图时，波形数据在图像上的顺序与 SAC 数据读入内存时的顺序是一样的，有时候会需要对波形更加灵活的排序，比如在手动拾取震相的时候，会希望将所有波形数据按照震中距从小到大的顺序进行排列。SAC 提供了 sort 命令使得波形可以按照某个头段变量的值进行排序。

将波形数据按照方位角升序排列：

```
SAC> r *.SAC
SAC> sort az
SAC> ppk
```

将波形数据按照震中距降序排列：

```
SAC> r *.SAC
SAC> sort gcarc descend
SAC> ppk p 10
```

4.17 质量控制

质量控制就是标记/删除信噪比低或不合适的波形。

用户可以自己在程序中判断数据的好坏以进行质量控制，但这样做很困难，因为实际情况中，会遇到各种奇形怪状的“坏”波形，很难用统一的程序将这些“坏”波形挑选出来，所以更多时候需要人工的参与。

一种常规的做法如下：

```
SAC> r *.SAC          # 读入全部的 SAC 数据
SAC> ppk p 5          # plotpk, 每次绘制 5 个波形
# 若波形质量很差，则用 t9 标记
SAC> wh
SAC> q
```

解释一下以上做法，首先读入所有的 SAC 数据，然后利用 `plotpk`，每次绘制 `n` 个波形，如果是 3 分量数据，`n` 一般取 3。若波形质量很好，则不理睬；若波形质量很差，则在波形的任意时刻标记 `t9` 的值（具体如何标记可以参考下一节的内容），然后使用 `wh` 将标记的 `t9` 保存到头段中，再退出 SAC。

完成上面的步骤之后，所有“坏”波形的 `t9` 都被标记，一般来说都是一个正值，而所有“好”波形的 `t9` 则都处于未定义状态，其值为 `-12345.0`。

鉴于此，可以通过如下命令删除“坏”波形：

```
$ saclst t9 f *.SAC | awk '$2>0 {print "rm",$1}' | sh
```

注意：一定要在理解该命令的含义的前提下才可使用，否则可能会造成数据的丢失！

当然，也可以用如下命令将“坏”数据移动到专门的目录中：

```
$ mkdir BAD
$ saclst t9 f *.SAC | awk '$2>0 {print "mv", $1, "BAD/"}' | sh
```

`awk` 命令中，目录名 `BAD` 后最好加上斜杠。若不加斜杠，且忘记新建目录 `BAD`，则所有应该放在目录 `BAD` 中的文件都会被重命名为 `BAD`，进而导致文件丢失。

4.18 震相拾取

相关命令：`plotpk`

震相拾取，或者说标定到时，是 SAC 的一种常用功能。

4.18.1 ppk 模式的进入与退出

要进行震相拾取，首先要进入“ppk 模式”。

读取波形数据后，在终端中键入 `plotpk`（简称为 `ppk`），就会出现一个绘图窗口。若之前未曾打开过绘图窗口，则此时焦点位于 `ppk` 打开的绘图窗口中；若之前曾经打开过绘图窗口，则需要鼠标点击一下绘图窗口以使得焦点位于绘图窗口而不是终端中。此时，SAC 就进入了“ppk 模式”，终端中光标所在行没有 SAC 提示符“SAC>”。

```
SAC> fg seis
SAC> ppk      # 焦点位于绘图窗口中，进入 ppk 模式
               # 光标所在行没有提示符"SAC> "
```

学会如何进入 `ppk` 模式后，还要学会退出 `ppk` 模式。首先，确保焦点位于绘图窗口而不是终端，然后将光标移动到绘图窗口中，按下“q”键即可退出 `ppk` 模式。此时，终端中光标所在行会重新出现 SAC 提示符“SAC>”。

只有当使用了 `ppk` 命令，焦点位于当前绘图窗口，且鼠标位于当前绘图窗口内才称为 `ppk` 模式。在 `ppk` 模式下，所有的键盘输入都会被解释为“ppk 命令”，但不会在终端中显示出来。若使用 `ppk` 命令后，不慎使焦点位于终端内，即脱离了 `ppk` 模式，此时所有的键盘输入都会出现在终端中，但不会被 SAC 解释，当退出 `ppk` 模式时，SAC 才会依次解释终端中的命令。

4.18.2 ppk 模式下拾取震相

下面介绍如何在 `ppk` 模式中拾取震相。先进入 `ppk` 模式，此时焦点位于绘图窗口，并保证鼠标位于绘图区（即四个边框）的内部，移动鼠标到要标记到时的地方，依次按下 `t`、`0`，在要标记的到时处会出现一条竖线，旁边有标识 `T0`，此时已经将要标记的到时（即竖线对应的 X 轴位置）保存到头段变量 `T0` 中。再按下 `q` 以退出 `ppk` 模式，最后在终端键入 `wh` 将内存中的头段变量写回到磁盘文件中。

除了可以键入 `t` 和 `0` 之外，`0` 还可以用 1 到 9 的任意数字替换，分别表示将要标记的到时保存到 `T0` 到 `T9` 中。

```
SAC> fg seis
SAC> ppk
# 键入"t" 和"0" 标记到时，然后按"q" 退出 ppk 模式
SAC> lh t0
      t0 = 1.255385e+01
SAC> wh      # 保存头段
```

在键入 `t` 时，鼠标不仅要在绘图窗口内，还要在绘图区（即四个边框）的内部，否则会得到“Bad cursor position. Please retry.”的错误提示。

SAC 全局变量 `SAC_PPK_USE_CROSSHAIRS` 可以控制 `ppk` 模式下鼠标在绘图窗口内的形态。若其值为 0，则鼠标会以十字线的形式出现，即“+”；当其值为 1 时，会在十字线

的基础上加上水平线和垂直线。通常建议设置其值为 1，使得拾取到时更精确。该全局变量的设置方式参考[Linux 下安装 SAC](#) 一节。

4.18.3 qdp off

SAC 在默认情况下会打开快速绘图选项，即 `qdp on`。关于 `qdp`，可以参考[图像外观](#) 一节以及命令 `qdp` 的说明。

在拾取震相时，若打开了快速绘图选项，则由于数据没有完全绘制而导致震相的可识别度降低，也导致波形拾取精度降低。为了提高拾取精度，通常会在进入 `ppk` 模式前关闭快速绘图选项，即使用 `qdp off` 命令：

```
SAC> dg sub reg elk.z
SAC> qdp on      # 打开快速绘图选项（默认值）
SAC> ppk
SAC> qdp off    # 关闭快速绘图选项
SAC> ppk        # 注意观察与之前的区别
```

每次启动 SAC 后进入 `ppk` 模式前，都要手动执行 `qdp off` 以关闭快速绘图选项，这样相对比较麻烦，可以使用[SAC 初始化](#) 一节中介绍的方法使得每次 SAC 启动时自动关闭快速绘图选项。

4.18.4 放大与缩小

有时数据时间较长，难以精确标定到时，此时需要将图幅放大，以显示整个波形的一小部分。

首先需要将光标移动到绘图区域中的某位置，键入“x”，再移动至另一位置，再次键入“x”。这样，两次键入确定了一个时间窗。这时，绘图窗口中将只显示该时间窗内的波形，也就实现了图幅的放大。可不断重复此步骤，进行多次放大。

SAC v101.5 之后的版本有更方便的方式：在绘图窗口中某位置按下鼠标左键，并拖动至另一位置再松开鼠标左键，则两个位置之间的时间窗内的波形会被放大。

图幅的缩小通过键入“o”来实现，“o”最多可以回退 5 次绘图历史。

4.18.5 同时标记三分量

通常，震相在同一台站的三分量数据上具有相同的到时，因而将同一台站的三分量数据画在一张图上，一方面可以综合三分量的波形信息以更准确地识别震相，另一方面，一次标定三分量的震相到时可以减少工作量并保证震相在三分量上的到时相同。使用命令“`ppk p 3 a m`”进入 `ppk` 模式即可每次只显示并同时标记三个波形数据。

通常在拾取震相时会一次性读入多个台站的波形数据，而“`ppk p 3 a m`”一次只能显示三个波形数据，可以在 `ppk` 模式下不断键入“n”以依次显示接下来的三个波形，也可以键入“b”以显示前三个波形。当不断键入“n”直到所有波形数据都显示完毕的时候，会自动退出 `ppk` 模式。

```
SAC> dg sub tele *          # 生成多个台站的三分量数据
SAC> ppk p 3 a m
# 键入 t0 标记 ntkl 台站的三分量到时
# 键入 n 以绘制接下来的三个数据
# 键入 t0 标记 nykl 台站的三分量到时
# 键入 n 以绘制接下来的三个数据
# 键入 b 以绘制之前的三个数据
# 键入 t0 重新标记 nykl 台站的三分量到时
# 键入 n 以绘制接下来的三个数据
# 键入 t0 标记 onkl 台站的三分量到时
# 键入 n 以绘制接下来的三个数据
# 键入 t0 标记 sdkl 台站的三分量到时
# 键入 n 自动退出 ppk 模式
SAC> wh
SAC> q
```

在使用“ppk p 3 a m”选项同时标记三分量时需要注意：

- 三分量数据的参考时刻必须相同；若参考时刻不相同，则标记的结果是错误的
- 该命令每次会按照顺序显示内存中的三个波形数据，当且仅当每次显示的三个波形数据恰好是同一台站的三分量数据时，该命令才能用作同时标记同一台站的三个分量

要使得每次显示的恰好是同一台站的三分量波形数据，则要求同一台站的三个分量在内存中分别位于第 n 、 $n+1$ 和 $n+2$ 位，其中 n 为正整数。通常情况下，一次性读入全部数据的时候，都可以满足这一要求。但也有一些例外：

- 数据文件名比较奇葩，导致读入时同一台站的三分量数据不是紧挨着读入的，可以使用“ls *.SAC”命令检查文件的读入顺序；
- 某个台站丢失了一个分量的数据，导致后面的所有台站都出现问题；

4.18.6 ppk 命令

除了上面介绍的若干 ppk 命令之外，还有很多其他 ppk 命令。表 4.1 列出了 ppk 模式下的所有命令，其中常用的命令包括“b”、“l”、“n”、“o”、“q”、“t”和“x”。所有命令均不区分大小写。

表 4.1: ppk 模式命令一览表

命令	含义	说明
a	定义事件初至 a	1,7
b	如果有，则显示上一张绘图	
c	计算事件的初至和结束	1,4,7
d	设置震相方向为 DOWN	
e	设置震相 onset 为 EMERGENT (急始)	
f	定义事件结束 f	1,2,3,7
g	以 HYPO 格式将拾取显示到终端	4
h	将拾取写成 HYPO 格式	3,4
i	设置震相 onset 为 IMPULSIVE	
j	设置噪声水平	2,6,8
k	即 kill, 退出 ppk 模式	
l	显示光标当前位置	2,4
m	计算最大振幅波形	2,3,5
n	显示下一绘图	
o	显示前一个绘图窗，最多可以保存 5 个绘图窗	
p	定义 P 波到时	1,2,3,7
q	即 quit, 退出 ppk 模式	
s	定义 S 波到时	1,2,3,7
t	用户自定义到时 t_n ，输入 t 之后需要输入 0 到 9 中的任一数	1,2,7
u	设置震相方向为 UP	
v	定义一个 Wood-Anderson 波形	2,5
w	定义一个通用波形	2,5
x	使用一个新的 x 轴时间窗，简单说就是放大	
z	设置参考水平	2,6,8
@	删除已定义的拾取 (包括 A、F、P、S、T0)	
+	设置震相方向为略微向上	
-	设置震相方向为略微向下	
	设置震相方向为未知	
n	设置震相质量为 n, n 取 0-4	

注意：ppk 模式的命令几乎都是由单个字符组成的，比如退出“q”，唯一的例外是命令“t”，由字符“t”和 0-9 的整数构成。

不同的命令效果可能不同，有些会在绘图窗口显示信息，有些会将信息写入头段 i 变量，下面对表 4.1 中的说明进行一个说明：

- 1: 会将信息写入头段变量

- 2: 写入震相拾取文本文件（若已打开）
- 3: 写入 HYPO 格式震相拾取文件（若已打开）
- 4: 在绘图窗口中显示信息
- 5: 窗口显示包含波形的矩形
- 6: 在指定的水平处放置水平光标
- 7: 绘图窗口显示含有到时标识的垂直线
- 8: 绘图窗口显示含有标识的水平线

4.18.7 标定 P 波和 S 波

ppk 模式下可以键入 p 或 s 来分别标定 P 波和 S 波到时。关于 P 波和 S 波到时的标定，有如下几点说明：

- 用 p 标定的 P 波到时信息保存到头段变量 A 中
- 用 s 标定的 S 波到时信息保存到头段变量 T0 中
- 震相 onset 类型、震相方向和震相质量等信息仅用于标记 P 和 S 波，这些信息会保留在头段变量 KA 或 KT0 中。

以标记 P 波到时为例，在进入 ppk 模式后，依次按下 e、d、1、p 四个按键，此时会将 P 波到时信息保存在头段变量 A 中，头段变量 KA 中的值则是 EPD1，这四个字符表明这是一个 EMERGENT 且极性向下的 P 波，震相质量为 1，即震相比较清晰。

4.18.8 ppk 修改版

SAC 的 `plotpk` 命令在实际使用中两大痛点：

1. 拾取震相时需要按下 T 和数字键才能标记一个到时，且某些数字键与按键 T 距离太远
2. 无法删除已标记的到时

为了解决这两个问题，对代码做了一些修改，增加了如下两个功能：

1. 直接使用数字键即可标记震相到时
2. 使用 @ 可删除标记到时

详情请参考 <https://blog.seisman.info/faster-ppk/>。

4.19 数据分析

数据分析是整个科学研究的核心。SAC 软件只是负责完成前期的预处理工作，真正核心的数据分析工作通常需要用户自己写程序完成。但无论如何都牵涉到如何在程序中读写 SAC 文件的问题，这个问题放在 [SAC I/O](#) 这两章中具体说明。

4.20 信号叠加

相关命令：`liststack`、`zerostack`

信号叠加是消除噪声、增强有效信号的常用手段。SAC 通过提供一个子程序 Signal Stack

Subprocess（简称 sss）来实现。

4.20.1 sss 的进入和退出

在 SAC 中键入 sss 即可进入该子程序；在子程序中键入 `quitsub` 即可退出子程序并回到主程序；也可键入 `quit` 直接从子程序中退出 SAC。

4.20.2 添加文件

首先，需要让 SAC 读入要叠加的 SAC 文件。

```
SAC> sss # 进入 sss 子程序
Signal Stacking Subprocess.
SAC/SSS> addstack a.SAC weight 1 delay 20 seconds
```

上面的示例中读入了文件 a.SAC，weight 1 设置了文件在叠加中的权重，即用 1 乘以 SAC 文件的每一个点的值，权重可以是 0 到 1 的数。delay 20 seconds 表示将波形向后延迟 20 秒。

在 SAC 主程序中读入的文件，在进入子程序时会保留。如下面的例子所示：

```
SAC> r a.SAC # 读取了文件 a.SAC
SAC> sss # 进入 sss 子程序
Signal Stacking Subprocess.
SAC/SSS> addstack a.SAC delay 10 s # 添加文件 a.SAC，并延迟 10s
SAC/SSS> addstack b.SAC # 添加文件 b.SAC
SAC/SSS> liststack # 列出叠加文件列表中的文件属性
```

filename	weight	delayt	delayn	delayvm	polarity	distance
		delayti	delayni	begin	end	
a.SAC	1.000	0.000	0.000	0.000	NORMAL	-12345.000
		0.000	0.000	10.000	14.000	
a.SAC	1.000	10.00	0.000	0.000	NORMAL	-12345.000
		0.000	0.000	10.000	14.000	
b.SAC	1.000	0.000	0.000	0.000	NORMAL	-12345.000
		0.000	0.000	20.000	24.000	
Time Window:		0.000	0.000			
Stack Velocity Model 1	OFF					
Stack Velocity Model 2	OFF					

4.20.3 叠加文件

本小节首先生成两个脉冲函数文件，然后尝试用多种方式把它们叠加起来。

```
SAC> funcgen impulse npts 10 delta 1 begin 0
# 生成一个脉冲函数，数据点数 10 个，采样间隔 1s，头段 b 为 0
SAC> w a.SAC
SAC> funcgen impulse npts 10 delta 1 begin 10
```

(下页继续)

(续上页)

```
# 生成一个脉冲函数，数据点数 10 个，采样间隔 1s， 头段 b 为 10
SAC> w b.SAC
SAC> sss
Signal Stacking Subprocess.
SAC/SSS> zerostack          # 清除之前添加的文件及各种设置
SAC/SSS> addstack a.SAC
SAC/SSS> addstack b.SAC
SAC/SSS> timewindow 0 19    # 确定时窗，必选设定
SAC/SSS> sumstack          # 叠加波形
```

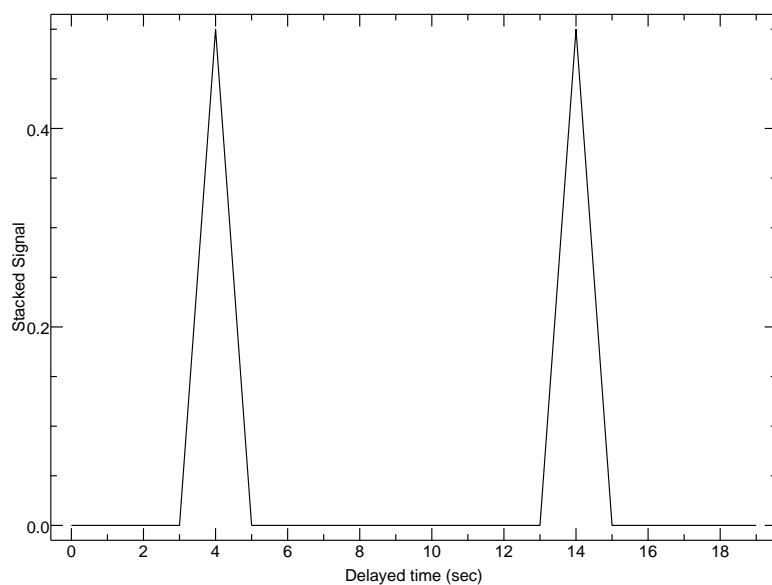


图 4.6: 不做动校正的叠加

执行后，SAC 会自动弹出叠加后的波形图，此时可以看到两个脉冲信号。叠加的方式需要注意两点：一是波形是按相对时刻对齐的；二是叠加后会做归一化，所以最大振幅只有 0.5。

下面尝试把 a.SAC 和 b.SAC 叠加起来，并做动校正让脉冲信号重合，并且振幅就是简单的求和使其等于 2。

```
SAC/SSS> zero stack
SAC/SSS> addstack a.SAC delay 10 s
SAC/SSS> addstack b.SAC
SAC/SSS> timewindow 0 19
SAC/SSS> sumstack n off
```

结果如图：

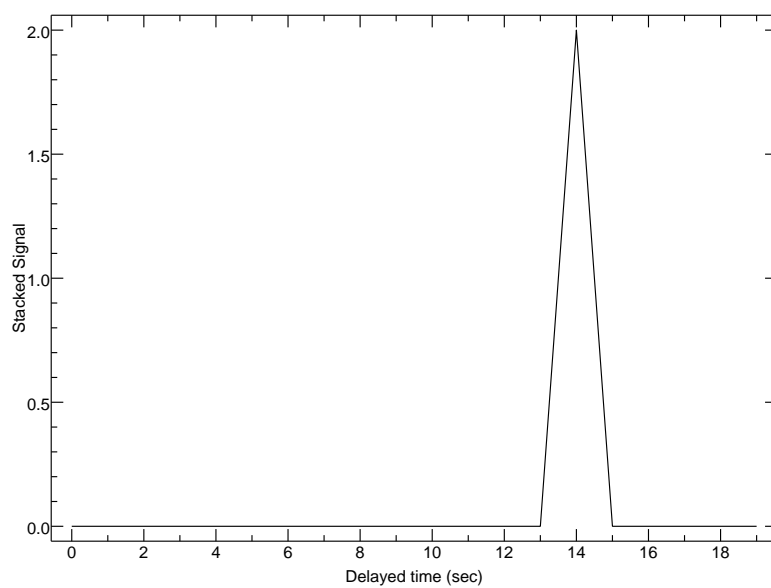


图 4.7: 做动校正的叠加

第 5 章 SAC 图像

5.1 图形设备

SAC 支持两种图形设备，分别是 `xwindows` 和 `sgf`，默认的图形设备是 `xwindows`。可以使用 `begindevices` 和 `enddevices` 命令开启/关闭指定的图形设备；同时也可以使用 `setdevice` 命令设定默认的图形设备。

5.1.1 xwindows

`xwindows` 即 X Window System，也称为 X11 或 X，是一种以位图方式显示的软件窗口系统。几乎所有的现代操作系统都能支持与使用 X，Linux 下知名的桌面环境 GNOME 和 KDE 也都是以 X 窗口系统为基础建构成的。

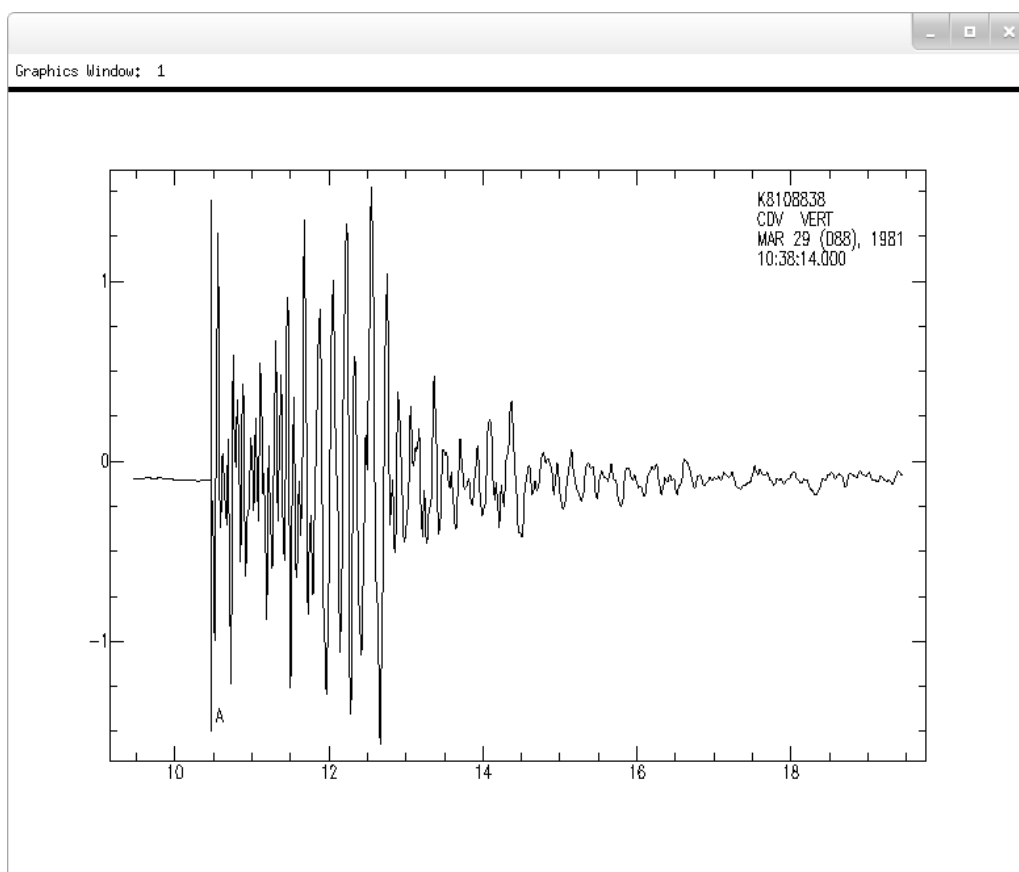


图 5.1: SAC 绘图窗口

在图 5.1 展示了 SAC 中的 `xwindows` 图形设备的外观，它是 SAC 默认的图形设备。同很多其它软件界面类似，`xwindows` 窗口在左上角显示图标，右上角显示“最小化”、“最

大化”、“还原”和“关闭”按钮。窗口的中间部分为真正的绘图区，本文档的其余插图将只给出绘图区的图像而不再包含窗口部分。

左上角的“Graphics Window: 1”指明了当前绘图窗口的编号为“1”，SAC 最多支持同时打开 10 个 X 窗口，编号为 1–10。默认情况下只启动并使用 1 号 X 窗口。`beginwindow` 命令用于启动指定编号的 X 窗口；`window` 命令还可以设置每个 X 窗口的长宽比以及 X 窗口相对于屏幕的位置。

5.1.2 sgf

SGF, 全称 SAC Graphic File, 即 SAC 图形文件, 是 SAC 自定义的一种文件格式, 其包含了绘制一个图件所需要的全部信息, 可以通过`sgftops` 等工具转换到其它图形设备或图形文件格式。

若启用了 SGF 图形设备, 每次绘制的图件将分别保存到单独的 `sgf` 文件中。默认情况下, `sgf` 图形文件的文件名格式为 `fnnn.sgf`, 其中“`nnn`”为图件编号, 起始编号为 001, 每生成一个图件该编号递增。`sgf` 命令可以控制 SGF 图形设备的选项, 比如文件名前缀 (默认为 `f`)、起始编号 (默认从 001 开始)、保存目录、文件尺寸等。

5.2 SAC 绘图流程

严格地说, SAC 绘图的流程应该是:

1. 启动图像设备
2. 绘图
3. 关闭图像设备

如下所示:

```
SAC> r cdv.[nez]
SAC> begindevices xwindows      # 启动图像设备 xwindows, 简写为 bd x
SAC> p                          # 绘图
Waiting
Waiting
SAC> enddevices xwindows       # 关闭图像设备 xwindows, 简写为 ed x
SAC> q
```

上面的步骤稍显繁琐, SAC 将这一流程进行了简化。在第一次执行绘图命令前, SAC 偷偷启动了默认的图像设备 `xwindows`, 接下来的绘图工作都在该窗口中完成。当用户退出 SAC 时, SAC 会自动关闭图像设备。

也许你已经发现, 即使 `plot` 结束或者中途退出 `plot`, 绘图窗口依然没有被关闭。即便点击窗口的“关闭”按钮, 窗口依然无法关闭。若想要关闭绘图窗口, 应如上例那样使用 `ed x` 命令。

5.3 绘图命令

SAC 提供了许多与绘图有关的命令，包括控制图像外观的参数控制类命令以及执行绘图功能的操作执行类命令。这一节将介绍常用的几个操作执行类命令。

5.3.1 plot

`plot` 命令会绘制内存块中的所有波形数据，但每次只显示一个波形，然后等待用户输入再决定是否显示下一个波形。该命令的具体用法在[绘图](#)已经详细介绍。

5.3.2 plot1

`plot1` 命令会绘制内存块中的所有波形数据，在一个窗口中一次显示多个波形，这些波形共用一个 X 轴（时间轴），但拥有单独的 Y 轴。

```
SAC> dg sub local cdv.[enz]
cdv.e cdv.n cdv.z
SAC> p1
```

执行 `plot1` 命令后，焦点位于图形窗口，显示如 [图 5.2](#)。

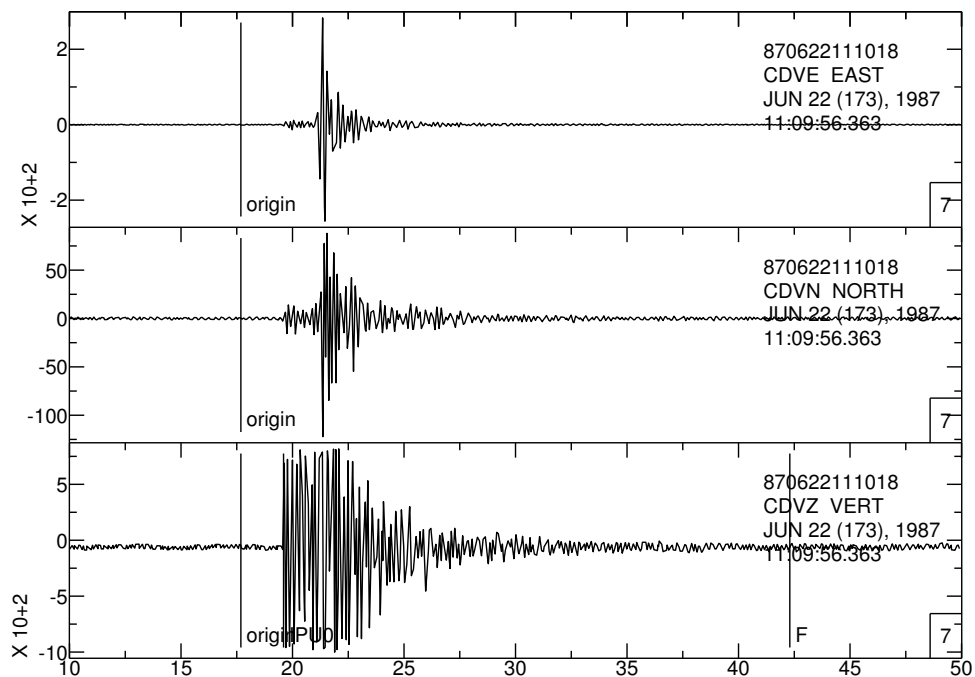


图 5.2: plot1 绘图效果

当一次性读入多个波形数据时，若直接使用 `plot1` 绘图，会一次性显示全部波形，导致窗口内波形太密，反而什么都看不清。`plot1` 提供了“`perplot n`”选项以指定窗口内一次最多显示多少个波形，余下的波形则处于等待状态。在查看波形的时候，经常需要将每个台站的三分量波形记录放在一起看，此时设置选项 `perplot` 的参数值为 3 即可。

```
SAC> dg sub local cdv.[enz] cvl.[enz] cvy.[enz] # 生成 9 个地震波形
cdv.e cdv.n cdv.z cvl.e cvl.n cvl.z cvy.e cvy.n cvy.z
SAC> p1 p 3 # p 是选项 perplot 的简写, 3 代表每次显示 3 个波形
Waiting
Waiting
SAC>
```

默认情况下, 所有的波形数据会按照绝对时间 (**absolute**) 对齐, 若波形数据具有不同的开始时间, 则波形数据之间会出现相对错动; 也可以使所有的波形数据相对于 (**relative**) 各自的开始时间绘图, 此时 X 轴的起始坐标为 0。

5.3.3 plot2

plot2 会一次性将内存块中的所有波形绘制在一个窗口内, 所有的波形共用 X 轴, 因而绘图时也可以使用绝对模式或相对模式。与 **plot1** 不同的是, 所有的波形还同时共用 Y 轴, 因而波形会相互覆盖。

plot2 适合绘制多个波形的对比图, 常用于数据处理前后波形对比或真实波形与合成波形间的对比。

```
SAC> fg seis # 生成数据
SAC> rmean; rtrend; taper # 预处理
SAC> w seis.0 # 写入滤波前文件
SAC> bp c 0.05 10 n 4 p 2 # 滤波
SAC> w seis.1 # 写入滤波后文件
SAC> r ./seis.[01] # 读入两个文件
./seis.0 ...seis.1
SAC> color red inc list red blue # 对两个数据分别设置红色和蓝色
SAC> p2 # 绘图
```

在图 5.3 中红线为滤波前波形, 蓝线为滤波后波形, 二者共用 X 轴和 Y 轴, 从这样的波形对比图中, 可以很明显的看到滤波对于波形的影响。

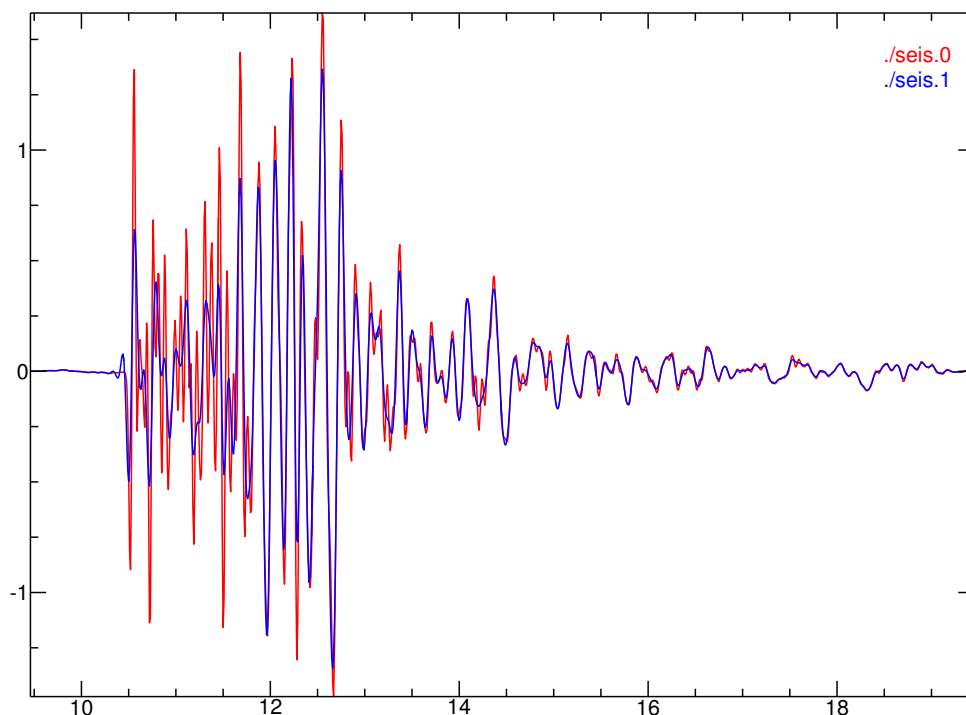


图 5.3: plot2 绘图效果
红色为滤波前波形，蓝色为滤波后波形。

5.3.4 plotpk

`plotpk` 是 SAC 中最常用的命令之一。其可以在窗口中显示指定个数的波形，所有波形共用 X 轴，但拥有单独的 Y 轴。该命令主要用于震相拾取，在[震相拾取](#)一节有详细介绍。

5.3.5 plotpm

`plotpm` 可以利用成对的波形数据，提取出任一时间段内两个波形数据的振幅信息，绘制在“振幅-振幅”图中。若一对波形数据恰好是同一台站两个互相垂直的分量，则“振幅-振幅”图即为“质点运动图”。从“质点运动图”中，可以提取出震相的一些重要信息。

下面的例子利用垂直和径向分量的波形数据绘制 Rayleigh 面波的质点运动轨迹：

```
SAC> dg sub tele nykl.z          # Z 分量
SAC> w nykl.z
SAC> dg sub tele nykl.e nykl.n  # E、N 分量
SAC> rotate to gcp              # 旋转至大圆路径
SAC> w nykl.r nykl.t            # R、T 分量
SAC> r nykl.z nykl.r            # 读入 Z 和 R 分量
SAC> xlabel 'Radial component'
SAC> ylabel 'Vertical component'
SAC> title 'Particle-motion plot for partial Rayleigh wave'
SAC> xlim 1300 1340             # 仅绘制 Rayleigh 面波的部分时间窗
SAC> ppm                        # 绘制质点运动图
```

鉴于`plotpm` 命令绘图的效果很糟糕，就不再贴效果图了，读者可以根据上面的命令自行绘制。

5.3.6 `plotsp`

`plotsp` 命令用于绘制不同格式的谱文件，可以绘制“振幅 + 相位”或者“实部 + 虚部”，同时可以任意指定 X、Y 轴为线性轴或对数轴。

下面的命令对波形数据进行 FFT 得到谱文件，并使用`plotsp` 命令绘制其振幅谱：

```
SAC> fg seis
SAC> fft
SAC> psp am loglog
```

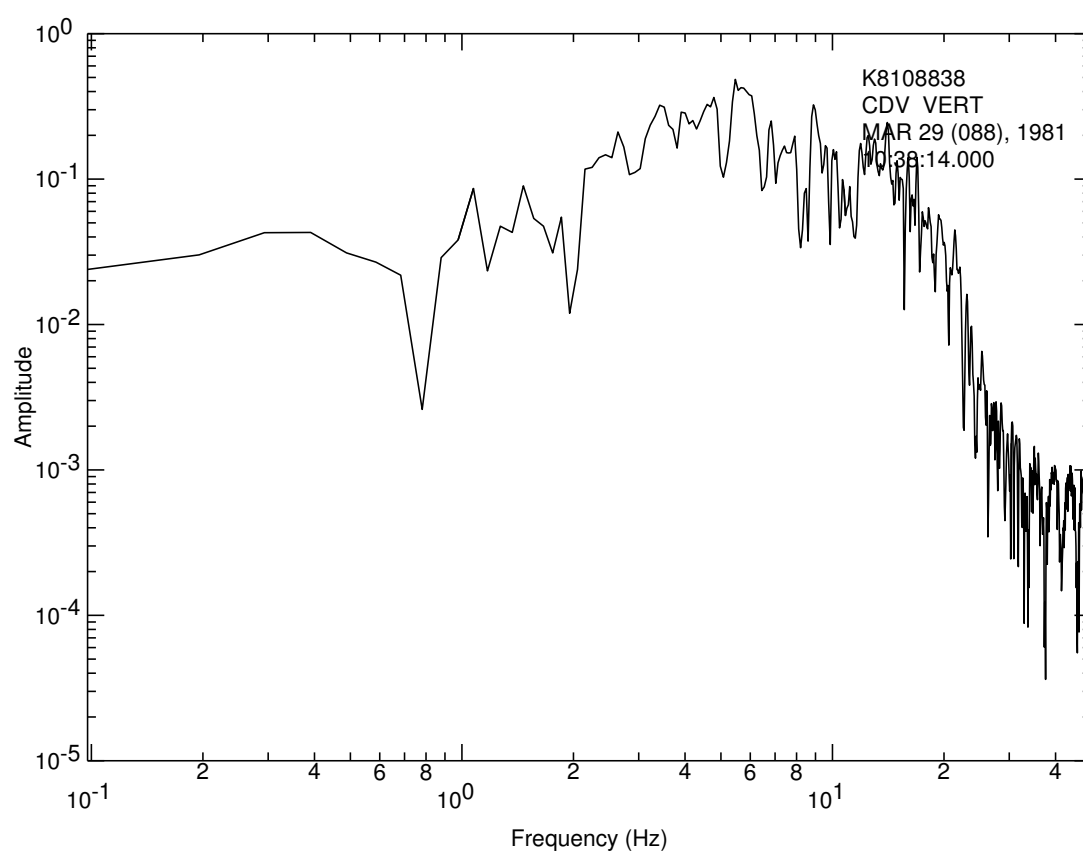


图 5.4: `plotsp` 绘制振幅谱

5.4 图像外观

5.4.1 图像元素

对于 SAC 而言，最基本的显示元素是将所有数据点用线连起来所构成的地震图。除此之外，SAC 的绘图命令还会在图像的四个边绘制坐标轴以及刻度，为图像添加标题、轴标签等。

在图 5.5 中展示了一个完整的 SAC 图像所包含的所有元素。

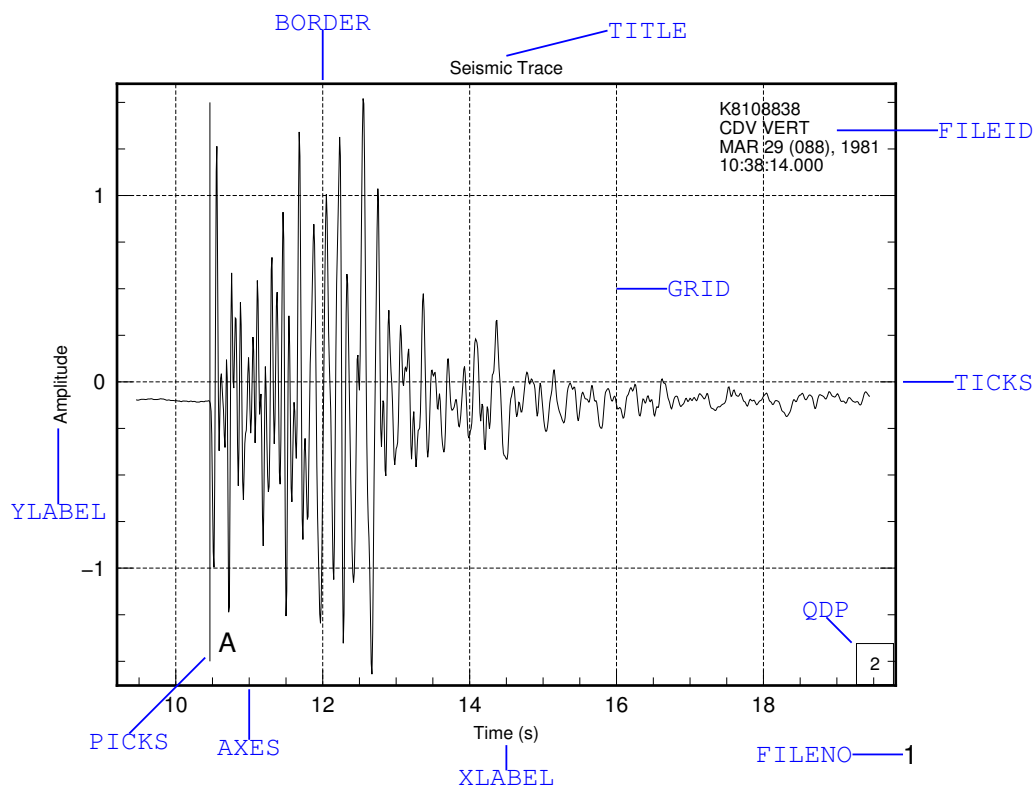


图 5.5: 绘图外观及其相关命令
图中蓝色部分为对绘图外观的说明。

图 5.5 可以用如下命令绘制得到：

```
SAC> fg seis           # 生成数据
SAC> qdp on            # 打开 QDP 选项（默认值即为开）
SAC> grid on           # 显示网格
SAC> title 'Seismic Trace' # 设置标题
SAC> xlabel "Time(s)"   # 设置 x 轴标签
SAC> ylabel "Amplitude" # 设置 y 轴标签
SAC> filenumber on      # 显示文件号
SAC> axes only left bottom # left 和 bottom 显示 axes
SAC> ticks only right   # right 显示 ticks
SAC> border on          # top 显示 border
SAC> p                  # 绘图
```

图像中显示的元素包括：

标签

标签大致可以分为三种：标题、轴标签和通用标签。

TITLE 图像的标题。`title` 命令可控制标题文本、位置和尺寸

XLABEL、**YLABEL** 轴标签。`xlabel` 和 `ylabel` 命令可指定 X 和 Y 轴标签文本、位置和尺寸。

PLABEL 通用标签。`plabel` 可指定通用标签的文本、位置和尺寸。

标签文本需要用单引号或双引号包围，文本尺寸选项 `size` 可以选择 `tiny`、`small`、`medium` 或 `large`，文本位置选项 `location` 则可以取 `top`、`bottom`、`left` 或 `right`。

可以通过 `plabel` 命令定义最多三个通用标签。通用标签与轴标签类似，其更通用之处在于可以任意指定其位置。每个标签可以用 `position x y a` 来指定其位置，其中 `x`、`y` 为标签位置相对于窗口尺寸的比例，`a` 表示标签相对于水平方向顺时针旋转的角度；也可以用 `below` 设置新标签位于上一标签的下方。

标记

图像中包含了如下标记：

- FILEID** 文件 ID。`fileid` 用于控制文件 ID 的内容、位置及其格式。
- FILENO** 文件号。`filenumber` 控制文件号显示与否。
- PICKS** 到时标记。`picks` 用于控制是否显示到时标记以及显示效果。
- QDP** QDP 因子。`qdp` 用于控制 qdp 因子的大小。

QDP，全称为“quick and dirty plot”。在开发 SAC 的那个年代，计算机的性能一般，若在绘图时绘制全部数据点，则绘图过程会耗费大量时间。因而 SAC 采用了“qdp”的方式：每隔若干个数据点绘制一个数据点¹。图中右下角的“2”即表示每两个点中绘制一个点。目前计算机的性能已经足够强大，因而一般使用 `qdp off` 命令关闭该选项。

底图边框

每张图都有一个底图，每个底图有 TOP、BOTTOM、LEFT 和 RIGHT 四条边。

SAC 中，每条边都可以用四种不同的形式表示：

- 不绘制；图 5.5 中 TOP 边；
- ticks：直线 + 刻度²，即图中 RIGHT 边；
- axes：直线 + 刻度 + 标注³，即图中 LEFT 边和 BOTTOM 边；

从上面的定义可以看到，四种形式的边存在包含与被包含的关系，因而在设定边时，有如下规则：

1. 用 `axes` 控制在哪些边使用“axes”；
2. 只有不使用“axes”的边才可以用 `ticks` 命令控制是否使用“ticks”；
3. 只有不使用“axes”和“ticks”的边才可以使用 `border` 命令控制是否使用“border”；
4. 不使用“axes”、“ticks”和“borders”的边则不绘制。

除了边之外，还可以使用 `grid` 命令控制网格的显示以及网格的线型，或使用 `xgrid`、`ygrid` 分别控制横、纵方向网格的显示和属性。

¹ 本质上就是绘图时的一次“减采样”，但是没有做抗混淆处理。

² 刻度专指每条边上的短线。

³ 标注专指每条边上的数字。

5.4.2 图像控制

坐标轴

SAC 使用了优秀的默认算法，根据要绘制的数据范围选择合适的刻度间隔和标注。若对于默认的结果不满意，可以使用 SAC 提供的命令分别对 X、Y 坐标轴进行调整，下面仅列出与 X 轴相关的命令。

xlim 控制绘图的 X 轴范围

xdiv 控制 X 轴刻度间隔

xfudge 设定 fudge 因子，根据数据极值扩展 X 轴范围

坐标系

绘制时间序列一般使用线性坐标系，SAC 也提供了一系列命令以指定 X、Y 轴为线性坐标轴或对数坐标轴。这些命令包括：[linlin](#)、[linlog](#)、[loglin](#)、[loglog](#)、[xlin](#)、[xlog](#)、[ylin](#)、[ylog](#)。

对于对数坐标轴，还有一些命令可以控制其外观，比如[xfull](#)、[loglab](#)、[floor](#)。

5.4.3 线条属性

线条的属性包括线型 ([line](#))、线宽 ([width](#))、颜色 ([color](#)) 和符号 ([symbol](#))。

下面的命令展示了如何修改线条的属性。

```
SAC> fg seis
SAC> line 3          # 线型为 3
SAC> width 2         # 线宽为 2
SAC> color red       # 红色
SAC> p
```

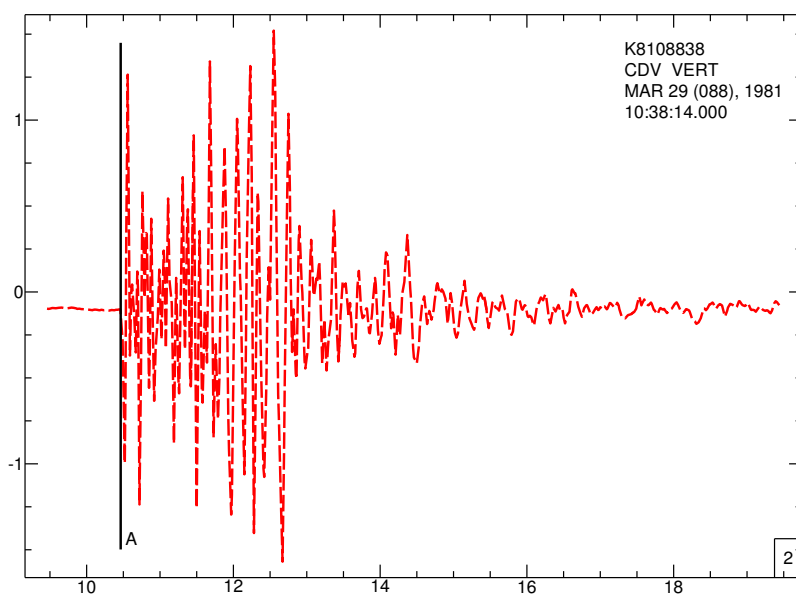


图 5.6: 线条属性

在绘制多个波形数据时，可以设置线条的属性按照某个列表递增。下面的命令一次绘制四个波形文件，使每个数据的线型和颜色都按照默认列表递增。

```
SAC> dg sub teleseis ntkl.z nykl.z onkl.z sdkl.z
SAC> line incre
SAC> color black incre
SAC> p
```

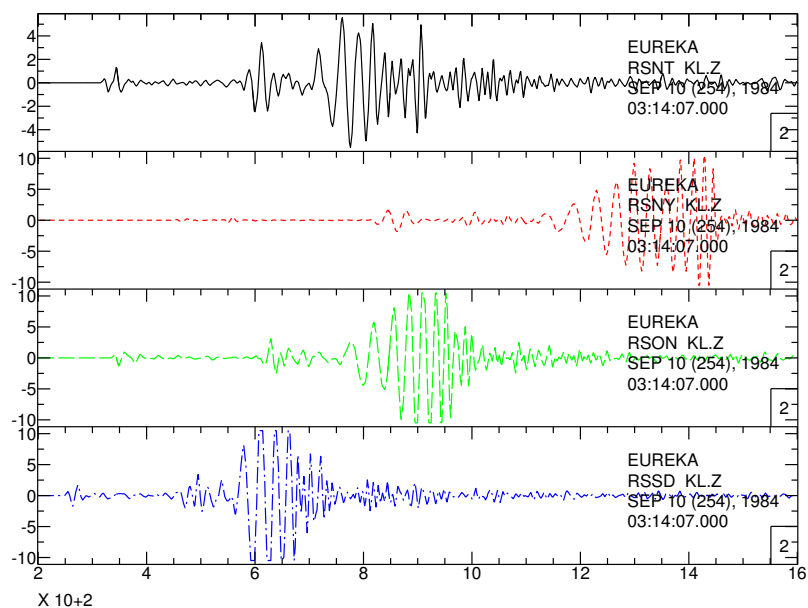


图 5.7: 线条属性递增

`line` 命令不仅可以设置线条的线型，同时可以对波形数据进行颜色填充：

```
SAC> fg seis
SAC> qdp off
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> line 0 fill red/blue
SAC> p
```

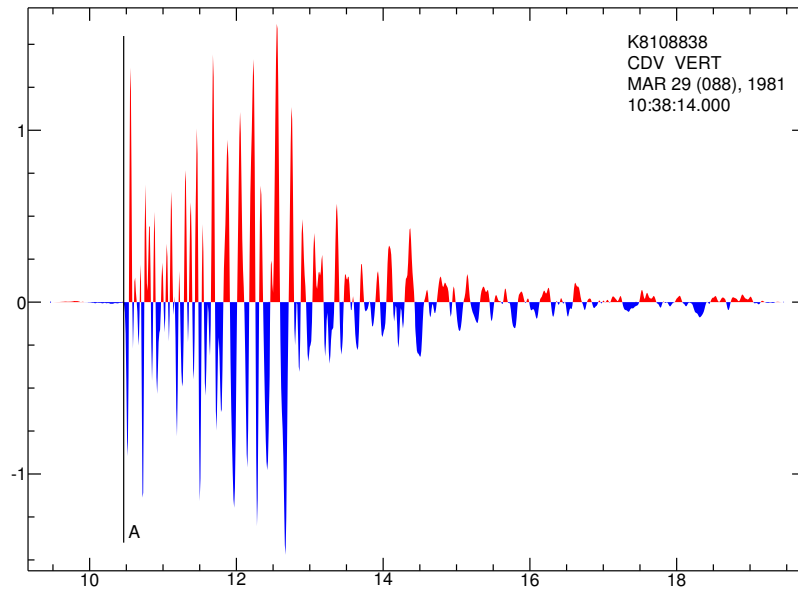


图 5.8: 颜色填充图

5.5 等值线图

SAC 中 `spectrogram` 等命令可以生成 IXYZ 数据（即 3D 数据），这种数据需要用等值线图来展示。`contour` 命令用于等值线，`zcolors`、`zlabels`、`zlevels`、`zlines`、`zticks` 分别用于控制等值线的颜色、标签、间距、线型以及刻度。

下面的例子中，读入了 XYZ 文件 `contourdata`，从头段中找出 Z 数据的范围。选择等值线范围为 700 km 到 1150 km，增量为 25 km。

选择包括四种线型的线型表，其中第一个为实线。这个列表将每四条等值线重复一次。然后给等值线图起了个名字，最后绘制出来：

```
SAC> r ./contourdata
SAC> lh iftype depmin depmax

      IFTYPE = GENERAL XYZ (3-D) FILE
      DEPMIN = 6.977119e+02
      DEPMAX = 1.154419e+03
SAC> zlevels range 700 1150 increment 25
SAC> zlines list 1 2 3 4
SAC> title 'Katmai topography from survey data [inc = 25 km]'
SAC> contour
```

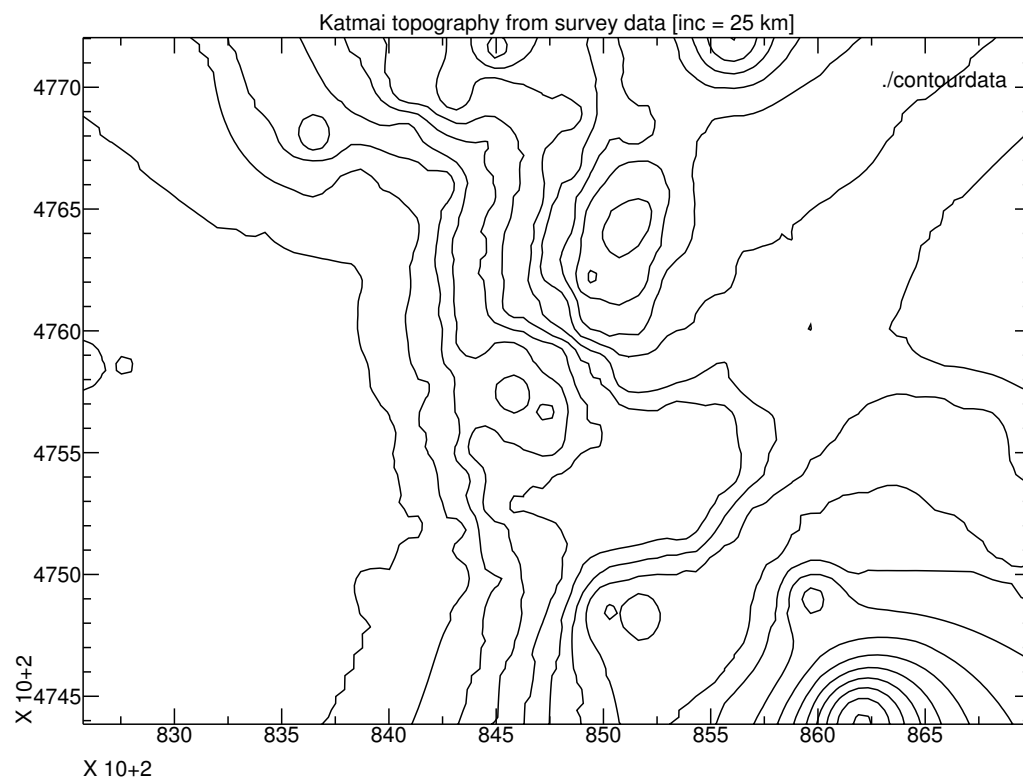


图 5.9: contour 绘制等值线 I

下面的例子中，使用同样的文件，但是显示选项不同。每四条等值线有一个整数标签。每条等值线之间都有一个指向向下的箭头。所有等值线为实线型：

```
SAC> r ./contourdata
SAC> zlevels range 700 1150 increment 25
SAC> zlabels on list int off off off
SAC> zticks on direction down
SAC> zlines list 1
SAC> title 'Katmai topography from survey data [labels and ticks]'
SAC> contour
```

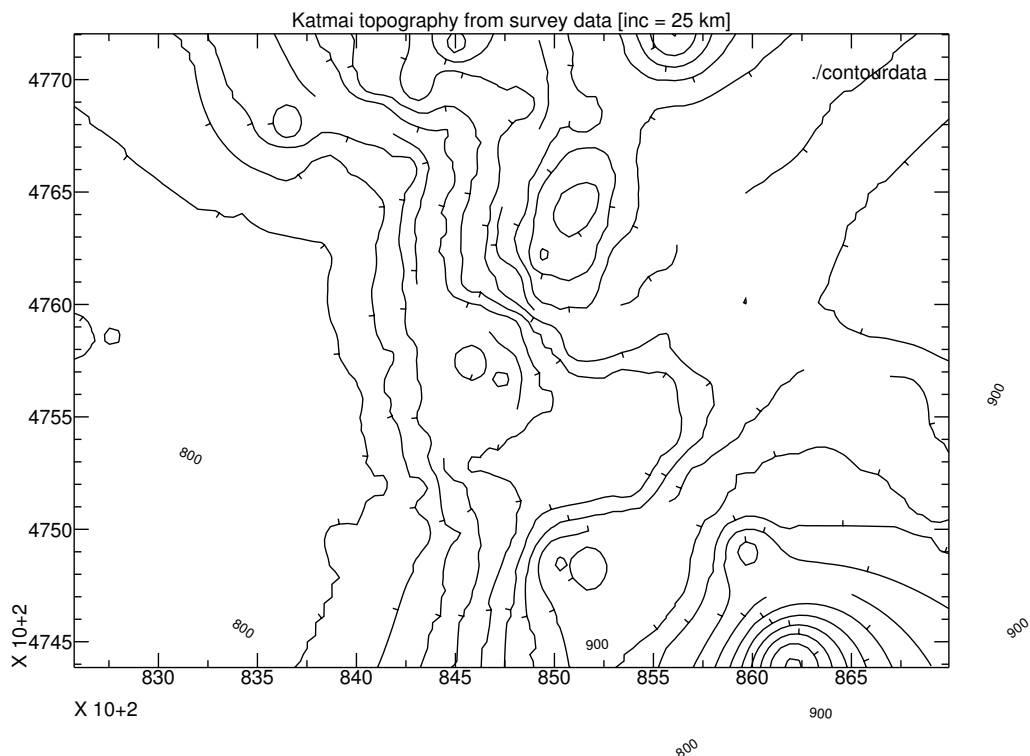


图 5.10: contour 绘制等值线图 II

5.6 组合图

前面介绍的绘图命令五花八门，但无论是 `plot`、`plot1` 或是 `plot2`，同一个窗口内绘制的所有波形总是共用同一个 X 轴。实际绘图时，经常需要在一张图中绘制多个不同 X 轴的图，即组合图。

SAC 提供了绘制组合图的功能，这其中牵涉到一些新的概念，其中之一是 `frame`。一般而言，在执行绘图命令时会首先对整个窗口进行擦除。比如，先执行 `plot` 命令，窗口中会显示出相应的波形，然后执行 `plot1` 命令，首先会将窗口中的已有图像全部擦除，再绘制相应波形。

在 `frame` 中，每次执行绘图命令时，不会擦除窗口中的已有图像，从而实现了将多个命令的绘图效果同时显示在一个窗口中。使用 `beginframe` 打开 `frame` 时，首先会擦除整个窗口，进入“组合图模式”；当组合图绘制完成时，需要使用 `endframe` 命令关闭 `frame`。

除了 `frame` 之外，在绘制组合图时还需要了解与窗口有关的几个概念，如 图 5.11：

- `viewspace`：window 内可以用于绘图的部分；
- `viewport`：执行单个绘图命令时，图像的显示区域；

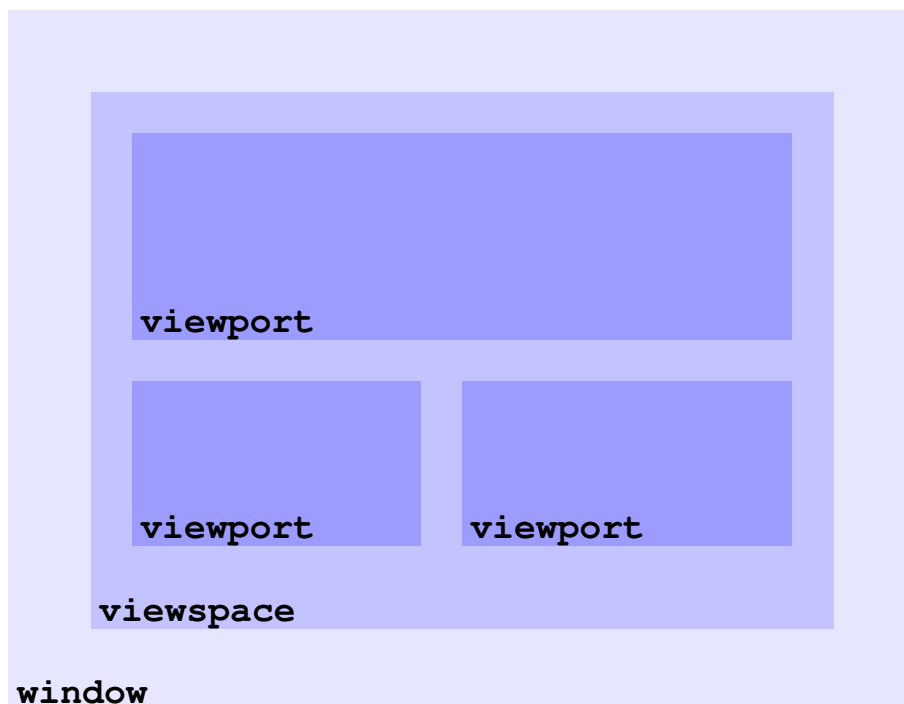


图 5.11: window、viewspace 和 viewport

图 5.11 中给出了 window、viewspace、viewport 的相互关系。可以使用 `window` 命令设定窗口相对于整个屏幕的位置以及 X、Y 方向的范围；`vspace` 用于设定整个绘图区的比例；`xvport` 和 `yvport` 则分别定义了单个绘图命令所能使用的 X、Y 方向的范围。

一个典型的组合图的绘制如下所示：

```
SAC> fg seis                # 生成数据
SAC> beginframe              # 打开 frame, 开始绘制组合图
SAC> xvport 0.1 0.9         # 设定第一个绘图命令的 viewport
SAC> yvport 0.7 0.9
SAC> title 'Seismic Trace'  # 设定标题
SAC> fileid off              # 不显示文件 id
SAC> qdp off
SAC> p
SAC> fft wmean               # FFT
SAC> xvport .1 .45          # 设定第二个绘图命令的 viewport
SAC> yvport .15 .55
SAC> title 'Amplitude Response (linlog)'
SAC> ylim 1e-5 1            # Y 轴范围
SAC> psp am linlog           # 绘制振幅谱
SAC> xvport .55 .9          # 设定第三个绘图命令的 viewport
SAC> title 'Amplitude Response (loglog)'
SAC> xlim 1 60
SAC> psp am loglog           # 绘制振幅谱
SAC> endframe                # 关闭 frame
```

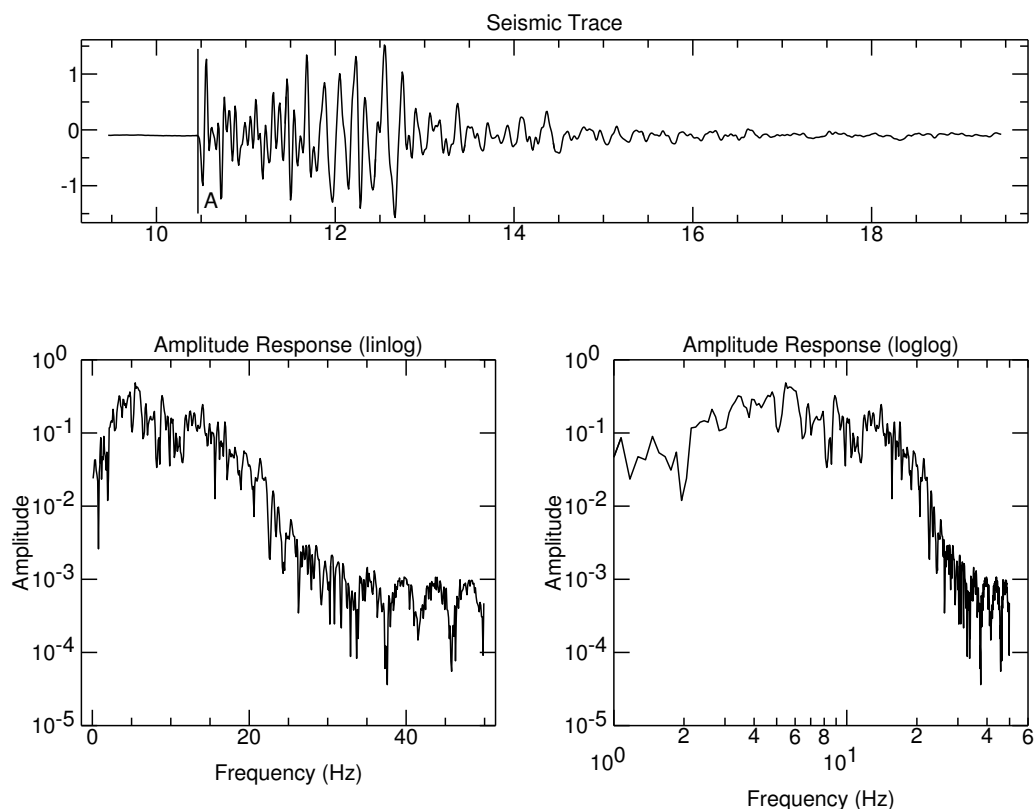


图 5.12: 绘制组合图

5.7 图像保存

5.7.1 xwindows

xwindows 是 SAC 中最常用绘图设备，对于震相拾取等交互式操作更是必不可少。

```
SAC> fg seis
SAC> bd x      # begindevice xwindows, 可省略
SAC> p         # 绘图
SAC> ed x      # enddevice xwindows, 可省略
SAC> q
```

对于 xwindows，最简单的保存图像的方式是截图，常用的工具包括 GNOME 下的 screenshot 或者 ImageMagick 的 import 命令。

5.7.2 sgf

SGF 图形设备会将图像信息保存到 SGF 文件中。其使用方式为：

1. 启用 sgf 图形设备
2. 绘图到 sgf
3. 关闭 sgf 设备，退出 SAC
4. 将 sgf 文件转换为其它格式

```
SAC> fg seis
SAC> bd sgf          # 启动 sgf 设备，不可省略
SAC> p
SAC> ed sgf          # 关闭 sgf 设备，可省略
SAC> q
$ ls
f001.sgf             # 生成 sgf 文件
```

生成的 sgf 文件可以通过 `sgftops` 等命令转换为其它图像格式，在 `sgftops` 中会介绍，也可以使用 `sgftox` 直接将 sgf 文件显示在绘图窗口中。

5.7.3 PS 和 PDF

自 v101.5 之后，SAC 加入了 `saveimg` 命令，可以将当前 xwindow 或 sgf 图形设备中的图像保存到其它 PS 或 PDF 格式的图像文件中，以获得更高质量的绘图效果¹。

```
SAC> fg seis
SAC> p          # 首先在 xwindows 上绘图
SAC> saveimg foo.ps      # 将 xwindows 上的图像保存到 foo.ps 中
save file foo.ps [PS]
SAC> q
```

5.7.4 pssac

pssac 原是 Prof. Lupei Zhu 基于 GMT4 写的用于绘制 SAC 波形文件的独立程序。从 GMT 5.3.0 版本开始，GMT 内置了 pssac 程序。得益于 GMT 绘图的灵活性和，pssac 可以绘制出超高质量的复杂图像。具体参见 `pssac` 一节。

5.7.5 小结

- 在 xwindows 上绘图简单省事，直接截图的效果较差，仅可用于非正式的演示；
- sgf 转换为其它图像格式稍显麻烦，但适合在脚本中批量做图；
- saveimg 生成图像文件质量相对较高，可以满足大多数需求；
- pssac 功能强大，在一般绘图以及复杂图像时非常有用，适合在发表文章时使用；

5.8 图像格式转换

SAC 中的图像可以保存为 SGF、PS 和 PDF 格式，有些时候会需要将其转换为其他图像格式，比如 JPG 或 PNG。

`convert` 是 Linux 下的一个功能强大的图像格式转换工具。如果你的系统里没有这个命令，你可以通过安装 `ImageMagick` 来获取该命令。

`convert` 命令的选项众多，这里只说其中几个常用的选项：

¹ 该命令也支持输出为 png 和 xpm 格式，但 png 和 xpm 为位图图像格式，精度不够，且依赖于其它函数库，因而不推荐使用。

- `-trim` : 切边, 即将图像周围多余的白边切除;
- `-density widthxheight`: 设置图像精度, 一般情况下, 设置 `width` 为 300 即可, `height` 可以不指定。
- `-rotate degree`: 图像旋转的角度;

下面给出一个简单的例子:

```
convert -trim -density 300x300 -rotate 90 image.ps image.png
```

保护环境，从阅读电子文档开始！

第 6 章 SAC 编程

6.1 SAC 宏简介

一个基本的编程语言需要包含哪些特性呢？变量、参数、函数、条件判断、循环控制等等。

这一章介绍 SAC 所设计的一个基本的编程语言，在官方文档中直接称其为 SAC 宏。SAC 与 SAC 宏的关系在某种程度上更像是 matlab 与 matlab 脚本之间的关系。最简单的，将一系列要一起执行的 SAC 命令放在一个文件中即构成了 SAC 宏文件。

本文档中使用了稍有不同的说法，并将这一章命令为[SAC 编程](#)。其包含了三个主要的部分：

- 变量：由于 SAC 的特殊性，又分为头段变量和一般变量；
- 内置函数：基本的数学和字符串函数；
- SAC 宏：参数、条件判断、循环控制等；

在官方文档中，变量和内置函数都是 SAC 宏的一部分，本文档将其从 SAC 宏中提取出来是出于如下几个方面的考虑：

1. 变量和内置函数既可以在 SAC 命令中使用，也可以在 SAC 宏中使用；而其它特性如参数、条件判断、循环控制等几乎只能在 SAC 宏中使用；
2. SAC 设计的编程语言功能简单，不够友好；非常建议使用 Bash、Perl 或 Python 这些更成熟的脚本语言来替代 SAC 的编程功能。宏参数、条件判断、循环控制等特性都可以被脚本的相应功能完全取代，而由于 SAC 设计的特殊性，诸如变量和内置函数等特性在某些情况下不能完全取代。

所以，建议的做法是读完本章的内容，掌握如何引用头段变量、如何使用黑板变量以及内联函数，简单了解 SAC 宏的特性，选择 Perl 或者 Python 脚本语言¹进行数据批量处理，尽量避免使用黑板变量和内联函数。就目前的个人经验而言，在脚本语言中，SAC 的引用头段变量功能必不可少，黑板变量和内联函数这两个功能或多或少都可以被取代。

另外，尤其需要注意的是，SAC 自 v101.6 起彻底重写了 SAC 宏的语法分析器，因而导致 v101.6 以后的 SAC 宏与之前的 SAC 宏有很大不同，本文档只讨论 v101.6 重写的 SAC 宏语法。

¹ Bash 在很多地方还是不如 Perl 或 Python 方便，不推荐。

6.2 引用头段变量值

前面已经介绍了 SAC 中的很多头段变量，也知道如何使用 `listhdr` 查看头段变量的值，`lh` 命令的输出对于人来说很直观，但是对于机器来说却很不友好。有些时候需要直接使用头段变量的值，这就需要一些特殊的技巧。

最常见的情况是发震时刻中给出的例子。在使用“`ch o gmt`”指定发震时刻后，需要获取头段变量 `o` 的值，对该值取负值，并用于“`ch allt`”中。

本例中，需要先获取头段变量 `o` 的值，再将其值用于其它命令中，准确的说这叫变量值的引用。在 SAC 命令中引用头段变量的值有两种方式，分别是“`&fname,header&`”和“`&fno,header&`”¹。

`fname` 和 `fno` 都唯一指向了内存中的某个波形数据，其中 `fname` 表示文件名，`fno` 表示文件号（即内存中的第几个文件，索引值从 1 开始），`header` 则为头段变量名。

下例展示了如何通过两种方式引用头段变量的值：

```
SAC> fg seis
SAC> w seis.SAC
SAC> r ./seis.SAC           # 注意"./"
SAC> lh kevm o stla         # 查看三个头段变量的值

    kevm = K8108838
      o  = -4.143000e+01
    stla = 4.800000e+01
SAC> echo on processed      # 打开回显，显示处理信息
SAC> ch kuser0 &1,kevm&      # 通过文件号引用头段变量 kevm
==> ch kuser0 K8108838      # 实际执行的效果
SAC> ch user0 &./seis.SAC,o& # 利用文件名，引用头段变量 o
==> ch user0 -41.43
SAC> ch user1 &seis.SAC,stla& # 文件名少了"./"
ERROR 1363: Illegal data file list name: seis.SAC
SAC> lh kuser0 user0 user1

    kuser0 = K8108838
    user0  = -4.143000e+01
```

在通过文件名指定波形数据时要注意：SAC 记录的是文件的全路径。一般情况下，使用文件号会更方便些。

6.3 黑板变量

既然是 SAC 编程，就必然少不了变量，SAC 中的变量称之为黑板变量。

¹ 实际上，SAC 官方文档给出的引用方式中没有末尾的 `&` 符号，仅当一些特殊的情况下才使用，这样容易使得整个语法混乱不堪，所以这里采用了另外一种引用方式。所有示例均已通过测试。

黑板变量是 SAC 中用于临时储存和取回信息而设计的。黑板变量不需要声明即可直接使用，可以用 `setbb` 和 `evaluate` 命令给黑板变量赋值，用 `getbb` 获取黑板变量的值。也可以用 `writebbf` 将黑板变量保存在磁盘文件中，然后使用 `readbbf` 命令重新将这些变量读入 SAC 中。

引用黑板变量的值的方式为：“%bbvname%”，其中 `bbvname` 为黑板变量的变量名。

```
SAC> echo on processed
SAC> fg seis
SAC> p
SAC> setbb low 2.45           # 黑板变量 low=2.45
SAC> setbb high 4.94         # 黑板变量 high=4.94
SAC> bp c %low% %high%       # 引用黑板变量 low 和 high 的值作为滤波的频带
==> bp c 2.45 4.94          # echo on processed 显示代入值后的命令
SAC> p
SAC> getbb low high          # 查看黑板变量的值
low = 2.45
high = 4.94
```

下例展示了如何将黑板变量写入磁盘文件，等需要时再从磁盘文件中获取：

```
$ sac
SAC> setbb var1 10           # 整型
SAC> setbb var2 "text"       # 字符串
SAC> setbb var3 0.2          # 浮点型
SAC> wbbf bbf.file           # 写入到文件
SAC> q
$ ls
bbf.file
$ sac
SAC> readbbf ./bbf.file
SAC> getbb
NUMERROR = 0
SACERROR = 'FALSE'
SACNFILES = 0
VAR1 = 10
VAR2 = 'text'
VAR3 = 0.2
SAC> getbb var2 var3
var2 = 'text'
var3 = 0.2
SAC> q
```

6.4 内联函数

内联函数是 SAC 实现的一些函数，其可以在 SAC 命令中使用。在执行命令时，内联函数会首先被调用，内联函数的结果将替代命令中的内联函数的位置。

SAC 提供了如下几类内联函数：

- 算术运算符；
- 常规算术运算函数；
- 字符串操作函数；
- 其他函数；

所有的内联函数的共同形式是：“(func)”，其中 func 为内联函数名。某种程度上，内联函数与前面说到头段变量 (“& &”) 和黑板变量 (“% %”) 类似，可以认为是通过 “()” 引用了内联函数的结果或值。

内联函数支持嵌套，目前最多可以嵌套 10 层。

6.4.1 算术运算符

算术运算符即常规的加减乘除运算符，但又有不同，其一般形式如下：

```
( number operator number )
```

所有的操作数都被认为是实型的，所有的算术运算都按照双精度浮点型进行运算；

SAC 支持的操作符是包括：“+ - * / **”。

看几个简单的例子：

```
SAC> echo on
SAC> setbb var1 4+7           # 忘记加括号了！“4+7” 被当成了字符串
    setbb var1 4+7
SAC> setbb var2 (4+7)
    setbb var2 (4+7)
==> setbb var2 11             # 4+7=11
SAC> setbb var3 (4+7/3)       # 优先级正确
    setbb var3 (4+7/3)
==> setbb var3 6.33333
SAC> setbb var4 ((4+7)/3)     # 括号改变优先级
    setbb var4 ((4+7)/3)      # 可以看作是内联函数的嵌套
==> setbb var4 3.66667
SAC> setbb var1 ( ( 4 + 7 ) / 3 ) # 支持空格
    setbb var1 ( ( 4 + 7 ) / 3 )
==> setbb var1 3.66667
```

6.4.2 常规算术运算函数

SAC 提供了 20 个常规算术运算函数，其基本形式为 “(func arg1 arg2 ...)”。具体函数如 [表 6.1](#) 所示。

表 6.1: 常规算数运算函数

命令	语法	功能
add	(add v1 v2 ...vn)	$v1+v2+\dots+vn$
subtract	(subtract v1 v2 ...vn)	$v1-v2-\dots-vn$
multiply	(multiply v1 v2 ...vn)	$v1*v2*\dots*vn$
divide	(divide v1 v2 ...vn)	$v1/v2/\dots/vn$
absolute	(absolute v)	取绝对值
abs	(abs v)	取绝对值
power	(power v)	取 10 的 v 次方
alog10	(alog10 v)	以 10 为底取 v 的对数
alog	(alog v)	取 v 的自然对数
exp	(exp v)	取 e 的 v 次方
sqrt	(sqrt v)	求 v 的平方根
pi	(pi)	返回 pi 值
sine	(sine v)	正弦 (v 为弧度, 下同)
cosine	(cosine v)	余弦
tangent	(tangent v)	正切
arcsine	(arcsine v)	反正弦
arccosine	(arccosine v)	反余弦
arctangent	(arctangent v)	反正切
integer	(integer v)	取整
maximum	(maximum v1 v2 ...vn)	求最大值
minimum	(minimum v1 v2 ...vn)	求最小值

演示如下:

```

SAC> echo on processed
SAC> setbb var1 (add 1 3 4)           # 1+3+4
==> setbb var1 8
SAC> setbb var2 (subtract 1 3 4)      # 1-3-4
==> setbb var2 -6
SAC> setbb var3 (multiply 1 3 4)      # 1*3*4
==> setbb var3 12
SAC> setbb var4 (divide 1 3 4)        # 1/3/4
==> setbb var4 0.0833333
SAC> setbb var5 (absolute -5.1)       # abs(-5.1)
==> setbb var5 5.1
SAC> setbb var6 (power 5)             # 10^5
==> setbb var6 100000
SAC> setbb var7 (alog10 10000)        # log10(10000)
==> setbb var7 4

```

(下页继续)

(续上页)

```

SAC> setbb var8 (alog 10000)      # ln(10000)
==> setbb var8 9.21034
SAC> setbb var9 (exp 5)           # e^5
==> setbb var9 148.413
SAC> setbb var10 (sqrt 9)         # sqrt(9)
==> setbb var10 3
SAC> setbb var11 (pi)             # PI
==> setbb var11 3.14159
SAC> setbb var12 (sine (pi/6))    # sin(30)
==> setbb var12 0.5
SAC> setbb var13 ((arcsine 0.5)*180/(pi))
==> setbb var13 30
SAC> setbb var14 (integer 3.11)
==> setbb var14 3
SAC> setbb var15 (max 3.11 -1.5 5) # maximum 简写为 max
==> setbb var15 5
SAC> setbb var16 (min 3.11 -1.5 5) # minimum 简写为 min
==> setbb var16 -1.5

```

为了对一组数据做归一化，首先要找到所有数据中的绝对最大值，如下：

```

SAC> r file1 file2 file3 file4
SAC> echo on processed
SAC> setbb vmax (max &1,depmax& &2,depmax& &3,depmax& &4,depmax&)
==> setbb vmax 1.87324
SAC> setbb vmin (min &1,depmin& &2,depmin& &3,depmin& &4,depmin&)
==> setbb vmin -2.123371
SAC> div ( max (abs %vmax%) (abs %vmin%) )      # 嵌套
==> div 2.123371

```

此例可以通过多重嵌套的方式在单个命令中完成，但上面的写法可读性更强。

6.4.3 字符串操作函数

SAC 提供了若干个函数用于字符串的处理，如 表 6.2 所示：

表 6.2: 字符串操作函数

命令	语法 (简写形式)	功能
change	(cha s1 s2 s3)	在 s3 中用 s1 代替 s2
substring	(substring n1 n2 s)	取 s 中第 n1 到第 n2 个字符
delete	(del s1 s2)	从 s2 中删去 s1
concatenate	(conc s1 s2 ...sn)	将多个字符串拼接起来
before	(bef s1 s2)	得到 s2 中位于 s1 前的部分字符串
after	(aft s1 s2)	得到 s2 中位于 s1 后的部分字符串
reply	(rep s1)	发送信息 s1 到终端并得到回应

下面的例子展示了部分函数的用法：

```
SAC> echo on processed
SAC> setbb var1 (cha short long "this is short")
==> setbb var1 this is long
SAC> set var2 (del def abcdefghi)
==> set var2 abcghi
SAC> set var4 (before de abcdefg)
==> set var4 abc
SAC> set var4 (after de abcdefg)
==> set var4 fg
SAC> fg seis
SAC> setbb month (substring 1 3 &1,kzdate&)
==> setbb month MAR
SAC> setbb val "1234567890"
SAC> message (substring 1 5 %val%)
==> message 12345
12345
```

下面的例子展示 concatenate 函数的用法以及如何灵活定义标题：

```
SAC> fg seis
SAC> echo on processed
SAC> setbb var (conc Seismogram of &1,kevm& &1,kstnm&)
==> setbb var SeismogramofK8108838CDV # 没有空格
SAC> setbb var (conc "Seismogram of " &1,kevm& " " &1,kstnm&)
==> setbb var Seismogram of K8108838 CDV # 含空格
SAC> getbb var
var = 'Seismogram of K8108838 CDV'
SAC> title (conc "Seismogram of " &1,kevm& " " &1,kstnm&)
==> title Seismogram of K8108838 CDV # 错误标题!
SAC> title '(conc "Seismogram of " &1,kevm& " " &1,kstnm&)'
==> title "(conc "Seismogram of " K8108838 " " CDV)" # 错误标题!
SAC> title "Seismogram of &1,kevm& &1,kstnm&"
```

(下页继续)

(续上页)

```
==> title "Seismogram of K8108838 CDV" # 正确标题!
```

下面的例子使用 `reply` 函数实现了交互：

```
SAC> fg seis
SAC> echo on processed
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> setbb low (reply "Enter low frequency limit for bandpass: ")
Enter low frequency limit for bandpass: 2.1 # 用户输入 2.1
==> setbb low 2.1
SAC> setbb high (reply "Enter low frequency limit for bandpass: ")
Enter low frequency limit for bandpass: 6.5 # 用户输入 6.5
==> setbb high 6.5
SAC> bp c %low% %high%
==> bp c 2.1 6.5
```

下面的例子中 `reply` 函数包含了一个默认值：

```
SAC> setbb bday (reply "Enter the day of the week: [Monday]")
Enter the day of the week: [Monday]Tuesday # 用户输入 Tuesday
SAC> getbb bday
bday = 'Tuesday'
SAC> setbb bday (reply "Enter the day of the week: [Monday]")
Enter the day of the week: [Monday] # 用户无输入
SAC> getbb bday
bday = 'Monday'
```

当 `reply` 函数执行时，引号中的字符串将出现在屏幕上，提示用户输入。如果用户输入，SAC 会将输入的字符串作为返回值，如果用户只是敲击回车键，SAC 则会使用该默认值“MONDAY”。

6.4.4 其他函数

这类函数目前只有一个：`gettime`，其语法为 “(`gettime max|min [value]`)”。

`gettime` 函数用于返回数据中首先出现大于或小于 `value` 的时间相对于文件参考时刻的相对时间；若没有指定 `value`，`max` 会返回文件中第一个最大值的相对时间，`min` 会返回文件中第一个最小值的相对时间。

对于所有的文件有一个最大振幅，要找到这些文件中第一个文件中第一次大于该值所对应的时间偏移量：

```
SAC> fg seis
SAC> echo on processed
SAC> setbb maxtime (gettime max)
==> setbb maxtime 12.55
```

(下页继续)

(续上页)

```
SAC> setbb mintime (gettime min)
==> setbb mintime 12.67
```

为了找到第一个大于或等于 1.0 的数据点的时间偏移，可以使用如下命令：

```
SAC> fg seis
SAC> echo on processed
SAC> setbb valuetime ( gettime max 1.0 )
==> setbb valuetime 10.55
```

6.5 SAC 宏

6.5.1 简单的例子

假如你有一些重复的工作需要完成，那么 SAC 宏显然可以帮你节省不少时间。例如，要经常读取三个文件 ABC、DEF 和 XYZ，每个文件分别乘以不同的值，做 Fourier 变换，然后将频谱的振幅部分绘制到 SGF 文件中，这样的一系列命令可以写入到 SAC 宏文件中：

```
** This certainly is a simple little macro.
r ABC DEF XYZ
mul 4 8 9
fft
bg sgf
psp am
```

假设上面的代码保存到文件 `mystuff` 中，且该文件位于当前目录中，可以通过下面的命令执行该宏文件：

```
SAC> macro mystuff
```

终端中并不会显示正在执行的宏文件中的命令，可以使用 `echo` 命令来设置在终端显示哪些东西。另外，若某行的第一列为星号则该行为注释行，SAC 不会去执行注释行。

6.5.2 宏搜索路径

当你执行一个宏文件而并没有给出宏文件的绝对路径时，SAC 会按照下面的路径顺序搜索宏文件：

1. 在当前目录搜索；
2. 在 `setmacro` 命令设置的搜索目录中搜索；
3. 在 SAC 的全局宏目录 (`${SACHOME}/aux/macros`) 中搜索；

所有人都可以使用全局宏目录中的宏文件，可以使用 `installmacro` 命令将自己的宏文件安装到这个目录中。你也可以通过绝对/相对路径指定搜索路径。

6.5.3 宏参数

如果想要每次读取不同的文件或者乘以不同的值那么必须每次都修改该文件，让宏文件在执行之前允许用户输入参数可以大大增加宏文件的灵活性。

SAC 宏参数的格式为：“\$n\$”，其中 n 从 1 开始。

下面将对先前的宏文件进行修改以使其可以接收文件名作为参数：

```
r $1$ $2$ $3$  
mul 4 8 9  
fft  
bg sgf  
psp am
```

\$1\$、\$2\$ 和 \$3\$ 分别表示宏文件接收到的第一、二、三个参数，用下面的命令执行这个宏文件：

```
SAC> macro mystuff ABC DEF XYZ
```

可以用下面的命令再次执行这个宏文件，但读取不同的文件：

```
SAC> macro mystuff AAA BBB CCC
```

6.5.4 关键字驱动参数

关键字驱动参数允许用户按照任意顺序输入参数，这也使得宏文件的内容变得简单易懂。

当参数的数目以及宏文件的大小不断增大的时候这就变得更加重要了。下面将再一次修改这个例子以使其可以接受文件列表以及乘数的列表：

```
$keys$ files values  
r $files$  
mul $values$  
fft  
bg sgf  
psp am
```

\$keys\$ 表明 “files” 和 “values” 是关键字。可以按照下面的输入来执行这个宏文件：

```
SAC> macro mystuff files ABC DEF XYZ values 4 8 9
```

因为参数的顺序不再重要，所以你可以像下面这样输入：

```
SAC> macro mystuff values 4 8 9 files ABC DEF XYZ
```

这个宏文件并不限于读取三个文件，它对于文件的数目没有限制，只要文件数与值数目相

匹配就好。

6.5.5 宏参数缺省值

有些时候会遇到这样的情况，宏文件的有些参数在多次执行的过程中经常但并不总是拥有相同的值。为这些参数提供缺省值可以减少输入那些相同值的次数同时又保有宏参数本身的灵活性。如下例所示：

```
$keys$ files values
$default$ values 4 8 9
r $files$
mul $values$
fft
bg sgf
psp am
```

\$default\$ 指定了宏参数 values 的缺省值，若在执行宏文件时不输入 values 的参数值那么这些参数将使用缺省值：

```
SAC> macro mystuff files ABC DEF XYZ
```

如果想要使用不同的值，可以像下面这样输入：

```
SAC> macro mystuff values 10 12 3 files ABC DEF XYZ
```

6.5.6 参数请求

若执行宏文件时没有输入参数而这些参数又没有缺省值，SAC 会在终端中提示你输入相应的参数值。在上面的例子中，如果你忘记输入参数则会出现下面的情况：

```
SAC> macro mystuff
files? ABC DEF XYZ          # 用户输入 ABC DEF XYZ
```

注意到 SAC 并不会提示输入参数 values 的值，因为它们已经有了缺省值。SAC 并非在一开始就提示输入参数，其等到需要计算参数值却发现没有缺省值或者输入值时才会提示需要输入该参数。

6.5.7 联接

头段变量、黑板变量、宏参数以及字符串可以直接联接在一起。

```
$keys$ station
fg seis
echo on
setbb sta $station$.z
setbb tmp ABC
```

(下页继续)

(续上页)

```
setbb tmp1 XYZ%tmp%
setbb tmp2 (&1,o&)
setbb fname $station$%tmp%%tmp1%%tmp2%.SAC
```

执行效果如下：

```
SAC> m stuff station STA
  setbb sta $station$.z
==> setbb sta STA.z
  setbb tmp ABC
  setbb tmp1 XYZ%tmp%
==> setbb tmp1 XYZABC
  setbb tmp2 @(&1,o&@)
==> setbb tmp2 (-41.43)
  setbb fname $station$%tmp%%tmp1%%tmp2%.SAC
==> setbb fname STAABCXYZABC(-41.43).SAC
```

6.5.8 条件判断

条件判断在任何一个编程语言中都是必不可少的，SAC 宏的条件判断语句与 Fortran77 类似，但不完全相同，要注意区分。

SAC 宏的条件判断格式如下：

```
IF expr
  commands
ELSEIF expr
  commands
ELSE
  commands
ENDIF
```

逻辑表达式 `expr` 具有如下形式：

```
token 关系运算符 token
```

其中 `token` 可以是一个常数、宏参数、黑板变量或头段变量，关系运算符则是 GT、GE、LE、LT、EQ、NE 中的一个。上面的逻辑表达式在计算之前 `token` 会被转换为浮点型数。

条件判断语句目前最多支持 10 次嵌套，且 `elseif`、`else` 是可选的，`elseif` 的次数没有限制。

下面给出一个例子：

```
r $1$
markptp
```

(下页继续)

(续上页)

```
if &1,user0& ge 2.45
    fft
    psp am
else
    message "Peak to peak for $1 below threshold."
endif
```

在这个例子中，一个文件被读入内存，`markptp` 测出其最大峰峰值，并保存到头段变量 `user0` 中，若该值大于某一确定值，则对其做 Fourier 变换并绘制振幅图，否则输出信息到终端。

6.5.9 循环控制

循环特性允许在一个宏文件中重复执行一系列命令。通过固定循环次数、遍历元素列表或者设定条件来执行一系列命令，也可以随时中断一次循环。循环的最大嵌套次数为 10 次。其语法可以有多种形式：

```
DO variable = start, stop [,increment]
    commands
ENDDO
```

```
DO variable FROM start TO stop [BY increment]
    commands
ENDDO
```

```
DO variable LIST entrylist
    commands
ENDDO
```

```
DO variable WILD [DIR name] entrylist
    commands
ENDDO
```

```
WHILE expr
    commands
ENDDO
```

其中大写字符串均为关键字，不可更改：

- `variable` 是循环变量名，在变量名前后加上 “\$” 即可在 `do` 循环中引用该变量；
- `start`、`stop`、`increment` 循环变量的初值、终值、增值，`start`、`stop` 必须为整型数，`increment` 缺省值为 1
- `entrylist` 是 `do` 循环执行时变量可以取的所有值的集合，值之间以空格分开，其可以为整型、浮点型或字符型。`DO WILD` 中 `entrylist` 由字符串和通配符构成，

循环执行前，这个列表将根据通配符扩展为一系列文件名。

下面给出一些 DO 循环的例子：

该宏文件对数据使用了 `dif` 以进行预白化处理，进行 Fourier 变换，然后使用 `divomega` 命令去除预白化的影响，有时需要在做变换之前多次预白化，那么就可以这样写：

```
$keys$ file nprew
$default$ nprew 1
r $file
do j = 1 , $nprew$
    dif
enddo
fft amph
do j = 1 , $nprew$
    divomega
enddo
```

下面这个例子，用相同的数据绘制 5 个不同的两秒时间窗的质点运动矢量图：

```
r abc.r abc.t
setbb time1 0
do time2 from 2 to 10 by 2
    xlim %time1% $time2$
    title 'Particle motion from %time1% to $time2$'
    plotpm
    setbb time1 $time2$
enddo
```

在下面的例子中，一个宏文件调用另一个名为 `preview` 的宏文件，通过 `do` 循环以达到多次调用 `preview` 的目的：

```
do station list abc def xyz
    do component list z n e
        macro preview $station$. $component$
    enddo
enddo
```

在下面的示例展示了如何处理目录 `mydir` 中所有以 `.Z` 结束的文件：

```
do file wild dir mydir *.Z
    macro preview $file$
enddo
```

最后一个例子有三个参数，第一个是文件名，第二个是一个常数，第三个是一个阈值。宏文件读取了一个数据文件，然后每个数据点乘以一个常数直到其超过某一阈值：


```
r $1$
while &1,depmax& gt $3$
    mul $2$
enddo
```

另一个与 break 有关的宏文件：

```
r $1$
while 1 gt 0
    div $2
    if &1,depmax& gt $3$
        break
    endif
enddo
```

这个 while 循环是一个无限循环，它只能通过 break 来中断。

6.5.10 嵌套与递归

SAC 宏提供嵌套功能，不支持递归，但是 SAC 并不会去检查宏的调用是否保证不是递归，因而需要用户去保证宏文件不要直接或间接调用自己。

6.5.11 中断宏

有些时候需要临时中断宏文件的执行，用户自己从终端输入一些命令，然后继续执行宏文件。这个可以利用 SAC 的 pause 和 resume 特性做到。当 SAC 在宏文件中遇到 \$TERMINAL\$ 时会临时停止执行宏文件，更改提示符为宏名，然后提示从终端输入命令，然后当 SAC 在终端中看到 \$RESUME\$ 时则会停止从终端读取命令继续从宏文件读取。如果你不想再继续执行宏文件中的命令，可以在终端输入 \$KILL\$，SAC 将关闭宏文件，回到上一层。在一个宏文件中可以有多个 \$TERMINAL\$ 中断。

6.5.12 调用外部程序

你可以在 SAC 宏内部执行其他程序，可以向程序传递参数。如果程序是交互式的你也可以将输入行发送给它，语法如下：

```
$RUN$ program message
inputlines
ENDRUN
```

宏参数、黑板变量、头段变量、内联函数均可使用，在程序执行之前它们会被计算，当程序执行结束，SAC 宏会在 ENDRUN 之后继续执行。

6.5.13 转义字符

字符“\$”和“%”在 SAC 中具有特殊的含义，有时在字符串中需要使用这些特殊字符，但 SAC 会将其解释成一个变量，此时就需要使用转义字符，SAC 中的转义符为“@”，可以

被转义的特殊符号包括：

- \$ 宏参数标识符
- % 黑板变量标识符
- & 头段变量标识符
- @ 转义字符本身
- () 内联函数起始符

第 7 章 脚本中调用 SAC

日常工作中有大量的数据需要处理，因而需要将数据处理尽可能地自动化以加快数据处理速度并减少人力支出。这就需要脚本来实现批处理。

前一章介绍的 SAC 宏，从某种意义上来说，就是一种脚本语言，而 SAC 就是这种脚本语言的解释器。不推荐使用 SAC 宏的原因在于，SAC 宏提供的功能过于简单，无法满足日常需求。正如上一章开头所说，读者只需要了解变量即可，不需要去学习 SAC 宏。

脚本语言有很多，地震学领域经常使用的脚本语言包含 Bash、Perl 和 Python。不推荐使用 Bash，推荐使用 Python。

7.1 Bash 中调用 SAC

7.1.1 简介

SAC 宏的功能相对比较单一，难以满足日常数据处理的需求，可以在 Bash 脚本中直接调用 SAC，这样可以利用 Bash 脚本的更多特性。

下面的例子展示了如何在 Bash 脚本中调用 SAC：

```
#!/bin/bash
export SAC_DISPLAY_COPYRIGHT=0

sac << EOF
fg seis
lh evla evlo
q          # 必须！
EOF
```

SAC 在启动时默认会显示版本信息，当用脚本多次调用 SAC 时，版本信息也会显示多次，可以通过设置 `export SAC_DISPLAY_COPYRIGHT=0` 的方式隐藏版本信息。

脚本中从“`sac << EOF`”开始到“`EOF`”的全部内容，都会被 Bash 传递给 SAC，SAC 会逐一解释并执行每行命令。

7.1.2 头段变量和黑板变量

想要在 Bash 脚本中引用头段变量，需要借助于 SAC 宏的语法。

```
#!/bin/bash
export SAC_DISPLAY_COPYRIGHT=0

sac << EOF
fg seis
ch kuser0 &1,kevm&
setbb tmp ABC
ch kuser1 %tmp%
lh kuser0 kuser1
quit
EOF
```

7.1.3 内联函数

Bash 可以完成基本的数学运算，但是所有的运算只支持整型数据，浮点型运算或者其它更高级的数学运算需要借助 `bc` 或者 `awk` 来完成。Bash 中的变量以 “\$” 作为标识符，Bash 会首先做变量替换再将替换后的命令传递给 SAC。

```
#!/bin/bash
export SAC_DISPLAY_COPYRIGHT=0

declare -i var1 var2
var1=(1+2)*3
var2=10/4
echo $var1 $var2

sac << EOF
echo on
fg seis
bp c $var2 $var1
q
EOF
```

本例中的变量 “\$var1” 和 “\$var2” 会首先被 SAC 解释成为 1 和 2，因而 SAC 实际接收到的命令是 “bp c 1 2”。

借助于 `awk`、`sed` 等工具，也可以实现部分字符串处理函数：

```
#!/bin/bash
export SAC_DISPLAY_COPYRIGHT=0
str1=`echo "this is long" | sed 's/long/short/'`      # 替换
str2=`echo "abcdefghi" | sed 's/def// '`              # 删除

sac << EOF
fg seis
title "$str1"
p
```

(下页继续)

(续上页)

```
saveimg string.ps
q
EOF
```

7.1.4 条件判断和循环控制

Bash 具有更灵活的条件判断和循环控制功能，但由于 Bash 自身的限制，这些特性仅能在 SAC 外部使用，因而下例中需要多次调用 SAC，在某些情况下会相当耗时。

```
#!/bin/sh
export SAC_DISPLAY_COPYRIGHT=0

for file in *.SAC; do
    sac <<EOF
        read $file
        rmean
        rtrend
        lp co 1.0 p 2 n 4
        write ${file}.filtered
        quit
    EOF
done
```

7.1.5 文件重命名

Bash 下可以借助于 awk 来实现文件重命名。下面的例子中，首先用点号对文件名做分割，\$0 表示原始文件名，\$7 表示用逗号分割后的第 7 段字符，即台网名，其他同理。最后将 awk 的输出传给 sh 去执行。

```
ls *.SAC | awk -F. '{printf "mv %s %s.%s.%s.%s\n", $0, $7, $8, $9, $10}' | sh
```

7.2 Perl 中调用 SAC

7.2.1 简单示例

下面的脚本展示了如何在 Perl 中调用 SAC。

下载地址：0.simple-script.pl

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;
$ENV{SAC_DISPLAY_COPYRIGHT}=0;

open(SAC, "| sac ") or die "Error opening sac\n";
```

(下页继续)

(续上页)

```
print SAC "fg seismo \n";
print SAC "lh evla kstnm \n";
print SAC "q \n";
close(SAC);
```

Perl 中调用 SAC 本质上是使用 `open(SAC, "| sac ")` 语句定义了一个名为 SAC 指向 sac 的句柄，然后通过 `print SAC` 语句将要执行的 SAC 命令传递给 SAC。

7.2.2 数据转换

首先要将 SEED 格式的数据转换成 SAC 格式。

- rdseed 一次只能处理一个 SEED 数据
- rdseed 的 `-pdf` 选项会提取出 SAC 波形数据和 PZ 格式的仪器响应文件

下载地址: 1.rdseed.pl

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;

@ARGV == 1 or die "Usage: perl $0 dirname\n";
my ($dir) = @ARGV;

chdir $dir; # cd 进数据所在目录, 以避免处理路径

# rdseed 一次只能处理一个 SEED 文件
foreach my $seed (glob "*.seed") {
    system "rdseed -pdf $seed";
}

chdir "..";
```

7.2.3 文件合并

SEED 文件的波形数据可能会因为多种原因而出现间断, 导致同一个通道会解压出来多个 SAC 文件, 因而需要将属于同一个通道的 SAC 数据合并起来。

- 此处使用了新版 `merge` 命令的语法, 要求 SAC 版本大于 v101.6
- `merge` 命令还有更多选项可以控制数据合并的细节, 见命令的语法介绍
- 合并后的数据, 以最早的数据段的文件名命名
- 多余的数据段均被删除, 以保证每个通道只有一个 SAC 文件
- 由于脚本运行速度比 SAC 运行速度快, 因而应先退出 SAC 再删除多余的数据段

下载地址: 2.merge.pl

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;
$ENV{SAC_DISPLAY_COPYRIGHT}=0;

@ARGV == 1 or die "Usage: perl $0 dirname\n";
my ($dir) = @ARGV;

chdir $dir;

# 利用 hash 的 key 的不可重复性构建集合：
# hash 的 key 定义为 NET.STA.LOC.CHN
# hash 的 value 是文件名与 key 匹配的 SAC 文件数目
my %sets;
foreach (glob "*.SAC") {
    # 将文件名用 '.' 分割，并取其中的第 7 到 10 个元素
    my ($net, $sta, $loc, $chn) = (split /\./)[6..9];
    $sets{"$net.$sta.$loc.$chn"}++;
}

# 在循环体外部调用 SAC，若没有数据需要 merge，则此次调用是做无用功
# 若将 SAC 调用放在循环体内，则可能会多次调用 SAC，而影响运行效率
open(SAC, "| sac") or die "Error in opening sac\n";
print SAC "wild echo off \n";
my @to_del;
while (my ($key, $value) = each %sets) {
    # 检查每个 key 所对应的 value，只有 value 大于 1 时才需要 merge
    next if $value == 1;

    print STDERR "merge $key: $value traces\n";
    my @traces = sort glob "$key.?.SAC";
    # 对 glob 的返回值做 sort，以保证第一个元素是最早的数据段

    # 在 SAC 中使用通配符而不是使用 @traces 以避免命令行过长的问题
    # merge 不支持通配符
    print SAC "r *.?.$key.SAC \n"; # SAC v101.6 or later only
    # 缺数据则补 0，重叠则做平均
    print SAC "merge gap zero overlap average \n";
    print SAC "w $traces[0] \n"; # 以最早数据段的文件名保存

    # 将要删除的数据段文件名保存到数组中，待退出 SAC 后再删除
    push @to_del, splice(@traces, 1);
}
print SAC "q \n";
close(SAC);
unlink(@to_del);

chdir "..";
```

7.2.4 文件重命名

从 SEED 解压出的 SAC 文件名较长，因而对其重命名以简化。

- SEED 解压出的默认文件名格式为 yyyy.ddd.hh.mm.ss.ffff.NN.SSSSS.LL.CCC.Q.SAC
- 重命名后的文件名为 NET.STA.LOC.CHN.SAC

下载地址：[3.rename.pl](#)

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;

@ARGV == 1 or die "Usage: perl $0 dirname\n";
my ($dir) = @ARGV;

chdir $dir;

foreach my $file (glob "*.SAC") {
    my ($net, $sta, $loc, $chn) = (split /\./, $file)[6..9];
    rename $file, "$net.$sta.$loc.$chn.SAC";
}

chdir "..";
```

7.2.5 添加事件信息

若 SEED 中不包含事件信息，则解压得到的 SAC 文件中也不会包含事件信息。因而需要用户手动添加事件的发震时刻、经纬度、深度和震级信息。

- 输入参数包括：目录名、发震时刻、经度、纬度、深度、震级
- 发震时刻的格式为 yyyy-mm-ddThh:mm:ss.xxx，其中 T 用于分隔日期和时间

下载地址：[4.eventinfo.pl](#)

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;
use POSIX qw(strftime);

@ARGV == 6 or die
    "Usage: perl $0 dirname yyyy-mm-ddThh:mm:ss.xxx evlo evla evdp mag\n";
my ($dir, $origin, $evlo, $evla, $evdp, $mag) = @ARGV;

# 对发震时刻做解析
my ($date, $time) = split "T", $origin;
my ($year, $month, $day) = split "-", $date;
```

(下页继续)

(续上页)

```

my ($hour, $minute, $second) = split ":", $time;
# 秒和毫秒均为整数
my ($sec, $msec) = split /\./, $second;
$msec = int(($second - $sec) * 1000 + 0.5);

# 计算发震日期是一年中的第几天
my $jday = strftime("%j", $second, $minute, $hour, $day, $month-1, $year-1900);

chdir $dir;
open(SAC, "| sac") or die "Error in opening SAC\n";
print SAC "wild echo off \n";
print SAC "r *.SAC \n";
print SAC "synchronize \n"; # 同步所有文件的参考时刻
print SAC "ch o gmt $year $jday $hour $minute $sec $msec \n";
print SAC "ch allt (0 - &1,o&) iztype IO \n";
print SAC "ch evlo $evlo evla $evla evdp $evdp mag $mag \n";
print SAC "wh \n";
print SAC "q \n";
close(SAC);

chdir "..";

```

7.2.6 去仪器响应

使用 PZ 文件去仪器响应。若数据的时间跨度太长，在该时间跨度内可能仪器响应会发生变化，因而会存在一个通道有多个 PZ 文件的情况。目前该脚本在遇到这种情况时会自动退出。

下载地址：5.transfer.pl

```

#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;
$ENV{SAC_DISPLAY_COPYRIGHT} = 0;

@ARGV == 1 or die "Usage: perl $0 dirname\n";
my ($dir) = @ARGV;

chdir $dir;

open(SAC, "| sac") or die "Error in opening sac\n";
foreach my $sacfile (glob "*.SAC") {
    my ($net, $sta, $loc, $chn) = split /\./, $sacfile;

    # 找到对应的 PZ 文件
    # PZ 文件名为: SAC_PZs_NET_STA_CHN_LOC_BeginTime_EndTime

```

(下页继续)

(续上页)

```

my @pz = glob "SAC_PZs_${net}_${sta}_${chn}_${loc}_*_*";
die "PZ file error for $sacfile \n" if @pz != 1;

print SAC "r $sacfile \n";
print SAC "rmean; rtr; taper \n";
print SAC "trans from pol s $pz[0] to none freq 0.01 0.02 5 10\n";
print SAC "mul 1.0e9 \n";
print SAC "w over\n";
}
print SAC "q\n";
close(SAC);

chdir "..";

```

7.2.7 分量旋转

将成对的水平分量旋转到大圆路径。

- 检查三分量是否缺失
- 检查 `delta` 是否相等
- 取三分量中的最大 `b` 和最小 `e` 值作为数据窗口，此操作要求三分量的 `kzdate` 和 `kztime` 必须相同，这一点在添加事件信息时使用 `synchronize` 已经实现
- 检查两个水平分量是否正交，若不正交，则无法旋转

下载地址: [6.rotate.pl](#)

```

#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;
use List::Util qw(min max);

@ARGV == 1 or die "Usage: perl $0 dirname\n";
my ($dir) = @ARGV;

chdir $dir;

# 利用 hash 的 key 的不可重复性构建集合:
# hash 的 key 定义为 NET.STA.LOC.CH (分量信息不是 BHZ 而是 BH)
# hash 的 value 是文件名与 key 匹配的 SAC 文件数目, 正常情况是 3 的整数倍
my %sets;
foreach (glob "*.SAC") {
    my ($net, $sta, $loc, $chn) = split /\./;
    my $chn2 = substr $chn, 0, 2;
    $sets{"$net.$sta.$loc.$chn2"}++;
}

```

(下页继续)

(续上页)

```

open(SAC, "|sac") or die "Error in opening sac\n";
# 对所有的 key 做循环
foreach my $key (keys %sets) {
    my ($E, $N, $Z, $R, $T, $Z0);

    # 检查 Z 分量是否存在
    $Z = "${key}Z.SAC";
    if (!-e $Z) { # 若不存在, 则删除该台站的所有数据
        warn "key: Vertical component missing!\n";
        next;
    }

    # 检查水平分量是否存在
    if (-e "${key}E.SAC" and -e "${key}N.SAC") { # E 和 N 分量
        $E = "${key}E.SAC";
        $N = "${key}N.SAC";
    } elsif (-e "${key}1.SAC" and -e "${key}2.SAC") { # 1 和 2 分量
        $E = "${key}1.SAC";
        $N = "${key}2.SAC";
    } else { # 水平分量缺失
        warn "key: Horizontal components missing!\n";
        next;
    }

    # 检查水平分量是否正交
    my (undef, $cmpaz_E) = split m/\s+/, `sac1st cmpaz f $E`;
    my (undef, $cmpaz_N) = split m/\s+/, `sac1st cmpaz f $N`;
    my $cmpaz_delta = abs($cmpaz_E - $cmpaz_N);
    unless ((abs($cmpaz_delta - 90) <= 0.01) or
            (abs($cmpaz_delta - 270) <= 0.01)) {
        warn "key: $E $N are not orthogonal!\n";
        next;
    }

    # 假定 kzdate 和 kztime 相同
    # 检查 B, E, DELTA
    my (undef, $Zb, $Ze, $Zdelta) = split " ", `sac1st b e delta f $Z`;
    my (undef, $Eb, $Ee, $Edelta) = split " ", `sac1st b e delta f $E`;
    my (undef, $Nb, $Ne, $Ndelta) = split " ", `sac1st b e delta f $N`;
    unless ( $Zdelta == $Edelta and $Zdelta == $Ndelta) {
        warn "key: delta not equal!\n";
        next;
    }

    # 获取三分量里的最大 B 和最小 E 值作为数据窗
    my $begin = max($Zb, $Eb, $Nb) + $Zdelta;
    my $end = min($Ze, $Ee, $Ne) - $Zdelta;

```

(下页继续)

(续上页)

```

# 输出文件名为 NET.STA.LOC.[RTZ]
my $prefix = substr $key, 0, length($key)-2;
$R = $prefix."R";
$T = $prefix."T";
$Z0 = $prefix."Z";

print SAC "cut $begin $end \n";
print SAC "r $E $N \n";
print SAC "rotate to gcp \n";
print SAC "w $R $T \n";
print SAC "r $Z \n";
print SAC "w $Z0 \n";
}
print SAC "q\n";
close(SAC);
unlink glob "*.SAC";

chdir "..";

```

7.2.8 数据重采样

通常有两种情况下需要对数据进行重采样：

- 原始数据的采样率过高，而实际研究中不需要如此高的采样率，此时，对数据做减采样可以大大减少数据量；
- 原始数据中，不同台站的采样率不同，可能会影响到后期的数据处理，因而需要让所有数据使用统一的采样率；

下面的 Perl 脚本中使用 `interpolate` 命令将所有数据重采样到相同的采样周期。用户可以在命令行中直接指定要使用的重采样后的采样周期，若命令行中的采样周期指定为 0，则以大多数数据所使用的采样周期作为重采样后的采样周期。

下载地址：[7.resample.pl](#)

```

#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;

@ARGV == 2 or die "Usage: perl $0 dirname [delta | 0]\n";
# 若第二个参数为 0，则取数据中出现次数最多的周期为采样周期

my ($dir, $delta) = @ARGV;

chdir $dir;

```

(下页继续)

(续上页)

```

if ($delta == 0) {
    # 假定所有数据已旋转到 RTZ 坐标系, 文件名格式为 NET.STA.LOC.[RTZ]
    # hash 的键为出现了的采样周期, 其值为出现的个数
    my %group;
    foreach (glob "*.*.*. [RTZ]") {
        my (undef, $delta0) = split /\s+/, `sac1st delta f $_`;
        $group{$delta0}++;
    }
    # 将 hash 按 value 排序, 找到最大 value 所对应的 key
    my @keys = sort {$group{$b} <=> $group{$a}} keys %group;
    ($delta) = @keys;
}

# 重采样
open(SAC, "|sac") or die "Error in opening sac\n";
foreach (glob "*.*.*. [RTZ]") {
    my (undef, $delta0) = split /\s+/, `sac1st delta f $_`;
    next if $delta == $delta0; # 不需要重采样

    print SAC "r $_ \n";
    # 用 interpolate 实现减采样或增采样
    # 若是减采样, 则需要对数据做低通滤波以防止出现混淆效应
    # 低通滤波时或许需要加上  $p/2$  以避免滤波引起的相移
    printf SAC "lp c %f\n", 0.5/$delta if $delta > $delta0;
    print SAC "interpolate delta $delta \n";

    print SAC "w over\n";
}
print SAC "q\n";
close(SAC);

chdir "..";

```

7.3 Python 中调用 SAC

7.3.1 简单示例

下面的脚本展示了如何在 Python 中调用 SAC。

下载地址: [0.simple-script.py](#)

```

#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-
import os
import subprocess

```

(下页继续)

(续上页)

```
os.putenv("SAC_DISPLAY_COPYRIGHT", '0')

s = "fg seismo \n"
s += "lh evla kstnm \n"
s += "q \n"
subprocess.Popen(['sac'], stdin=subprocess.PIPE).communicate(s.encode())
```

Python 中使用 `subprocess` 模块的 `Popen` 方法调用 SAC，通过 `p.communicate()` 将命令 `s.encode()` 传递给 SAC。

7.3.2 数据转换

首先要将 SEED 格式的数据转换成 SAC 格式。

- `rdseed` 一次只能处理一个 SEED 数据
- `rdseed` 的 `-pdf` 选项会提取出 SAC 波形数据和 PZ 格式的仪器响应文件

下载地址：[1.rdseed.py](#)

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

import os
import sys
import glob
import subprocess

if len(sys.argv) != 2:
    sys.exit("Usage: python {} dirname".format(sys.argv[0]))

dirname = sys.argv[1]

os.chdir(dirname) # cd 进数据所在目录，以避免处理路径

for seed in glob.glob("*.seed"):
    subprocess.call(['rdseed', '-pdf', seed])

os.chdir("..")
```

7.3.3 文件合并

SEED 文件的波形数据可能会因为多种原因而出现间断，导致同一个通道会解压出来多个 SAC 文件，因而需要将属于同一个通道的 SAC 数据合并起来。

- 此处使用了新版 `merge` 命令的语法，要求 SAC 版本大于 v101.6
- `merge` 命令还有更多选项可以控制数据合并的细节，见命令的语法介绍
- 合并后的数据，以最早的数据段的文件名命名

- 多余的数据段均被删除，以保证每个通道只有一个 SAC 文件
- 由于脚本运行速度比 SAC 运行速度快，因而应先退出 SAC 再删除多余的数据段

下载地址：[2.merge.py](#)

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

import os
import sys
import glob
import subprocess

os.putenv("SAC_DISPLAY_COPYRIGHT", '0')

if len(sys.argv) != 2:
    sys.exit("python {} dirname".format(sys.argv[0]))

dirname = sys.argv[1]

os.chdir(dirname)

# 利用 dict 的 key 的不可重复性构建集合：
# dict 的 key 定义为 NET.STA.LOC.CHN
# dict 的 value 是文件名与 key 匹配的 SAC 文件数目
sets = {}
for fname in glob.glob("*.SAC"):
    key = '.'.join(fname.split('.')[6:10])
    if key not in sets:
        sets[key] = 1
    else:
        sets[key] += 1

# prepare sac commands
s = "wild echo off \n"
to_del = []
for key, value in sets.items():
    # 仅当 value 大于 1 时才需要 merge
    if value == 1:
        continue

    print("merge {}: {} traces".format(key, value))
    # Python 的 glob 返回值是乱序的，因而必须 sort
    traces = sorted(glob.glob('.'.join(['*', key, '?', 'SAC'])))

    # 在 SAC 中使用通配符而不是使用 @traces 以避免命令行过长的问题
    # merge 不支持通配符
    s += "r *.{}.?.SAC \n".format(key)    # SAC v101.6 or later
```

(下页继续)

(续上页)

```

# 缺数据则补 0, 重叠则做平均
s += "merge gap zero overlap average \n"
s += "w {} \n".format(traces[0])      # 以最早数据段的文件名保存

to_del.extend(traces[1:])

s += "q \n"
subprocess.Popen(['sac'], stdin=subprocess.PIPE).communicate(s.encode())

# 删除多余的数据段
for file in to_del:
    os.unlink(file)

os.chdir("..")

```

7.3.4 文件重命名

从 SEED 解压出的 SAC 文件名较长，因而对其重命名以简化。

- SEED 解压出的默认文件名格式为 yyyy.ddd.hh.mm.ss.ffff.NN.SSSSS.LL.CCC.Q.SAC
- 重命名后的文件名为 NET.STA.LOC.CHN.SAC

下载地址: [3.rename.py](#)

```

#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

import os
import sys
import glob

os.putenv("SAC_DISPLAY_COPYRIGHT", '0')

if len(sys.argv) != 2:
    sys.exit("Usage: python {} dirname\n".format(sys.argv[0]))

dirname = sys.argv[1]

os.chdir(dirname)
for fname in glob.glob("*.SAC"):
    net, sta, loc, chn = fname.split('.')[6:10]
    os.rename(fname, "{}.{}.{}.{}.SAC".format(net, sta, loc, chn))

os.chdir("..")

```


7.3.5 添加事件信息

若 SEED 中不包含事件信息，则解压得到的 SAC 文件中也不会包含事件信息。因而需要用户手动添加事件的发震时刻、经纬度、深度和震级信息。

- 输入参数包括：目录名、发震时刻、经度、纬度、深度、震级
- 发震时刻的格式为 yyyy-mm-ddThh:mm:ss.xxx，其中 T 用于分隔日期和时间

下载地址：[4.eventinfo.py](#)

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf8 -*-

import os
import sys
import datetime
import subprocess

os.putenv("SAC_DISPLAY_COPYRIGHT", '0')

if len(sys.argv) != 7:
    sys.exit("Usage: python {} dirname yyyy-mm-ddThh:mm:ss.xxx "
            "evlo evla evdp mag".format(sys.argv[0]))

dirname, origin, evlo, evla, evdp, mag = sys.argv[1:]

o = datetime.datetime.strptime(origin, '%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%f')
# 计算发震日期是一年中的第几天
jday = o.strftime("%j")
# 提取毫秒值
msec = int(o.microsecond / 1000 + 0.5)

os.chdir(dirname)

s = "wild echo off \n"
s += "r *.SAC \n"
s += "synchronize \n"
s += "ch o gmt {} {} {} {} {} {} \n".format(o.year, jday, o.hour,
                                              o.minute, o.second, msec)
s += "ch allt (0 - &1,o&) iztype IO \n"
s += "ch evlo {} evla {} evdp {} mag {} \n".format(evlo, evla, evdp, mag)
s += "wh \n"
s += "q \n"
subprocess.Popen(['sac'], stdin=subprocess.PIPE).communicate(s.encode())

os.chdir("..")
```

7.3.6 去仪器响应

使用 PZ 文件去仪器响应。若数据的时间跨度太长，在该时间跨度内可能仪器响应会发生变化，因而会存在一个通道有多个 PZ 文件的情况。目前该脚本在遇到这种情况时会自动退出。

下载地址：[5.transfer.py](#)

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf8 -*-
import os
import sys
import glob
import subprocess

os.putenv("SAC_DISPLAY_COPYRIGHT", "0")

if len(sys.argv) != 2:
    sys.exit("Usage: python {} dirname\n".format(sys.argv[0]))

dirname = sys.argv[1]

os.chdir(dirname)

s = ""
for sacfile in glob.glob("*.SAC"):
    net, sta, loc, chn = sacfile.split('.')[0:4]
    pz = glob.glob("SAC_PZs_{}_{}_{}_{}_*_*.format(net, sta, chn, loc))
    # 暂不考虑多个 PZ 文件的情况
    if len(pz) != 1:
        sys.exit("PZ file error for {}".format(sacfile))

    s += "r {} \n".format(sacfile)
    s += "rmean; rtr; taper \n"
    s += "trans from pol s {} to none freq 0.01 0.02 5 10\n".format(pz[0])
    s += "mul 1.0e9 \n"
    s += "w over \n"

s += "q \n"
subprocess.Popen(['sac'], stdin=subprocess.PIPE).communicate(s.encode())

os.chdir("../")
```

7.3.7 分量旋转

将成对的水平分量旋转到大圆路径。

- 检查三分量是否缺失
- 检查 delta 是否相等

- 取三分量中的最大 b 和最小 e 值作为数据窗口，此操作要求三分量的 kzdate 和 kztime 必须相同，这一点在添加事件信息时使用 [synchronize](#) 已经实现
- 检查两个水平分量是否正交，若不正交，则无法旋转

下载地址：[6.rotate.py](#)

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf8 -*-

import os
import sys
import glob
import subprocess

os.putenv("SAC_DISPLAY_COPYRIGHT", '0')

if len(sys.argv) != 2:
    sys.exit("Usage: python %s dirname" % sys.argv[0])

dir = sys.argv[1]
os.chdir(dir)

# 构建 NET.STA.LOC.CH 的集合
sets = set()
for fname in glob.glob("*.SAC"):
    net, sta, loc, chn = fname.split('.')[0:4]
    key = '.'.join([net, sta, loc, chn[0:2]])
    sets.add(key)

p = subprocess.Popen(['sac'], stdin=subprocess.PIPE)
s = ""
for key in sets:
    # 检测 Z 分量是否存在
    Z = key + "Z.SAC"
    if not os.path.exists(Z):
        print("%s: Vertical component missing!" % key)
        continue

    # 检测水平分量是否存在
    if os.path.exists(key + "E.SAC") and os.path.exists(key + "N.SAC"):
        E = key + "E.SAC"
        N = key + "N.SAC"
    elif os.path.exists(key + "1.SAC") and os.path.exists(key + "2.SAC"):
        E = key + "1.SAC"
        N = key + "2.SAC"
    else:
        print("%s: Horizontal components missings!" % key)
        continue
```

(下页继续)

(续上页)

```

# 检查水平分量是否正交
cmd = 'sac1st cmpaz f {}'.format(E).split()
Ecmpaz = subprocess.check_output(cmd).decode().split()[1]
cmd = 'sac1st cmpaz f {}'.format(N).split()
Ncmpaz = subprocess.check_output(cmd).decode().split()[1]
cmpaz_delta = abs(float(Ecmpaz) - float(Ncmpaz))
if not (abs(cmpaz_delta-90) <= 0.01 or abs(cmpaz_delta-270) <= 0.01):
    print("{}: cmpaz1={}, cmpaz2={} "
          "are not orthogonal!".format(key, Ecmpaz, Ncmpaz))
    continue

# 检查 B, E, DELTA
cmd = 'sac1st b e delta f {}'.format(Z).split()
Zb, Ze, Zdelta = subprocess.check_output(cmd).decode().split()[1:]
cmd = 'sac1st b e delta f {}'.format(E).split()
Eb, Ee, Edelta = subprocess.check_output(cmd).decode().split()[1:]
cmd = 'sac1st b e delta f {}'.format(N).split()
Nb, Ne, Ndelta = subprocess.check_output(cmd).decode().split()[1:]

if not (float(Zdelta) == float(Edelta) and float(Zdelta) == float(Ndelta)):
    print("%s: delta not equal!" % key)
    continue

# 获取三分量的最大 B 和最小 E 值作为数据窗
begin = max(float(Zb), float(Eb), float(Nb))
end = min(float(Ze), float(Ee), float(Ne))

# 输出文件名为 NET.STA.LOC.[RTZ]
prefix = key[:-2]
R, T, Z0 = prefix + '.R', prefix + '.T', prefix + '.Z'

s += "cut %f %f \n" % (begin, end)
s += "r %s %s \n" % (E, N)
s += "rotate to gcp \n"
s += "w %s %s \n" % (R, T)
s += "r %s \n" % Z
s += "w %s \n" % Z0
s += "q \n"
p.communicate(s.encode())

# 删除原文件
for fname in glob.glob("*.SAC"):
    os.unlink(fname)

os.chdir("..")

```

7.3.8 数据重采样

通常有两种情况下需要对数据进行重采样：

- 原始数据的采样率过高，而实际研究中不需要如此高的采样率，此时，对数据做减采样可以大大减少数据量；
- 原始数据中，不同台站的采样率不同，可能会影响到后期的数据处理，因而需要让所有数据使用统一的采样率；

下面的 Python 脚本中使用 `interpolate` 命令将所有数据重采样到相同的采样周期。用户可以在命令行中直接指定要使用的重采样后的采样周期，若命令行中的采样周期指定为 0，则以大多数数据所使用的采样周期作为重采样后的采样周期。

下载地址：[7.resample.py](#)

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

import os
import sys
import glob
import subprocess

os.putenv("SAC_DISPLAY_COPYRIGHT", "0")

if len(sys.argv) != 3:
    sys.exit("Usage: python {} dirname [delta | 0]".format(sys.argv[0]))
# 若第二个参数为 0，则取数据中出现次数最多的周期为采样周期

dirname, delta = sys.argv[1], float(sys.argv[2])

os.chdir(dirname)

if delta == 0:
    # 假定所有数据已旋转到 RTZ 坐标系，文件名格式为 NET.STA.LOC.[RTZ]
    # hash 的键为出现了的采样周期，其值为出现的个数
    groups = {}
    for fname in glob.glob("*.*.*.RTZ"):
        cmd = 'saclst delta f {}'.format(fname).split()
        delta0 = subprocess.check_output(cmd).decode().split()[1]
        if delta0 not in groups:
            groups[delta0] = 1
        else:
            groups[delta0] += 1
    delta = float(max(groups, key=groups.get))

s = ""
for fname in glob.glob("*.*.*.RTZ"):
```

(下页继续)

(续上页)

```
cmd = 'sac1st delta f {}'.format(fname).split()
delta0 = float(subprocess.check_output(cmd).decode().split()[1])
if delta == delta0: # 不需要重采样
    continue

s += "r {} \n".format(fname)
# 用 interpolate 实现减采样或增采样
# 若是减采样, 则需要对数据做低通滤波以防止出现混淆效应
# 低通滤波时或许需要加上  $p/2$  以避免滤波引起的相移
if delta > delta0:
    s += "lp c {} \n".format(0.5/delta)
s += "interpolate delta {} \n".format(delta)
s += "w over \n"
s += "q \n"
subprocess.Popen(['sac'], stdin=subprocess.PIPE).communicate(s.encode())

os.chdir("..")
```

第 8 章 SAC 函数库

8.1 SAC 库简介

SAC 提供了两个函数库：`libsacio.a` 和 `libsac.a`，用户可以在自己的 C 或 Fortran 程序中直接使用函数库中的子函数。这些库文件位于 `${SACHOME}/lib` 中。

8.1.1 `libsacio` 库

此库文件包含的子函数可用于读写 SAC 数据文件、SAC 头段变量、黑板变量文件。这些子函数可以在用户的 C 或 Fortran 程序中直接使用。

`libsacio.a` 中可用的子函数包括：

表 8.1: `libsacio` 子函数

子函数	说明
<code>rsac1</code>	读取等间隔文件
<code>rsac2</code>	读取不等间隔文件和谱文件
<code>wsac1</code>	写入等间隔文件
<code>wsac2</code>	写入不等间隔文件
<code>wsac0</code>	可以写等间隔文件或不等间隔文件
<code>getfhv</code>	获取浮点型头段变量值
<code>setfhv</code>	设置浮点型头段变量值
<code>getihv</code>	获取枚举型头段变量值
<code>setihv</code>	设置枚举型头段变量值
<code>getkhv</code>	获取字符串头段变量值
<code>setkhv</code>	设置字符串头段变量值
<code>getlhv</code>	获取逻辑型头段变量值
<code>setlhv</code>	设置逻辑型头段变量值
<code>getnhv</code>	获取整型头段变量值
<code>setnhv</code>	设置整型头段变量值
<code>readbbf</code>	读取一个黑板变量文件
<code>writebbf</code>	写一个黑板变量文件
<code>getbbv</code>	获取一个黑板变量的值
<code>setbbv</code>	给一个黑板变量赋值
<code>distaz</code>	计算地球上任意两点间的震中距、方位角和反方位角

对于 C 源码，用如下命令编译

```
$ gcc -c source.c -I/usr/local/sac/include
$ gcc -o prog source.o -lm -L/usr/local/sac/lib -lsacio
```

对于 Fortran77 源码，用如下命令编译

```
$ gfortran -c source.f
$ gfortran -o prog source.o -L/usr/local/sac/lib/ -lsacio
```

8.1.2 libsac 库

这个库是从 v101.2 版本才引入的，包含了几个数据处理常用的子函数。

libsac.a 包含如下子函数：

表 8.2: libsac 子函数

子函数	说明
xapiir	无限脉冲响应滤波器
firtrn	有限脉冲滤波器，Hilbert 变换
crscor	互相关
next2	返回比输入值大的最小的 2 的幂次
envelope	计算包络函数
rms	计算数据的均方根

对于 C 源码，用如下命令编译：

```
$ gcc -c source.c -I/usr/local/sac/include
$ gcc -o prog source.o -lm -L/usr/local/sac/lib -lsac -lsacio
```

对于 Fortran77 源码，用如下命令编译

```
$ gfortran -c source.f
$ gfortran -o prog source.o -L/usr/local/sac/lib/ -lsac -lsacio
```

注解：调用 libsac.a 中的函数时，一般也需要同时调用 libsacio.a，故而写成 -lsac -lsacio。注意，两个 -l 选项的顺序不可变。

8.2 调用 libsacio 库

8.2.1 rsac1

子函数 `rsac1` 用于读取等采样间隔的 SAC 数据。

函数定义如下：

```
void rsac1(char *kname,      // 要读入的文件名
           float *yarray,    // 数据被保存到 yarray 数组中
           int *nlen,        // 数据长度
           float *beg,       // 数据开始时间, 即头段变量 b
           float *del,       // 数据采样周期, 即头段变量 delta
           int *max_,        // 数组 yarray 的最大长度, 若 nlen>max_ 则截断
           int *nerr,        // 错误标记, 0 代表成功, 非零代表失败
           int kname_s)     // 数组 kname 的长度
```

相关示例代码为 `rsac1c.c`¹ 和 `rsac1f.f`。

8.2.2 rsac2

子函数 `rsac2` 用于读取非等间隔采样的 SAC 数据。

```
void rsac2(char *kname,      // 要读入的文件名
           float *yarray,    // 因变量数组
           int *nlen,        // 数据长度
           float *xarray,    // 自变量数组
           int *max_,        // 数组最大长度
           int *nerr,        // 错误标记
           int kname_s)     // 数组 kname 的长度
```

相关示例代码为 `rsac2c.c` 和 `rsac2f.f`。

8.2.3 wsac1

子函数 `wsac1` 用于写等间隔 SAC 文件。

```
void wsac1(char *kname,      // 要写入的文件名
           float *yarray,    // 要写入文件的数组
           int *nlen,        // 数组长度
           float *beg,       // 数据起始时刻
           float *del,       // 数据采样周期
           int *nerr,        // 错误标记
           int kname_s)     // 文件名长度
```

相关示例代码为 `wsac1c.c` 和 `wsac1f.f`。

¹ 代码位于 `sac/doc/examples`, 下同。

8.2.4 wsac2

写非等间隔 SAC 文件。

```
void wsac2(char *kname,      // 文件名
           float *yarray,    // 因变量数组
           int *nlen,        // 数组长度
           float *xarray,    // 自变量数组
           int *nerr,        // 错误码
           int kname_s)     // 文件名长度
```

相关示例代码为 `wsac2c.c` 和 `wsac2f.f`。

8.2.5 wsac0

子函数 `wsac0` 相对来说更加通用也更复杂，利用该函数可以创建包含更多头段的 SAC 文件。

```
void wsac0(char *kname,      // 文件名
           float *xarray,    // 自变量数组
           float *yarray,    // 因变量数组
           int *nerr,        // 错误码
           int kname_s)     // 文件名长度
```

要使用子函数 `wsac0`，首先要调用子函数 `newhdr` 创建一个完全未定义的头段区，并利用其它头段变量相关子函数设置头段变量的值，并由 `wsac0` 写入到文件中。必须要赋值的头段变量为 `delta`、`b`、`e`、`npts`、`iftype`。

相关示例代码为 `wsacnc.c`、`wsacnf.f`，`n` 为 3、4、5。

8.2.6 getfhv

获取浮点型头段变量的值。

```
void getfhv(char *kname,      // 头段变量名
           float *fvalue,    // 浮点型头段变量的值
           int *nerr,        // 错误码
           int kname_s)     // 变量名长度
```

相关示例代码为 `gethvc.c` 和 `gethvf.f`。

至于如何获取和设置其它类型的头段变量，方法类似，不再多说。

8.2.7 readbbf

读取一个黑板变量文件。

```
void readbbf(char *kname,    // 要读取的文件
             int *nerr,      // 错误码
             int kname_s)    // 文件名长度
```

writebbf 与之类似，不再列出。

8.2.8 getbbv

获取一个黑板变量的值。

```
void getbbv(char *kname,    // 黑板变量名
            char *kvalue,    // 黑板变量的值
            int *nerr,       // 错误码
            int kname_s,     // 变量名长度
            int kvalue_s)    // 变量值的长度
```

setbbv 的函数定义与其类似，不再列出。

8.2.9 distaz

计算地球上任意两点之间的震中距、方位角和反方位角。

```
void distaz(double evla,    // 事件纬度
            double evlo,    // 事件经度
            float *stla,    // 台站纬度
            float *stlo,    // 台站经度
            int nsta,       // 台站数目
            float *dist,    // 震中距 (km)
            float *az,      // 方位角
            float *baz,     // 反方位角
            float *deg,     // 震中距 (度)
            int *nerr)      // 错误码
```

示例代码如下：

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void distaz(double, double, float*, float*, int,
            float*, float*, float*, float*, int*);

int main() {
    float evla, evlo, stla, stlo;
    float dist, az, baz, gcarc;
    int nsta, nerr;

    evla = 20;
```

(下页继续)

(续上页)

```

    evlo = 35;
    stla = 59;
    stlo = 45;
    nsta = 1;

    distaz(evla, evlo, &stla, &stlo, nsta, &dist, &az, &baz, &gcarc, &nerr);
    fprintf(stderr, "%f %f %f %f\n", az, baz, gcarc, dist);

    return 0;
}

```

本例中，台站数目 $nsta=1$ 。实际上该函数可以计算任意数目的台站到事件的震中距、方位角信息。若台站数目 $nsta$ 不为 1，则 $stla$ 、 $stlo$ 、 $dist$ 、 az 、 baz 、 deg 均可用数组或指针表示。

8.3 调用 libsac 库

8.3.1 next2

SAC 在做 FFT 时要保证数据点数为 2^n 个，对于不足 2^n 个点的数据需要补零至 2^n 次方个点。

`next2` 函数定义为：

```

int next2(int num) // 输入为 num，返回值为大于 num 的最小 2 次幂

```

8.3.2 xapiir

`xapiir` 用于设计 IIR 滤波器，并对数据进行滤波。这个子函数底层调用了 `design` 和 `apply` 两个子函数。

```

void xapiir(float *data, // 待滤波的数据，滤波后的数据保存在该数组中
            int nsamps, // 数据点数
            char *aproto, // 滤波器类型
                                // - 'BU': butterworth
                                // - 'BE':essel
                                // - 'C1': chebyshev type I
                                // - 'C2': chebyshev type II
            double trbndw, // chebyshev 滤波器的过渡带宽度
            double a, // chebyshev 滤波器的衰减因子
            int iord, // 滤波器阶数
            char *type, // 滤波类型: 'LP', 'HP', 'BP', 'BR'
            double flo, // 低频截断频率
            double fhi, // 高频截断频率
            double ts, // 采样周期
            int passes) // 通道数, 1 或 2

```

相关示例代码为 `filterc.c` 和 `filterf.f`。

8.3.3 firtrn

`firtrn` 用于做数据应用 FIR 滤波器或对数据做 Hilbert 变换：

```
void firtrn(char *ftype,      // 类型, 取 'HILBERT' 或 'DERIVATIVE'
            float *x,        // 输入数据
            int n,           // 数据点数, 至少含 201 个点
            float *buffer,    // 临时数组, 长度至少 4297
            float *y)        // 输出数组
```

下面的示例展示了如何计算数据的 Hilbert 变换：

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define NPTS 1000

float *hilbert(float *in, int npts);

int main(){
    float data[NPTS];
    float *hdata;
    int i;
    // 准备输入数据
    for (i=0; i<NPTS; i++) data[i] = i;
    // 进行 Hilbert 变换, hdata 为 Hilbert 变换的结果
    hdata = hilbert(data, NPTS);
    for (i = 0; i < NPTS; i++)
        printf("%f\n", hdata[i]);

    free(hdata);
}

// 这里定义了 hilbert 函数, 是对 firtrn 函数的一个封装
float *hilbert(float *in, int npts) {
    float *buffer;
    float *out;

    buffer = (float *)malloc(sizeof(float)*50000);
    out = (float *)malloc(sizeof(float)*npts);
    firtrn("HILBERT", in, npts, buffer, out);

    free(buffer);
    return out;
}
```

8.3.4 envelope

该子函数用于计算数据的包络函数，其底层调用了 `firtrn` 函数。

```
void envelope(int    n,      // 数据点数
              float *in,    // 输入数据
              float *out)   // 输出数据
```

需要注意，`in` 和 `out` 不能是同一个数组。

相关示例代码为 `envelopec.c` 和 `envelopef.f`。

8.3.5 crscor

该子函数用于计算两个数据的互相关，此互相关在频率域中完成，相对时间域互相关而言效率更高。

```
void crscor(float *data1,    // 数据 1
            float *data2,    // 数据 2
            int   nsamps,    // 数据点数
            int   nwin,      // 相关窗数目
            int   wlen,      // 窗内数据点数，最大值为 2048
            char *type,      // 窗类型，可以取 'HAM', 'HAN', 'C', 'R', 'T'
            float *c,        // 输出数据，长度为 2*wlen-1
            int   *nfft,     // 相关序列的数据点数
            char *err,       // 错误消息
            int   err_s)     // 错误消息长度
```

示例代码为 `convolvec.c`、`convolvef.f`、`correlatec.c` 和 `correlatef.f`。

8.3.6 rms

该子函数用于计算信号的均方根，其中计算公式为：

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^N y_i^2}$$

该公式与命令 `rms` 中的公式略有不同，严格来说，这里的定义是有问题的，因而对于该子程序计算出的结果，要除以根号 N 才是真正的均方根。

函数原型为：

```
double rms(float *x,        // 输入数据
           int   nsamps)     // 数据点数
```

示例代码：

```
/*
 * 本例中使用 Prof. Lupei Zhu 的 sacio 库的数据读入子程序
 *
 * 编译方式:
 *    gcc prog.c sacio.c -lm -L/usr/local/sac/lib -lsac -lsacio
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include "sac.h"

double rms(float *x, int nsamps);

int main() {
    SACHEAD hd;
    float *data;
    double result;

    data = read_sac("seis.SAC", &hd);
    result = rms(data, hd.npts)/sqrt(hd.npts); // 除以根号 N
    printf("rms = %lf\n", result);
}
```

保护环境，从阅读电子文档开始！

第 9 章 SAC I/O

SAC 提供的命令可以帮助用户实现地震数据的预处理，但无法实现所有的数据分析功能。日常科研中会需要自己写一套算法对数据进行处理，以得到想要的结果。这就需要能够在自己的程序中读写 SAC 文件，即 SAC I/O。

根据 SAC 格式的定义，SAC 格式文件分为固定长度的头段区和非固定长度的数据区，通常的做法是先读入头段区，然后从中提取出数据点数等信息，然后再据此读入数据区，由此即可实现 SAC 数据的读写。

这一章将介绍如何在 C、Fortran、Matlab、Python、Julia 中读写 SAC 文件。

9.1 C 程序中的 SAC I/O

SAC 自带的函数库中提供了一系列用于读写 SAC 文件的子函数，具体细节可以参考一节，这些子函数可以直接在 C 程序中调用。但这些子函数用起来不太方便，比如：

- 函数参数太多太复杂，有些参数基本不会用到，但还是需要定义；
- 读文件时无法只读取部分文件，即没有截窗的功能；
- 要获取某个头段变量的值，必须单独调用相应的子函数；

在了解了 SAC 文件的具体格式后，可以很容易的写一套函数来实现 SAC 文件的读写。

Prof. Lupei Zhu 实现了一套相对比较易用的 SAC I/O 函数库，可以在 C 或 Fortran 程序中直接调用，姑且称之为 **sacio**。

sacio 函数库与 Prof. Lupei Zhu 的其他程序一起发布。你可以从 Prof. Lupei Zhu 的主页下载 **fk**¹ 软件包，并从中提取出源文件 **sac.h** 和 **sacio.c**。

sacio 简单易用，但也存在一些潜在的 Bug 及缺陷。**seisman** 在 **sacio** 的基础上重写了 SAC I/O 函数库以及 SAC 相关工具，项目地址为 <https://github.com/seisman/SACTools>，仅供有兴趣的读者参考。

9.1.1 sacio 函数接口

sac.h 中 SAC 格式的头段区被定义为 **SACHEAD** 类型的结构体，每一个头段变量都是结构体的成员。**sacio.c** 定义了一系列用于读写 SAC 文件的函数，表 9.1 中列出了 **sacio** 提供的函数接口。

¹ <http://www.eas.slu.edu/People/LZhu/downloads/fk3.2.tar>

表 9.1: sacio 函数列表

函数名	功能
read_sachead	仅读取 SAC 文件的头段部分
read_sac	读取整个 SAC 文件
read_sac2	读取 SAC 文件中一部分
write_sac	将数据写到 SAC 文件中
sachdr	初始化 SAC 头段

调用 SAC I/O 接口的程序，可以通过如下方式编译：

```
$ gcc -c sacio.c
$ gcc -c prog.c
$ gcc sacio.o prog.o -o prog -lm
```

写成 Makfile 会更简单一些：

```
all: prog clean

prog: sacio.o prog.o
    $(CC) -o $@ $^ -lm

clean:
    -rm *.o
```

9.1.2 读写 SAC 文件

下面的示例展示了如何在 C 程序中读取一个 SAC 二进制文件，经过简单的数据处理后，最后写回到原文件中：

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "sac.h"

int main (int argc, char *argv[]) {
    char    file[80];
    SACHEAD hd;
    float    *data;
    int      i;

    strcpy(file, "seis.SAC");

    // 读入数据
    data = read_sac(file, &hd);
```

(下页继续)

(续上页)

```

fprintf(stderr, "npts=%d delta=%f \n", hd.npts, hd.delta);

// 其它数据处理
for (i=0; i<hd.npts; i++) {
    data[i] *= 0.1;
}

// 将结果写回到原文件中
write_sac(file, hd, data);

free(data);
return 0;
}

```

read_sac 函数将 SAC 文件的头段区保存到结构体 SACHEAD hd 中，可以通过 hd.npts、hd.delta 这样的方式引用 SAC 头段变量的值。SAC 文件的数据区保存到指针/数组 float *data 中，read_sac 会根据头段中的数据点数为指针 data 分配内存空间并读入数据，在用完之后要记得用 free(data) 释放已分配的内存，以避免内存泄露。

9.1.3 仅读取 SAC 头段区

有时候只需要 SAC 文件头段区的一些信息，若读取整个文件就有些浪费了，read_sachead 仅读取 SAC 头段区而不读取数据区。

```

#include <stdio.h>
#include "sac.h"

int main() {
    SACHEAD hd;

    read_sachead("seis.SAC", &hd);
    fprintf(stderr, "%d %f %f %f\n", hd.npts, hd.delta, hd.depmax, hd.depmin);

    return 0;
}

```

9.1.4 读 SAC 数据的一段

有些时候，数据可能很长，但用户只需要其中的一小段。为了读取一小段数据而把整个文件都读入进去实在太浪费了。SAC 中的 cut 命令可以实现数据的截取，read_sac2 则是实现了类似的功能。下面的例子截取了数据中以 T0 为参考的 -0.5 到 2.5 秒，即相当于 cut t0 -0.5 2.5。

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "sac.h"

int main (int argc, char *argv[]) {
    char fin[80], fout[80];
    SACHEAD hd;
    float *data;
    int tmark;
    float t1, t2;
    int i;

    strcpy(fin, "seis.SAC");

    tmark = 0;
    t1 = -0.5;
    t2 = 2.5;

    data = read_sac2(fin, &hd, tmark, t1, t2);
    fprintf(stderr, "npts=%d delta=%f\n", hd.npts, hd.delta);

    for (i=0; i<hd.npts; i++) {
        data[i] += 0.1;
    }

    strcpy(fout, "seis.SAC.cut");
    write_sac(fout, hd, data);

    free(data);
    return 0;
}
```

`read_sac2` 与 `read_sac` 相比，多了三个用于定义时间窗的参数，其中 `tmark` 表示参考时间标记，可以取值为：

- -5：以 B 作为时间标记
- -3：以 O 作为时间标记
- -2：以 A 作为时间标记
- 0-9：以 T0-T9 中的某个为时间标记

这里只读入了数据的一小部分数据，但子程序中对头段中的 `b`、`e`、`npts` 等做了修改，因而返回的头段与数据是相互兼容的。

注解： `tmark` 的有效取值为什么是 -5、-3、-2、0-9？

在头段区中，若以 T0 作为参考位，T3 是 T0 后的第 3 个变量，T7 是 T0 后的第 7 个变

量，B 是 T0 前的第 5 个变量，O 是 T0 前的第 3 个变量。

sacio.c 的代码中使用了 `tref = *((float *)hd + 10 + tmark)` 来获取某个时间头段变量的值。首先将结构体指针 `hd` 强制转换成 `float` 型，加上 10 使得指针指向结构体的成员 T0 所在的位置，然后 `tmark` 取不同的值，则将指针相应地前移或后移相应的浮点变量，最后取指针所在位置的浮点变量值。由此即可很简单地获取某个时间标记头段中的值。这种用法在自己的程序中也会经常用到。

9.1.5 从零创建 SAC 文件

在做合成数据时，经常需要从无到有完全创建一个 SAC 文件。这相对于一般的“读 → 处理 → 写”而言要更复杂一些，因为必须首先构建一个基本的头段区。下面的例子展示了如何用 `sachdr` 构建一个最基本的头段区，并填充其他一些头段，最后将创建的头段及数据写入到文件中。

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "sac.h"

int main (int argc, char *argv[]) {
    char    fout[80];
    SACHEAD hd;
    float    *data;

    float    delta;
    int      npts;
    float    b;

    int      i;

    delta = 0.01;        // 采样周期
    npts  = 1000;        // 数据点数
    b     = 10;          // 文件开始时间
    hd = sachdr(delta, npts, b);    // 构建基本头段
    hd.dist      = 10;    // 给其它头段变量赋值
    hd.cmpaz     = 0.0;
    hd.cmpinc    = 0.0;

    strcpy(fout, "seis.syn");
    // 生成合成数据
    data = (float *)malloc(sizeof(float)*npts);
    for (i=0; i<npts; i++) {
        data[i] = i;
    }
}
```

(下页继续)

(续上页)

```
// 写入到文件中
write_sac(fout, hd, data);
free(data);

return 0;
}
```

9.2 Fortran 程序中的 SAC I/O

王亮和 seisman 用 Fortran 90 写了一个读写 SAC 文件的模块，以开源许可 Apache 2.0 在 github 上发布。项目地址为：http://wangliang.one/sacio_Fortran/。

项目中提供了名为 `sacio` 的模块，该模块中包含了 6 个子程序，所有子程序的实现都写在源文件 `sacio.f90` 中。项目中包含了详细的使用说明及演示示例，此处仅简单列出每个子程序的功能：

表 9.2: sacio 模块中的子程序

子程序	功能
<code>sacio_readhead</code>	仅读取 SAC 文件的头段部分
<code>sacio_readsac</code>	读取整个 SAC 文件
<code>sacio_writesac</code>	将数据写到 SAC 文件中
<code>sacio_readsac_cut</code>	读取 SAC 文件中一部分
<code>sacio_nullhead</code>	获得一个未定义状态的 SAC 头段
<code>sacio_newhead</code>	初始化 SAC 头段

9.3 Matlab 中的 SAC I/O

SAC 官方自带了几个可以读写 SAC 文件的 Matlab 脚本，位于 `${SACHOME}/utils` 目录下。

9.3.1 readsac

`readsac.m` 中定义了函数 `readsac`，可以用于读取 SAC 文件，其参数为要读取的 SAC 文件名。文件名可以是：

1. 单个文件名
2. 多个文件名组成的字符串数组
3. 含通配符的字符串或字符串数组
4. 空字符串，表示读取当前目录下的全部 SAC 文件

`readsac` 函数有三种用法。第一种用法：

```
% 读取 SAC 文件，并保存到结构体 S 中
>> S = readsac('seis.SAC');
% 通过 S.varname 形式引用结构体成员的值
>> S.NPTS
ans = 1000
>> S.DELTA
ans = 0.0100
% 数据保存到 S.DATA1 数组中
>> S.DATA1(10)
ans = -0.0934
```

第二种用法：

```
% 读取 SAC 文件，时间和波形振幅分别保存到数组 X 和 Y 中
>> [X, Y] = readsac('seis.SAC');
% 若发震时刻 O 未定义，则 X 数组中保存相对于 B 值的时间
% 若发震时刻 O 有定义，则 X 数组中保存相对于 O 值的时间
>> X(1)
ans = 50.8900
```

第三种用法，有三个返回值：

```
% 用于读取不等间隔数据或 SAC 谱数据
>> [X, Y1, Y2] = readsac('seis.SAC');
% 用于读取 XYZ 类型的 SAC 文件
>> [X, Y, Z] = readsac("seis.SAC.xyz");
```

9.3.2 getsacdata

在用 readsac 读取 SAC 文件时，可以直接读入到结构体 S 中，也可以读入到多个数组中。读入到数组中便于 matlab 处理，但是却丢失了 SAC 头段中的很多信息；读入到结构体 S 中，有时却需要用数组做处理，这就可以使用 getsacdata 函数，可以从结构体 S 中提取出自变量和因变量数组：

```
% 从文件中读入结构体 S
>> S = readsac('seis.SAC');
% 从结构体 S 中提取自变量和因变量
>> [X, Y] = getsacdata(S);
```

9.3.3 writesac

writesac.m 中定义了函数 writesac，用于写 SAC 格式的文件，其输入是结构体 S，返回值是状态码：

```
% 读入 SAC 数据
>> S = readsac('seis.SAC');
```

(下页继续)

(续上页)

```
% 做一些数据处理
% ...
% 修改结构体 S 中的文件名
>> S.FILENAME = 'new.SAC';
% 写入到新文件中
>> status = writesac(S);
```

9.3.4 其他

除了 SAC 官方提供的几个 Matlab 脚本之外，还有其他人也提供了一些 Matlab 脚本：

- <http://geophysics.eas.gatech.edu/people/zpeng/Teaching/MatSAC.tar.gz>
- <http://home.chpc.utah.edu/~thorne/software.html>

9.4 Python 中的 SAC I/O

9.4.1 ObsPy

ObsPy 是用 Python 写的一个专用用于地震学数据处理的模块，这一节介绍如何利用 ObsPy 模块读写 SAC 文件。

安装 obspy

obsypy 可以通过 Python 自带的模块管理工具 pip 来安装：

```
$ pip install obspy
```

读写 SAC 文件

下面的示例首先从 IRIS DMC 下载了 IC.BJT 的宽频带数据，然后对数据做去均值、去线性趋势、两端尖灭，并去除仪器响应得到速度波形，最后带通滤波到某一频段并绘图。

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

from obspy.clients.fdsn import Client
from obspy import UTCDateTime

client = Client("IRIS")

t = UTCDateTime("2010-02-27T06:45:00.000")

inventory = client.get_stations(network="IC", station="BJT", location="00",
                                channel="BH*", level="response", starttime=t)
st = client.get_waveforms("IC", "BJT", "00", "BH*", t, t + 60 * 60)
st.detrend(type="demean") # rmean
```

(下页继续)

(续上页)

```
st.detrend(type="linear") # rtrend
st.taper(max_percentage=0.05) # taper
# transfer to vel freq 0.005 0.01 10 25
st.remove_response(inventory=inventory, output="VEL",
                   pre_filt=[0.005, 0.01, 10, 25])
# bandpass c 1 10 n 2 p 2
st.filter('bandpass', freqmin=0.01, freqmax=0.1, corners=2, zerophase=True)
st.plot()
```

obspy 目前存在的问题

ObsPy 是一个相对完整的数据处理模块, SAC 的读写只是其中的一小部分。个人感觉, ObsPy 在读写 SAC 文件时还存在如下几个问题:

- Trace 类中没有包含文件名的信息, 导致无法用简单的办法将波形写回原文件
- 无法只读取波形数据中的一小段, 即没有实现 cut 的功能

9.4.2 其他

除了 obspy 之外, 其他人也写了一些用于读写 SAC 文件的模块, 列举如下, 可供参考:

1. <https://github.com/pysmo/pysmo>
2. <https://github.com/eost/sacpy>
3. <https://github.com/emolch/pysacio>

9.5 Julia 中的 SAC I/O

[Andy Nowacki](<https://github.com/anowacki>) 实现了在 Julia 中读写并绘制 SAC 文件。项目地址为:

- <https://github.com/anowacki/SAC.jl>
- <https://github.com/anowacki/SACPlot.jl>

保护环境，从阅读电子文档开始！

第 10 章 SAC 相关工具

10.1 saclst

saclst 是很常用的一个 SAC 工具，用于列出头段变量的值，其语法很简单：

```
$ saclst header_lists f file_lists
```

其中 `header_lists` 为要查看的头段变量名列表；`f` 为关键字，表明接下来的所有参数都是 SAC 文件；`file_lists` 为 SAC 文件列表。需要注意的是，头段变量名是不区分大小写的，除了头段变量 `F` 以外。大写的 `F` 被当作头段变量名，小写的 `f` 被作为关键字。¹

查看单个文件的单个头段：

```
$ saclst npts f seis.SAC
seis.SAC          1000
```

查看多个文件的多个头段：

```
$ saclst stla stlo evla evlo gcar f N.*.U
N.AAKH.U      36.3726      137.92      -5.514      151.161      43.4752
N.ABNH.U      34.6326      137.231     -5.514      151.161      42.0392
N.AC2H.U      35.4786      137.735     -5.514      151.161      42.6857
N.AGMH.U      35.787       137.717     -5.514      151.161      42.9798
N.AGWH.U      43.0842      140.82      -5.514      151.161      49.2714
N.AHIH.U      38.2799      139.549     -5.514      151.161      44.8874
```

在 Bash 脚本中将头段变量的值赋值给变量：

```
#!/bin/bash
stla=`saclst stla f seis | awk '{print $2}'`
stlo=`saclst stlo f seis | awk '{print $2}'`
echo $stla $stlo
```

在 Perl 脚本中将头段变量的值赋值给变量：

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;
```

(下页继续)

¹ 这是设计不合理的地方。

(续上页)

```
my ($fname, $stla, $stlo) = split /\s+/, `saclst stla stlo f seis`;
print "$stla $stlo \n";
```

10.2 rdseed

rdseed 可以读取 SEED 格式，从中提取出波形信息，并将波形数据保存为 SAC、AH、CSS、SEGY 或 ASCII 等多种数据格式。

10.2.1 语法说明

终端键入 `rdseed -h` 即可查看 `rdseed` 的选项及语法说明。`rdseed` 命令的选项众多，下面按照选项的重要性从高到低排序。

比较重要且常用的选项：

- `-f file`: 输入的 SEED 文件名。`rdseed` 一次只能处理一个 SEED 文件。
- `-d`: 从 SEED 数据中提取波形数据
- `-o n`: 输出波形数据的格式，默认为 SAC 格式。`n` 可以取 1-9，分别表示 SAC (1)、AH (2)、CSS (3)、miniSEED (4)、SEED (5)、SAC ASCII (6)、SEGY (7)、Simple ASCII(SLIST) (8) 和 Simple ASCII(TSPAIR) (9)。
- `-R`: 输出 RESP 格式的仪器响应文件
- `-p`: 输出 SAC PZ 格式的仪器响应文件
- `-E`: 输出的波形数据的文件名中包含结束时间
- `-q`: 指定输出目录，该目录必须已经存在。默认输出到当前目录。
- `-Q`: 选择波形数据的质量，可以取 E、D、M、R、Q，其中 E 代表输出全部质量的波形数据，其他值的含义参考[质量控制](#)一节。
- `-b n`: 输出的波形数据的最大数据点数，默认值为 20000000，能所取到的最大值是 4 字节整型的上限，即 2147483647。若波形数据的的数据点数超过该值，则会给出警告并把数据分割成多段。
- `-g file`: 为 SEED 或 miniSEED 数据单独指定响应文件。响应文件可以是 SEED 格式也可以是 dateless SEED 格式，也可以通过设置环境变量 `ALT_RESPONSE_FILE` 指定响应文件，这样做的好处在于可以多个 SEED 文件共用一个响应文件
- `-h` 或 `-u`: 显示命令的用法
- `-z n`: 检查并校正数据极性，参考接下来的[正负极性及其校正](#)一节

不常用的选项：

- `-a`: 提取缩略词词典
- `-c`: 提取文件内容的目录信息
- `-C STN|CHN`: 提取台站或分量的注释信息
- `-l`: 列出每个 block 的内容
- `-s`: 输出全部台站的 RESP 格式仪器响应文件到终端

- **-S**: 提取台站的汇总信息到文件 `rdseed.stations`, 内容包括台站名、台网名、经纬度、海拔、分量、台站开始时间和结束时间
- **-t**: 输出波形相关信息到终端, 包括台站名、分量名、台网名、位置码、质量控制符、波形开始时间和结束时间、采样率、数据点数
- **-v n**: 选择卷号, 默认值为 1。对于 SEED 文件 `n` 只能取 1
- **-k** 跳过数据点数为 0 的记录
- **-e**: 提取事件/台站数据到文件 `rdseed.events`
- **-i**: 忽略位置码
- **-x file**: 使用 JWEED 生成的 summary 文件, 根据 summary 文件提取指定台站、分量和时间窗内的波形数据

10.2.2 正负极性及其校正

地震仪的每个分量都有一个传感器, 每个传感器都有一个敏感轴, 仪器记录的就是敏感轴方向的运动物理量。每个敏感轴都有一个正方向, 若地面运动与敏感轴的正方向一致, 则输出为正值, 若地面运动与敏感轴的正方向相反, 则输出为负值。

SAC 头段中的 `cmpaz` 和 `cmpinc` 是用于描述仪器敏感轴正方向的最通用也是最准确的方法。几个比较特殊的方向是: 垂直方向、正东西向、正南北向, 在 SAC 中方位码分别为 Z、E 和 N。下表列出了这六个方向所对应的 `cmpaz` 和 `cmpinc`。

表 10.1: 6 个标准方向的 `cmpaz` 和 `cmpinc`

方向	<code>cmpaz</code>	<code>cmpinc</code>	方位码	极性
垂直向上	0	0	Z	正
垂直向下	0	180	Z	负
正北	0	90	N	正
正南	180	90	N	负
正东	90	90	E	正
正西	270	90	E	负

对于一个方位码为 Z 的数据, 其分量方向有两种可能性: 垂直向上和垂直向下。根据 SAC 中 NEU 坐标系的定义 (图 3.2), 垂直向上方向为正极性, 垂直向下方位为负极性。同理, 正东和正北是正极性, 正西和正南为负极性。

由上表可知, 通过检查分量的 `cmpaz` 和 `cmpinc` 即可判断是是正极性还是负极性。某些情况下, 分量角度是正常的, 但仪器响应中的总增益是负值, 也可用于表示负极性, 但这种情况很少见到, 目前缺乏数据做测试, 因而暂且先不考虑增益为负的这种情况。

`rdseed` 中 `-z n` 选项可以用于检测并校正负极性。

- `n=0` 表示不做极性检测;
- `n=1` 表示只检查 `cmpaz` 或 `cmpinc`; 若是负极性, 则反转所有数据点的正负号并修改 `cmpaz` 或 `cmpinc` 的值;

- `n=2` 表示只检查总增益的正负值；若为负值即表示负极性，则反转所有数据的正负号但不修改 `cmpaz` 或 `cmpinc`；
- `n=3` 表示同时检查 `cmpaz` 或 `cmpinc` 以及总增益的正负值，仅当其中之一符合负极性的要求时才做校正；

需要注意，正负极性的概念仅适用于 6 个标准分量方向。对于垂向分量而言，通常需要校正极性，否则在查看 Z 分量的波形数据时，可能会出现某个台站的波形极性不对的状况；对于水平向分量而言，由于通常会旋转到大圆路径方向，所以不做极性校正，也不会有问题。总之，建议使用 `-z 1` 选项做极性校正。

10.2.3 用法示例

从 SEED 文件中提取波形数据和 RESP 仪器响应文件：

```
rdseed -R -d -f infile.seed
```

其中，选项 `-R -d -f` 可以合写成 `-Rdf`。

从 SEED 文件中提取波形数据和 SAC PZ 仪器响应文件：

```
rdseed -pdf infile.seed
```

从 miniSEED 文件中提取波形数据，并指定 dataless SEED 文件作为仪器响应文件：

```
rdseed -Rdf infile.miniseed -g infile.dataless
```

10.2.4 警告与错误

使用 `rdseed` 的过程中可能会遇到一些警告和错误。这些警告和错误会显示在终端，也会记录到日志文件 `rdseed.err_log` 中。

警告 1

```
Warning... Azimuth and Dip out of Range on AAK,BH1
Defaulting to subchannel identifier (for multiplexed data only)
```

若分量的 `cmpaz` 和 `cmpinc` 所指定的传感轴方向与垂直方向的偏差很小，比如偏差在两度以内，则将该分量的方位码设置为 Z。对于近正东西和近南北方向，设置分量方位码为 E 和 N。

若分量的敏感轴方向不与垂直向、正东西向、正南北向相近，则会出现此警告，此时可能会设置分量的范围码为 1 或其他字符。因而该警告可忽略。

警告 2

Warning... Azimuth/Dip Reversal found FURI.BHZ, Data inversion was **not** selected

该警告表示，根据分量的 `cmpaz` 和 `cmpinc` 检测到当前分量是负极性，但不对数据作极性校正。这种情况下使用 `-z 1` 选项，会修改数据的正负号，并将台站角度修改为正极性方向。

10.3 pssac

`pssac` 是一个用于绘制 SAC 波形数据的程序，其利用了 GMT 强大的绘图库将 SAC 波形数据绘制到 PS 文件中。得益于 GMT 强大的绘图功能，`pssac` 可以制作出精致的图像，以满足出版的要求。

对于 GMT4 用户，`pssac` 需要单独安装，安装过程参考 [安装 pssac](#) 一文，具体用法参考 [pssac 用法教程](#)。

对于 GMT5 用户，GMT 自 v5.3.0 后自带 `pssac`，可直接使用 `gmt pssac` 命令调用。

10.4 sac-config

`sac-config` 是 SAC 提供的一个简单的配置脚本，用于返回编译、链接 SAC 函数库时所需要的一些信息。

下面给出一些示例：

```
$ sac-config --version
101.6a
$ sac-config -c                # 返回 include 路径
-I/usr/local/sac/include
$ sac-config -l                # 返回 lib 路径
-L/usr/local/sac/lib
$ sac-config -l sacio          # 链接 sacio 库
-L/usr/local/sac/lib -lsacio
$ sac-config -l sacio sac      # 链接 sacio 和 sac 库
-L/usr/local/sac/lib -lsacio -lsac
$ sac-config --prefix=/opt/sac -c # 设置 SAC 根路径并返回 include 路径
-I/opt/sac/include
```

10.5 字节序转换

关于字节序以及字节序可能引起的问题，可以参考[字节序](#)一节。

SAC 提供了三个工具，用于转换文件的字节序：

- `sacswap`：转换 SAC 文件的字节序
- `sgfswap`：转换 SGF 文件的的字节序
- `bbfswap`：转换 BBF 文件的字节序

10.6 sgftops

SGF 格式是 SAC 自定义的图像文件格式，转换到常见的其他图像格式，需要使用转换工具 `sgftops`。

`sgftops` 可以将 SGF 格式的文件转换为 PS 格式。其用法如下：

```
$ sgftops
Usage: sgftops sgf_file ps_file [line_width scale_id]
    sgf_file    :   SGF 文件名
    ps_file     :   PS 文件名
    line_width  :   图像线宽，可以取 1,1.5,2 等等
    scale_id    :   - i : landscape 模式加上文件 id
                   - s : 对图像进行平移、旋转、缩放
                   - si: landscape 模式 + 文件 id+ 平移 + 旋转 + 缩放
```

示例如下：

```
$ sgftops f001.sgf f001.ps 2 si
First translates (x and y), then rotates, then scales:
  [Default] landscape: 8 0 90 1  to prompts
  Sample portrait:   0.5 0.5 0 0.75

x translation : 0.5
y translation : 0.5
rotation angle: 0
scale..... : 0.75
```

`sgftoeps` 和 `sgftox` 通过调用 `sgftops`，将 `sgf` 文件转换为 `eps` 文件或直接显示在图形窗口中，这二者均依赖于 `ghostscript`，不再多说。

第 11 章 SAC 技巧与陷阱

11.1 SAC 初始化

SAC 为大多数命令选取了合适的默认值，但有些时候命令的默认值并不是用户想要的，所以需要在 SAC 中执行命令并选取合适的值。如果能够在启动 SAC 时让 SAC 自动执行这些命令就最好了。

SAC 提供了这样的一种机制：当在终端启动 SAC 时，SAC 命令后若接文件名，则 SAC 会将该文件当做 SAC 宏文件，并依次执行该宏文件中的 SAC 命令。

首先新建一个名为 `init.m` 的宏文件，其内容可以如下：

```
qdp off
```

然后，将该文件放在 `${SACAUX}` 目录中。在 `~/.bashrc` 中加入如下别名语句：

```
alias sac="${SACHOME}/bin/sac ${SACAUX}/init.m"
```

重启 shell 之后，SAC 在每次启动时会首先执行初始化宏文件 `init.m` 中的一系列 SAC 命令。

本例中的宏文件的文件名、宏文件所放置的路径以及宏文件的内容，都可以根据需求自行决定。本例中，宏文件中只有一个语句，即 `qdp off`，执行该命令会关闭快速绘图选项，即在绘图时将全部数据点都绘制出来。

11.2 命令长度

大多数程序在处理命令行的输入时，都会先定义一个固定长度的字符数组，将命令行的输入读入到字符数组中，再进行进一步的解析。一般来说，这个字符数组是足够大的，很少会担心命令过长的问题。

那么 SAC 所能允许的命令的最大长度是多少呢？看一下 SAC 源码可以知道答案是 1001。考虑到 C 语言中字符串需要以 `\0` 结尾，所以实际上能够允许的最大长度是 1000。

1000 这个长度似乎够了，因为大多数 SAC 命令的长度都不会超过 20，而且用户也没有那个心情去敲一个长度超过 1000 的命令。一个特殊的情况是命令中包含文件名。

假设在当前目录下有 120 个形如 `XX.XXX.BHZ` 的 SAC 文件，每个文件的文件名长度为 10 字符。如果要将全部 SAC 文件读入到内存中，最简单的办法是使用通配符：

```
SAC> r *.BHZ
```

当然如果不觉得麻烦，完全可以把 120 个文件名一个一个敲到命令行里：

```
SAC> r XX.001.BHZ XX.002.BHZ ... XX.120.BHZ # 此处省略了一堆文件名
```

这两种读入 SAC 文件的方式，看上去很相似，结果却是完全不同的。

前一种方式中，SAC 获取的命令长度实际为 7 字符，远小于 1000 字符的长度上限，然后 SAC 会在程序内部将通配符展开为 120 个文件的文件列表。

后一种方式中，SAC 获取的命令长度超过 1200 字符，但只有前 1000 字符会真正被 SAC 真正接收并处理，这将导致仅有不到 100 个 SAC 文件会被读入，而 SAC 不会对此给出任何警告。这是一件非常危险的事情。

这两种方式比较起来，不管是从简便性还是安全性角度来看，都应该选择通配符这种方式。

在脚本中使用通配符，有一点需要注意。以 Perl 脚本为例，下面的 Perl 脚本调用了 SAC，并读取全部文件，然后做了简单的数据处理，最后保存退出。

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;

open(SAC, "| sac") or die "Error in opening sac\n";
print SAC "r *.BHZ\n";
print SAC "rmean; rtr; taper\n";
print SAC "bp c 1 3 n 4 p 2\n";
print SAC "w over\n";
print SAC "q\n";
close(SAC);
```

上面的脚本是可以正常工作的，但是如果改成如下看上去很像的脚本，则会出问题。

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;

my @files = glob "*.BHZ";

open(SAC, "| sac") or die "Error in opening sac\n";
print SAC "r @files\n";
print SAC "rmean; rtr; taper\n";
print SAC "bp c 1 3 n 4 p 2\n";
print SAC "w over\n";
print SAC "q\n";
close(SAC);
```

两种都使用了通配符或通配函数,前者直接将 *.BHZ 传递给 SAC,而后者却将通配(glob)后的文件列表传给 SAC,所以后者会出现问题。在写脚本的时候应避免后一种写法。

通配符不是万金油,很多时候无法使用通配符来通配一堆没有规律的文件。

例如,当前目录下有 200 个形如 XX.XXX.BHZ 的 SAC 文件,其中 140 个有清晰的 P 波, P 波的到时被标记到 T0 中。现在想要读取这 140 个有清晰 P 波的数据,这个时候显然通配符是没法用了。

错误的写法如下:

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;

# 获取全部 T0 有定义的文件名列表
my @files = ();
open(SACLST, "saclst t0 f *.BHZ |");
foreach (<SACLST>) {
    my ($fname, $t0) = split ' ', $_;
    push @files, $fname if $t0 > 0;
}
close(SACLST);

# 调用 SAC 进行数据处理
open(SAC, "| sac") or die "Error in opening sac\n";
print SAC "r @files\n";
print SAC "rmean; rtr; taper\n";
print SAC "bp c 1 3 n 4 p 2\n";
print SAC "w over\n";
print SAC "q\n";
close(SAC);
```

调用 SAC 进行数据处理的正确写法:

```
open(SAC, "| sac") or die "Error in opening sac\n";
foreach (@files) {
    print SAC "r more $_\n";
}
print SAC "rmean; rtr; taper\n";
print SAC "bp c 1 3 n 4 p 2\n";
print SAC "w over\n";
print SAC "q\n";
close(SAC);
```

效率稍低的正确写法:

```
open(SAC, "| sac") or die "Error in opening sac\n";
foreach (@files) {
    print SAC "r $_\n";
    print SAC "rmean; rtr; taper\n";
    print SAC "bp c 1 3 n 4 p 2\n";
    print SAC "w over\n";
}
print SAC "q\n";
close(SAC);
```

11.3 字节序

11.3.1 定义

字节序，即一个多字节的数据在内存中存储方式。计算机领域中，主要有两种字节序，即小端序（little endian）和大端序（big endian）。

举例说明，假设一个整型变量占四个字节，其十六进制表示为 `0x01234567`，首地址为 `0x101`，则该整型变量的四个字节将被存储在内存 `0x101-0x104` 中。若按照大端序存储，则 `01` 位于地址 `0x100`，`23` 位于地址 `0x101`，以此类推。而小端序则是 `67` 位于地址 `0x100`，`45` 位于 `0x101`。直观的来看，大端序即数据的最高字节在地址上更靠前，小端序则是数据的最低字节在地址上更靠前。关于字节序的详细说明，请参考维基百科相关条目。

11.3.2 麻烦

不同的处理器可能使用不同的字节序，这在数据交换的时候会带来很多麻烦。

比如用一个大端序的机器将数据 `0x01234567` 写入文件中，然后将文件复制到一个小端序的机器中，小端序机器在读取数据时会顺序读取，即将 `01` 放入低地址位，将 `67` 放在高地址位，而在解释时会认为低地址位的是最低字节。所以，大端序的 `0x1234567` 会被小字节序当做 `0x67452301`。通常在不同字节序的机器间传输数据时都需要先进行字节序的转换。

11.3.3 字节序的判断

大多数个人计算机的字节序都是小端序，可以通过下面的命令查看当前机器的字节序：

```
$ lscpu | grep -i byte
```

对于 SAC 文件来说，由于 SAC 头段中并没有包含当前字节序的相关信息，所以 SAC 只能通过当前文件的 SAC 版本号，即 `nvhdr` 来判断。若 `nvhdr` 的值在 0 到 6 之间，则 SAC 文件的字节序与当前机器字节序相同，否则不同则需要做字节序转换。

如果想自己确认数据与机器的字节序是否相同，可以用如下命令查看：

```
$ od -j304 -N4 -An -td file.SAC
```

该命令会输出 SAC 文件中的第 305 到 308 字节，若输出为 6 则表示文件字节序与当前机器字节序相同，否则不同。

11.3.4 字节序的转换

SAC 程序在读入数据时，会自动检测当前机器的字节序以及当前数据的字节序。若二者不相同，则会对已读入内存中的数据进行字节序的转换。

但 SAC 相关的工具却不一定可以。比如，旧版本的 `sac1st` 以及网上的某些 matlab 处理脚本大多是没有对 SAC 文件的字节序做判断的。这会导致一个让人困惑的问题：数据用 SAC 读取和查看一切正常，但是用其他工具读却乱七八糟，数据点数、采样间隔以及具体的数据值没有一个对的。这种问题很多情况下都是因为字节序导致的。

如果 SAC 文件的字节序跟当前机器的字节序不同，最好将 SAC 文件转换到当前机器的字节序，这样不论是 SAC 还是其他工具都可以正常对数据进行处理。字节序转换的办法很简单：

```
SAC> r *.SAC
SAC> w over
```

直接将所有 SAC 数据读入 SAC，然后再 `w over` 即可，SAC 会自动以当前机器的字节序覆盖磁盘中的文件。

11.4 读取目录下的 SAC 文件

假设目录 `data` 下有一堆 SAC 文件，现在想要将这些 SAC 文件读入内存中，有如下几种方式。

第一种，先 `cd` 进入该目录，再读取 SAC 文件：

```
$ cd data/
$ sac
SAC> r *.SAC
SAC> ...
SAC> q
$ cd ..
```

第二种，直接用相对路径读取 SAC 文件：

```
SAC> r data/*.SAC
SAC> ...
```

第三种，使用 `read` 命令的 `dir` 选项：

```
SAC> r dir data *.SAC
SAC> ...
```

以上算是技巧,下面来说说这其中的陷阱。假设有一堆 SAC 文件,保存在一个名为 `dirraw` 的目录中,现在想要用第二种方式读取 SAC 文件:

```
SAC> r dirraw/*.SAC
ERROR 1301: No data files read in.
```

会发现出现了无法读入数据的错误。这是为什么呢?

严格来说,这算是 SAC 的一个 bug。如上面的第三种方法所示, SAC 的 `read` 命令有 `dir` 选项,用于指定要从哪个目录中读取 SAC 数据。在上面例子中,因为目录名为 `dirraw`, SAC 在解释 `r dirraw/*.SAC` 时出现了一些问题, SAC 会从 `dirraw/*.SAC` 中识别出关键字 `dir`,然后忽略了后面的其他字符,因而在 SAC 看来,这个命令实际上等效于 `r dir`,只给定了关键字 `dir`,却没有给定目录名以及要读取的 SAC 文件名,因而出现了如上所示错误。

因而,要避免这个错误,就要求目录名不要以 `dir` 开头。

那么,如果目录名真的是以 `dir` 开头的,怎么办呢?第一种方法可以,第三种方法也可以,第二种方法的修改版也可以:

```
SAC> r ./dirraw/*.SAC
```

11.5 Tab 与空格

编程界有诸多圣战,编辑器 vs IDE, vim vs emacs,以及谁是最好的语言等等。这一节提到的“Tab 与空格”也算是编程界的圣战之一了。这一节并不打算争论究竟该使用 Tab 还是空格,而是讨论一下在 SAC 中使用 Tab 会遇到的陷阱。

从终端启动 SAC,试着在 SAC 中键入 Tab 键,你会发现这些 Tab 键仅仅起到了命令补全的作用,因而你是无法直接在交互式 SAC 中输入一个 Tab 键的。因此,在交互式 SAC 下, Tab 键不会造成任何问题。但,当在脚本中调用 SAC,或者写 SAC 宏时, Tab 键就会产生影响。

以在 Bash 中调用 SAC 为例:

```
sac << EOF
  fg seis      # 此行行首有 Tab,只是你看不见
  w seis.sac   # 此行行首有 Tab,只是你看不见
  q            # 此行行首有 Tab,只是你看不见
EOF
```

由于 SAC 命令前有 Tab 键,导致执行该脚本的结果如下:

```
sh: line 0: fg: no job control
22:24:49 up 12 days, 12:24,
USER
TTY
FROM
8 users,
load average: 1.45, 1.45, 1.42
LOGIN@
IDLE
JCPU
sh: q: command not found
SAC Error: EOF/Quit
SAC executed from a script: quit command missing
Please add a quit to the script to avoid this message
If you think you got this message in error,
please report it to: sac-help@iris.washington.edu
```

引起该问题的原因尚不清楚，但比较明显的是，由于命令的行首有 Tab，导致 SAC 对命令的解析出现了问题，所有的命令都被当做外部命令来解释了。在任意脚本语言中调用 SAC，都有可能会出现类似的问题：

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;
open(SAC, "|sac");
print SAC "      fg seis\n";      # fg 前面为 Tab 键

print SAC "\tfg seis\n";        # \t 为显式 Tab 键

print SAC qq [
    fg seis                      # fg 前面有 Tab
    w seis.sac
    q
]
close(SAC);
```

这个 Perl 脚本的例子中，展示了三种会出现问题的情况，其中第一种和第二种一般都不会这么写，所以很少碰到，而第三种写法是常见的写法，经常会需要用缩进来将代码对齐，使得代码更整齐，就可能导致 Tab 键的问题。

因而，在脚本中调用 SAC 时要尽量避免使用 Tab 键。目前大多数主流编辑器都具备将 Tab 自动转换成空格的功能，建议将这一功能打开，使得在写代码时无论输入 Tab 还是输入空格都会自动转换成空格。

11.6 未定义的头段变量

处理数据的时候会遇到一种情况，用 SAC 读入数据后，可以用 `lh` 查看到某个头段变量的值，但是直接使用 `saclst` 却发现头段变量的值未定义。

直接读入 SAC 查看头段变量 `dist` 的值：

```
SAC> r XXXX.SAC
SAC> lh dist
      dist = 3.730627e+02
```

用 `saclst` 查看同一个文件的头段变量 `dist` 的值：

```
$ saclst dist f XXXX.SAC
XXXX.SAC      -12345.0
```

用两种方法查看头段变量的值得到的结果不同，出现这种情况的原因，这个 SAC 数据中 `dist` 本身是没有定义的，当 SAC 读入该数据时，会自动计算并更新 `dist` 的值，所以使用 `lh` 会得到正确的 `dist` 值，而 `saclst` 是直接读取数据文件的头段，并不会对重新计算，因而 `saclst` 得到的是未定义值。也就是说，`saclst` 得到的是文件中保存的值，`lh` 得到的是数据中应该保存的值。

如果想要 `saclst` 也获取正确的值，可以先用 SAC 把数据读进去，待 SAC 把头段更新后，再写回到磁盘中：

```
SAC> r *.SAC
SAC> wh
SAC> q
```

经常会出现这些问题的头段变量，换句话说，SAC 在读入数据时会自动更新的头段变量包括：`depmax`、`depmin`、`depmen`、`e`、`gcarc`、`dist` 等。

11.7 SAC debug

不管是在 SAC 中执行稍复杂的命令，还是写 SAC 宏文件，又或者是在脚本中调用 SAC，都会遇到各种各样奇怪的错误，明明仔细检查了很多遍，执行起来还是有问题。这个时候先不要怀疑 SAC 有 bug，而是要先把自己写的东西好好 debug 一下。

SAC 其实自带了一个 debug 工具，即命令 `echo`。该命令用于控制是否显示 SAC 的输出（即警告信息、错误信息和正常的输出信息）以及输入（包括传递给 SAC 的命令、宏以及对命令的处理）。

以在 Perl 中调用 SAC 为例：


```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;

my $var0 = 3.0;
my $var1 = 5.0;
open(SAC, "|sac");
print SAC "r STA.BHN STA.BHE STA.BHZ \n";
print SAC "ch t0 $var0+$var1\n";
print SAC "w over";
print SAC "q\n";
close(SAC);
```

这个脚本是有问题的，但是对于刚刚写脚本的人来说，可能看不出问题。直接执行会出现如下错误：

```
ERROR 1312: Bad number of files in write file list: 1 3
SAC Error: EOF/Quit
    SAC executed from a script: quit command missing
    Please add a quit to the script to avoid this message
    If you think you got this message in error,
    please report it to: sac-help@iris.washington.edu
```

从这些输出信息里其实看不出来太多有用的信息。

如果加上 “echo on”，脚本如下：

```
#!/usr/bin/env perl
use strict;
use warnings;

my $var0 = 3.0;
my $var1 = 5.0;
open(SAC, "|sac");
print SAC "echo on\n";      # 加了这一行
print SAC "r STA.BHN STA.BHE STA.BHZ \n";
print SAC "ch t0 $var0+$var1\n";
print SAC "w over";
print SAC "q\n";
close(SAC);
```

运行结果如下：

```
r STA.BHN STA.BHE STA.BHZ
ch t0 3+5
w overq
ERROR 1312: Bad number of files in write file list: 1 3
```

(下页继续)

(续上页)

```
SAC Error: EOF/Quit
  SAC executed from a script: quit command missing
  Please add a quit to the script to avoid this message
  If you think you got this message in error,
  please report it to: sac-help@iris.washington.edu
quit
```

此时会显示所有脚本传递给 SAC 来执行的命令，从中，可以很明显地看到两个错误。

一个是“`print SAC "ch $var0+$var1\n"`”，由于使用的是 `print` 语句，perl 会直接做变量替换然后把结果传递给 SAC，因而真正传递给 SAC 的是 `ch t0 3+5`，而不是想象中的 `ch t0 8`，这个错误可以通过使用 `printf` 语句来解决。

另一个是，由于 `print SAC "w over"` 语句中忘了加换行符，导致实际传递给 SAC 的不是 `w over`，而是 `w overq`，即内存中有三个波形文件，而 `write` 命令中却只给了一个文件名，因而出现了错误 1312。

由此可见，`echo` 命令可以帮助用户清楚地知道真正传递给 SAC 的是什么，因而是一个很好的 SAC 调试工具。

11.8 wh 与 w over

将 SAC 数据读入内存，做些许修改，然后再写回到磁盘，这是最常见的操作。有两个命令可以完成将数据写回磁盘的操作，即 `wh` 和 `w over`。

先说说这两者的区别，`w over` 会用内存中 SAC 文件的头段区和数据区覆盖磁盘文件的头段区和数据区，而 `wh` 则只会用内存中 SAC 文件的头段区覆盖磁盘文件中的头段区。

那么这两者该如何用呢？将 SAC 数据读入内存后，如果修改了数据，则必须使用 `w over`；如果仅修改了头段，则使用 `wh` 或者 `w over` 都可以，但是推荐使用 `wh`，原因很有两点：一方面，使用 `wh` 就已经足够完成操作；另一方面，`wh` 与 `w over` 相比，前者只需要写入很少字节的数据，而后者则需要写入更多字节，因而前者在效率上比后者要高很多，尤其是当文件较大较多时。

11.9 修改最大允许的文件数目

默认情况下，SAC 一次性最多只能读入 1000 个数据文件。当要读入的 SAC 文件数目超过 1000 时，就会给出警告并只读取前 1000 个文件，有时会带来一些不必要的麻烦以及难以发现的 bug。

一次最多只能读取 1000 个数据文件这一限制，是在 SAC 源码 `src/inc/mach.h` 中的宏定义 `#define MDFL 1000` 中规定的。因而想要突破这一限制，必须要修改 SAC 的源代码。将默认值 1000 改成更大的值，然后重新编译 SAC 即可。

简单测试了一下，修改后的确可以读取超过 1000 个文件，基本的数据处理命令也可以正

常使用，但尚不确定是否有其他副作用。

11.10 SAC 与脚本的运行速度

以一个 Perl 脚本来解释这个陷阱。该脚本中读取一个文件，做简单操作后保存到新文件中，并删除原文件。实际情况下，当然可以直接覆盖旧文件，此处这样写完全是出于演示目的。

```
#!/usr/bin/env perl
open(SAC, "|sac");
print SAC "r seis.SAC \n";
print SAC "bp c 0.1 5 \n";
print SAC "w seis.SAC.bp \n";
unlink "seis.SAC";
print SAC "q\n";
close(SAC);
```

该脚本看似正确，实际运行时却会报错。出错的根本原因在于 Perl 的运行速度比 SAC 的运行速度快很多。无论是 Perl 还是 Python，或其他脚本语言，调用 SAC 时只是简单地将一堆命令传递给 SAC，而不去管具体命令的执行过程。上面的示例脚本中，Perl 语句是按顺序执行的，在将三个命令传递给 SAC 后，Perl 用 `unlink` 函数删除了原文件，由于 SAC 的运行速度比 Perl 要慢很多，因而“快 Perl”已经删除了文件，“慢 SAC”还没来得及执行命令。故而当“慢 SAC”开始执行命令时，由于文件已被“快 Perl”删除而报错。

解决办法是，在退出 SAC 后再使用 `unlink` 函数，即将 `unlink` 函数放在 `close(SAC)` 语句后。

保护环境，从阅读电子文档开始！

第二部分

命令部分

第 12 章 SAC 命令

12.1 功能命令列表

信息模块

- `comcor` : 控制 SAC 的命令校正选项
- `production` : 控制作业模式选项
- `report` : 报告 SAC 选项的当前状态
- `trace` : 追踪黑板变量和头段变量
- `echo` : 控制输入输出回显到终端
- `history` : 打印最近执行的 SAC 命令列表
- `message` : 发送信息到用户终端
- `quitsub` : 退出子程序
- `about` : 显示版本和版权信息
- `news` : 终端显示关于 SAC 的一些信息
- `quit` : 退出 SAC
- `help` : 在终端显示 SAC 命令的语法和功能信息
- `printhelp` : 调用打印机打印帮助文档
- `inicm` : 重新初始化 SAC
- `transcript` : 控制输出到副本文件

执行模块

- `evaluate` : 对简单算术表达式求值
- `setbb` : 设置黑板变量的值
- `unsetbb` : 删除黑板变量
- `getbb` : 获取或打印黑板变量的值
- `mathop` : 控制数学操作符的优先级
- `macro` : 执行 SAC 宏文件
- `installmacro` : 将宏文件安装到 SAC 全局宏目录中
- `setmacro` : 定义执行 SAC 宏文件时搜索的一系列目录
- `systemcommand` : 从 SAC 中执行系统命令

一元操作模块

- `add` : 为每个数据点加上同一个常数
- `sub` : 给每个数据点减去同一个常数
- `mul` : 给每个数据点乘以同一个常数
- `div` : 对每个数据点除以同一个常数
- `sqr` : 对每个数据点做平方

- `sqrt` : 对每个数据点取其平方根
- `abs` : 对每一个数据点取其绝对值
- `log` : 对每个数据点取其自然对数 ($\ln y$)
- `log10` : 对每个数据点取以 10 为底的对数 ($\log_{10} y$)
- `exp` : 对每个数据点取其指数 (e^y)
- `exp10` : 对每个数据点取以 10 为底的指数 (10^y)
- `int` : 利用梯形法或矩形法对数据进行积分
- `dif` : 对数据进行微分操作

二元操作模块

- `addf` : 使内存中的一组数据加上另一组数据
- `subf` : 使内存中的一组数据减去另一组数据
- `mulf` : 使内存中的一组数据乘以另一组数据
- `divf` : 使内存中的一组数据除以另一组数据
- `binoperr` : 控制二元操作 `addf`、`subf`、`mulf`、`divf` 中的错误
- `merge` : 将多个数据文件合并成一个文件

信号校正模块

- `rq` : 从谱文件中去除 Q 因子
- `rglitches` : 去掉信号中的坏点
- `rmean` : 去除均值
- `rtrend` : 去除线性趋势
- `taper` : 对数据两端应用对称的 `taper` 函数, 使得数据两端平滑地衰减到零
- `rotate` : 将成对的正交分量旋转一个角度
- `quantize` : 将连续数据数字化
- `interpolate` : 对等间隔或不等间隔数据进行插值以得到新采样率
- `stretch` : 拉伸 (增采样) 数据, 包含了一个可选的 FIR 滤波器
- `decimate` : 对数据减采样, 包含了一个可选的抗混叠 FIR 滤波器
- `smooth` : 对数据应用算术平滑算法
- `reverse` : 将所有数据点逆序

数据文件模块

- `funcgen` : 生成一个函数并将其存在内存中
- `datagen` : 产生样本波形数据并储存在内存中
- `read` : 从磁盘读取 SAC 文件到内存
- `readbbf` : 将黑板变量文件读入内存
- `readcss` : 从磁盘读取 CSS 数据到内存
- `readerr` : 控制在执行 `read` 命令过程中的错误的处理方式
- `readhdr` : 从 SAC 数据文件中读取头段到内存
- `write` : 将内存中的数据写入磁盘
- `writebbf` : 将黑板变量文件写入到磁盘
- `writcss` : 将内存中的数据以 CSS 3.0 格式写入磁盘
- `wrihdr` : 用内存中文件的头段区覆盖磁盘文字中的头段区

- `listhdr` : 列出指定的头段变量的值
- `chnhdr` : 修改指定的头段变量的值
- `readtable` : 从磁盘读取列数据文件到内存
- `copyhdr` : 从内存中的一个文件复制头段变量给其他所有文件
- `convert` : 实现数据文件格式的转换
- `cut` : 定义要读入的数据窗
- `cuterr` : 控制坏的截窗参数引起的错误
- `cutim` : 截取内存中的文件
- `deletechannel` : 从内存文件列表中删去一个或多个文件
- `synchronize` : 同步内存中所有文件的参考时刻
- `sort` : 根据头段变量的值对内存中的文件进行排序
- `wild` : 设置读命令中用于扩展文件列表的通配符

图形环境模块

- `saveimg` : 将绘图窗口中的图像保存到多种格式的图像文件中
- `xlim` : 设定图形中 X 轴的范围
- `ylim` : 设定图形中 Y 轴的范围
- `linlin` : 设置 X、Y 轴均为线性坐标
- `loglog` : 设置 X、Y 轴均为对数坐标
- `linlog` : 设置 X 轴为线性坐标, Y 轴为对数坐标
- `loglin` : 设置 X 轴为对数坐标, Y 轴为线性坐标
- `xlin` : 设置 X 轴为线性坐标
- `ylin` : 设置 Y 轴为线性坐标
- `xlog` : 设置 X 轴为对数坐标
- `ylog` : 设置 Y 轴为对数坐标
- `xdiv` : 控制 X 轴的刻度间隔
- `ydiv` : 控制 Y 轴的刻度间隔
- `xfull` : 控制 X 轴的绘图为整对数方式
- `yfull` : 控制 Y 轴的绘图为整对数方式
- `xfudge` : 设置 X 轴范围的附加因子
- `yfudge` : 设置 Y 轴范围的附加因子
- `axes` : 控制注释轴的位置
- `ticks` : 控制绘图上刻度轴的位置
- `border` : 控制图形四周边框的绘制
- `grid` : 控制绘图时的网格线
- `xgrid` : 控制绘图时的 X 方向的网格线
- `ygrid` : 控制绘图时的 Y 方向的网格线
- `title` : 定义绘图的标题和属性
- `gtext` : 控制绘图中文本质量以及字体
- `tsize` : 控制文本尺寸属性
- `xlabel` : 定义 X 轴标签及属性
- `ylabel` : 定义 Y 轴标签及属性
- `plabel` : 定义通用标签及其属性
- `filenumber` : 控制绘图时文件号的显示

- `fileid` : 控制绘图时文件 ID 的显示
- `picks` : 控制时间标记的显示
- `qdp` : 控制低分辨率快速绘图选项
- `loglab` : 控制对数轴的标签
- `beginframe` : 打开 frame, 用于绘制组合图
- `endframe` : 关闭 frame
- `beginwindow` : 启动/切换至指定编号的 X 图形窗口
- `window` : 设置图形窗口位置和宽高比
- `xvport` : 定义 X 轴的视口
- `yvport` : 定义 Y 轴的视口
- `null` : 控制空值的绘制
- `floor` : 对数数据的最小值
- `width` : 控制图形设备的线宽
- `color` : 控制彩色图形设备的颜色选项
- `line` : 控制绘图中的线型
- `symbol` : 控制符号绘图属性

图像控制模块

- `setdevice` : 定义后续绘图时使用的默认图形设备
- `begindevices` : 启动某个图像设备
- `enddevices` : 结束某个图像设备
- `vspace` : 设置图形的最大尺寸和长宽比
- `sgf` : 控制 SGF 设备选项
- `pause` : 发送信息到终端并暂停
- `wait` : 控制 SAC 在绘制多个图形时是否暂停
- `print` : 打印最近的 SGF 文件

图像绘制模块

- `plot` : 绘制单波形单窗口图形
- `plot1` : 绘制多波形多窗口图形
- `plot2` : 产生一个多波形单窗口绘图
- `plotpk` : 绘图并拾取震相到时
- `plotdy` : 绘制一个带有误差棒的图
- `plotxy` : 以一个文件为自变量, 一个或多个文件为因变量绘图
- `plotalpha` : 从磁盘读入字符数据型文件到内存并将数据绘制出来
- `plotc` : 使用光标标注 SAC 图形和创建图件
- `plotsp` : 用多种格式绘制谱数据
- `plotpm` : 针对一对数据文件产生一个“质点运动”图
- `erase` : 清除图形显示区域

谱分析模块

- `hanning` : 对每个数据文件应用一个“hanning”窗
- `mulomega` : 在频率域进行微分操作

- `divomega` : 在频率域进行积分操作
- `fft` : 对数据做快速离散傅立叶变换
- `ifft` : 对数据进行离散反傅立叶变换
- `keepam` : 保留内存中谱文件的振幅部分
- `khronhite` : 对数据应用 Khronhite 滤波器
- `correlate` : 计算自相关和互相关函数
- `convolve` : 计算主信号与内存中所有信号的卷积
- `hilbert` : 应用 Hilbert 变换
- `envelope` : 利用 Hilbert 变换计算包络函数
- `benioff` : 对数据使用 Benioff 滤波器
- `unwrap` : 计算振幅和展开相位
- `wiener` 设计并应用一个自适应 Wiener 滤波器
- `plotsp` : 用多种格式绘制谱数据
- `readsp` : 读取 `writesp` 和 `writespe` 写的谱文件
- `writesp` : 将谱文件作为一般文件写入磁盘
- `bandpass` : 对数据文件使用无限脉冲带通滤波器
- `highpass` : 对数据文件应用一个无限脉冲高通滤波器
- `lowpass` : 对数据文件应用一个无限脉冲低通滤波器
- `bandrej` : 应用一个无限脉冲带阻滤波器
- `fir` : 应用一个有限脉冲响应滤波器

分析工具

- `linefit` : 对内存中数据的进行最小二乘线性拟合
- `correlate` : 计算自相关和互相关函数
- `convolve` : 计算主信号与内存中所有信号的卷积
- `envelope` : 利用 Hilbert 变换计算包络函数
- `filterdesign` : 产生一个滤波器的数字和模拟特性的图形显示, 包括: 振幅, 相位, 脉冲响应和群延迟
- `map` : 利用 SAC 内存中的所有数据文件生成 GMT 地图
- `whiten` : 平滑输入的时间序列的频谱
- `arraymap` : 利用 SAC 内存中的所有文件产生一个台阵或联合台阵的分布图

事件分析模块

- `ohpf` : 打开一个 Hypo 格式的震相文件
- `chpf` : 关闭当前打开的 Hypo 震相拾取文件
- `whpf` : 将辅助内容写入 Hypo 格式的震相拾取文件中
- `oapf` : 打开一个字母数字型震相拾取文件
- `capf` : 关闭目前打开的字符数字型震相拾取文件
- `apk` : 对波形使用自动事件拾取算法 (由连续信号判断是否其中是否包含地震事件)
- `plotpk` : 产生一个用于拾取到时的图
- `mtw` : 决定接下来命令中所使用的测量时间窗
- `marktpk` : 在测量时间窗内测量并标记最大峰峰值
- `marktimes` : 根据一个速度集得到走时并对数据文件进行标记

- [markvalue](#) : 在数据文件中搜索并标记某个值
- [rms](#) : 计算测量时间窗内的信号的均方根
- [traveltime](#) : 根据预定义的速度模型计算指定震相的走时

XYZ 数据模块

- [spectrogram](#) : 使用内存中的所有数据计算频谱图
- [sonogram](#) : 计算一个频谱图, 其等价于同一个谱图的两个不同的平滑版本的差
- [image](#) : 利用内存中的数据文件绘制彩色图
- [loadctable](#) : 允许用户在彩色绘图中选择一个新的颜色表
- [grayscale](#) : 产生内存中数据的灰度图像
- [contour](#) : 利用内存中的数据绘制等值线图
- [zlevels](#) : 控制后续等值线图上的等值线间隔
- [zcolors](#) : 控制等值线的颜色显示
- [zlines](#) : 控制后续等值线绘图上的等值线线型
- [zticks](#) : 用方向标记标识等值线
- [zlabels](#) : 根据等值线的值控制等值线的标记

仪器校正模块

- [transfer](#) : 反卷积以去除仪器响应并卷积以加入其它仪器响应

FK 谱

- [bbfk](#) : 利用 SAC 内存中的所有文件计算宽频频率-波数谱估计
- [beam](#) : 利用内存中的全部数据文件计算射线束

12.2 about

概要

显示 SAC 版本和版权信息

语法

```
ABOUT
```

12.3 abs

概要

对内存中每个数据文件的所有数据点取绝对值

语法

```
ABS
```

说明

此命令会对 SAC 内存块中的所有波形数据的所有数据点取绝对值。取绝对值之后，会重新计算数据的最大值、最小值和均值，并更新头段区的相应头段变量。

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.4 add

概要

为数据文件的每个数据点加上一个常数

语法

```
add [v1 [v2 ... vn]]
```

输入

- v1** 加到第一个文件的常数
- v2** 加到第二个文件的常数
- vn** 加到第 *n* 个文件的常数

缺省值

```
add 0.0
```

说明

该命令给内存中的每个数据文件的所有数据点分别加上一个常数。

对于每个数据文件，这个常数可以是相同的也可以是不同的。若内存块中数据文件的个数比命令中常数的个数多，则余下的所有数据文件将都加上命令中的最后一个常数值；若内存块中数据文件的个数比给出的常数个数少，则多余的常数被忽略。

示例

为了给文件 f1 的每个数据点加上常数 5.1，f2 和 f3 的每个数据点加上常数 6.2：

```
SAC> r f1 f2 f3          # 三个文件
SAC> add 5.1 6.2         # 两个常数
```

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.5 addf

概要

将一组数据加到内存中的另一组数据中

语法

```
ADDF [Newhdr [ON|OFF]] filelist
```

输入

NEWHDR ON|OFF 指定新生成的文件使用哪个文件的头段。**OFF** 表示使用内存中原文件的头段区，**ON** 表示使用 filelist 中文件的头段区。缺省值为 **OFF**
filelist SAC 二进制文件列表

说明

简单地说，该命令要做的就是 $C=A+B$ ，其中 A 是已读入内存的文件，B 是磁盘中要加到 A 的文件，C 是两个文件相加的结果。该命令会将磁盘中的一组文件与内存中的另一组文件分别相加。若内存中的文件数多于 filelist 中文件数，则 filelist 的最后一个文件将加到内存中余下的文件中；若 filelist 中的文件数多于内存中的文件数，则 filelist 中多余的文件将被忽略。

要相加的两个文件必须满足如下条件才能执行加法操作：

- 为等间隔时间序列文件
- 有相同的采样间隔 **delta**
- 有相同的数据点数 **npts**
- 文件开始时间有相同的绝对时刻

若两个待相加的文件的时刻不完全匹配，则会给出警告，但相加操作会继续执行。若采样间隔或数据点数不匹配，默认情况下 SAC 会认为这是致命 (**fatal**) 错误，直接报错退出。可以通过 **binoper** 命令将采样间隔或数据点数的不匹配设置为忽略 (**ignore**)、警告 (**warning**) 或致命 (**fatal**)。

在将不匹配设置为 **ignore** 或 **warning** 的前提下，SAC 会忽略采样周期的不匹配，直接对数据做加法，不论是否使用了 **newhdr on** 选项，都使用第一个数据文件的采样周期作为生成数据的采样周期；对于数据点数不匹配的情况，则取最小的数据点数作为最终结果文件的数据点数。

示例

将一个文件加到其他三个文件中：

```
SAC> r file1 file2 file3
SAC> addf file4
```

将两个文件分别加到另两个文件中：

```
SAC> r file1 file2
SAC> addf file3 file4
```

头段变量

depmin、depmax、depmen、npts、delta

12.6 apk

概要

对波形使用自动事件拾取算法（由连续信号判断是否其中是否包含地震事件）

语法

```
APK [param v [param v] ... ] [Validation ON|OFF]
```

输入

param v 给参数赋值，param 的可能取值在说明中会说到。

VALIDATION ON/OFF 打开/关闭震相检验

缺省值

```
apk c1 0.985 c2 3.0 c3 0.6 c4 0.03 c5 5.0 c6 0.0039 c7 100. c8 -0.1
d5 2. d8 3. d9 1. i3 3 i4 40 i6 3 validation on
```

说明

用于自动震相拾取的算法最初来自于 USGS 的 Rex Allen 的工作。

事件的检测依据是基于信号短期滑动平均值与长期滑动平均值的比值的突变。一旦事件被检测到，这次拾取将被赋予一个可选的验证状态以试图从噪声中区分出真正的事件。一旦检测到的事件的有效性被确认，这次读取到的事件将被计算以决定事件的其他特征。目前只能给出事件持续的时间，如果需要其他比如最大振幅、周期以及衰减率之类的信息也可以加入。注意这里检测的是一次事件而非一个震相！

这个命令的大多数参数永远不需要改变，如果用户想要改进算法这些参数也可以做修改。这些参数中的大多数和参考文献中有相同的含义：

- C1 是用于滤去直流偏差的递归高通滤波器中的常数
- C2 是用于改变特征函数的振幅以及一阶微分的权重的常数
- C3 是用于计算特征函数的短期平均值的时间常数
- C4 是用于计算特征函数的长期平均值的时间常数
- C5 是用于计算参考水平阈值的常数。当信号的短期平均值大于 C5 乘以长期平均值，

那么这样一个信号就是一个有效事件

- C6 是用于计算滤波后数据的滑动平均绝对值的时间常数
- C7 当特征函数的绝对值大于 C7 则认为此台站无效
- C8 是用于确定信号终止的参数。当信号的绝对值低于 C8 的时间超过 D8 秒则认为信号已经终止。目前有两种不同的算法所以 C8 有两种不同的解释。如果 C8 为正，那么终止水平为 C8 乘以事件到达之前的信号的滑动平均绝对值。这个方法对于对于背景噪声很大的台站是很有用的。如果 C8 为负，则终止水平为 C8 的绝对值。如果噪声水平比终止水平低的多，则这种方法将给出不同台站的较为一致的终止判据。
- D5 是一个事件被判定为有效所要达到的最小持续时间的秒数。
- D9 是用于初始化特征函数长期平均值的持续时间值的，单位为秒
- I3、I4 和 I6 是用于震相验证的整型常数，需要保证不被改变

头段变量改变

事件读取到的时间储存在 A（即初动到时）中，检测质量和运动方向储存在 KA 中，事件结束时间储存在 F 中。

示例

```
SAC> fg seis          # 利用这个数据做个例子
SAC> lh a             # 这个数据本身是标有 A 的，即初动到时
a = 1.046400e+01
SAC> apk v on        # apk, 且打开震相验证
CDV IPD0 81 329103824.49 # 台站名, KA 的值, 后面两个不知道是什么
SAC> lh a ka f
a = 1.049000e+01      # 新标记的初动到时, 可以 p 看一下效果
ka = IPD0             # 初动信息, I 表示急始, P 表示初动 P 波,
                      # D 表示初动向下, 0 不清楚
SAC> apk v off       # apk, 关闭震相验证
CDV -123 81 329103824.49 53897
SAC> lh a ka f
a = 1.049000e+01      # 初始震相
f = 5.389773e+06      # 事件结束, 这里的 f 好像有问题?
```

12.7 arraymap

概要

利用 SAC 内存中的所有文件产生一个台阵或联合台阵的分布图

语法

```
ARRAYmap [Array|Coarray]
```

输入

ARRAY 根据头段变量中的偏移 X、Y 值绘制台站分布

COARRAY 根据各台站之间的相对坐标绘制台站分布图

缺省值

```
arraymap array
```

头段数据

下面的两个头段变量必须使用 SAC 宏文件 **wrxyz** 或者与之功能相似的其他函数提前设定，所有的偏移是相对于某个参考点的千米数。

- **USER7**: 向东的偏移 (X)
- **USER8**: 向北的偏移 (Y)

说明

不是很清楚这个命令的作用是什么，对于每个数据来说，需要用宏文件 **wrxyz**¹ 定义头段变量 **user7** 和 **user8**，然后才能利用该命令绘制出 **arraymap**，从命令的名字来理解，应该是绘制某个台站的台站分布图，理论上只需要台站的真实位置即可。不知这个究竟在什么场合要使用。

限制

在 **bbfk** 中允许的最多台站数

12.8 axes

概要

控制注释轴的位置

语法

```
AXES [ON|OFF|ONLY] [All] [Top] [Bottom] [Right] [Left]
```

输入

ON 显示列表中指定的注释轴，其他不变

OFF 不显示列表中指定的注释轴，其他不变

ONLY 只显示列表中指定的注释轴，其他的不显示

ALL 指定所有四个注释轴

TOP 绘图上部的 X 注释轴

BOTTOM 绘图下部的 X 注释轴

RIGHT 绘图右侧的 Y 注释轴

LEFT 绘图左侧的 Y 注释轴

¹ 位于 `$SACaux/macros` 目录中

缺省值

```
axes only bottom left
```

即只有下边和左边使用注释轴

说明

坐标轴可以绘制在一张图四边的任意一或多个边，有很多命令可以控制坐标轴长什么样。坐标轴的注释间隔用 `xdiv` 命令设定（即隔多长显示一个数字），刻度标记的间距可以用 `ticks` 命令单独控制。

`only` 表示仅在后面列表中指定的边上使用注释轴，而 `on` 和 `off` 则表示仅对列表中的边打开或关闭注释轴，对其他不在列表中的边不起作用。

要获得自己想要的效果，使用 `on` 或者 `off` 时你必须要知道当前已经显示的轴有哪些，哪些是你想要打开或关闭的。这是一个有点容易弄错的问题，不如只使用 `only` 加上想要显示的轴更加简单一点。

示例

```
SAC> fg seis
SAC> p          # 看看 SAC 的默认设置，左边和底部有注释
SAC> axes on t  # 打开顶部注释，左边和底部注释依然保留
SAC> p          # 看到的结果是只有顶部注释，没有左边和底部注释，
                # 这里和说明中强调的不一样，应该是程序的 bug，
                # 将 on 认为是 only 的简写了
SAC> axes on a  # 打开所有注释轴
SAC> axes off b # 仅关闭底部注释轴（off 选项和说明是一致的）
SAC> axes only b # 仅显示底部注释轴
```

12.9 bandpass

概要

对数据文件使用无限脉冲带通滤波器

语法

```
BandPass [Butter|BEssel|C1|C2] [Corners v1 v2] [Npoles n] [Passes n]
          [Tranbw v] [Atten v]
```

输入

BUTTER 应用 Butterworth 滤波器

BESSEL 应用 Bessel 滤波器

C1 应用 Chebyshev I 型滤波器

C2 应用 Chebyshev II 型滤波器

CORNERS v1 v2 设定拐角频率分别为 v1 和 v2，即频率通带为 v1-v2

NPOLES n 设置极数为 n，可以取 1 到 10 之间的整数

PASSES n 设置通道数为 n，可以取 1 或 2

TRANBW v 设置 Chebyshev 转换带宽为 v

ATTEN v 设置 Chebyshev 衰减因子为 v

缺省值

```
bandpass butter corner 0.1 0.4 npoles 2 passes 1 tranbw 0.3 atten 30
```

说明

SAC 提供了一系列无限脉冲滤波器 (IIR) 可对数据进行滤波，包括 Butterworth、Bessel、Chebyshev I 型和 Chebyshev II 型滤波器。这些递归数字滤波器都基于传统的模拟滤波器，将模拟滤波器经过双线性变换（一种可以保留模拟滤波器稳定性的数学变换）即可得到数字滤波器。

多数情况下 Butterworth 滤波器都是个不错的选择，因为 Butterworth 滤波器从通带到阻带的转变相对比较尖锐，且群延迟响应相对平缓，因而 Butterworth 滤波是 SAC 中默认的滤波器类型，其 3 dB 点位于指定的截止频率处。

Bessel 滤波器适用于在不使用双通滤波的情况下要求线性相位的情形，其振幅响应不够理想，SAC 中的 Bessel 滤波器经过归一化以保证其 3 dB 点也位于指定的截止频率处。

两个 Chebyshev 滤波器用于需要通带与阻带间具有较为尖锐的转变的情况。尽管他们有较好的振幅响应，但是它们的群延迟响应是 SAC 所有滤波器中最差的。

使用这些滤波器时需要小心。首先，所有的递归滤波器都具有非线性相位响应，会导致滤波后波形的频散，即波形出现畸变。若要求滤波后的波形保留原始相位，则要求滤波器具有零相位。对同一个数据做正向和反向两次滤波，即相当于对数据做了一次零相位滤波，对应于命令中双通道的情况。双通道滤波器的振幅响应，等于单通道滤波器的振幅响应的平方。与此同时，零相位滤波器具有非因果的脉冲响应，会导致滤波后的信号在尖锐的跳起之前附加一个虚假的前驱信号。因而双通滤波后的数据是不能用于拾取震相的跳起到时的，此时，双通滤波不是一个好选择。

其次，当滤波器的通带宽度比数据的 Nyquist 频率小很多时，滤波器会出现数值不稳定，当滤波器的级数增加时问题更加严重。对于需要极窄通带的情形，更可靠的方式是先对数据进行减采样，然后对采样后的数据应用一个通带稍宽一些的滤波器，再将滤波后的数据插值回原始数据的采样率。当滤波通带的带宽降到 Nyquist 频率的百分之几以下时很有必要使用这种策略。

一般来说，随着极数的增加，滤波器从通带到阻带的过渡会更加尖锐。但是，使用极数过大是要付出代价的。随着极数的增加，滤波器的群延迟也会变宽，进而导致滤波后的波形频散更加严重。因而要仔细考虑是否真的需要超过 3 个或 4 个极点的滤波器。

Butterworth 和 Bessel 滤波器的设计特别简单，只需要指定截止频率和极数即可。Chebyshev 滤波器设计起来更复杂一点，除了截止频率和极点数目之外，还需要提供转换带宽以及阻带衰减因子。转换带宽是滤波器通带和阻带之间的区域的宽度。由于双线性变换频率轴的非线性弯曲，递归数字滤波器的转换带宽可能会比设计时指定的要小。在 SAC 里，模拟滤波器的截止频率在双线性变换之后要做补偿以保证其满足设计要求。阻带边界同样也是不准确的。因此，若要精确指定通带边界，在选定截止频率后必须对其进行补偿。阻带衰减因子是通带增益与阻带增益的比值。

示例

应用一个四极 Butterworth 滤波器，拐角频率为 2 Hz 和 5 Hz：

```
SAC> bp n 4 c 2 5
```

在此之后如果要应用一个二极双通具有相同频率的 Bessel：

```
SAC> bp n 2 be p 2
```

头段变量改变

depmin、depmax、depmen

12.10 bandrej

概要

应用一个无限脉冲带阻滤波器

语法

```
BandRej [BUtter|BEssel|C1|C2] [Corners v1 v2] [Npoles n] [Passes n]
        [Tranbw v] [Atten v]
```

输入

BUTTER 应用一个 Butterworth 滤波器

BESSEL 应用一个 Bessel 滤波器

C1 应用一个 Chebyshev I 型滤波器

C2 应用一个 Chebyshev II 滤波器

CORNERS v1 v2 设定拐角频率分别为 v1 和 v2，即频率通带为 v1-v2

NPOLES n 设置极数为 n，可以取 1 到 10 之间的整数

PASSES n 设置通道数为 n，可以取 1 或 2

TRANBW v 设置 Chebyshev 转换带宽为 v

ATTEN v 设置 Chebyshev 衰减因子为 v

缺省值

```
bandrej butter corner 0.1 0.4 npoles 2 passes 1 tranbw 0.3 atten 30
```

说明

参见命令[bandpass](#) 的说明

示例

应用一个四极 Butterworth 滤波器，拐角频率为 2 Hz 和 5 Hz：

```
SAC> br n 4 c 2 5
```

在此之后如果要应用一个二极双通具有相同频率的 Bessel：

```
SAC> br n 2 be p 2
```

头段变量改变

depmin、depmax、depmen

12.11 bbfk

概要

利用 SAC 内存中的所有文件计算宽频频率波数谱估计

语法

```
BBFK [Filter] [NOrmalize] [EPS v] [MLM|PDS] [Exp n] [WAwvenumber v]
      [Size m n] [Levels n] [Db] [Title text] [WRite [ON|OFF fname] [Ssq n]]
```

输入

FILTER 使用最近一次[filterdesign](#) 命令设计的带通滤波器

NORMALIZE 用 Capo 方法归一化协方差矩阵，如果各信号道的振幅差别比较大，这是一个好方法

EPS v 调整协方差矩阵的分量值，矩阵对角线的项是 (1.0+EPS) 的整数倍

MLM 在高分辨率估计中使用最大似然法

PDS 不采用最大似然法的功率谱密度

EXP n 波数谱增加的幂次

WAVENUMBER v 从中采样谱估计的波数目

SIZE m n 极坐标中等值线的尺寸：m 是方位角方向上的采样点数；n 是在波数方向上的采样点数。m、n 必须为偶数，而且其乘积最大限为 40000

LEVELS n 等值线间隔数

DB 以分贝为单位的对数坐标图形

TITLE text 图形标题

WRITE ON|OFF fname 是否计算二维等值线数据并写入磁盘 (xyz 类型的 SAC 文件)。fname 是要写入的文件名或路径名。如果没有指定文件名, 则默认为 BBFK

SSQ n 二维图的尺寸 (取沿着正方形每个边的采样数据点), 最大允许值为 200

缺省值

```
bbfk eps .01 pds exp 1 wvenumber 1.0 size 90 32 levels 11
write off ssq 100
```

头段数据

分情况决定头段的信息:

- 若参考台站设置在 kuser1 中并且其对于所有文件是相同的, 则所有文件的 user7 和 user8 都需要设置为偏移量
- 若所有文件台站纬度 stla 以及台站经度 stlo 都设置了, 则偏移量通过这些经纬度计算, 以第一个文件作为参考台站
- 若所有文件的 user7 和 user8 都设置了, 则它们直接作为偏移量
- 若所有文件的事件纬度 evla 以及事件经度 evlo 都设置了, 则他们用于计算偏移量, 使用第一个台站作为参考台站

输出

polar 输出立即被绘制出 (不保留), square 输出会写入到硬盘。FK 的峰值、反方位角以及波数将分别写入黑板变量 BBFK_AMP、BBFK_BAZIM 以及 BBFK_WVNBR。

错误消息

- 尺寸 m 或者 n 不是一个偶数
- 偏移量 X、Y、Z 未设置在头段变量 user7、user8、user9 中
- 未找到 filterdesign 得到的系数数据, 或者滤波器类型不是 BP

限制

- 台站最多允许有 100 个
- 极性等值线的最大尺寸是 $m \times n = 40000$
- 二维等值线输出的最大尺寸是 $i = 200$

12.12 beam

概要

利用内存中的全部数据文件计算射线束

语法

```
BEAM [Bearing v] [Velocity v] [REfERENCE ON|OFF] lat lon [el]
      [OFFSET REF|USER|STATION|EVENT|CASCADE] [Ec anginc survel]
      [Center x y z] [WRite fname]
```

输入

BEARING v 方位，由北算起的度数

VELOCITY v 速度，单位为 km/s

REFERENCE lat lon el 参考点，打开 REFERENCE 选项并定义参考点，这样其他文件的偏移量以此而定。lat、lon、el 分别代表纬度、经度、深度（下为正）

REFERENCE ON|OFF 开或关 REFERENCE 选项

OFFSET REF 偏移量是相对于 REFERENCE 选项设置的参考点的。要求开启 REFERENCE 选项

OFFSET USER 偏移量直接从 USER7、USER8 以及 USER9 中获取，分别代表纬度、经度以及海拔。这就要求所有文件的 USER7 和 USER8 必须定义。如果设置了 EC 选项，则 OFFSET USER 要求 USER9 必须被设置

OFFSET STATION 偏移量相对于第一个台站的位置，这要求所有文件的 STLA、STLO 必须定义

OFFSET EVENT 偏移量相对于第一个事件的位置，这要求所有文件的 EVLA、EVLO 必须定义

OFFSET CASCADE SAC 将会按照前面给出的顺序考虑决定偏移量的方法，并检查必要的数据是否具备。它将使用第一个满足要求的方法

EC 高程校正。anginc: 入射角，从 Z 轴算起，单位为度（震源距离越远，入射角越小）；survel: 表面介质速度 (km/s)。

CENTER 用于计算射线束的中心台站。X 为距参考台站的东向偏移；Y 为距参考台站的北向偏移；Z 为距参考台站的向上偏移，其单位为 m；

WRITE fname 将射线束写入磁盘

缺省值

```
beam b 90 v 9.0 ec 33 6.0 c 0. 0. 0. w BEAM
```

说明

beam 不覆盖 SAC 内存中的数据，因而当变换方位和速度时这一操作可以重复执行。射线结果写入到磁盘文件中，并且每次可以写到不同的文件。这个设计考虑到了用户的需求，即比较多次使用这一命令的不同结果，以寻找最佳射线束的方位和速度。

头段数据

参见 [bbfk](#) 命令。

错误消息

CENTER 参数缺失偏移量，EC 参数需要正值

12.13 begindevices

概要

启动某个图像设备

语法

```
BeginDevices Sgf|Xwindows
```

输入

SGF SAC 图像文件设备

XWINDOWS X Window 窗口显示系统

说明

该命令用于启动一种图像设备，之后的所有绘图都会被传送到该设备中，直到再次执行 **begindevices** 启动其它图像设备或 **enddevices** 结束该图像设备为止。

SAC 默认使用 **xwindows** 图像设备。具体用法参考 [图像保存](#) 一节的示例。

12.14 beginframe

概要

打开 frame，用于绘制组合图

语法

```
BeginFrame
```

说明

一般情况下，在每次使用绘图命令时，SAC 会对绘图设备执行刷新操作，以清除上一个绘图命令绘制的图像，然后再显示本次命令绘制的图像，这样可以保证多次绘图命令绘制的图像不会重叠在一起。

beginframe 命令会关闭绘图设备的自动刷新功能，直到 **endframe** 命令恢复自动刷新功能为止。在这两个命令中间执行的所有绘图命令所产生的图像将会叠加在一起，形成组合图。

通过这两个命令，并结合 **xvport** 和 **yvport** 定义每次绘图的 viewport，可以很容易地绘制出复杂的组合图。

关于如何绘制组合图以及这几个命令的使用，可以参考[组合图](#)一节。

12.15 beginwindow

概要

启动/切换至指定编号的 X 图形窗口

语法

```
BeginWindow n
```

输入

n 要启用的绘图窗口的编号，目前 **n** 的取值为 1 到 10

缺省值

```
beginwindow 1
```

说明

现在的图形终端或工作站大多支持多窗口，即启动多个窗口，并在每个窗口中显示相同或不同的图像。

[window](#) 命令可以控制每个 X 绘图窗口的位置和形状，而 **beginwindow** 则用于启用该绘图窗口，使得接下来所有的绘图命令的绘图效果都显示在该绘图窗口中，直到再次使用 **beginwindow** 命令切换到另一窗口。若你所选择的绘图窗口没有打开，则 **beginwindow** 会首先创建这个窗口。

需要注意的是，**window** 命令只在绘图窗口被创建之前起作用，即 **window** 命令是一个参数设定类命令。在多数系统上，均允许通过鼠标拖曳的方式动态改变这些窗口的大小。一般情况下，在动态改变窗口大小或比例之后，当前窗口的绘图会自动重画以适应新窗口。

需要注意的是，这个命令没有与之对应的 **endwindow**。

12.16 benioff

概要

对数据使用 Benioff 滤波器

语法

```
BENIOFF
```

说明

1960 年左右，美国空军 VELA 计划中使用了一些可变磁阻短周期地震仪，这些仪器以加州理工的 Hugo Benioff 教授命名。其自然频率为 1 Hz，与一个电流计耦合在一起（自然频率为 5 Hz）。耦合因子的标称值为 0.01，其响应在 1 Hz 到 5 Hz 频段内近乎为平的。

该命令生成的滤波器是 Benioff 短周期地震仪的数字等效，用于将宽频带地震数据模拟成短周期系统。

该滤波器的响应函数如下图所示：

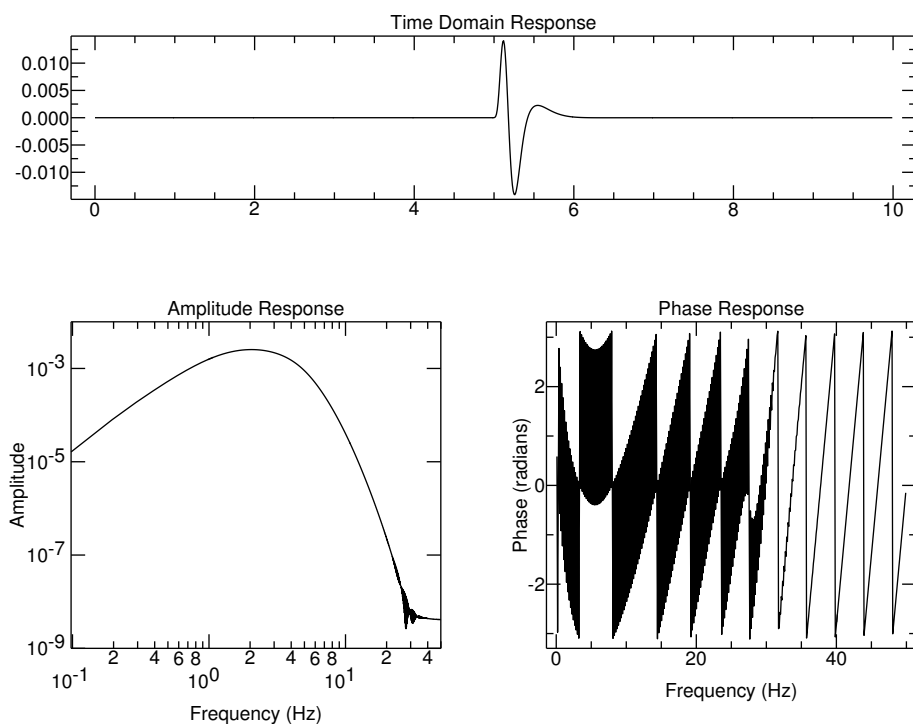


图 12.1: Benioff 滤波器的响应函数

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.17 binoperr

概要

控制二元文件操作 [addf](#)、[subf](#)、[mulf](#)、[divf](#) 中的错误

语法

```
BINOPERR [Npts Fatal|Warning|Ignore] [Delta Fatal|Warning|Ignore]
```

该命令可以简写为 **boec**

输入

NPTS 修改数据点数不相等的错误条件

DELTA 修改采样周期不相等的错误条件

FATAL 设置错误条件为“致命”

WARNING 设置错误条件为“警告”

IGNORE 设置错误条件为“忽略”

缺省值

```
binoperr npts fatal delta fatal
```

说明

对文件执行二元操作（`addf`、`divf` 等）时，SAC 会检测两个文件的数据点数和采样周期是否匹配。该命令可以控制 SAC 在遇到不匹配时该如何处理：

- 若设置错误条件为 `fatal`，则 SAC 在遇到错误时将停止执行当前命令，忽略当前行的其它其余命令，输出错误信息到终端并将控制权交还给用户
- 若设置错误条件为 `warning`，则遇到错误时会发送一个警告消息，程序内部尽可能纠正错误并继续执行
- 若设置错误条件为 `ignore`，则 SAC 会自动纠正错误并继续执行而不输出任何警告消息

在设置错误条件为 `warning` 或 `ignore` 的情况下，若要操作的两个数据文件的数据点数不匹配，SAC 会使用数据点最少的那个文件的数据点数作为最终结果文件的数据点数，以保证正常操作；若要操作的两个文件采样周期不匹配，则无论是否使用了 `newhdr on` 选项，SAC 都会使用第一个数据文件的采样周期作为结果文件的采样周期。

示例

假定 `file1` 有 1000 个数据点，`file2` 有 950 个数据点：

```
SAC> binoperr npts fatal
SAC> read file1
SAC> addf file2
ERROR: Header field mismatch: NPTS file1 file2
```

上例中由于数据点数不匹配导致文件加法未执行，假设你输入：

```
SAC> binoperr npts warning
SAC> addf file2
WARNING: Header field mismatch: NPTS file1 file2
```

则仅对文件的前 950 个数据点执行加法操作。

12.18 border

概要

控制图形四周边框的绘制

语法

```
BORDER [ON|OFF]
```

输入

ON|OFF 绘制/不绘制图形四周的边框

缺省值

```
border off
```

说明

参考[图像外观](#)一节。

12.19 capf

概要

关闭目前打开的字符数字型震相拾取文件

语法

```
CAPF
```

12.20 chnhdr

概要

修改指定的头段变量的值

语法

```
ChnHdr [FILE n1 n2 ...] field v [field v ...] [ALLT v]
```

输入

FILE n1 n2 只修改内存中的指定文件的头段变量，**n** 为内存中文件的文件号

field v SAC 头段变量名及其值¹

¹ 为了保证数据内部一致性，以下头段变量的值不可用该命令修改：nvhdr、npts、nwfid、norid 和

ALLT v 将所有已定义的时间相关头段变量的值加 v 秒，同时将参考时刻减去 v 秒

说明

关于值 v 的说明：

- 头段变量的类型和值的类型必须匹配；
- 对于有内部空格的字符串要用单引号括起来；
- 逻辑型头段变量的取值为 TRUE 或 FALSE，YES 或 NO 也可以接受
- 对于相对时间头段变量 (B、E、O、A、F、Tn)，v 可以是相对参考时刻的时间偏移量（浮点型），也可以使用绝对时刻的形式 GMT v1 v2 v3 v4 v5 v6，其中 v1、v2、v3、v4、v5、v6 是 GMT 年、一年的第一天、时、分、秒、毫秒。如果 v1 是两位整数，SAC 假定其为当前世纪，除非那个时间是未来时间，那种情况下 SAC 假定是上个世纪，最好还是用 4 位整数表示年。
- 对于任意类型的头段变量，均可以设置其值为 undef，使头段变量回到未定义状态

该命令允许你修改指定的一个或多个文件的头段变量值。在未指定文件号的情况下，则对内存中的所有文件进行操作。要将内存中修改后的头段覆盖磁盘文件的头段，需要使用 `write` 或 `writ HDR` 命令，SAC 会对新值做有效性检查，不过你可以使用 `list HDR` 自己检查。

头段中用 6 个变量定义了参考时刻，这是 SAC 中唯一的绝对时刻，其它时刻都被转换成相对于参考时刻的相对时间。可以使用 `ALLT v` 修改参考时刻以及相对时间。参考时间被减去了 v 秒，相对时间被加上了 v 秒，这保证了数据的绝对时刻不发生改变。为了方便，你可以通过输入绝对时刻而非相对时间来改变时间偏移变量的值。绝对时刻首先被转换为相对时间，然后再存入头段中。

示例

修改内存中所有文件的事件经纬度、事件名：

```
SAC> ch evla 34.3 evlo -118.5
SAC> ch kevnM 'LA goes under'
```

修改第二、四个文件的事件经纬度、事件名：

```
SAC> ch file 2 4 EVLA 34.3 EVLO -118.5
SAC> ch file 2 4 KEVNM 'LA goes under'
```

设定初动到时无定义状态：

```
SAC> ch a undef
```

假设你知道事件的 GMT 起始时间，你想要快速改变头段中所有的时间变量，使得发震时刻是 0 即参考时间为发震时刻，并且所有的相对时间根据这个时间去纠正相对值。

nevid

首先用 GMT 选项设置事件起始时间：

```
SAC> ch o GMT 1982 123 13 37 10 103
```

现在使用 `listhdr` 检查发震时刻 `o` 相对于当前参考时间的秒数：

```
SAC> lh o
o = 123.103
```

现在使用 ALLT 选项从所有的偏移时间中减去这个值，并加到参考时间上，同时需要改变描述参考时间类型的字段：

```
SAC> ch allt -123.103 iztype i0
```

注意这里的负号意味着从偏移时间中减去这个值。

更方便的做法是直接引用头段变量的值：

```
SAC> ch allt (0 - &1,o&) iztype I0
```

12.21 chpf

概要

关闭当前打开的 HYPO 震相拾取文件

语法

```
CHPF
```

说明

自动附加指令 `card "10"` 到被关闭的文件的结尾。

12.22 color

概要

控制彩色图形设备的颜色选项

语法

```
COlOr [ON|OFF|color] [Increment [ON|OFF]] [Skeleton color] [Background color]
      [List Standard|colorlist]
```

`color` 是下面中的一个：

```
White|Red|Green|Yellow|BLUe|Magenta|Cyan|BLAck
```

这里有些参数在缩写的情況下可能会有歧义，请谨慎使用，且 **LIST** 选项必须放在命令的最后。

输入

ON 打开颜色选项但是不改变其他选项

OFF 关闭颜色选项

color 打开颜色选项并将数据设置为颜色 **color**

INCREMENT ON 每个数据文件绘出后，根据 **colorlist** 的顺序改变颜色

INCREMENT OFF 不改变数据颜色

SKELETON color 按照标准颜色名或颜色号修改边框颜色

BACKGROUND color 修改背景色为 **color**¹

LIST colorlist 改变颜色列表，将数据颜色设置为列表中第一个颜色，并打开颜色开关

LIST STANDARD 将颜色列表设为标准列表，将数据颜色设置为列表中第一个颜色，并打开颜色开关

缺省值

```
color black increment off skeleton black background white list standard
```

说明

该命令控制设备的颜色属性，数据颜色是用于绘制这个数据文件的颜色。当一个数据文件绘制完毕后，数据颜色可以根据颜色列表自动改变。**skeleton** 颜色是用于绘制注释轴、标题、网格、框架的颜色。背景色是空框架在未绘制任何图形之前的颜色。

多数情况下你会选择标准颜色名，比如 **red**，这是与图形设备无关的。然而有时候你可能想选择一个非标准颜色，比如 **aquamarine**，这个可以将颜色表装入图形设备来实现。

这个表将特定的颜色、亮度、对比度等与一个数字联系起来，然后你就可以通过设定对应的整数值选择 **aquamarine** 作为你的绘图的一个部分的颜色，这个需要点工作量，可是如果你喜欢，这就值得。

如果你正在同一张图上绘制多个数据文件，通过 **INCRMENT** 选项可以使得不同数据有不同的颜色。标准颜色表顺序如下：

```
RED, GREEN, BLUE, YELLOW, CYAN, MAGENTA, BLACK
```

示例

为了使数据颜色从红色开始不断变换：

¹ 白色背景与黑色线条对比强烈，可以考虑设置背景色为 **cyan**

```
SAC> color red increment
```

为了设置数据颜色为红色，背景白色，蓝色边框：

```
SAC> color red background white skeleton blue
```

为了设置一个数据颜色不断变换，颜色列表为 red、white、blue，背景色为 aquamarine：

```
SAC> color red increment background 47 list red white blue
```

上面的例子假设 aquamarine 是颜色表的 47 号。

12.23 comcor

概要

控制 SAC 的命令校正选项

语法

```
COMCOR [ON|OFF]
```

缺省值

```
comcor off
```

输入

ON|OFF 打开/关闭命令校正选项

缺省值

```
comcor off
```

说明

SAC 会检查你输入的每个命令的格式和内容。当 SAC 发现错误时，会给你发送一个错误消息并告诉错误是原因及其位置。若开启了命令校正选项，SAC 将允许你修正这个命令然后 SAC 自动重新执行它。若关闭校正，SAC 只是打印错误消息，将控制权返回给你。

12.24 contour

概要

利用内存中的数据绘制等值线图

语法

```
CONTOUR [Aspect ON|OFF]
```

输入

ASPECT ON 打开视图比开关。当这个开关打开时，等值线图的视口将会调整保持数据中 Y 与 X 的比值

ASPECT OFF 关闭视图比开关，这时将使用整个视口

缺省值

```
contour aspect off
```

说明

这个命令用于绘制二维数组数据的等值线图，包括 [spectrogram](#) 命令的输出。这个文件操作的 SAC 文件必须 “XYZ” 类型的（SAC 头段中 IFTYPE 为 IXYZ）。有些命令可以控制数据显示的方式：

- [zlevels](#) 控制等值线的数目以及间隔
- [zlines](#) 控制等值线的线型
- [zlabels](#) 控制等值线标签
- [zticks](#) 控制方向标记
- [zcolors](#) 控制等值线颜色

根据 `contour` 选项的不同，有两种不同的绘制等值线算法。一种快速扫描方法用于既不选择实线型也没有时标和标识的情况。另一种慢一点的方法，在绘图之前要组合全部的线段。你可以使用快速扫描方法粗看你的数据，然后选择其他选项绘制最终图形。

示例

参考[等值线图](#)中的相关示例。

头段变量改变

要求：iftype（为 “IXYZ”）、nxsize、nysize

使用：xminimum、xmaximum、yminimum、ymaximum

12.25 convert

概要

实现数据文件格式的转换

语法

```
CONVert [FROM] [format] infile [TO [format] outfile] | [OVER [format]]
```

输入

infile 输入文件名

outfile 输出文件名

OVER 覆盖输入文件

format 可以取 SAC 或 ALPHA，分别表示二进制格式和字母数字格式的文件

缺省值

```
convert from sac infile over sac
```

说明

该命令将单个文件从一种格式转换为另一种格式。该命令已经逐渐被 [read](#) 和 [write](#) 命令所取代，`convert` 命令已经不再需要，保留该命令只是为了兼容性考虑。

12.26 convolve

概要

计算主信号与内存中所有信号的卷积

语法

```
CONVolve [Master name|n] [Number n] [Length ON|OFF|v]  
[Type Rectangle|HAMming|HANning|Cosine|Triangle]
```

输入

MASTER name|n 通过文件名或文件号指定某文件为主文件，内存中的所有文件将与主文件进行卷积

NUMBER n 设置卷积窗的数目

LENGTH ON 打开/关闭固定窗长选项开关

LENGTH v 打开固定窗长选项开关，并设置窗长度为 *v* 秒

TYPE RECTANGLE 对每个窗应用一个矩形函数，这等价于不对窗加上函数

TYPE HAMMING|HANNING|COSINE|TRIANGLE 对每个窗应用 XX 函数

缺省值

```
convolve master 1 number 1 length off type rectangle
```

说明

该命令允许用户指定一个主信号，并将主信号与自己及其它信号做卷积。如果内存中有 N 个 SAC 文件，则输出文件为 N 个文件与主文件卷积的结果。卷积公式如下，

$$CV(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t - \tau)d\tau$$

需要注意的是，实际代码中该卷积在频率域完成，且没有进行归一化。内存中所有的信号需要有相同的 **delta**。

该算法假定所有的时间序列都是因果的，因此如果你想要将信号卷积上一个 boxcar 函数（非因果低通滤波器，可用于平滑合成波形中的尖峰），输出信号将出现半个 boxcar 宽度的时移。

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.27 copyhdr

概要

从内存中的一个文件复制头段变量给其他所有文件

语法

```
COPYHDR [FROM name|n] hdrlist
```

输入

FROM name 从内存中文件名为 **name** 的文件中复制头段变量

FROM n 从内存中第 **n** 个文件中复制头段变量

hdrlist 要复制的头段变量列表

缺省值

```
copyhdr from 1
```

说明

该命令允许你从内存中的一个文件复制任意头段变量值到内存中其他所有文件，让数据有相同的头段使得数据易于处理。

示例

假设你使用 `ppk` 命令在文件 `FILE1` 中标记了多个时间，并将其储存到头段变量 `T3` 和 `T4` 中。为了将这些时间标记复制到 `FILE2` 和 `FILE3` 中：

```
SAC> r FILE1
SAC> ppk
SAC> ... use cursor to mark times T3 and T4.
SAC> r more FILE2 FILE3
SAC> copyhdr from 1 T3 T4
```

假设你读取了很多文件，想要复制文件 `ABC` 中的头段变量 `evla` 和 `evlo` 到其他所有文件中去，这时使用文件名而非数字会更简单：

```
SAC> copyhdr from abc stla stlo
```

12.28 correlate

概要

计算自相关和互相关函数

语法

```
CORrelate [Master name|n] [Number n] [Length ON|OFF|v] [NOrmalized]
          [Type Rectangle|HAMming|HANning|Cosine|Triangle]
```

输入

MASTER name|n 通过文件名或文件号指定主文件，所有文件将与此文件做相关

NUMBER n 设置相关窗的个数

LENGTH ON|OFF 打开/关闭固定窗长选项开关

LENGTH v 打开固定窗长选项开关，并将窗长度设置为 `v` 秒

NORMALIZED 对相关结果进行归一化

TYPE RECTANGLE 给每个窗应用矩形函数，其等价于不对窗加函数

TYPE HAMMING|HANNING 对每个窗应用 Hamming/Hanning 函数

TYPE COSINE 对每个窗的前后 10% 的数据点应用余弦函数

TYPE TRIANGLE 对每个窗应用三角函数

缺省值

```
correlate master 1 number 1 length off type rectangle
```

说明

该命令允许用户指定内存中的某个信号为主信号，并将主信号与内存中的所有信号（包括主信号自身）进行相关。主信号与自身计算得到自相关函数，与其他信号计算得到互相关

函数。

两个信号之间的互相关函数定义如下：

$$Cor(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(\tau)g(t + \tau)d\tau$$

互相关函数的计算可以在时间域或频率域完成，该命令在频率域计算信号间的相关函数。

该命令的窗特性允许你计算对多个窗计算平均相关函数，其中窗的数目以及窗函数均可以指定。当窗特性被打开时，会将信号划分为 n 个固定长度的窗，计算每个窗的互相关函数，然后将所有的互相关函数做平均、截取到与原信号相同的数据长度，并替换内存中的原始数据文件。

当窗长度（LENGTH 选项）以及窗数目（NUMBER 选项）超过文件中的数据点数时，会自动计算窗之间的重叠。缺省情况下，此窗特性是关闭的。

使用归一化选项，会对相关函数做归一化，最终得到的结果位于 -1 到 1 之间，由此可以得到常用的互相关系数。

示例

以内存中第三个文件为主文件计算互相关函数：

```
SAC> r file1 file2 file3
SAC> cor master 3
```

也可以通过文件名来指定主文件。

假设有两个数据文件，每个包含 1000 个噪声数据。将数据划分为无重叠的 10 个窗，每个窗包含 100 个数据点，且对窗应用 hanning 函数，并计算 10 个窗的平均相关函数：

```
SAC> r file1 file2
SAC> cor type hanning number 10
```

为了使窗之间有 20% 的混叠，可以设置窗长度为 120 个数据点。假设数据采样周期为 0.025（即每秒 40 个采样点），则窗长为 3 秒：

```
SAC> r file1 file2
SAC> cor type hanning number 10 length 3.0
```

下面的例子计算了两个数据之间的归一化互相关函数，并从中提取出了互相关系数：

```
SAC> r file1 file2
SAC> cor norm # 归一化互相关
SAC> setbb cc (max &2,depmax (abs &2,depmin)) # 取互相关函数的极值
# 作为互相关系数
```

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.29 cut

概要

定义要读入的数据窗

语法

```
CUT [ON|OFF|pdw|SIGNAL]
```

输入

pdw 打开截窗选项并修改pdw

ON 打开截窗选项但不改变 pdw

OFF 关闭截窗选项

SIGNAL 等效于设置 pdw 为 A -1 F 1，即 a 前一秒到 f 后一秒的数据窗

缺省值

```
cut off
```

说明

cut 命令仅设置了要读取的时间窗选项，并不对内存中的数据进行截取。因而，若要该命令起作用，需要在 cut 命令设置时间窗后使用 read 命令。与此相反，cutim 命令会在命令执行时直接对内存中的数据进行截取。

若截窗选项为关，则读取整个文件；若截窗选项为开，则只读取由 pdw 定义的部分。

如果你想对一组有不同参考时刻的文件使用同样的时间窗，必须在执行 cut 前先使用synchronize 命令使所有文件具有相同的参考时刻。synchronize 命令修改了文件的头段使得所有文件具有相同的参考时刻，并调整所有相对时间。因而，你需要先读取所有文件，执行 synchronize 命令，使用writehdr 将修改后的头段写入到磁盘文件中，然后再执行 cut 命令，并读取数据，这样才能得到正确的结果。

示例

下面将用一系列示例来展示 cut 命令的常见用法。首先，先生成测试用的示例数据：

```
SAC> fg seis
SAC> w seismo.sac
```

直接读取文件，不做任何截窗操作：

```
SAC> r seismo.sac
SAC> lh b e a kztime npts
      b = 9.459999e+00
      e = 1.945000e+01
      a = 1.046400e+01
  kztime = 10:38:14.000
    npts = 1000
```

截取 b 到 e 之间的波形，等效于不做任何截窗操作：

```
SAC> cut b e
SAC> r seismo.sac
SAC> lh b e a kztime npts
      b = 9.459999e+00
      e = 1.945000e+01
      a = 1.046400e+01
  kztime = 10:38:14.000
    npts = 1000
```

截取文件的前 3 秒：

```
SAC> cut b 0 3
SAC> r seismo.sac
SAC> lh b e a kztime npts
      b = 9.459999e+00
      e = 1.246000e+01
      a = 1.046400e+01
  kztime = 10:38:14.000
    npts = 301
```

截取文件开始的 100 个数据点：

```
SAC> cut b n 100
SAC> r
SAC> lh b e a kztime npts
      b = 9.459999e+00
      e = 1.045000e+01
      a = 1.046400e+01
  kztime = 10:38:14.000
    npts = 100
```

截取初动前 0.5 秒到初动后 3 秒的数据：

```
SAC> cut a -0.5 3
SAC> r
SAC> lh b e a kztime npts
```

(下页继续)

(续上页)

```

b = 9.959999e+00
e = 1.346000e+01
a = 1.046400e+01
kztime = 10:38:14.000
npts = 351

```

截取数据的第 10 到 15 秒（相对于参考时刻）：

```

SAC> cut 10 15
SAC> r ./seismo.sac
SAC> lh b e a kztime npts
      b = 9.999999e+00
      e = 1.500000e+01
      a = 1.046400e+01
kztime = 10:38:14.000
npts = 501

```

先截取数据的最开始前 3 秒，再截取接下来的 3 秒：

```

SAC> cut b 0 3
SAC> r ./seismo.sac
SAC> w tmp.1
SAC> cut b 3 6
SAC> r
SAC> w tmp.2
SAC> cut off
SAC> r ./tmp.?
./tmp.1 ...tmp.2
SAC> lh b e a kztime npts

FILE: ./tmp.1 - 1
-----
      b = 9.459999e+00
      e = 1.246000e+01
      a = 1.046400e+01
kztime = 10:38:14.000
npts = 301

FILE: ./tmp.2 - 2
-----
      b = 1.246000e+01
      e = 1.546000e+01
      a = 1.046400e+01
kztime = 10:38:14.000
npts = 301

```

当要截取的窗超过了文件的时间范围时，可以使用 `cuterr` 命令的 `FILLZ` 选项，在文件的

开始或结尾处补 0，再读入内存。

```
SAC> r N11A.lhz
SAC> lh npts
      npts = 3101

SAC> cuterr fillz; cut b n 4096
SAC> r
SAC> lh npts
      npts = 4096
```

限制

目前不支持非等间隔文件或谱文件的截断。该命令对 ASCII 格式的文件无效。

12.30 cuterr

概要

控制坏的截窗参数引起的错误

语法

```
CUTERR FAtal|Usebe|Fillz
```

输入

FATAL 将截窗错误设置为致命

USEBE 将坏的起始和结束截窗参数设置为文件开始和文件结束

FILLZ 在文件开始时间之前或文件结束时间之后填补适当数目的 0 以弥补坏的截窗参数

缺省值

对于 SSS 子程序默认值为 **FILLZ**，其他的默认值为 **USEBE**

说明

这个命令控制由于坏的截窗参数引起的错误条件。可以将这些错误定义为致命错误。若裁剪参数的起始值或结束值在文件头段中未定义，则可以选择为 **USEBE**。若定义了要截取的时间窗但是其截窗起始值小于文件起始值或者截窗参数结束值大于文件结束值，则可以分别用文件起始结束值代替截窗参数，或者也可以使用 **FILLZ** 在文件前后补适当的 0。

示例

假设文件 FILE1 起始时间为 B=25 s，初动到时 A=40 s，采样率为 0.01 s。

```
SAC> cut a 20 e
SAC> read file1
```

截窗起始值为 20 s，产生了一个错误条件。在 USEBE 模式下，截窗起始值将替换为 25 s (即 B)。在 FILLZ 模式下，在数据之前将插入 500 个零值 (5 秒钟，每秒 100 个点)，截窗起始值保持为 20 s。

12.31 cutim

概要

截取内存中的文件

语法

```
CUTIM pdw [pdw ... ]
```

输入

pdw 要截取的时间窗，参考[pdw](#)

缺省值

如果起始或结束 **offset** 省略则认为其为 0，如果起始参考值省略则认为其为 Z，如果结束参考值省略则认为其值与起始参考值相同。

说明

cut 命令设置截窗选项，仅对即将读取的文件进行截窗，而对内存中的数据没有效果。**cutim** 则在这个命令给出的时候对内存中的数据进行截窗操作。

用户可以用[read](#) 读入文件，然后用 **cutim** 对内存中的文件直接进行截窗。**cutim** 也允许使用多个截取区间，用户可以读三个文件到内存，然后使用有 4 个截取区间的 **cutim** 命令，最终内存中将得到 12 个文件。

示例

下面的宏文件展示了 **cutim** 命令的常见用法：

```
fg seismo
echo on
* no cutting
lh b e a kztime
* begin to end---same as not cutting.
cutim B E
lh b e a kztime
fg seismo
```

(下页继续)

(续上页)

```

* First 3 secs of the file.
cutim B 0 3
lh b e a kztime
fg seismo
* From 0.5 secs before to 3 secs after first arrival
cutim A -0.5 3
lh b e a kztime
fg seismo
* From 0.5 to 5 secs relative to disk file start.
cutim 0.5 5
lh b e a kztime
fg seismo
* First 3 secs of the file and next 3 sec
cutim b 0 3 b 3 6
lh b e a kztime
pl

```

限制

目前不支持截取非等间隔数据或谱文件

BUGS

- 执行该命令会错误地删除内存中的全部波形数据 (v101.6a)

12.32 datagen

概要

产生样本波形数据并储存在内存中

语法

```
DataGen [MORE] [SUB Local|Regional|Teleseis] [filelist]
```

输入

MORE 将新生成的样本数据放在内存中旧文件后。若省略此项，则新数据将替代内存中的旧数据

SUB LOCAL|REGIONAL|TELESEIS 要生成的数据的子类型，每个子类型对应不同的样本数据

filelist 样本数据文件列表。每个子类型可选的文件列表在后面给出

说明

SAC 提供了一些样本地震数据以供用户学习时使用，该命令将读取一个或多个样本地震数据到内存中。事实上，该命令与 `read` 命令类似，只是该命令是从特殊的数据目录

(`$SACAUX/datagen`) 中读取文件。

该命令提供了三种子类型，分别是 `local`、`regional` 和 `teleseis`，分别对应近震、区域地震和远震。不同的子类型所包含的数据文件也不同。

LOCAL

该 `local` 事件发生在加州的 Livermore Valley，是一个很小的无感地震 (ML=1.6)，其被 Livermore Local Seismic Network (LLSN) 所记录。

LLSN 拥有一系列垂直分量和三分量台站。该数据集中包含了 9 个三分量台站的数据。数据时长 40 秒，每秒 100 个采样点。台站信息、事件信息、p 波及尾波到时都包含在头段中，这些文件包括：

```
cal.z, cal.n, cal.e
cao.z, cao.n, cao.e
cda.z, cda.n, cda.e
cdv.z, cdv.n, cdv.e
cmn.z, cmn.n, cmn.e
cps.z, cps.n, cps.e
cva.z, cva.n, cva.e
cvl.z, cvl.n, cvl.e
cvy.z, cvy.n, cvy.e
```

REGIONAL

该区域地震发生在 Nevada，被 Digital Seismic Network (DSS) 所记录。DSS 包含了美国西部的四个宽频带三分量台站。数据包含了从发震前 5 秒开始的为 300 秒地震数据，每秒含 40 个采样点，文件名为：

```
elk.z, elk.n, elk.e
lac.z, lac.n, lac.e
knb.z, knb.n, knb.e
mnv.z, mnv.n, mnv.e
```

TELESEIS

该远震事件于 1984 年 9 月 10 日发生在加州北海岸 Eureka 附近，其为中等偏大的地震 (ML 6.6、MB 6.1、MS 6.7)，多地有感。该数据集中包含了 Regional Seismic Test Network (RSTN) 的 5 个台站的中等周期和长周期数据（其中 `cpk` 台站的数据无法获取，`sdk` 台站的长周期数据被截断）。这个数据集的数据时长 1600 秒，长周期数据每秒 1 个采样点，中等周期数据每秒 4 个采样点。文件包括：

```
ntkl.z, ntkl.n, ntkl.e, ntkm.z, ntkm.n, ntkm.e
nykl.z, nykl.n, nykl.e, nykm.z, nykm.n, nykm.e
onkl.z, onkl.n, onkl.e, onkm.z, onkm.n, onkm.e
sdkl.z, sdkl.n, sdkl.e, sdkm.z, sdkm.n, sdkm.e
```

示例

下面的示例展示了一些基本的用法：

```
SAC> dg sub l cal.z      # 单个近震 Z 分量数据
SAC> dg sub r *.z       # 区域地震多台 Z 分量数据
SAC> dg sub t sdkl.?    # 远震的单台三分量数据
```

生成一堆波形数据，并保存数据到磁盘中：

```
SAC> dg sub l cdv.e cdv.n cdv.z
SAC> w cdv.e cdv.n cdv.z
```

在写文件时，需要手动指定文件名列表，当文件很多时，就会变得很麻烦。可以利用 [write](#) 命令的语法简化这一命令：

```
SAC> dg sub local *
SAC> w delete /opt/sac/aux/datagen/local/
```

`delete` 选项的作用是从原始的文件名中删去 `/opt/sac/aux/datagen/local/`，只留下文件名。

12.33 decimate

概要

对数据做减采样

语法

```
DECimate [n] [Filter ON|OFF]
```

输入

n 设置减采样因子为 n ，即每 n 个点中取一个点， n 取值范围为 2 到 7

FILTER ON|OFF 打开/关闭抗混叠 FIR 滤波器

缺省值

```
decimate 2 filter on
```

说明

此命令用于对内存中的数据进行减采样，减采样因子 n 表示从每 n 个数据点中取一个点，因而经过减采样之后的数据点数近似为 $npts/n$ 个。减采样因子的允许取值为 2 到 7，为了得到更大的减采样因子，可以多次执行该命令。

根据采样定理：

如果信号是带限的，并且采样频率大于信号带宽的 2 倍，那么，原来的连续信号可以从采样样本中完全重建出来。

若不满足此采样条件，采样后信号的频率就会重叠，即高于采样频率一半的频率成分将被重建成低于采样频率一半的信号。这种频谱重叠导致的失真称为混淆效应。

该命令提供了一个可选的 FIR 滤波器对数据进行低通滤波，以避免减采样过程中可能出现的混淆效应。可用的 FIR 滤波器的具体参数位于 `$SACHOME/aux/fir/decn` 中，这些滤波器是经过精心设计的，保留了相位信息。使用 FIR 滤波器有时会在数据的两端产生瞬时跳变，因而减采样的结果需要在图形界面下人工审核。只有当高频响应的准确度不重要的时候（比如绘图时），才可以关闭 FIR 滤波器。

示例

对数据减采样 42 倍：

```
SAC> r file1
SAC> decimate 7      # 减采样因子为 7 时 FIR 滤波器偶尔不稳定，慎用！
SAC> decimate 6
```

头段变量

npts、delta、e、depmin、depmax、depmen

12.34 deletechannel

概要

从内存中的文件列表中删除一个或多个文件

语法

```
DeleteChannel ALL
```

或

```
DeleteChannel fname|fno|range [fname|fno|range ...]
```

输入

ALL 删除内存中全部文件

fname 要删除文件的文件名

filenumber 要删除文件的文件号。第一个文件的文件号是 1

range 要删除文件的文件号范围，范围用破折号分开，如 11-20

示例

```
dc 3 5 # 删除第 3、5 个文件
dc S001.sz S002.sz # 删除这些名字的文件
dc 11-20 # 删除第 11 至 20 个文件
dc 3 5 11-20 S001.sz S002.sz # 删除上面的全部文件
```

12.35 dif

概要

对数据进行微分

语法

```
DIF [Two|THree|Five]
```

输入

TWO 使用两点差分算子
THREE 使用三点差分算子
FIVE 使用五点差分算子

缺省值

```
dif two
```

说明

该命令通过对数据应用差分算法实现数据的微分操作，要求数据必须是等间隔采样的时间序列文件。微分会使位移量变成速度量，速度量变成加速度量，因而微分的同时会修改头段变量 `idep` 的值。

两点差分算法：

$$Out(j) = \frac{Data(j+1) - Data(j)}{\Delta}$$

两点差分算子不是中心差分算法。此算法的最后一个输出值是未定义的，SAC 的处理方式是：令数据点数减 1，文件起始时间 `B` 增加半个采样周期。

三点（中心两点）差分算法：

$$Out(j) = \frac{1}{2} \frac{Data(j+1) - Data(j-1)}{\Delta}$$

此算法输出值的第一个和最后一个未定义的，SAC 将数据点数减去 2，并将文件起始时间 `B` 增加一个采样周期。

五点（中心四点）差分算法：

$$Out(j) = \frac{2}{3} \frac{Data(j+1) - Data(j-1)}{\Delta} - \frac{1}{12} \frac{Data(j+2) - Data(j-2)}{\Delta}$$

此算法输出值的首尾各两个点是未定义的，SAC 使用三点差分算符计算第二个和倒数第二个点的值，并将数据点数减 2，将 B 增加一个采样周期。

头段变量改变

npts、b、e、depmin、depmax、depmen、idep

12.36 div

概要

数据文件的每个数据点除以同一个常数

语法

```
DIV [v1 [v2 ... vn] ]
```

输入

- v1** 第一个文件要除以的常数
- v2** 第二个文件要除以的常数
- vn** 第 n 个文件要除以的常数

缺省值

```
div 1.0
```

说明

参见[add](#) 的相关说明。

头段变量改变

depmin、depmax、depmen

12.37 divf

概要

使内存中的一组数据除以另一组数据

语法


```
DIVF [NEWHDR [ON|OFF]] filelist
```

输入

NEWHDR ON|OFF 指定新生成的文件使用哪个文件的头段。**OFF** 表示使用内存中原文件的头段区，**ON** 表示使用 filelist 中文件的头段区。缺省值为 **OFF**

filelist SAC 二进制文件列表

说明

参见 [addf](#) 命令的相关说明。

头段变量

depmin、depmax、depmen、npts、delta

12.38 divomega

概要

在频率域进行积分操作

语法

```
DIVOMEGA
```

说明

根据傅里叶变换的微分性质：

$$\mathcal{F}[f'(x)] = i\omega \mathcal{F}[f(x)]$$

其中 $\omega = 2\pi f$ ，即函数积分在频率域可以用简单的除法来表示。

该命令仅可对谱文件进行操作，谱文件可以是振幅-相位型或实部-虚部型。对于正常的谱数据来说还是很方便的，但不适用于谱跨越几个量级的数据。比如，假设你使用 **dif** 命令对数据进行预白化，然后对数据进行 Fourier 变换，用此命令在频率域积分可以去除时间域微分的效应。

若为振幅-相位型：

$$\mathcal{F}[f(x)] = \frac{\mathcal{F}[f'(x)]}{i\omega} = \frac{A(\omega)e^{\theta(\omega)}}{i\omega} = \frac{A(\omega)}{\omega}e^{\theta(\omega)-\pi/2}$$

若为实部-虚部型：

$$\mathcal{F}[f(x)] = \frac{\mathcal{F}[f'(x)]}{i\omega} = \frac{a(\omega) + ib(\omega)}{i\omega} = \frac{b(\omega)}{\omega} - i\frac{a(\omega)}{\omega}$$

在零频部分，直接设置其值为 0 比避免除以 0 的问题。

示例

```
SAC> read file1
SAC> dif          # 微分预白化
SAC> fft amph     # FFT
SAC> divomega     # 积分
```

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.39 echo

概要

控制输入输出回显到终端

语法

```
ECHO ON|OFF Errors|Warnings|Output|Commands|Macros|Process
```

输入

ON|OFF 打开/关闭列出的项的回显选项

ERRORS 命令执行过程中生成的错误信息

WARNINGS 命令执行过程中生成的警告信息

OUTPUT 命令执行过程中生成的输出信息

COMMANDS 终端键入的原始命令

MACROS 宏文件中出现的原始命令

PROCESSED 经过处理后的终端命令或宏文件命令，包括宏参数、黑板变量、头段变量、内联函数的计算和代入

缺省值

```
echo on errors warnings output off commands macros processed
```

说明

该命令控制 SAC 输入输出流中哪一类要被回显到终端或屏幕。

输出分为三大类：错误消息、警告消息、输出消息；输入也分为三大类：终端键入的命令、宏文件中执行的命令以及处理后的命令。处理后的命令指所有的宏参数、黑板变量、头段变量、内联函数首先被计算，并代入到命令中而形成的命令。你可以分别控制这些类的回显。

当在终端键入命令时，操作系统一般会显示用户键入的每个字符，因此该命令在交互式会话中没有太大作用。设置显示宏命令以及处理后的命令在调试宏文件时会很有用。

12.40 enddevices

概要

结束某个图像设备

语法

```
EndDevices [ALL|Sgf|Xwindows]
```

输入

ALL 关闭所有图像设备

SGF SAC 图形文件设备

XWINDOWS X Window 图像窗口系统

说明

参见命令[begindevices](#) 的说明。

12.41 endframe

概要

关闭 frame

语法

```
EndFrame
```

说明

参见[beginframe](#) 命令的相关说明。

12.42 envelope

概要

利用 Hilbert 变换计算包络函数

语法

```
ENVELOPE
```

说明

该命令用于计算内存中数据的包络函数。

原始信号为 $s(t)$ ，对其做 Hilbert 变换得到 $H(t)$ ，将这两个信号合并起来构成复信号

$$C(t) = s(t) + i * H(t)$$

复信号不仅可以用“实部-虚部”形式表示，也可以用“振幅-相位”形式表示：

$$C(t) = A(t)e^{i\Phi(t)}$$

其中 $A(t)$ 即为包络函数，其可以进一步表示为

$$A(t) = \sqrt{s(t)^2 + H(t)^2}$$

和 [hilbert](#) 一样，数据点数不得少于 201，且超长周期的数据需要在处理之前进行减采样。

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.43 erase

概要

清除图形显示区域

语法

```
ERase
```

说明

只有 SAC 知道你在使用的图形设备的情况下这个命令才可以工作。而且这只有在你已经进行了一些绘图操作之后才可以使用。这个命令对于没有清除屏幕键的 ADM 终端很有必要。特别是你想在发送大量文本之前清除屏幕时，这个命令在命令文件中非常有用。

12.44 evaluate

概要

对简单算术表达式求值

语法

```
EVALuate [TO TERM|name] [v] op v [op v ...]
```

其中 op 可以取下面中的一个：

```
ADD|SUBTRACT|MULTIPLY|DIVIDE|POWER|SQRT|EXP|ALOG|ALOG10|  
SIN|ASIN|COS|ACOS|TAN|ATAN|EQ|NE|LE|GE|LT|GT
```

其中，ADD|SUBTRACT|MULTIPLY|DIVIDE|POWER 可以分别用 +、-、*、/、** 替代。

输入

TO TERM 结果写入终端

TO name 结果写入黑板变量 name

v 浮点数或整数。SAC 中所有的运算都是浮点运算，整数会首先转换为浮点型

op 算术或逻辑操作符

缺省值

```
evaluate to term 1. * 1.
```

说明

这个命令允许你对算术或逻辑表达式求值。算术表达式可以是包含多个操作符的复合表达式，在这种情况下表达式由左向右计算，不支持嵌套功能。逻辑表达式只能包含一个操作符。计算结果可以写入用户终端或者指定的黑板变量。你可以通过 [getbb](#) 命令使用该黑板变量的值。

示例

一个简单的例子：

```
SAC> eval 2*3  
6  
SAC> eval tan 45  
1.61978
```

下面将一个以度为单位的角度转换为弧度并计算其正切值：

```
SAC> eval 45*pi/180  
0.785398  
SAC> eval tan 0.785398  
1
```

下面将计算的结果保存到黑板变量：

```
SAC> evaluate to temp1 45*pi/180  
SAC> evaluate tan %temp1  
1
```

12.45 exp

概要

对每个数据点取其指数 (e^y)

语法

```
EXP
```

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.46 exp10

概要

对每个数据点取以 10 为底的指数 (10^y)

语法

```
EXP10
```

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.47 fft

概要

对数据做快速离散傅立叶变换

语法

```
FFT [W0mean|Wmean] [RLim|Amph]
```

输入

WOMEAN 变换前先去除均值

WMEAN 变换前不去除均值

RLIM 输出为实部-虚部格式

AMPH 输出为振幅-相位格式

缺省值

```
fft wmean amph
```

说明

该命令对数据进行离散傅立叶变换。为了使用快速傅立叶变换算法，在进行变换之前，需要对数据文件进行补零以保证数据点数为 2 的整数次幂，比如 1000 个点的时间序列文件会被补零至 1024 个点，且头段变量 `npts` 也会被相应修改。

进行离散傅立叶变换之后，头段变量 `b` 为谱文件的起始频率，其值为 0；`delta` 为谱文件的采样频率，取值为 $1/(\text{delta} \times \text{npts})$ ；`e` 为谱文件的结束频率。`b`、`e`、`npts` 和 `delta` 的原值被保存到 `sb`、`se`、`nsnpts` 和 `sdelta`，这些值在做反傅立叶变换时会用到。

傅里叶变换得到的谱数据可以是振幅-相位格式或实部-虚部格式。头段变量 `iftype` 会告诉你谱文件是哪种格式。

由于实序列的离散傅立叶变换的结果具有“共轭对称性”，因而在使用 `plotsp` 绘制谱文件时只显示一半的数据点数。

示例

```
SAC> fg seis
SAC> lh b e delta npts iftype

      b = 9.459999e+00
      e = 1.945000e+01
    delta = 1.000000e-02
      npts = 1000
    iftype = TIME SERIES FILE
SAC> fft
DC level after DFT is -0.98547
SAC> lh b e delta npts iftype

      b = 0.000000e+00          # b 值为 0
      e = 5.000000e+01
    delta = 9.765625e-02        # delta=1/(1024*0.01)
      npts = 1024              # 1000 -> 1024
    iftype = SPECTRAL FILE-AMPL/PHASE
SAC> lh sb sdelta nsnpts        # 保留原值

      sb = 9.459999e+00
    sdelta = 1.000000e-02
    nsnpts = 1000
```

头段变量

`b`、`e`、`delta`、`npts`、`sb`、`se`、`nsnpts`、`sdelta`

限制

离散傅立叶变换所允许的最大数据点数为 $2^{24} = 16777216$ 个。

12.48 fileid

概要

控制绘图时文件 ID 的显示

语法

```
FILEID [ON|OFF] [Type Default|Name|List hdrlist] [Location UR|UL|LR|LL]
      [Format Equals|Colons|Nonames]
```

输入

ON 显示文件 id，不改变文件 id 类型或位置

OFF 不显示文件 id

TYPE DEFAULT 设置文件 id 为默认类型

TYPE NAME 使用文件名作为文件 id

TYPE LIST *hdrlist* 定义在文件 id 中显示的头段列表

LOCATION UR|UL|LR|LL 文件 id 的显示位置，分别表示右上角、左上角、右下角、左下角

FORMAT EQUALS 格式为 *variable=value*

FORMAT COLONS 格式为 *variable:value*

FORMAT NONAMES 格式只包含头段值

缺省值

```
fileid on type default location ur format nonames
```

说明

文件 ID 用于标识绘图的内容。默认的文件 ID 包括事件名、台站名、分量、参考日期及时间。如果需要也可以使用文件名代替默认的文件 id，或者根据头段变量定义一个特殊的文件 ID，这个 ID 最多可以由 10 个 SAC 头段变量构成。文件 ID 的位置以及格式也可以修改。

示例

将文件名放在左上角：

```
SAC> fileid location ul type name
```

定义一个特殊的文件 id，包含台站分量、经纬度：


```
SAC> fileid type list kstcmp stla stlo
```

文件 id 为头段名后加一个冒号：

```
SAC> fileid format colons
```

需要强调的是 fileid 命令有 bug，type 不能和 location、format 同时设置，必须分开设置，一个设置 type，另一个设置 location 和 format：

```
SAC> fileid type list knetwk kstnm  
SAC> fileid location ul format colons
```

12.49 filenumber

概要

控制绘图时文件号的显示

语法

```
FileNumber [ON|OFF]
```

缺省值

```
filenumber off
```

说明

当该选项为开时，绘图时会在右下角显示文件号，当需要文件号的信息时可以通过此文件号唯一识别指定的波形。

12.50 filterdesign

概要

产生一个滤波器的数字和模拟特性的图形显示，包括：振幅、相位、脉冲响应和群延迟

语法

```
FilterDesign [FILE [prefix]] [filteroptions] [delta]
```

输入

FILE prefix 生成的三个 SAC 文件的前缀

filteroptions 与 SAC 中其他的滤波命令相同，包括滤波器类型

delta 数据的采样间隔。

缺省值

delta 缺省值为 0.025 s，其他参数无缺省值

说明

filterdesign 命令调用了函数 **xapiir** (一个递归数字滤波器包)。**xapiir** 通过模拟滤波器原型的双线性变换实现标准递归数字滤波器的设计。这些原型滤波器由零点和极点给定，然后使用模拟谱变换，变换到高通、带通和带阻滤波器。

filterdesign 用实线显示数字滤波器响应，用虚线显示模拟滤波器响应。在彩色显示器上，数字曲线是蓝色的而模拟曲线是琥珀色的。

生成的三个 SAC 文件分别为 **prefix.spec**、**prefix.grd**、**prefix.imp**。其中 **prefix.spec** 为该命令产生的振幅相位信息，为振幅-相位格式谱文件。**prefix.grd** 为该命令产生的群延迟信息，是时间序列文件。需要注意的是，尽管这个文件是时间序列文件，但是实际上群延迟是频率的函数。用户要记住，虽然绘图时横轴单位是秒，实际的单位却是 Hz。**prefix.imp** 是时间序列文件，包含脉冲响应信息。

在这三个 SAC 文件中，用户自定义头段变量 **USERn**、**KUSERn** 设置如下：

- user0: 表示通带代码。1 代表 LP；2 代表 HP；3 代表 BP；4 代表 BR；
- user1: 滤波器类型代码。1 代表 BU，2 代表 BE，3 代表 C1，4 代表 C2；
- user2: number of poles
- user3: number of passes
- user4: tranbw
- user5: attenuation
- user6: delta
- user7: first corner
- user8: second corner if present, or -12345 if not
- kuser0: pass (lowpass, highpass, bandpass, or bandrej)
- kuser1: type (Butter, Bessel, C1, or C2)

示例

下面的例子展示了如何使用 **filterdesign** 命令产生一个高通，拐角频率为 2 Hz，六极、双通滤波器的数字和模拟响应曲线，数据采样间隔为 0.025 s：

```
SAC> fd hp c 2 n 6 p 2 delta .025
```

12.51 fir

概要

应用一个有限脉冲响应滤波器

语法

```
FIR [REC|FFT] file
```

输入

FFT 通过 FFT 变换方法应用 FIR 滤波器

REC 递归应用 FIR 滤波器

file 包含 FIR 滤波器的文件名

缺省值

```
fir fft fir
```

说明

该命令中使用的滤波器必须首先用 DFIR 交互式滤波器设计。该滤波器通过变换方法应用，除非你要求使用递归方法或者数据点数对于变换方法来说太大。这些滤波器都没有相位失真但在脉冲信号前会产生前驱波。

头段变量

depmin、depmax、depmen

限制

变换方法的最大数据点数是 4096。

12.52 floor

概要

对数数据的最小值

语法

```
FLOOR [ON|OFF|v]
```

输入

ON 打开 floor 选项开关但不改变其值

OFF 关闭 floor 选项开关

v 打开 floor 选项开关并改变阈值

缺省值

```
floor 1.0e-10
```

说明

当坐标轴取对数坐标时，对于 X 和 Y 轴，当其值小于 **floor** 设置的值时，则在绘图前将这些值改为 **floor** 设置的值。**floor** 使用一个小的正值，对于非正数的对数运算是不允许的。

12.53 funcgen

概要

生成一个函数并将其存在内存中

语法

```
FuncGen [type] [Delta v] [Npts n] [BEGin v]
```

其中 **type** 是下面中的一个：

```
IMPulse | SStep | Boxcar | Triangle | SINE [v1 v2] | Line [v1 v2] |  
Quadratic [v1 v2 v3] | CUBIC [v1 v2 v3 v4] | SEISmogram |  
Random [v1 v2] | IMPSTRIN [n1 n2 ... nN]
```

输入

IMPULSE 位于时间序列中点的脉冲函数

IMPSTRIN n1 n2 ... nN 在指定的一系列数据点处产生脉冲函数

STEP 阶跃函数。数据的前半段为 0，后半段为 1

BOXCAR 矩形函数。数据的前、后三分之一值为 0，中间三分之一值为 1

TRIANGLE 三角函数。数据的第一个四分之一值为 0，第二个四分之一的值从 0 线性增加到 1，第三个四分之一的值从 1 线性减少到 0，最后四分之一值为 0

SINE v1 v2 正弦函数。**v1** 表示频率，单位为 Hz；**v2** 是以度为单位的相位角。正弦函数的振幅为 1，注意在相位参数中有一个 2π 因子： $F = 1.0n(2\pi(v_1t + v_2))$

LINE v1 v2 线性函数。斜率为 **v1**，截距为 **v2**，即 $v_1t + v_2$

QUADRATIC v1 v2 v3 二次函数 $v_1t^2 + v_2t + v_3$

CUBIC v1 v2 v3 v4 三次函数 $v_1t^3 + v_2t^2 + v_3t + v_4$

SEISMOGRAM 地震样本数据。此样本数据有 1000 个数据点。**DELTA**、**NPTS** 和 **BEGIN** 选项对该样本数据无效

RANDOM v1 v2 生成随机序列（高斯白噪声）。**v1** 是要生成的随机序列文件的数目，**v2** 是用于产生第一个随机数的“种子”，该种子值保存在 **USER0** 中，因而如果需要你可以在稍后生成一个完全相同的随机序列

DELTA v 设置采样周期为 **v**，储存在头段 **delta** 中

NPTS n 设置函数的数据点数为 **n**，储存在头段 **npts** 中

BEGIN v 设置起始时间为 **v**，储存在头段 **b** 中

缺省值

```
funcgen impulse npts 100 delta 1.0 begin 0.
```

对于正弦函数频率和相位缺省值分别为 0.05 和 0。一次、二次、三次函数的系数都是 1。随机序列数为 1，种子是 12357。

说明

执行这个命令等效于读取单个文件（RANDOM 选项会生成多个文件）到内存中，文件名即为函数名。内存中原有的数据会被该命令生成的函数所替换。

示例

下面的命令可以用于生成一个随机白噪声：

```
SAC> fg random 1 1 npts 10000 delta 0.01
```

12.54 getbb

概要

获取或打印黑板变量的值

语法

```
GETBB [TO TERMINAL|filename] [NAMES ON|OFF] [NEWLINE ON|OFF]  
      ALL|variable [variable ...]
```

输入

TO TERMINAL 打印值到终端

TO filename 将值追加到文件 filename 后

NAMES ON 输出格式为“黑板变量名 = 黑板变量值”

NAMES OFF 只打印黑板变量值

NEWLINE ON 打印每个黑板变量后换行

NEWLINE OFF 打印黑板变量后不换行

ALL 打印当前定义的全部黑板变量

variable 打印列表指定的黑板变量

缺省值

```
getbb to terminal names on newline on all
```

说明

该命令用于获取或打印黑板变量的值。可以控制打印哪些黑板变量以及具体的打印格式。可以将黑板变量打印到终端或者文本文件中。可以使用这些选项对一系列数据文件进行测量，将结果保存到文本文件中，然后用 `readtable` 命令将这个文件读回 SAC，绘图或者进行更多的分析。

示例

假设你已经设置了一些黑板变量：

```
SAC> setbb c1 2.45 c2 4.94
```

稍后可以这样打印他们的值：

```
SAC> getbb c1 c2
c1 = 2.45
c2 = 4.94
```

想要在一行内只打印其值：

```
SAC> getbb names off newline off c1 c2
2.45 4.94
```

假设你有一个宏文件叫 GETXY，其可以对单个文件进行某些分析操作，并将结果储存在两个头段变量中 X 和 Y 中。你想要对当前目录中所有垂直分量进行操作，保存每对 X 和 Y 的值，然后绘图。下面的宏文件的第一个参数是用于储存这些结果的文本文件：

```
DO FILE WILD *Z
  READ FILE
  MACRO GETXY
    GETBB TO 1 NAMES OFF NEWLINE OFF X Y
  ENDDO
  GETBB TO TERMINAL
  READALPHA CONTENT P 1
  PLOT
```

最终这个文本文件将包含成对的 X-Y 数据点，每行一个，对应一个垂直分量的数据文件。为了关闭文本文件并清空缓存区，最后将输出重定向到终端的 `getbb` 命令是必要的。

12.55 grayscale

概要

产生内存中数据的灰度图像¹

¹ 这个命令使用了未在 SAC 中发布的命令，要使用这个命令你必须安装 Utah Raster Toolkit。

语法

```
GrayScale [VIDEOTYPE NORMAL|REVERSED] [SCALE v] [ZOOM n]
          [XCROP n1 n2|ON|OFF] [YCROP n1 n2|ON|OFF]
```

输入

VIDEO NORMAL 设置 video 类型为 **normal**。在 Normal 模式中，最小值附近的数据位黑色，最大值附近的数据为白色

VIDEO REVERSED 设置 video 类型为 **reversed**。在 Reversed 模式中，最小值附近的数据位白色，最大值附近的数据为黑色

SCALE v 改变数据的比例因子为 v，The data is scaled by raising it to the vth power。小于 1 的值将平滑图像、降低峰和谷，大于 1 的值将伸展整个数据

ZOOM n Image is increased to n times its normal size by pixel replication.

XCROP n1 n2 Turn x cropping option on and change cropping limits to n1 and n2. The limits are in terms of the image size.

XCROP ON Turn x cropping option on and use previously specified cropping limits.

XCROP OFF Turn x cropping option off. All of the data in the x direction is displayed.

YCROP n1 n2 Turn y cropping option on and change cropping limits to n1 and n2. The limits are in terms of the image size.

YCROP ON Turn y cropping option on and use previous specified cropping limits.

YCROP OFF Turn y cropping option off. All of the data in the y direction is displayed.

缺省值

```
grayscale videotype normal scale 1.0 zoom 1 xcrop off ycrop off
```

说明

这个命令可以用于绘制 [spectrogram](#) 命令输出的灰度图，用这个命令显示的 SAC 数据须是 “xyz” 文件。

注意：SAC 启动了一个脚本来运行图像操作和显示程序，然后再显示 SAC 的提示符。对于大型图像或较慢的机器，这中间会有个明显的延迟。

限制

最大只能显示 512*1000

头段变量改变

需要：iftype、nxsize、nysize

错误消息

SAC> getsun: Command not found. (需要 Utah Raster Toolkit 提供一些工具程序)

12.56 grid

概要

控制绘图时的网格线

语法

```
GRID [ON|OFF|Solid|Dotted]
```

输入

SOLID 设置网格线为实线

DOTTED 设置网格线为虚线

ON 绘制网格，但不改变网格类型

OFF 不绘制网格

缺省值

```
grid off
```

说明

该命令控制 X 和 Y 轴的网格线的绘制。可以使用 [xgrid](#) 和 [ygrid](#) 分别控制单个坐标轴的网格类型。

12.57 gtext

概要

控制绘图中文本质量以及字体

语法

```
GText [Software|Hardware] [Font n] [SIZE size] [SYStem system] [Name name]
```

输入

SOFTWARE 绘图中使用软件文本

HARDWARE 绘图中使用硬件文本

FONT n 设置软件文本字体为 n, n 取值为 1 到 8

SIZE size 改变缺省文本大小, 可以取 TINY、SMALL、MEDIUM、LARGE, 这些缺省文本尺寸的具体大小可以参考 [tsize](#) 命令

SYSTEM system 修改字体子系统，可以取值为 SOFTWARE、CORE、XFT
NAME name 修改 CORE 或 XFT 子系统的默认字体名，可以取 Helvetica、Times-Roman、Courier、ZapfDingbats

缺省值

```
gtext software font 1 size small
```

说明

软件文本使用了图形库的文本显示功能，将每个字符以线段的形式保存起来，因而可以任意缩放或旋转至任意角度。使用软件文本在不同图形设备上可以产生相同的结果，但是其速度会慢于硬件文本。目前有 8 种可用的软件字体：simplex block、simplex italics、duplex block、duplex italics、complex block、complex italics、triplex block、riplex italics。

硬件文本使用图形设备自身的文本显示功能，因而文本在不同的设备上尺寸可能不同，所以使用硬件文本会导致在不同的图形设备上看到不同的图。如果一个设备有超过一个硬件文本尺寸，那么最接近预期值的那个尺寸将被使用。其最主要优点在于速度较快，因而当速度比质量重要时可以使用。

示例

选择 triplex 软件字体：

```
SCA> gtext software font 6
```

12.58 hanning

概要

对数据文件加 hanning 窗

语法

```
HANning
```

说明

hanning 窗是一种对数据点的递归平滑算法。对于每个非端点数据点 ($j \in [2, N - 1]$) 而言，有

$$Y(j) = 0.25Y(j - 1) + 0.50Y(j) + 0.25Y(j + 1)$$

更新 $Y(2)$ 时使用了 $Y(1)$ 、 $Y(2)$ 、 $Y(3)$ 的旧值，而更新 $Y(3)$ 时则使用了 $Y(2)$ 的新值以及 $Y(3)$ 、 $Y(4)$ 的旧值，这也是其称为递归平滑算法的原因。

两个端点的数据，需要做特殊处理，令 $Y(1)$ 等于 $Y(2)$ 的新值， $Y(N)$ 等于 $Y(N - 1)$ 的

新值。

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.59 help

概要

在终端显示 SAC 命令的语法和功能信息

语法

```
Help [item ... ]
```

输入

item 命令（全称或简写）、模块、子程序等等。若 **item** 为空，则显示 SAC 的帮助文档的介绍

说明

SAC 的官方帮助文档位于 `$SACHOME/aux/help` 目录中，该命令实际上是从该目录中读取相应的文件并输出到终端中。**item** 列表中每一项会按照顺序依次显示在终端中，若输出超过一屏，可以使用 PgUp、PgDn、Enter、空格、方向键等实现翻页。直接输入 **q** 则退出当前 **item** 的文档并显示下一 **item** 的文档。

示例

```
SAC> h                # 获得帮助文档包的介绍
SAC> h r cut bd p     # 一次显示多个命令的文档
```

12.60 highpass

概要

对数据文件应用一个无限脉冲高通滤波器

语法

```
HighPass [Butter|BEssel|C1|C2] [Corners v1 v2] [Npoles n] [Passes n]
          [Tranbw v] [Atten v]
```

输入

BUTTER 应用一个 Butterworth 滤波器

BESSEL 应用一个 Bessel 滤波器

C1 应用一个 Chebyshev I 型滤波器

C2 应用一个 Chebyshev II 滤波器

CORNERS v1 v2 设定拐角频率分别为 v1 和 v2，即频率通带为 v1-v2

NPOLES n 设置极数为 n，可以取 1 到 10 之间的整数

PASSES n 设置通道数为 n，可以取 1 或 2

TRANBW v 设置 Chebyshev 转换带宽为 v

ATTEN v 设置 Chebyshev 衰减因子为 v

缺省值

```
highpass butter corner 0.2 npoles 2 passes 1 tranbw 0.3 atten 30
```

说明

参见 [bandpass](#) 的相关说明。

示例

应用一个四极 Butterworth，拐角频率为 2 Hz：

```
SAC> hp n 4 c 2
```

在此之后如果要应用一个二极双通具有相同频率的 Bessel：

```
SAC> hp n 2 be p 2
```

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.61 hilbert

概要

应用 Hilbert 变换

语法

```
HILBERT
```

说明

一个实序列 $f(t)$ 的 Hilbert 变换定义为

$$H(f(t)) = f(t) * \left(\frac{1}{\pi t}\right) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(\tau)}{t - \tau} d\tau$$

其中星号表示卷积。

由于 $\frac{1}{\pi t}$ 的 Fourier 变换为 $-i \operatorname{sgn}(\omega) = -e^{i\pi/2} \operatorname{sgn}(\omega)$ ，因而对一个信号做 Hilbert 变换

可以理解为先将信号做 Fourier 变换，然后乘以 $-e^{i\pi/2}\text{sgn}(\omega)$ ，再做反 Fourier 变换。即 Hilbert 变换的一个重要性质是对信号产生 $\frac{\pi}{2}$ 的相移¹。

该命令通过将原始信号与一个 201 点 FIR 滤波器进行时间域卷积以实现 Hilbert 变换。此 FIR 滤波器是通过对理想 Hilbert 变换的脉冲响应加 Hanning 窗获得的。在频率域，每个频率处的振幅响应为 1，相位为 90 度。Hilbert 变换后的结果将替代内存中的原始信号。

需要注意的是，此操作在零频和 Nyquist 频率附近的小区域内是不精确的。若要对很低频率的数据进行 Hilbert 变换（比如长周期面波），则需要先对信号进行减采样。由于该变换是在时间域完成的，所以计算时在原地使用重叠储存算法，其对于文件长度没有限制。

理论上，Hilbert 变换可以从振幅谱的对数中计算最小延迟相位，本质上 Hilbert 变换是一个非带限的低通滤波器，因而本命令中的 Hilbert 变换无法用于计算最小延迟相位。

SAC 提供了 Hilbert 变换的函数库，可以直接在 C 或 Fortran 程序中调用，详情参考[调用 libsac 库](#)一节。

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.62 history

概要

打印最近执行的 SAC 命令列表

语法

```
HISTORY
```

说明

该命令可以打印最近执行的命令历史，也可用于重复执行命令历史中某个特定的命令：

- `!!` 重复上一命令
- `!n` 重复第 `n` 行的命令
- `!-n` 重复倒数第 `n` 个命令
- `!str` 重复最近的以字符串 `str` 开头的命令

示例

打印命令历史列表：

```
SAC> history
```

重复命令 1：

¹ 本段内容不够严谨，正负号可能有误，其中的细节也被省略，因而仅供参考。

```
SAC> !1
```

重复最后一条命令：

```
SAC> !!
```

重复倒数第二个命令：

```
SAC> !-2
```

重复以 `ps` 开头的命令：

```
SAC> !ps
```

12.63 ifft

概要

对数据进行离散反傅立叶变换

语法

```
IFFT
```

说明

数据文件必须是之前利用 `fft` 命令生成的谱文件，可以是实部-虚部格式或振幅-相位格式。

该命令会从 `sb`、`sdelta`、`nsnpts` 中读取原始数据在时间域的起始时间、采样周期和数据点数。频率域的起始频率、采样频率、采样点数将被保存到 `sb`、`sdelta`、`nsnpts` 中。

头段变量

`b`、`delta`、`npts`、`sb`、`sdelta`、`nsnpts`

限制

目前 `ifft` 所允许的最大数据点数为 65536。

12.64 image

概要

利用内存中的数据文件绘制彩色图

语法

```
IMAGE [COLOR|GREY] [BINARY|FULL]
```

输入

COLOR|GREY 绘制彩图或者灰度图

BINARY|FULL 绘图时所有正值是一个颜色，所有负值是另一种颜色，或者根据数据值不同变换颜色

缺省值

```
image color full
```

说明

该命令允许用户用 SAC 三维数据绘制彩图或灰度图。

三维数据可以用 [spectrogram](#)、[sonogram](#) 或 [bbfk](#) 命令产生，也可以自己生成 SAC 格式的三维数据。可以使用 [xlim](#) 和 [ylim](#) 以控制要显示的绘图效果，也可以使用其他命令对数据做振幅上的操作。

示例

以 SAC v101.5c 自带的 `contourdata` 为例：

```
SAC> r contourdata  
SAC> image
```

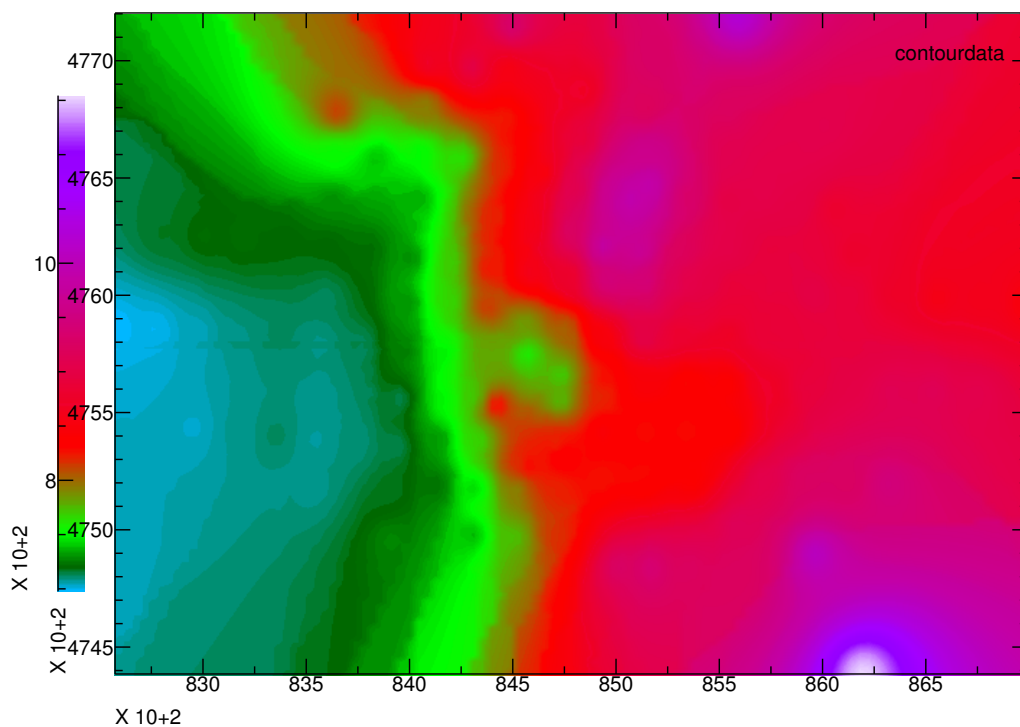


图 12.2: image 示意图

头段变量

需要: iftype (设为 “IXYZ”)、nxsize、nysize

使用: xminimum、xmaximum、yminimum、ymaximum

12.65 inicm

概要

重新初始化 SAC

语法

```
INICM
```

说明

此命令可以在任意时刻将 SAC 初始化到其刚启动的状态。所有活动的图像设备被终止，全局变量初始化到其初始值，内存中数据丢失。

12.66 installmacro

概要

将宏文件安装到 SAC 全局宏目录中

语法

```
INSTALLMACRO name [name ...]
```

输入

name SAC 宏文件名

说明

该命令允许用户将自己写的宏文件安装到 SAC 全局宏目录（`${SACAUX}/macros`）中，使得所有人都可以使用。

12.67 int

概要

利用梯形法或矩形法对数据进行积分

语法

```
INT [Trapezeidal|Rectangular]
```

缺省值

```
int trapezoidal
```

说明

该命令使用梯形法或矩形法对数据进行数值积分，可以处理等间隔数据或非等间隔数据。除积分之外，还会根据具体情况修改因变量类型 **idep**，并重新计算 **depmax**、**depmin**、**depmen**。

对于函数 $f(x)$ 其积分用梯形法表示为

$$y_n = y_{n-1} + \frac{1}{2}(x_{n+1} - x_n)(f(x_n) + f(x_{n+1})), \quad n \in [1, npts - 1]$$

用矩形法表示为：

$$y_n = y_{n-1} + (x_n - x_{n-1})f(x_n), \quad n \in [1, npts]$$

二者均有边界条件 $y_0 = 0$ 。

对于等间隔数据，若使用梯形积分，数据点数 **npts** 将减 1，文件的头段变量 **b** 将增加半个采样周期¹。

¹ 若使用矩形积分，理论上 **npts** 和 **b** 也应有所修改，但实际代码中却未对此多做处理，暂不确定是否是 Bug。

头段变量

depmin、depmax、depmen、idep、npts、b、e

12.68 interpolate

概要

对等间隔或不等间隔数据进行插值以得到新采样率

语法

```
INTERPolate [Delta v|Npts v] [Begin v]
```

输入

DELTA v 设置新采样率为 **v**。数据的时间跨度 (E-B) 保持不变, **npts** 变化, E 由于需要与 **b** 的间距为 **delta** 的整数倍, 所以可能会有微调

NPTS n 强制设置插值后文件的数据点数为 **n**。时间宽度不变, **delta** 发生变化。

BEGIN v 在 **v** 处开始插值, 该值将作为插值文件的起始时间。**BEGIN** 可以和 **DELTA** 或 **NPTS** 选项一起使用。

说明

该命令使用 Wiggins 的 weighted average-sloped 插值方法将不等间隔数据转换为等间隔数据, 以及对等间隔数据插值得到新的采样率。不像三次样条插值, 在输入样本数据点间不会存在极值。如果要降低采样率, 即减采样, 由于该命令没有抗混叠滤波器, 所以最好使用 [decimate](#) 命令。

DELTA 选项和 **NPTS** 选项只能同时使用一个, 若二者同时使用, 则命令中的后者起作用。

BEGIN 选项用于控制输入数据的插值起点, 也可以通过 [cut](#) 命令设置 **b** 和 **e** 再进行插值操作。

示例

假定 filea 是等间隔数据, 采样间隔为 0.025 s, 为了将转换到采样间隔为 0.02 s:

```
SAC> r filea
SAC> interp delta 0.02
```

由于新 **delta** 小于原数据 **delta**, 可能会出现混叠现象, 所以会输出警告信息。

假定 fileb 数据点数为 3101, 想要保持其时间跨度, 并采样至 4096 个点:

```
SAC> r fileb
SAC> interp npts 4096
```

假设 filec 是不等间隔数据，为了将其转换为采样率为 0.01 s 的等间隔数据：

```
SAC> read filec
SAC> interpolate delta 0.01
```

头段变量

delta、npts、e、b、leven

12.69 keepam

概要

保留内存中谱文件的振幅部分

语法

```
keepAM
```

说明

该命令会保留谱文件的振幅部分，丢弃相位部分，这样做可以将谱文件的振幅部分转换为等间隔的数据，可以用 SAC 的其他命令直接操作。

谱文件可以是振幅-相位格式或实部-虚部格式。若文件以实部-虚部格式存在，则首先将其转换为振幅-相位格式再丢弃相位部分。

对于实序列，其振幅谱是对称的，因而最终生成的振幅文件仅含 $npts/2+1$ 个数据点，数据的文件类型定义为 IXY，可以跟一般的时间序列区分开。

12.70 khronhite

概要

对数据应用 Khronhite 滤波器

语法

```
KHRONHITE [v]
```

输入

v 截断频率，单位 Hz

缺省值

```
khronhite 2.0
```

说明

此低通滤波器是两个级联的四阶 Butterworth 低通模拟滤波器的数字近似。其拐角频率为 0.1 Hz 以增强区域地震的基模瑞利波（Rg）的振幅信号。

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.71 line

概要

控制绘图中的线型

语法

```
LINE [ON|OFF|Solid|Dotted|n] [FILL ON|OFF|pos_color/neg_color]
      [Increment [ON|OFF]] [List STANDARD|nlist]
```

输入

ON 打开线型选项，不改变线型

OFF 关闭线型选项

SOLID 改变线型为实线型，并打开线型开关

DOTTED 改变线型为虚线型，并打开线型开关

n 设置线型为 n 并绘制线条。若 n 取值为 0 则表示不绘制该线条

FILL ON|OFF 打开/关闭颜色填充

FILL pos_color/neg_color 对每个数据的正值和负值部分涂色

INCREMENT ON 每个数据被绘出之后，按照线型表中的次序改变为另一个线型

INCREMENT OFF 不改变线型

LIST nlist 改变线型列表

LIST STANDARD 设置为标准线型列表

缺省值

```
line solid increment off list standard
```

说明

这个命令控制绘图时的线型，图形的框架（轴、标题等等）通常使用实线。网格的线型用 [grid](#) 命令控制。并非所有的图形设备都有除实线型之外的其他线型的，在那些设备上显然这个命令没有什么效果。而对于不同的设备线型号 n 也可能是不同的。

还有其他命令可以控制数据显示的其他方面。[symbol](#) 命令用于将每个数据点的值用一个符号显示在图上。[color](#) 命令控制彩色图形设备的颜色选择。所有的这些属性都是独立的。如果你想的话你可以选择在每个数据点上选择带符号的蓝色虚线。线型为 0 代表关闭画线

选项。在 `LIST` 选项和 `symbol` 命令中可以利用线型为 0 的特性，在同一张图上将某些数据用线显示某些数据用符号显示。

示例

选择依次变化的线型，从线型 1 开始：

```
SAC> line 1 increment
```

改变线型表使之包含线型 3、5 和 1：

```
SAC> line list 3 5 1
```

使用 `plot2` 在同一个图形上绘制三个文件，第一个使用实线无符号，第二个没有线条，用三角符号，第三个无线条，用十字符号：

```
SAC> read file1 file2 file3
SAC> line list 1 0 0 increment
SAC> symbol list 0 3 7 increment
SAC> plot2
```

将地震图的正值部分涂上红色，负值部分涂上蓝色，如果线型为 0，则涂色区域用黑色描边：

```
SAC> fg seis
SAC> line 0 fill red/blue
SAC> p
```

12.72 linefit

概要

对内存中数据的进行最小二乘线性拟合

语法

```
LINEFIT
```

说明

此命令的底层实现与 `rmean` 命令是相同的。

对数据使用最小二乘拟合得到一条直线，并将拟合结果写到黑板变量中：

- `SLOPE`：直线的斜率
- `YINT`：Y 轴截距
- `SDSLOPE`：斜率的标准差

- SDYINT: 截距的标准差
- SDDATA: 数据的标准差
- CORRCOEF: 数据和模型间的相关系数

示例

```
SAC> fg seis
SAC> linefit          # 线性拟合
Slope and standard deviation are: 0.00023042 0.0035114
Intercept and standard deviation are: -0.10165 0.048355
Data standard deviation is: 0.32054
Data correlation coefficient is: 0.0020772
SAC> getbb           # 查看黑板变量
CORRCOEF      = 0.00207718
NUMERROR      = 0
SACERROR      = 'FALSE'
SACNFILES     = 1
SDDATA        = 0.32054
SDSLOPE       = 0.00351136
SDYINT        = 0.0483548
SLOPE         = 0.000230417
YINT          = -0.10165
SAC> getbb SLOPE     # 查看单个头段变量时出错, 猜测是 bug
ERROR 1201: Could not find VARS variable SLOPE
```

12.73 linlin

概要

设置 X、Y 轴均为线性坐标

语法

```
LINLIN
```

12.74 linlog

概要

设置 X 轴为线性坐标, Y 轴为对数坐标

语法

```
LINLOG
```

12.75 listhdr

概要

列出指定的头段变量的值

语法

```
ListHdr [Default|Picks|Special] [FILES ALL|NONE|list] [COLUMNS 1|2]
        [INCLUSIVE ON|OFF] [hdrlist]
```

输入

DEFAULT 使用默认的头段变量列表，即列出所有已定义的头段变量

PICKS 使用 picks 头段列表，即列出与到时拾取相关的头段变量

SPECIAL 使用用户自定义的特殊头段变量列表

FILES ALL 列出内存中所有文件的头段

FILES NONE 不列出头段，为将来的命令设置默认值

FILES list 列出部分文件的头段，list 是要列出的文件的文件号

COLUMNS 1|2 输出格式为每行一/两列

INCLUSIVE ON|OFF ON 表示列出未定义的头段变量的值，OFF 则不列出

hdrlist 指定头段变量列表

缺省值

```
listhdr default files all columns 1 inclusive off
```

说明

该命令可以列出指定的头段变量的值，用户可以使用默认列表 **DEFAULT** 列出全部头段变量，或 **PICKS** 列出与到时拾取相关的头段变量，包括 B、E、O、A、Tn、KZTIME、KZDATE。用户可以自定义一个特殊列表并通过 **SPECIAL** 选项再次使用该列表。

该命令的输出包含头段变量名、一个等于号以及头段变量的当前值。未定义的头段变量的值用 **undefined** 表示。

示例

获取 picks 列表，输出为两列显示：

```
SAC> lh picks column 2
```

获得第三、四个文件的默认头段列表：

```
SAC> lh files 3 4
```

列出文件开始和结束时间：

```
SAC> lh b e
```

定义一个包含台站参数的特殊列表：

```
SAC> lh kstnm stla stlo stel stdp
```

稍后再次使用上面的特殊列表：

```
SAC> lh special
```

为后面的 lh 命令设置输出为两列：

```
SAC> lh columns 2 files none
```

12.76 load

概要

导入外部命令（在 SAC 的 Linux 版本中外部命令的导入需要额外的工作）

语法

```
LOAD comname [ABBREV abbrevname]
```

输入

comname 从一个共享目标文件中载入的一个外部函数名

ABBREV abbrevname 命令的简写

说明

该命令允许用户载入由 SAC 外部命令接口写的命令。该命令必须是一个储存在动态库文件 `.so` 文件中。SAC 将检查所有环境变量 `SACSOLIST` 中的动态库文件，这个环境变量需要包含一个或多个动态库文件，每个库文件以空格分割。到这些动态库文件的路径必须在环境变量 `LD_LIBRARY_PATH` 中指定。如果 `SACSOLIST` 未设置，则 SAC 将使用由 `LD_LIBRARY_PATH` 中指定的路径在动态库文件 `libsac.so` 中寻找。一个叫做 `libcom.so` 的库随着 SAC 发布。

示例

设置你的环境变量使得 SAC 在当前目录从库文件 `libbar.so` 中查找一个称为 `foo` 的命令，并为 `foo` 设置别名为 `myfft`：

```
% export SACSOLIST = "libcom.so libbar.so"
# Add the current directory to the search path.
```

(下页继续)

(续上页)

```
% export LD_LIBRARY_PATH ${LD_LIBRARY_PATH}:.
% sac
SAC> load foo abbrev myfft* load the command
SAC> read file1.z file2.z file3.z
SAC> myfft real-imag* invoke command with its arguments,
* commands must parse their own args.
SAC> psp
```

如何创建一个包含你的命令的共享目标库：

```
Solaris::
cc -o libxxx.so -G extern.c foo.c bar.c
SGI::
cc -g -o libxxx.so -shared foo.c bar.c
LINUX: (gcc)::
gcc -o libxxx.so -shared extern.c foo.c bar.c sac.a
```

其中 sac.a 可以从你得到 sac 的地方获得

SAC 发布的外部命令

在 SAC 的发布版中有一个外部命令，叫做 FLIPXY。FLIPXY 将一个或多个 X-Y 数据文件作为输入，并调换 X 和 Y。这个命令在 `${SACAUX}/external` 中的 `libcom.so` 中，同时还有 FLIPXY 的源代码作为参考。为了导入 FLIPXY，`libcom.so` 必须包含在 `$SACSOLIST` 中。

12.77 loadctable

概要

允许用户在彩色绘图中选择一个新的颜色表

语法

```
LoadCTable n|[DIR CURRENT|name] [filelist]
```

输入

n 标准 SAC 颜色表对于的号，n 可以取 1–17

DIR CURRENT 从当前目录载入颜色表，当前目录指的是你启动 SAC 的目录

DIR name 从目录 name 中载入颜色表，这是一个相对或绝对目录名

filelist 颜色表文件列表

说明

该命令允许用户选择一个新的颜色表或者通过指定颜色表的文件以及路径提供他们自己的颜色表。如果未使用 `DIR` 选项，SAC 将首先在 `$SACAUX` 中寻找颜色表，然后在用户的工作目录中寻找。

在 `$SACAUX/ctables` 下有 21 个文件，其中一个为 `gmt.cpt`，用于在 SAC 中绘制与 GMT 有关的彩色图形，另外 20 个文件为三列数据，应该就是颜色表了，前面说的 `n` 取 1 到 17 可能有些过时了。具体谁对应谁还不清楚，just try them!

12.78 log

概要

对每个数据点取其自然对数 ($\ln y$)

语法

```
LOG
```

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.79 log10

概要

对每个数据点取以 10 为底对数 ($\log_{10} y$)

语法

```
LOG10
```

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.80 loglab

概要

控制对数轴的标签

语法

```
LOGLAB [ON|OFF]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭对数标签开关

缺省值

```
loglab on
```

说明

对于对数轴而言，标签一般位于轴上每个 10 的整数倍处，如果这个选项被打开并且标签之间有足够的空间的话则在 10 的整数倍的中间加入第二标签。

12.81 loglin

概要

设置 X 轴为对数坐标，Y 轴为线性坐标

语法

```
LOGLIN
```

12.82 loglog

概要

设置 X、Y 轴均为对数坐标

语法

```
LOGLOG
```

12.83 lowpass

概要

对数据文件应用一个无限脉冲低通滤波器

语法

```
LowPass [BUtter|BEssel|C1|C2] [Corners v1 v2] [Npoles n] [Passes n]  
[Tranbw v] [Atten v]
```

输入

BUTTER 应用一个 Butterworth 滤波器

BESSEL 应用一个 Bessel 滤波器

C1 应用一个 Chebyshev I 型滤波器

C2 应用一个 Chebyshev II 滤波器

CORNERS **v1 v2** 设定拐角频率分别为 v1 和 v2，即频率通带为 v1–v2

NPOLES **n** 设置极数为 n，可以取 1 到 10 之间的整数

PASSES **n** 设置通道数为 n，可以取 1 或 2

TRANBW **v** 设置 Chebyshev 转换带宽为 v

ATTEN **v** 设置 Chebyshev 衰减因子为 v

缺省值

```
lowpass butter corner 0.2 npoles 2 passes 1 tranbw 0.3 atten 30
```

说明

参见 [bandpass](#) 命令的相关说明。

示例

应用一个四极 Butterworth，拐角频率为 2 Hz：

```
SAC> lp n 4 c 2
```

在此之后如果要应用一个二极双通具有相同频率的 Bessel：

```
SAC> lp n 2 be p 2
```

头段变量改变

depmin、depmax、depmen

12.84 macro

概要

执行 SAC 宏文件

语法

```
Macro name [arguments]
```

输入

name 要执行的 SAC 宏文件名

arguments 宏文件参数

说明

参考[SAC 宏](#)一节。

12.85 map

概要

利用 SAC 内存中的所有数据文件生成一个包含台站/事件符号、地形以及台站名的 GMT 地图，也可以在命令行上指定一个事件文件。每个地震事件符号可以根据震级、残差等确定其大小。这个命令会产生一个 PS 文件，并将该文件在屏幕上显示，同时产生一个绘制该图的 shell 脚本。

语法

```
MAP [MERCator|EQuidistant|AZimuthal_equidistant|ROBinson]
    [WEST minlon] [EAST maxlon] [NORTH maxlat] [SOUTH minlat]
    [MAGnitude|REsidual|RMean_residual] [Evevntfile filename]
    [TOPOgraphy] [STANames] [MAPSCALE on|off] [PLOTSTATIONS on|off]
    [PLOTEvents on|off] [PLOTLEGEND on|off] [LEGENDXY x y]
    [FILE output-file]
```

输入

SAC 中可以使用的投影方式包括：

- MERCATOR：投影方式为 Mercator 投影
- EQUIDISTANT：投影方式为等间距圆柱投影，经纬度为线性
- ROBINSON：投影方式为 Robinson 投影，适用于世界地图
- LAMBERT：适用于东西范围较大的区域
- UTM：通用横向 Mercator（尚未实现）

下面的选项允许用户指定地图的区域，其默认使用台站以及事件经纬度的最小最大值（如果真是如此，这样的缺省值并不合适，因为那样意味着某些台站或事件将位于地图的边界处，但是实际上地图范围给的还是不错的）：

- WEST：地图的最小经度
- EAST：地图的最大经度
- NORTH：地图的最大纬度
- SOUTH：地图的最小纬度
- AUTOLIMITS：自动决定地图的区域 [缺省值]

下面的选项允许用户向地图中添加位置和注释：

- STANames on|off：在地图上绘制台站名 [默认为 off]
- MAPSCALE on|off：在地图上绘制地图比例尺 [默认为 off]
- PLOTSTATIONS on|off：绘制地震图给出的全部台站 [默认为 on]

- **PLOTEVENTS on|off**: 绘制 eventfile 和/或地震图给出的全部事件 [默认为 on]

下面的选项允许用户根据不同的值给出不同地震事件符号的大小。默认值是所有符号大小一样:

- **MAGnitude**: user0 定义地震震级, user0 越大, 则事件符号越大
- **REsidual**: user0 定义残差。根据 user0 的绝对值定义事件符号的大小。正值为 + 负值为 -
- **RMean_residual**: 与 residual 相同, 除了将所有残差去除均值之外
- **PLTLEGEND on|off**: 绘制地震震级以及残差的图例 [默认为 on]
- **LEGENDXY x y**: 绘制图例的绝对位置, 默认为 [1,1]。位置是相对于页面的左下角, 其单位为 inch。这是一个与地震震级和残差有关的图例。
- **EVENTFILE**: 指定一个自由格式的 ASCII 文本文件, 其包含了额外的事件数据, 文件的每一行包含单个事件的数据。每行的头两列必须包含纬度和经度 (单位为度)。第三列可以包含符号大小信息 (比如震级、深度、走时残差等)。
- **TOPOgraphy on|off**: 设置 TOPO 为开允许用户向地图中添加地形和海洋深度。该命令读取 GMT 中 grdraster.info 的第一个地形文件, 当然地形文件中必须要有该区域的数据。地形彩色图使用 \$SACAUX/ctables/gmt.cpt。网格文件被写入当前目录
- **FILE**: 默认的输出文件名为 gmt.ps, 你可以通过 FILE 选项指定文件名

可以用 SAC 的 **title** 命令指定地图标题。

缺省值

```
map mercator topo off stan off file gmt.ps plotstations on
plotevents on
```

示例

利用 SAC 提供的一些数据作为例子:

```
SAC> dg sub regional *.z
SAC> title "Station Location Map"
SAC> map stan on
Using Default Postscript Viewer
gs -sDEVICE=x11 -q -dNOPROMPT -dTTYPAUSE
```

绘制出的地图如 [图 12.3](#) 所示, 整个地图的边界控制的还算不错, 还算比较美观, 三角形代表台站位置, 圆形代表地震位置, 大小也控制的不错。生成这个图的同时, 还有一个可以用于生成该地图的 shell 脚本。

默认情况下, 该命令会自动使用 gs 预览生成的 PS 文件。如果想用其他 PS 阅读器预览, 可以通过修改环境变量 SACPSVIEWER 来实现, 比如 `export SACPSVIEWER=evince`。

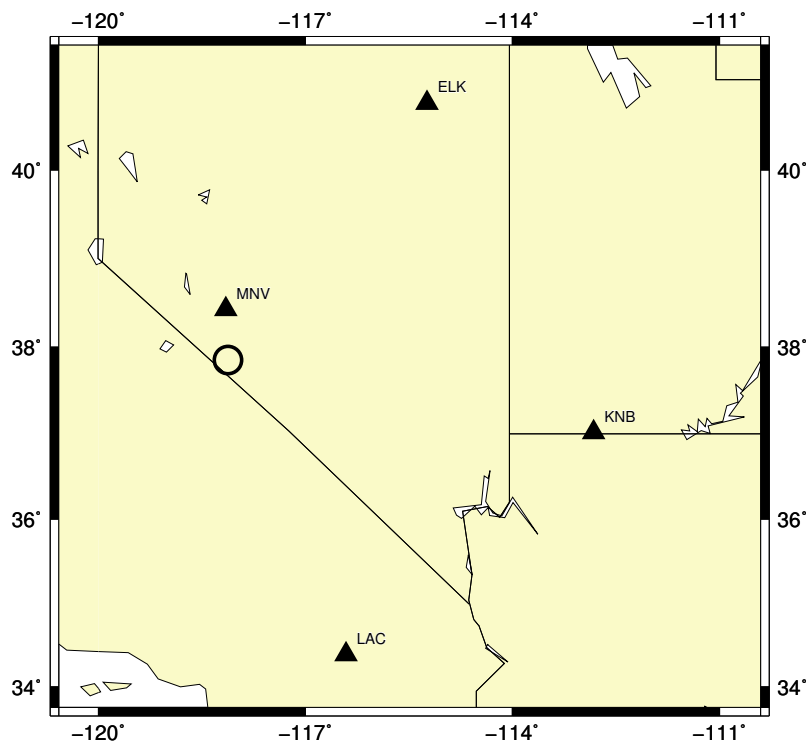


图 12.3: map 绘制地震、台站分布图

头段数据

台站纬度 (stla) 以及经度 (stlo) 必须在头段中被定义。如果事件纬度 (evla) 以及经度 (evlo) 被定义则其会被包含在地图中。如果这个命令在执行 `bbfk` 之后执行, `map` 将沿着反方位角方向绘制大圆弧路径。这个版本的 `map` 是基于 4.0 版本的 Generic Mapping Tools, 要执行这个命令, 你需要将 GMT4.0 安装在你的机器上并保证可执行文件位于路径中。

每个 `map` 命令的结果将写入当前目录下一个称为 `gmt.csh` 的脚本中。用户可以修改这个文件以利用更多 SAC 未利用的选项。默认单位是 inch, 当然可以在脚本中修改。

在使用 `pscoast` 绘制海岸线时, SAC 采用了 `-Dl` 选项, 其中 `l` 代表低精度的海岸线数据。用户可以在脚本中修改使用更高精度的海岸线数据。

12.86 markptp

概要

测量并标记信号在测量时间窗内的最大峰峰值

语法

```
MARKPtp [Length v] [To marker]
```

输入

LENGTH v 设置滑动窗的长度为 v 秒

TO marker 指定某个时间标记头段用于保存最小值的所对应的时刻；最大值所对应的时刻保存在下一个时间标记头段中。时间标记头段 marker 可以取 Tn (n=0-9)。

缺省值

```
markptp length 5.0 to t0
```

说明

该命令会计算信号在测量时间窗内的最大峰峰值。所谓最大峰峰值，即最大振幅与最小振幅的振幅差。测量结果中，最小值（波谷）所对应的时刻会写到 **T0 marker** 中所指定的时间标记头段中，最大值（波峰）所对应的时刻会写到相应的下一个时间标记头段中。最大峰峰值保存到 **user0** 中，**kuser0** 中的值为 **PTPAMP**。如果使用 **oapf** 打开了字符数字型震相拾取文件，则该命令的结果也会写入到文件中。

默认情况下，测量时间窗为整个信号，可以使用 **mtw** 命令设置新的测量时间窗。同时，在测量时还需要设置滑动时间窗（sliding time window）的长度。滑动窗的工作原理是，首先将长度为 v 的滑动窗置于测量时间窗的起始位置，搜索该滑动窗内的最大峰峰值，然后将长度为 v 的滑动窗向右移动一个数据点，并搜索该滑动窗内的最大峰峰值，以此类推，直到滑动窗的右边界与测量时间窗的右边界重合为止，此时将有多个最大峰峰值，最后返回所有最大峰峰值中最大的一个。

对于滑动时间窗（sliding time window）的长度，若 stw 的长度大于 mtw 的长度，则 **stw=mtw**；若 stw 的长度小于等于零，则 **stw=mtw/2**。

示例

设置测量时间窗为头段 T4 和 T5 之间，并使用默认的滑动时间窗长和时间标记：

```
SAC> mtw t4 t5
SAC> markptp
SAC> lh t0 t1 user0 kuser0
```

设置测量时间窗为初动之后的 30 s，滑动时间窗为 3 s，起始时间标记为 T7：

```
SAC> mtw a 0 30
SAC> markptp l 3. to t7
SAC> lh t7 t8 user0 user1
```

头段变量

Tn、KTn、user0、kuser0

源码

src/smm/xmarkptp.c、src/smm/ptp.c

12.87 marktimes

概要

根据一个速度集得到走时并对数据文件进行标记

语法

```
MARKTimes [To marker] [Distance Header|v] [Origin Header|v|GMT time]
          [Velocities v ... ]
```

输入

TO marker 定义头段中用于储存结果的第一个时间标记。对下一个的速度使用下一个时间

marker T0|T1|T2|T3|T4|T5|T6|T7|T8|T9

DISTANCE HEADER 使用头段中的 *dist* 代表距离用于走时计算

DISTANCE v 使用 *v* 作为走时计算中的距离

ORIGIN HEADER 使用头段中的参考时间 (0) 用于走时计算

ORIGIN v 使用相对参考时间偏移 *v* 秒用于走时计算

ORIGIN GMT time 使用 GMT 时间作为参考时间

time GMT 时间包含六个整数：年、儒略日、时、分、秒、毫秒

VELOCITIES v ... 设置用于走时计算的速度集，最多可以输入 10 个速度

缺省值

```
marktimes velocities 2. 3. 4. 5. 6. distance header origin header to t0
```

说明

这个命令在头段中标记震相的到时，给定事件的发生时间，震中距以及速度即可计算到时。下面的方程用于简单估计走时：

$$time(j) = origin + \frac{distance}{velocity(j)}$$

结果被写入指定的时间标记中

示例

使用默认的速度集，强制距离为 340 km，第一个时间标记为 T4：


```
SAC> marktimes distance 340. to t4
```

选择一个不同的速度集：

```
SAC> markt v 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5
```

设置新的参考时间并将结果保存在 T2 中：

```
SAC> markt origin gmt 1984 231 12 43 17 237 to t2
```

头段变量改变

Tn、KTn

12.88 markvalue

概要

在数据文件中搜索并标记某个值

语法

```
MARKValue [GE|LE v] [TO marker]
```

输入

GE v 搜索并标记第一个大于或等于 v 的数据点

LE v 搜索并标记第一个小于或等于 v 的数据点

TO marker 用于保存数据点的时刻的时间标记头段，marker 可以取 Tn (n=0-9)

缺省值

```
markvalue ge 1 to t0
```

说明

该命令会在信号的测量时间窗内搜索第一个满足条件（大于或等于/小于或等于）的数据点，并将该数据点所对应的时刻记录下来。默认情况下，测量时间窗为整个信号，可以使用 [mtw](#) 命令设置新的测量时间窗。

示例

搜索文件中第一个值大于 3.4 的点并将结果保存在头段 T7 中：

```
SAC> markvalue ge 3.4 to t7
```

设定测量时间窗为 T4 后的 10 秒，并搜索第一个小于-3 的值：

```
SAC> mtw t4 0 10
SAC> markvalue le -3 to t5
```

头段变量改变

Tn、KTn

12.89 mathop

概要

控制数学操作符的优先级

语法

```
MATHOP NORMAL|MATH|FORTRAN|NONE|OLD
```

输入

NORMAL|MATH|FORTRAN 使用正常的数学操作符优先级
NONE|OLD 不使用操作符优先级

缺省值

```
mathop NORMAL
```

说明

该命令控制数学操作符的优先级。正常情况下，乘法和除法的优先级要比加法和减法高，指数运算拥有最高的优先级。

101.6 之前的版本中，SAC 在进行代数运算时没有考虑操作符的优先级，整个表达式按照从左到右的顺序依次进行计算。

SAC 在 101.6 之后的版本中，默认使用正常的操作符优先级。对于一些在老版本 SAC 下写的脚本或宏来说，可能依赖于旧的优先级顺序。可以考虑修改脚本以适应新版本的优先级或者直接设定适应 OLD 优先级。

示例

正常的操作符优先级：

```
SAC> mathop normal
SAC> eval 1+2*3
7
SAC> eval 1+(2*3)
7
```

旧的操作符优先级：

```
SAC> mathop old
SAC> eval 1+2*3
9
SAC> eval 1+(2*3)
7
```

12.90 merge

概要

将多个数据文件合并成一个文件

语法

```
MERGE [Verbose] [Gap Zero|Interp] [Overlap Compare|Average] [filelist]
```

输入

VERBOSE 合并数据时在终端显示合并的细节

GAP ZERO|INTERP 如何处理数据间断。ZERO 表示将数据间断处补零值；INTERP 表示对数据间断处进行线性插值

OVERLAP COMPARE|AVERAGE 如何处理数据重叠。COMPARE 表示对重叠的时间段内的数据进行比较，若不匹配则退出；AVERAGE 表示对重叠时间段内的数据进行平均

filelist SAC 二进制数据文件列表

说明

该命令用于将一系列时间上相邻的数据文件首尾相连合并成一个文件。在合并数据时，会先检查要合并的文件是否有相同的 **kstnm**、**knetwk**、**kcmpnm**、**delta**。

在 SAC v101.6 中完全重写了该命令，因而该命令的功能和语法与之前的版本有所不同。

在 v101.6 之前的版本中，**merge** 命令的用法与 **addf** 命令的用法相似。该命令会将内存中的文件依次分别与 **filelist** 中的文件进行合并，且内存中的文件的开始时刻必须早于 **filelist** 中的文件的开始时刻。因而在将多个数据文件合并成一个文件时，只能先读取第一段数据，然后 **merge** 第二段数据，再 **merge** 第三段数据，依次不断循环执行。

旧版本的 **merge** 命令用起来相对复杂。需要多次执行 **merge** 命令，且需要用户自己判断波形文件的先后顺序。

v101.6 之后的新版 **merge** 命令，会将内存中的全部数据文件以及 **filelist** 中的全部文件合并成单个文件。若内存中无数据，则只合并 **filelist** 中的数据文件；若 **filelist** 为空，则只合并内存中的数据文件。且新版的 **merge** 命令可以合并任意数目和任意顺序的数据文件。

若要合并的数据段之间存在间断，可以通过补零或线性插值的方式弥补间断；若数据段之间存在重叠，可对重叠的部分进行比较，判断重叠的区域内振幅是否匹配，或者直接进行振幅的平均。

示例

下面看一个数据合并的示例：

```
SAC> read file1 file2
SAC> merge file3 file4
```

在 v101.6 之前的版本中，本示例的运行结果是：file3 与 file1 合并成文件 file1，file4 与 file2 合并成文件 file2，此时内存中有两个文件 file1 和 file2。而在 v101.6 及其之后的版本中，这个例子的结果是，文件 file1、file2、file3、file4 合并成文件 file1，此时内存中只有一个文件 file1。这样的修改使得不同版本的语法不兼容，但实际使用时新版的 merge 命令要更方便也更符合人的正常思维。

下面介绍几个新版本的 merge 命令的用法示例。

多个文件合并成单个文件的一种方法：

```
SAC> r file1                # 读取一个文件
SAC> merge file2 file3 file4 # merge 其余文件
SAC> w over
```

另一种合并办法：

```
SAC> r file1 file2 file3 file4
SAC> merge                # 合并内存中的所有文件
SAC> w over                # 合并后的文件写入到 file1 中
```

再一种合并方法：

```
SAC> merge file1 file2 file3 file4 # 内存中无数据
SAC> merge file1 file2 file3 file4 # 合并 filelist 中的全部文件
SAC> w over                        # 保存到 file1 中
```

头段变量改变

npts、depmin、depmax、depmen、e

BUGS

- filelist 不支持通配符 (v101.6a)

12.91 message

概要

发送信息到用户终端

语法

```
MEssage text
```

输入

text 要发送到终端的信息文本。若文本中有空格则必须用引号括起来

说明

此命令用于在 SAC 宏文件执行时发送状态或其他信息给用户，在交互式模式下一般没有用（除非你想自己跟自己聊天，如示例所示）。

示例

发送无空格的信息：

```
SAC> message finished
finished
```

发送带有空格的信息，需要加上单引号或双引号：

```
SAC> message 'Job has finished.'
Job has finished.
```

12.92 mtw

概要

设置某些测量命令中的测量时间窗（measurement time window）

语法

```
MTW [ON|OFF|pdw]
```

输入

ON 打开测量时间窗选项但不改变窗的值

OFF 关闭测量时间窗选项，测量命令将对整个文件进行操作

pdw 打开测量时间窗并设置其新值，参考[pdw](#) 一节

缺省值

```
mtw off
```

说明

SAC 中与测量有关的命令有[markptp](#) 和[markvalue](#)。当不设置 `mtw` 时，测量命令会对整个文件进行操作；当设置了 `mtw` 时，测量命令仅 `mtw` 时间窗内的数据执行测量命令。

12.93 mul

概要

数据文件的每个数据点乘以同一个常数

语法

```
MUL [v1 [v2 ... vn]]
```

输入

- v1** 乘到第一个文件的常数
- v2** 乘到第二个文件的常数
- vn** 乘到第 *n* 个文件的常数

缺省值

```
mul 1.0
```

说明

参见[add](#) 的相关说明。

头段变量改变

`depmin`、`depmax`、`depmen`

12.94 mulf

概要

使内存中的一组数据乘以另一组数据

语法

```
MULF [NEWHDR [ON|OFF]] filelist
```

输入

NEWHDR ON|OFF 指定新生成的文件使用哪个文件的头段。**OFF** 表示使用内存中原文件的头段区，**ON** 表示使用 filelist 中文件的头段区。缺省值为 **OFF**

filelist SAC 二进制文件列表

说明

参见 [addf](#) 命令的相关说明。

头段变量

depmin、depmax、depmen、npts、delta

12.95 mulomega

概要

在频率域进行微分操作

语法

```
MULOMEGA
```

说明

根据傅里叶变换的微分性质：

$$\mathcal{F}[f'(x)] = i\omega \mathcal{F}[f(x)]$$

其中 $\omega = 2\pi f$ ，即函数微分在频率域可以用简单的乘法来表示。

该命令仅可对谱文件进行操作，谱文件可以是振幅-相位型或实部-虚部型。

若为振幅-相位型：

$$\mathcal{F}[f'(x)] = i\omega \mathcal{F}[f(x)] = i\omega(A(\omega)e^{\theta(\omega)}) = (A(\omega)\omega)e^{\theta(\omega)+\pi/2}$$

若为实部-虚部型：

$$\mathcal{F}[f'(x)] = i\omega \mathcal{F}[f(x)] = i\omega(a(\omega) + ib(\omega)) = -b(\omega)\omega + ia(\omega)\omega$$

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.96 news

概要

终端显示关于 SAC 的一些信息

语法

```
NEWS
```

说明

其实质就是将文件 `${SACHOME}/aux/news` 的内容显示到终端。

12.97 null

概要

控制空值的绘制

语法

```
NULL [ON|OFF|value]
```

输入

value 将数据中的空值替换为 **value**

ON 打开绘图时的空值选项

OFF 关闭绘图时的空值选项

缺省值

```
null off
```

说明

有些情况下，数据中存在间断，此时没有有用的值，称为空值。在多数情况下将空值设置为一个预定的值，一般来说是 0.0、-1.0、-99。通常用户不希望这些值在绘图时显示。**null** 命令允许用户定义空值并在绘图时不连接这些点。

示例

设置空值为-1.0 并打开空值选项：

```
SAC> null on -1.0
```


12.98 oapf

概要

打开一个字母数字型震相拾取文件

语法

```
OAPF [STANDARD|NAME] [file]
```

输入

STANDARD 在写震相拾取文件时使用标准文件 id。标准文件 id 包含了头段中事件名、台站名、分量方位角以及入射角。

NAME 使用 SAC 文件名代替标准文件 id

file 要打开的字符数字型震相拾取文件，如果该文件已经存在，则其将会被打开，新的震相拾取会加到文件的底部

缺省值

```
oapf standard apf
```

说明

震相拾取文件可以作为自动拾取 ([apk](#)) 以及人工拾取 ([plotpk](#)) 命令产生的简单数据库。每个震相拾取被写在文件的一行上。这个文件的每个常规行包含一个文件 id、一个震相拾取 id、震相拾取的时间、拾取的幅度以及一些格式信息。这些行为 80 个字符长。文件 id 是一些标准的头段信息或者文件名。拾取到的时间是 GMT 时间或者时间偏移。这依赖于产生这些拾取的命令如 **apk** 或 **ppk** 中指定的选项。这将导致 4 个不同的格式，在第 79 列上以不同的字符标识这些行，如那些波形和峰峰值的读取数据，在 80 列以后不附加字段。一行的最大长度为 200。下面会展示不同格式的行。

12.99 ohpf

概要

打开一个 HYPO 格式的震相文件

语法

```
OHPF [file]
```

输入

file 要打开的文件名。如果文件已经存在，则打开并将新的震相加到文件底部

缺省值

```
OHPF HPF
```

说明

SAC 产生的 HYPO 震相拾取文件可以用于程序 HYP071 以及其他类似事件定位程序的输入。由 `apk` 和 `plotpk` 得到的震相拾取信息被写入这个打开的文件中，这个文件可以使用 `chpf` 关闭。打开一个新的 HYPO 文件会自动关闭前一个已经打开的文件。打开一个已经存在的 HYPO 文件的同时也会自动删除文件的最后一行，这一行原本有一个指令标记 10 作为 HYPO 文件的结束标志符，删除最后一行意味着可以在其后添加新的拾取。终止 SAC 也会自动关闭任何已经打开的拾取文件，事件分割符能够用 `whpf` 命令写入震相拾取文件。

12.100 pause

概要

发送信息到终端并暂停，直到终端输出换行符

语法

```
PAUSE [MESSAGE text] [PERIOD ON|OFF|v]
```

输入

MESSAGE text 暂停前发送到终端的文本，若文本包含空格则用引号括起来

PERIOD v 打开 `period` 选项并设置暂停的时间长度为 `v` 秒

PERIOD ON 打开 `period` 选项但不改变暂停的长度，若改选项为开，SAC 会暂停一段时间然后自动恢复执行

PERIOD OFF 关闭 `period` 选项开关。当该选项关闭时，SAC 将暂停直到终端输入回车键

缺省值

```
pause message 'Pausing' period off
```

说明

该命令使你能够暂停 SAC 宏文件的执行。当该命令被执行时，SAC 发送信息到终端、暂停，然后等待用户在终端输入回车或者暂停时间结束。当你想要研究一个特定命令的输出时可以让宏文件暂停执行再继续。

12.101 picks

概要

控制时间标记的显示

语法

```
PICKS [ON|OFF] [pick Vertical|Horizontal|Cross] [Width v] [Height v]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭时间标记的显示

pick SAC 中与时间标记有关的头段变量名，可以取 O、A、F、Tn (n=0-9)

VERTICAL 在时间标记处绘制垂直线，标记名位于垂直线的右下方

HORIZONTAL 在最接近时间标记的数据点处绘制水平线，标记名位于线上或线下

CROSS 在时间标记处绘制垂直线，在最近的数据点处绘制水平线

WIDTH v 设置水平线的宽度为 v，其中宽度值为占图形宽度的比例

HEIGHT v 设置垂直线的高度为 v，其中高度值为占图形高度的比例

缺省值

```
picks on width 0.1 height 0.1
```

所有时间标记的类型都是 VERTICAL

说明

该命令控制 SAC 绘图上时间标记的显示。这些时间标记标识了如震相到时、事件发生时刻等。当打开显示选项时，每一个定义了的时间标记都会在绘图上相应时刻处绘制一条线，并且在其旁有一个标记名。标记名是一个 8 字符长的头段变量。头段变量中 KA、KF、KO 以及 KTn 分别是 A、F、O 和 Tn 的时间标记名。如果标记名未定义，则标记名就是头段变量名。每一个时间标记可以被显示为一条垂直线、一条水平线或一个交叉线。

示例

以交叉线显示时间标记 T4、T5 和 T6，并改变交叉线的高度和宽度：

```
SAC> picks t4 c t5 c t6 c w 0.3 h 0.1
```

BUGS

- height 选项对 VERTICAL 垂直线无效 (v101.6a)

12.102 pickauthor

概要

告诉 SAC 从一个用户定义的参考文件中读入作者列表（也可能是震相拾取信息），或在该行命令行上输入作者列表

语法

```
PICKAuthor author1 [author2 author3 ...]  
PICKAuthor FILE [filename]  
PICKAuthor PHASE [filename]
```

输入

authorlist SAC 使用输入创建作者列表

FILE 如果使用了 **FILE** 选项，SAC 将从参考文件中读取作者列表。如果参考文件的文件名在命令行上给出，则 SAC 将读取这个指定的文件，否则 SAC 将根据上一次执行 [pickauthor](#) 读取最近输入的文件名。如果未给出文件名，则 SAC 使用 `$SACaux/csspickprefs`

PHASE 与 **FILE** 选项相似，其另一个功能是允许 SAC 读取指定的头段变量信息

缺省值

```
pickauthor file
```

说明

[pickauthor](#) 提供了一种在命令行上覆盖参考文件的方法。其可以用于在命令行提供作者的优先列表信息，或者将 SAC 从一个参考文件重定向到另一个。更多关于参考文件的信息，参考 [pickprefs](#) 以及 [readcss](#)。

注意：如果当数据在数据缓冲区内而用户修改了参考文件，那么在 SAC 缓冲区中的震相拾取将可能被修改。（缓冲区的信息可以通过 [listhdr](#) 和 [chnhdr](#) 查看）。

例：如果作者列表是 “john rachel michael”，并且一些文件被用 [readcss](#) 命令读入，一些到时可能以 `author=michael` 读入。（用户可能不会注意到对于某个给出的震相拾取其作者是谁，因为在 CSS 中的作者字段在 SAC 格式中并不会出现）。如果用户稍后使用了 [pickauthor](#) 命令并修改作者列表为 “peter doug rachel”，然后 `readcss more` 读入更多文件，没有 `author=michael` 的文件读入，已经在内存中的文件将丢失以 michael 作为作者的拾取。不了解这个用户可能会莫名地发现似乎震相拾取会随机消失。更多的信息参考 [pickprefs](#)。

12.103 pickphase

概要

告诉 SAC 从一个用户定义的参考文件中读入震相列表（也可能是作者信息），或在该命令行上输入震相列表

语法

```
PICKPhase header phase author [header phase author ...]  
PICKPhase FILE [filename]  
PICKPhase AUTHOR [filename]
```

输入

header 头段变量名：t0-t9

phase 对于给出的头段变量对应的拾取的震相名

author 告诉 SAC 作者列表，为某个头段所对应的作者，或者是 -

FILE 如果使用了 FILE 选项，SAC 将从参考文件中读取震相列表。如果参考文件的文件名在命令行上给出，则 SAC 将读取这个指定的文件，否则 SAC 将根据上一次执行 pickphase 读取最近输入的文件名。如果未给出文件名，则 SAC 使用 \$SACAUX/csspickprefs

AUTHOR 与 FILE 选项相似，其另一个功能是允许 SAC 读取指定的头段变量信息

缺省值

```
pickphase file
```

说明

pickphase 用于在命令行上覆盖参考文件。其可以用于在命令行提供指定的头段/震相/作者信息，或者将 SAC 从一个参考文件重定向到另一个。更多关于参考文件的信息，参见[pickprefs](#) 以及[readcss](#)。

注意：如果当数据在数据缓冲区内而用户修改了参考文件，那么在 SAC 缓冲区中的震相拾取将可能被修改。（缓冲区的信息可以通过[listhdr](#) 和[chnhdr](#) 查看）。

例：如果当一些含有某些 pP 或 PKiKP 震相的 SAC 文件通过命令读入时，被允许的震相包括 pP 以及 PKiKP，那么这些拾取将出现在 Tn 时间标记中。如果 pickphase 在稍后再次使用将 pP 以及 PKiKP 从允许的震相中去除，那么 pP 以及 PKiKP 到时将不会从 CSS 文件中读取，已经在内存中的数据的 pP 和 PKiKP 拾取将从 Tn 时间标记中去除。

12.104 pickprefs

概要

用于控制 SAC 管理震相和/或从不同的输入数据格式（例如 CSS、GSE、SUDS...）读入到时间标记变量 T0 到 T9，若这个选项为 OFF（缺省状态），则载入到时间标记的震相为 SAC 在输入文件中发现的第一个拾取，如果这个选项为 ON，SAC 将使用[readcss](#) 命令中描述的参考文件

语法

```
PICKPRefs ON|OFF
```

输入

ON 指示 SAC 通过参考文件将到时信息由 CSS 缓冲区传送到 SAC 缓冲区。这对于需要特定到时位于特定头段变量的宏文件来说很有用

OFF 指示 SAC 绕过参考文件，载入给定文件的前 10 个震相拾取。这个是默认值，它允许用户注意一些在 PICKPREFS ON 时无法注意的拾取。

缺省值

```
pickprefs off
```

说明

从版本 0.58 开始，sac2000 就有两个不同的头段缓冲区：一个根据 SAC 文件格式构建，一个根据有关的 CSS3.0 文件格式。添加了 CSS 数据缓冲区使得读取如 CSS、GSE、SUDS 等这里相关格式变得更加容易。两个缓冲区同时也使得下面的几个命令得以使用：COMMIT、ROLLBACK、RECALLTRACE。有两个缓冲区的一个缺点是将到时从动态的 CSS 到时表转移到 SAC 格式中相对静态的 Tn 拾取变得更加复杂了，这个问题在 0.58 版本中通过设置了一个称为 csspickprefs 的参考文件得以解决。这个文件在 \$SACaux 目录下，你可以覆盖它写入你想要的信息。更多关于 csspickprefs 的信息，参见[readcss](#) 命令。关于如何覆盖默认参考文件，参看[pickauthor](#) 或[pickphase](#)。

使用参考文件的缺点是它将只接收列在参考文件中或在命令[pickphase](#)、[pickauthor](#) 中输入的震相或作者列表。换句话说，如果一个 CSS 数据文件有一个 pP 的到时，不管其来自于平面文件还是 Oracle 数据库，而 pP 未在参考文件中指定，那么用户就绝不会知道 pP 在那里。pP 震相将读入 SAC 中的 CSS 数据缓冲区，但是它不会转变到 SAC 数据缓冲区中，也不会参与任何 SAC 命令。它可以通过[writecss](#) 命令写出，或者可能通过 COMMIT 命令刷新然后全部丢失。

SAC 给出的解决办法是允许用户绕过参考文件。在 0.59 版本中，默认是从 CSS 缓冲区中直接读入前 10 个可用的拾取到 SAC 缓冲区中，通过这个新命令的使用，用户可以告诉 SAC 使用指定的参考文件。

12.105 plabel

概要

定义通用标签及其属性

语法

```
PLABEL [n] [ON|OFF|text] [Size Tiny|Small|Medium|Large]
        [Below|Position x y [a]]
```

输入

n 设置第 *n* 个通用标签的属性，若省略，则在前一通用标签号上加 1

text 设置标签的内容，并打开通用标签选项

ON 打开通用标签选项，但不改变标签文本

OFF 关闭绘图标签选项

SIZE TINY|SMALL|MEDIUM|LARGE 修改通用标签的文本尺寸。TINY、SMALL、MEDIUM、LARGE 分别表示一行 132、100、80、50 个字符

BELOW 将此标签放在前一标签的下面

POSITION x y a 定义该标签的位置。其中 *x* 的取值为 0 到 1，*y* 的取值为 0 到最大视口（一般为 0.75），*a* 是标签相对于水平方向顺时针旋转的角度

缺省值

默认字体大小为 `small`，标签 1 的位置为 `0.15 0.2 0.`。默认其他标签的位置为上一个标签之下。

说明

该命令允许你为接下来的绘图命令定义通用的绘图标签。你可以定义每个标签的位置及文本尺寸。文本质量以及字体可以用 `gtext` 命令设定，也可以使用 `title`、`xlabel`、`ylabel` 生成图形的标题以及轴标签。

示例

为绘图定义一系列标签：

```
# 三行标签
SAC> dg sub local cdv.z
SAC> plabel 'Sample seismogram' p .12 .5
SAC> plabel 'from earthquake'
SAC> plabel 'in Livermore Valley, CA'
# 放在左下角的标签
SAC> plabel 5 'LLNL station: CDV' S T P .12 .12
SAC> p
```

BUGS

- `text` 必须用引号括起来 (v101.6a)
- `text` 的最后一个字符会被忽略 (v101.6a)
- `text` 不能以 `on` 或 `off` 开头，会被误解释为选项 `on` 或 `off`，前者导致直接出现段错误，后者导致不显示标签 (v101.6a)

12.106 plot

概要

绘制单波形单窗口图形

语法

```
Plot
```

说明

每个数据文件绘制在单独窗口中，图形的大小由 `xvport` 和 `yvport` 决定。每个图形的 Y 轴范围由数据的极值决定，也可以用 `ylim` 手动限制 Y 轴的范围。X 轴的范围由 `xlim` 命令控制。用户可以用 `fileid` 控制每张图的文件 ID，也可以用 `picks` 控制时间标记的显示。

SAC 会在每张图之间暂停给你机会检查每张图，其将会在终端输出 `Waiting` 并等待你的响应。你可以输入回车以查看下一张图，关键字 `go` 或 `g` 可以不暂停地绘制余下的所有文件，或者关键字 `kill` 或 `k` 可以中止绘制余下的文件。

12.107 plot1

概要

绘制多波形多窗口图形

语法

```
Plot1 [Absolute|Relative] [Perplot ON|OFF|n]
```

输入

ABSOLUTE|RELATIVE 绝对/相对绘图模式

PERPLOT n 每张图上绘制 n 个文件

PERPLOT ON 每张图绘制 n 个文件，使用 n 的旧值

PERPLOT OFF 所有文件绘制在一张图上

缺省值

```
plot1 absolute perplot off
```

说明

`plot1` 用于一次性绘制多个波形，多个波形共用同一个 X 轴，但各自拥有一个单独的 Y 轴。绘图的总尺寸由当前视口决定（`xvport` 和 `yvport`）。每一个子图的大小由视口大小以及要绘制的波形数目决定。绘图的 X 轴范围可以是固定的（`xlim`）也可以是与数据长度成比例的。每个子图的 Y 轴范围由文件极值决定或者可以通过 `ylim` 命令自己设置。

多个波形共用 X 轴时，有 `absolute` 和 `relative` 两种绘图模式。在 `absolute` 模式下，所有波形将按照其绝对时刻对齐，即 X 轴表示相对于某个固定参考时刻的秒数；在 `relative` 模式下，所有数据将按照文件开始时间对齐，X 轴的范围为 0 到最大时间差（所有文件中结束时间和开始时间的最大时间差，即最大 `e-b`），每个波形从 X 轴的零点开始绘制，该零点所对应的真实时刻，会在图中以 `OFFSET: xxx` 的形式标出。

示例

下面的例子是由 LLNL DSS 的 4 个台站 Elko、Kanab、Landers 和 Mina 记录到的美国西部的一个地震。参考时间为事件发生时刻：

```
SAC> cut -5 200
SAC> read *v
      elk.v knb.v lac.v mnv.v
SAC> fileid location ul type list kstcmp
SAC> title 'regional earthquake:  &1,kztime&  &1,kzdate&'
SAC> qdp 2000
SAC> plot1
```

12.108 plot2

概要

产生一个多波形单窗口绘图

语法

```
Plot2 [Absolute|Relative]
```

输入

ABSOLUTE|RELATIVE 绝对/相对绘图模式

缺省值

```
p2 absolute
```

说明

所有波形数据将绘制在一个绘图窗口中，所有波形共用 X 轴和 Y 轴。`xlim` 和 `ylim` 用于控制 X 轴和 Y 轴的范围，若未指定轴范围，则根据所有文件的极值确定轴范围。由于所有波形重叠在一起，所以通常需要用 `line`、`color`、`symbol`、`width` 为不同波形设置不同的属性，图例的位置由 `fileid` 控制。

多个波形共用 X 轴时，有 `absolute` 和 `relative` 两种绘图模式。在 `absolute` 模式下，所有波形将按照其绝对时刻对齐，即 X 轴表示相对于某个固定参考时刻的秒数；在 `relative` 模式下，所有数据将按照文件开始时间对齐，X 轴的范围为 0 到最大时间差（所有文件中结束时间和开始时间的最大时间差，即最大 `e-b`），每个波形从 X 轴的零点开始绘制。

与 `plot` 和 `plot1` 不同，`plot2` 可以直接用于绘制谱文件。实部-虚部格式的谱数据被绘制为实部-频率。振幅-相位数据被绘制为振幅-频率图，虚部和相位信息被忽略。谱文件总是用 `relative` 模式绘图。在频率域 `b`、`e` 和 `delta` 分别被设置为 0、Nquist 频率以及频率间隔 `df`。头段值 `depmin` 和 `depmax` 未改变。与 `plotsp` 类似，若 `xlim off`，绘图将从 `df=delta` 处开始，而非 0。若 `xlim` 或 `ylim` 在数据变换到频率域之前被改变了，最好在使用 `plot2` 绘图之前输入 `xlim off` 和 `ylim off`。

若内存中同时存在时间序列文件和谱文件，且绘图时没有选择 `relative` 模式，则时间序列将以绝对模式绘图，谱文件将以相对模式绘图。相对模式意味着相对于第一个文件，因而内存中文件的顺序将影响绘图之间的关系。

示例


```
SAC> read mnv.z.am knb.z.am elk.z.am
SAC> xlim 0.04 0.16
SAC> ylim 0.0001 0.006
SAC> linlog
SAC> symbol 2 increment
SAC> title 'rayleigh wave amplitude spectra for nessel'
SAC> xlabel 'frequency (Hz)'
SAC> plot2
SAC> fft
SAC> xlim off ylim off
SAC> line increment list 1 3
SAC> plot2
```

12.109 plotalpha

概要

从磁盘读入字符数据型文件到内存并将数据绘制出来

语法

```
PlotAlpha [MORE] [DIR CURRENT|name] [FREE|FORMAT text] [CONTENT text]   
↪[filelist]
```

输入

MORE 将新读入的文件加到内存中老文件之后。如果没有这个选项，新文件将代替内存中的老文件。参见[read](#) 命令

DIR CURRENT 从当前目录读取并绘制所有文件

DIR name 从文件夹 name 中读取并绘制所有文件，其可以是相对或绝对路径

FREE 以自由格式（以空格分隔数据各字段）读取并绘制 filelist 中的数据文件

FORMAT text 以固定格式读取并绘制 filelist 中的数据文件，格式声明位于 text 中

CONTENT text 定义 filelist 中数据每个字段的含义。text 的含义参见[readtable](#) filelist 字符数字型文件列表，其可以包含简单文件名、绝对/相对路径、通配符。

缺省值

```
plotalpha free content y. dir current
```

说明

参考[readtable](#) 命令的相关说明。该命令与 [readtable](#) 之后再[plot](#) 不同，因为它允许你在每个数据点上绘制标签。

示例

读取并绘制一个自由格式的 X-Y 数据，且其第一个字段是标签：

```
SAC> plotalpha content lp filea
```

12.110 plotc

概要

使用光标标注 SAC 图形和创建图件

语法

```
PlotC [Replay|Create] [File|Macro filename] [Border ON|OFF]
```

输入

REPLAY 重新显示或绘制一个已经存在的文件或宏，关于文件和宏的区别见下

CREATE 创建一个新的文件或宏

FILE filename 重新显示或创建一个文件。如果省略文件名则使用上一个文件

MACRO filename 重新显示或创建一个宏

BORDER ON|OFF 打开/关闭图形的边界

缺省值

```
plotc create file out border on
```

说明

这个命令让你可以注释一个 SAC 绘图或者创建一个用于会议或报告的图件。简单的说就是一个简单的“画图”软件。你需要一个具有光标的图形设备。你可以通过在终端屏幕上放置一个目标（比如圆、方）或者文本创建一个图件。光标的位置决定了目标绘制的位置，敲入的字符决定了要绘制哪个目标。目标包括圆、矩形、多边形、线、箭头、弧，还有多种放置文本的方法。

这个命令绘制出的图可以直接截图利用，绘制过程中用到的所有命令将作为输出文件输出。这个命令有两种输出文件格式：简单文件或宏文件。两者都是字符数字型文件，可以直接用文本编辑器修改。它们包含了 `plotc` 命令中光标响应的历史以及位置。宏文件一旦被创建，可以用于更多的绘图。其比例和旋转角度均可以修改。简单的 `plotc` 文件名以 `.PCF` 为后缀，宏文件名则以 `.PCM` 为后缀。这使得你可以区分你的目录下的这些文件。

当你创建一个新的文件或宏时，SAC 在屏幕上绘制一个矩形，代表你可以绘图的区域，你可以将光标移动到该区域内任何你想放置的位置，并输入代表你想绘制的目标或你想要光标执行的动作所对应的字符。

有两种光标选项类型：动作类和参数设置类。动作类选项将做一些事情（绘制一个矩形，放一些文本），他们如何执行这个操作部分基于当前参数设置选项的值（例如多边形的边数，文本大小等）。这个区别与 SAC 自己的操作命令和参数设定命令相同。下面会列出动作和参数设定选项。

当你重新显示一个文件或者宏时，图形在终端屏幕上将会重新绘制，光标也将打开。你可以像你当初创建这个文件一样向其中加入目标。当你完成创建图件之后你可以将其发送到不同的图形设备，使用 `begindevices` 命令临时关闭终端屏幕打开其他图形设备（比如 `sgf`），然后重新显示这个文件。

为了注释一个 SAC 绘图，要执行 `vspace` 命令设置正确的横纵比，然后执行 `beginframe` 命

令关闭自动刷新，执行需要的 SAC 绘图命令，执行 `plotc` 命令（创建或者重新显示），然后执行 `endframe` 命令恢复自动刷新。

示例

下面的例子展示了如何使用 `plotc` 命令给一个 SAC 标准绘图添加注释：

```
SAC> fg impulse npts 1024           # 生成文件
SAC> lp c2 n 7 c 0.2 t 0.25 a 10    # 低通滤波
SAC> fft
    DC level after DFT is 1
SAC> axes only l b                  # 左和下坐标轴设置
SAC> ticks only l b
SAC> border off
SAC> fileid off
SAC> qdp off
SAC> vspace 0.75                    # 修改图形尺寸
SAC> beginframe                     # 开始绘图
SAC> psp am linlin                  # 绘图
SAC> plotc create file bandpass     # 开始在图上做注释
... 用光标和键盘进行各种操作...
SAC> endframe
```

`plotsp` 用于绘制滤波响应曲线以及两个轴，`plotc` 用于交互式地添加注释。`vspace` 命令限制了图形中纵横比为 3:4 的区域为绘图区域。这个对于之后将输出发送到具有纵横比 3:4 的 SGF 设备来说很有必要。在这之后你将有一个叫做 `BANDPASS.PCF` 的文件，其中包很了这个图形的注释信息。

为了将注释写入 SGF 文件：

```
SAC> begindevices sgf               # 打开 sgf 设备
SAC> beginframe
SAC> plotsp
SAC> plotc replay                   # 重新绘制上一注释图
SAC> endframe
```

这样一个包含注释绘图的 SGF 文件就建立了。

注意

1. 只有当设置正方形视窗 (`vspace 1.0`) 时绘制的圆形和扇形才是正确的，否则只能产生一个椭圆，其纵横比等于视窗的纵横比。
2. 除文本之外的所有操作码都按比例适应图形窗口。

文本尺寸并不是当前标度的。当你生成一个图像并想要将文本放在一个矩形或圆中时会产生一个问题。在这种情况下，图形窗口必须与输出页具有相同的尺寸，以避免图形的偏差。这可以通过使用 `window` 命令设置窗的水平 X 尺寸为 0.75，垂直 Y 尺寸为 0.69。例如：

WINDOW 1 X 0.05 0.80 Y 0.05 0.74。这个命令必须在窗口被创建之前执行。（即在[beginwindow](#) 或[begindevices](#) 之前）

表 12.1: plotc 命令表

字符	含义
A	绘制一条到 ORIGIN 到 CURSOR 的箭头
B	在绘图区周围绘制边界的 tick 标记
C	绘制一个圆心在 ORIGIN，且经过 CURSOR 的圆
D	从 replay 文件中删除最后一个动作选项
G	设置 ORIGIN，并将其全局化
L	绘制一条从 ORIGIN 到 CURSOR 的线
M	在 CURSOR 处插入一个宏文件（输入宏文件名，比例因子和旋转角。若没有指定，则使用上一次的值，默认是 OUT, 1.0, 0）
O	设置 ORIGIN 为 CURSOR
N	绘制一个中心在 ORIGIN，一个顶点位于 CURSOR 的 n 边形
Q	退出 PLOT C
R	绘制对脚位于 ORIGIN 和 CURSOR 的长方形
S	绘制一个圆心位于 ORIGIN 的扇形（用光标的移动来指定扇形的角度，键入 S 来绘制一个小于 180 度的扇形，或者键入 C 绘制它的补集）
T	在 CURSOR 处放置一行文本，文本以回车键结束
U	在 CURSOR 处放置多行文本，文本以空白行结束

关于 PLOT C 命令表的说明

- CURSOR 表示当前光标位置
- ORIGIN 一般为上次光标的位置
- G 选项强制 ORIGIN 固定
- O 选项再次允许 ORIGIN 移动
- Q 选项不自动拷贝至文件，但是可以通过文本编辑器直接加入

如果 SAC 在 replay 模式没有在文件中看到 Q 选项，则其在显示文件内容之后回到光标模式，这使得你可以在文件结束之后继续增加更多的选项。如果 SAC 在文件中看到 Q 选项，则显示其内容并退出。文件中以星号开头的行为注释行。plotc 还有一些更复杂的选项，但是运行起来好像有点问题，有兴趣的可以试试 `help plotctable`。

12.111 plotdy

概要

绘制一个带有误差棒的图

语法

```
PLOTDY [ASPECT ON|OFF] name|number [name|number]
```

输入

ASPECT ON|OFF ON 表示保持 3/4 的纵横比。OFF 允许纵横比随着窗口维度的变换而变换

name 数据文件列表中数据名

number 数据文件列表中的数据号

说明

这个命令允许你绘制一个带有误差棒的数据集。你选择的第一个数据文件（通过名字或文件号指定）将沿着 y 轴绘制第二个数据文件是 dy 值，如果选择了第三个数据文件则其为正的 dy 值

示例

假定你有一个等间距的 ASCII 文件，其包含了两列数据。第一列是 y 值，第二列是 dy 值，你可以像下面那样读入 SAC 并用数据绘制误差棒：

```
SAC> readtable content yy myfile
SAC> plotdy 1 2
```

12.112 plotpk

概要

绘图并拾取震相到时

语法

```
PlotPK [Perplot ON|OFF|n] [Bell ON|OFF] [Absolute|Relative]
      [REference ON|OFF|v] [Markall ON|OFF] [Saveloc ON|OFF]
```

输入

PERPLOT n 一张图绘制 n 个文件

PERPLOT ON 一张图绘制 n 个文件，使用 n 的旧值

PERPLOT OFF 一张图上绘制所有文件

BELL ON|OFF 绘图区内击键时是否响铃

ABSOLUTE|RELATIVE 绝对/相对绘图模式

REFERENCE ON|OFF 是否显示参考线

REFERENCE v 显示参考线，并设置参考值为 v

MARKALL ON 一次标记一张图上所有文件的到时

MARKALL OFF 只标记光标位置所对应的震相到时

SAVELOCS ON|OFF 是否将 L 命令 (表 4.1) 拾取的位置保存到黑板变量中

缺省值

```
plotpk perplot off absolute reference off markall off savelocs off
```

说明

执行该命令后, 即进入 **ppk** 模式, 可用于手动拾取震相。在 **ppk** 模式下, 键盘的输入将被解释为 **ppk** 命令 (表 4.1)。详情请参考[震相拾取](#) 一节。

PERPLOT 选项用于控制每张图上显示的文件数目, 在标记三分量数据时通常设置为 “p3”, 使得一次显示一个台站的三分量数据。

在一张图上绘制多个波形时, 所有波形共用 X 轴, 此时存在 **absolute** 和 **relative** 两种绘图模式。在 **absolute** 模式下, 所有波形将按照其绝对时刻对齐, 即 X 轴表示对于**某个固定参考时刻**的秒数; 在 **relative** 模式下, 所有波形将按照自己的参考时刻对齐, 即 X 轴表示相对于**各自参考时刻**的秒数。

在标记震相到时, 默认只会标记光标位置所对应的波形文件。**MARKALL** 选项可以一次标记当前绘图窗口内的所有波形, 该选项会获取光标位置所对应的横坐标值, 并将其标记到当前绘图窗口内所有波形的头段变量中。该选项常用于一次性拾取单个台站三分量的震相到时, 需要注意的是, 若三分量数据的参考时刻不同, 使用 **MARKALL** 标记的到时则是错的。

若使用 **SAVELOCS** 选项, 则会将 L 命令所拾取的当前光标位置会保存到黑板变量中:

- **NLOCS**: 每次执行 **ppk** 命令时, 该变量初始化为 0, 每使用 L 命令拾取一次光标位置, 其值加 1
- **XLOCn**: 保存第 n 次光标拾取的位置的 X 值; 若参考时刻 **kzdate** 和 **kztime** 有定义, 则 **XLOCn** 保存绝对时刻的值, 否则保存时间偏移的秒数
- **YLOCn**: 保存第 n 次光标拾取的位置的 Y 值

BUGS

- **BELL** 选项在某些平台上不可用 (v101.6a)
- **REFERENCE** 选项无效 (v101.6a)
- 按照说明文档, 绘图时默认使用 **absolute** 模式, 但似乎代码存在 Bug。某些情况下默认使用 **relative** 模式, 但在查看若干头段变量之后再绘图, 则会使用 **absolute** 模式 (v101.6a)

示例代码如下:

```
SAC> dg sub local cdv.z
SAC> w 1.SAC
SAC> ch nzsec 50
```

(下页继续)

(续上页)

```

SAC> w 2.SAC
SAC> r *.SAC
SAC> ppk           # 第一次绘图 of relative 模式
SAC> lh kztime     # 查看头段变量的值
SAC> ppk           # 第二次绘图 of absolute 模式

```

12.113 plotpm

概要

针对一对数据文件产生一个“质点运动”图

语法

PlotPM

说明

在一个质点运动图中，一个等间距文件相对于另一个等间距文件绘图。对于没有自变量的值，第一个文件的因变量的值将沿着 Y 轴绘制，第二个文件的因变量值沿着 X 轴绘制。对于一对地震图来说，这种图展示了一个质点在两个地震图所确定的平面内随时间的运动。它将产生一个方形图，每个轴的范围为因变量的极大极小值。注释轴沿着底部和左边绘制。轴标签以及标题可以通过 `xlabel`、`ylabel` 和 `title` 命令设置。如果未设置 X、Y 标签，则台站名和方位角将用作轴标签。`xlim` 可以用于控制文件的哪些部分需要被绘制。

示例

创建一个两个地震图的质点运动图：

```

SAC> read xyz.t xyz.r
SAC> xlabel 'radial component'
SAC> ylabel 'transverse component'
SAC> title 'particle-motion plot for station xyz'
SAC> plotpm

```

如果你想要值绘制每个文件在初动附近的一部分，你可以使用 `xlim` 命令：

```

SAC> xlim a -0.2 2.0
SAC> PLOTPM

```

也可以使用 `plotpk` 在之前的绘图窗口中设置新的区域，然后绘制命令如下：

```

SAC> beginwindow 2
SAC> plotpk
... mark the portion you want using X and S

```

(下页继续)

(续上页)

```
... terminate PLOTPK with a Q
SAC> beginwindow 1
SAC> plotpm
```

12.114 plotsp

概要

用多种格式绘制谱数据

语法

```
PlotSP [ASIS|RLIM|AMPH|RL|IM|AM|PH] [LINLIN|LINLOG|LOGLIN|LOGLOG]
```

输入

ASIS 按照谱文件当前格式绘制分量

RLIM 绘制实部和虚部分量

AMPH 绘制振幅和相位分量

RL|IM|AM|PH 只绘制实部/虚部/振幅/相位分量

LINLIN|LINLOG|LOGLIN|LOGLOG 设置 x-y 轴为线型还是对数型，与单独的 [linlin](#) 等命令区分开

缺省值

```
plotsp asis loglog
```

说明

SAC 数据文件可能包含时间序列文件或谱文件，**IFTYPE** 决定文件所有哪种类型。多数绘图命令只能对时间序列文件起作用，这个命令则可以绘制谱文件。

你可以使用这个命令绘制一或两个分量。每一个分量绘制在一张图上。你也可以设置横纵坐标为线型或对数型，其仅对该命令有效。

示例

获得一个谱文件振幅的对数-线性的绘图：

```
SAC> read file1
SAC> fft
SAC> plotsp am loglin
```

12.115 plotxy

概要

以一个文件为自变量，一个或多个文件为因变量绘图

语法

```
PlotXY name|number name|number [name|number ...]
```

输入

name 数据文件表中的一个文件名

number 数据文件表中的一个文件号

说明

你选择的第一个文件（通过文件名或文件号）为自变量，沿着 X 轴绘制。余下的数据为因变量，沿着 Y 轴绘制。所有的图形环境命令比如[title](#)、[line](#) 和[symbol](#) 都可以使用以控制绘图的属性。这个命令用于绘制由[readtable](#) 命令读入的多列数据。在多数情况下，其可以看作像用绘图命令一样作出的图表。

示例

假设你有一个 ASCII 文件，其包含 4 列数。你想要将其读入 SAC 并绘图。下面的命令读入这个文件，将其储存为 SAC 内部 4 个分开的文件，打开线型增量开关，然后以第二列为自变量，其他列为因变量绘图：

```
SAC> readalpha content ynnn myfile
SAC> line increment on
SAC> plotxy 2 1 3 4
```

12.116 print

概要

打印最近的 SGF 文件

语法

```
PRINT [printer]
```

说明

这个命令会打印最近生成的 SGF 文件，因而在该命令前至少要产生一个 SFG 文件。该命令会将 SGF 文件发送至打印机 `printer`，如果没有指定则使用系统默认打印机。如果自从登录之后 SGF 设备一直保持关闭，那么 `print` 命令就不会工作。可以使用[begindevices](#)

打开 SGF 设备，使用 SGF 命令设置 SGF 设备的属性。

12.117 printhelp

概要

调用打印机打印帮助文档

语法

```
PrintHelp [item ...]
```

输入

item 命令、模块、子程序、特性的全称或简称

说明

该命令与[help](#)命令的用法相同，其调用系统命令 `lpr` 将文档传递给默认打印机。若 `lpr` 未设置默认打印机，则报错。

12.118 production

概要

控制生产模式的开关

语法

```
PRODUCTION ON|OFF
```

输入

ON|OFF 打开/关闭生产模式

缺省值

```
production off
```

说明

当生产模式处于打开状态时，遇到致命错误将立刻终止 SAC 的运行。在生产模式处于关闭状态时，遇到致命错误后将控制权返回到终端，可以继续执行其他命令。

12.119 qdp

概要

控制低分辨率快速绘图选项

语法

```
QDP [ON|OFF|n] [TERM ON|OFF|n] [SGF ON|OFF|n]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭终端和 SGF 设备的 QDP 选项

n 打开终端和 SGF 设备的 QDP 选项，并设定要绘制的点数为 n

TERM ON|OFF 打开/关闭终端 qdp 绘图选项

TERM n 打开终端的 QDP 选项，并设定要绘制的数据点数为 n

SGF ON|OFF 打开/关闭 SGF 设备的 qdp 绘图选项

SGF n 打开 SGF 设备的 QDP 选项，并设定绘制的数据点数为 n

缺省值

```
qdp term 5000 sgf 5000
```

说明

当文件中的数据点数很多的时候，绘制波形要花费很长的时间。“quick and dirty plot”选项绘制数据文件的部分数据点的方式来加速绘图。

当打开 QDP 选项时，SAC 用文件的数据点数除以 QDP 中的指定的数据点，由此计算每个子区间所包含的数据点数。文件越大，每个子区间中数据点就越多，然后计算并绘制每个子区间内最小和最大数据点，同时在绘图的右下角的矩形框中显示减采样因子。实际显示的数据点数可能与该值所表示的数据点数有所偏差。

以目前计算机的性能而言，大型文件的绘制基本都是瞬间完成的，所以一般都设置关闭此选项。

示例

假设文件 FILE1 有 20000 个数据点，文件 FILE2 有 40000 个数据点，如果你输入：

```
sac> r file1 file2
sac> p
```

那么两张图都将包含 5000 个点。对第一个文件每 4 个点取一个点用于绘图，第二个文件每 8 个点取一个点绘图。

如果想要绘制全部数据点，则需要关闭 QDP 选项：

```
SAC> qdp off
SAC> p
```

12.120 quantize

概要

将连续数据数字化¹

语法

```
QUANTIZE [GAINS n ...] [LEVEL v] [MANTISSA n]
```

输入

GAINS n ... 设置允许的增益表，必须单调递减的，增益的最大数目为 8
LEVEL v 设置最低增益的量化水平，即 Least Significant Bit，单位为伏特
MANTISSA n 设置 Bits，用其尾数表示。

缺省值

```
quantize gains 128 32 8 1 level 0.00001 mantissa 14
```

说明

此命令演示了与 Oppenheim 和 Schafer(1975, Fig. 9.1) 描述的“rounding”量化算法类似的一个量化算法。

算法中的位数通过其尾数表示，则若尾数 mantissa 为 n ，则表示其所能允许的范围是 $\pm \frac{2^n - 1}{2}$ 。

量化水平 level 即 least significant bit 的值，表征了系统所能识别的最小的电压变化，缺省值为 10 微伏。

这个量化函数描述的信号误差是量化水平的一半。在频率域中，这个误差或量化噪声为：

$$Err = \frac{1}{12}(\Delta * Level^2)$$

其中 Δ 是采样周期。量化噪声的单位是 counts*counts，相当于功率谱密度。量化噪声的均方根为 $\frac{1}{6}Level^2$ 。然而，仅当信号的均方根水平远大于量化噪声的均方根值时，才是量化噪声的一个精确的近似。

头段变量

depmin、depmax、depmen

¹ 无法理解这个命令，请阅读官方文档

12.121 quit

概要

退出 SAC

语法

```
Quit
```

说明

该命令用于正常退出 SAC。在退出 SAC 之前，做了如下清理工作：

- 关闭图形设备
- 关闭 pick 文件
- 清空已定义的黑白变量
- 将命令历史写到命令历史文件中
- 释放内存

12.122 quitsub

概要

退出子程序

语法

```
QuitSub
```

说明

该命令用于终止当前活动的子程序，返回到 SAC 主程序，内存中的文件保留。

目前 SAC 提供了两个子程序：

- Spectral Estimation Subprocess 谱估计子程序 (SPE)
- Signal Stacking Subprocess 信号迭加子程序 (SSS)

12.123 read

概要

从磁盘读取 SAC 文件到内存

语法

```
Read [MORE] [DIR CURRENT|name] [XDR|ALPHA|SEGY] [SCALE ON|OFF] [filelist]
```

所有的选项必须位于 filelist 之前。

输入

MORE 将读入的新文件添加到内存中老文件之后。若选项此忽略，则读入的新数据将替代内存中的老数据

DIR CURRENT 从“当前目录”读取文件列表中的文件。“当前目录”为启动 SAC 的目录

DIR name 从目录 name 中读取文件列表中的文件，可以为绝对路径或相对路径¹

XDR 读取 XDR 格式的文件。此格式用于实现不同构架的二进制数据的转换

ALPHA 输入文件是 SAC 的字符数字型文件，该选项与 XDR 选项不兼容

SEGY 读取 IRIS/PASSCAL 定义的 SEG Y 格式文件。该格式允许一个文件包含一个波形

SCALE 只能和 SEG Y 选项搭配使用，该选项默认是关闭的。当 SCALE 选项为 OFF 时，SAC 直接从 SEG Y 文件中读取数据值；当 SCALE 为 ON 时，SAC 将每个数据值乘以文件中给定的 SCALE 因子。若 SCALE 为 OFF，则这个文件中的 SCALE 值将储存在 SAC 头段 SCALE 中；若 SCALE 为 ON，SAC 的 SCALE 头段将被设置为 1.0。

filelist 文件列表。可以是简单的文件名，也可以包含相对或绝对路径，也可以使用通配符

缺省值

```
read dir current
```

说明

该命令将 SAC 文件从磁盘读入到内存中，默认状态下会读取每个磁盘文件中的全部数据点。

cut 命令可以用于指定读取文件的一部分数据。在 2000 年之后产生的 SAC 文件会被假定年份为四位数字。年份为两个数字的文件被假定为 20 世纪，会被加上 1900。

在使用 **read** 命令时，正常情况下内存中的老数据会被新读取的数据所替代。若使用 **more** 选项，则新数据将被读入内存并放在老数据的后面。在如下三种情况下 **more** 选项可能会有用：

- 文件列表太长无法在一行中键入
- 在长文件列表中某个文件名拼错而没有读入，可以使用 **more** 选项再次读入
- 一个文件被读入，作了些处理，然后与原始数据比较

¹ 关于 **dir** 选项，有一个很大的陷阱，详见[读取目录下的 SAC 文件](#)。

示例

`read` 命令的简单示例位于[SAC 读和写](#)一节。

如果你想要对一个数据进行高通滤波，并与原始数据进行对比：

```
SAC> r f01
SAC> hp c 1.3 n 6
SAC> r more f01
SAC> p1
```

假设 SAC 的启动目录位于 `/me/data`，你想要处理其子目录 `event1` 和 `event2` 下的文件。

```
SAC> read dir event1 f01 f02
```

读取了目录 `/me/data/event1` 下的文件。

```
SAC> read f03 g03
```

相同目录下的文件被读入。

```
SAC> read dir event2 *
```

`/me/data/event2` 下的全部文件被读入。

```
SAC> read dir current f03 g03
```

目录 `/me/data` 下的文件被读入。

头段变量

`e`、`depmin`、`depmax`、`depmen`、`b`

12.124 readbbf

概要

将黑板变量文件读入内存

语法

```
ReadBBF [file]
```

输入

file 黑板变量文件名，可以是简单文件名或相对/绝对路径

缺省值

```
readbbf bbf
```

说明

该命令使你能够读取一个黑板变量文件。该文件必须是先前通过 [writebbf](#) 命令写入磁盘的文件。该特性让你能够将某个 SAC 会话的信息保存起来并用在另一次 SAC 会话中。也可以在自己的程序中调用 SAC 函数库以读取黑板变量文件中的黑板变量，这使得你可以在 SAC 和自己的程序之间互相传送信息。

12.125 readcss

概要

从磁盘读取 CSS 格式的文件到内存

语法

```
ReadCSS [BINARY|ASCII] [MAXmem v] [MORE] [TRUST ON|OFF] [VERBOSE ON|OFF]
        [SHIFT ON|OFF] [SCALE ON|OFF] [MAGNitude MB|MS|ML|DEF] [DIR name]
↪wfdisc
        [filelist] [cssoptions]
```

其中 `cssoptions` 用于进一步从 `wfdisc` 文件中筛选满足条件的数据文件，`cssoptions` 可以取：

```
[STAtion station] [CHANnel channel] [BANDwidth bandcode]
[ORIENTation orientation-code]
```

输入

ASCII 读取 ASCII 形式的 CSS 文件（默认值）

BINARY 读取二进制 CSS 文件，阅读 [writecss](#) 以了解更多信息

MAXMEM 设定读取大量数据时所能使用的最大内存占物理内存的百分比。当使用的内存达到设定的上限时，即使已经读取了其他数据库表，也不会再读取更多的波形数据。**MAXMEM** 的默认值是 0.3。

MORE 将读入的波形数据放在内存中的原有波形之后，若不使用该选项，则新读入的波形数据会覆盖内存中的原有波形数据，详情参考 [read](#) 命令。

VERBOSE ON|OFF 如果 **VERBOSE** 是 ON，SAC 会显示正在读取的波形数据的扩展信息，并打印出 CSS 数据库表的概要信息以及数据格式转换的进度信息。

SHIFT ON|OFF 若 **SHIFT** 是 ON，则发震时刻将被设置为 0，其他相关时间头段变量也会做相应修改。与震中距相关的一些头段变量也会受影响。默认值为 **SHIFT ON**。

SCALE ON|OFF **SCALE** 选项的默认值是 OFF。在 `wfdisc` 文件中，有一个字段

为校准因子 CALIB。当 SCALE 选项是 OFF 时，SAC 直接从 .w 文件读取数字信号数据，此时数据的单位是 counts，并将 CALIB 的值保存到 SAC 头段变量 SCALE 中。当 SCALE 选项是 ON 时，SAC 会给读取的数据乘以 CALIB 值，并设置 SAC 的头段变量 SCALE 的值为 1.0。设置 SCALE ON，将数据乘以 CALIB 值，在某种程度上可以认为是对数据去除了仪器响应，但该方法很粗糙，完整地去除仪器响应应使用 transfer 命令。仅当 transfer 命令所需的仪器响应信息无法获取时，才建议使用 SCALE ON。

MAGNITUDE 指定要将哪一种震级放在 SAC 的头段变量 mag 中。Mb 是体波震级，Ms 是面波震级，ML 是地方震震级。默认值是 DEF，其算法为：若 Ms 存在且大于或等于 6.6，则最优先用 Ms。否则，如果 Mb 存在，用 Mb。如果 Mb 不存在，而 Ms 存在，用 Ms。其他情况用 ML。

DIR name wfdisc 文件所在的路径

wfdiscfiles wfdisc 文件列表

filelist 若不指定 filelist，则 wfdisc 文件所包含的所有波形数据都会被读入内存；若指定了 filelist，则只有 filelist 中指定的波形数据才会被读取内存。需要注意，filelist 所指定的波形文件名必须位于之前指定的 wfdisc 文件中。

STATION station station 是一个 6 个或更少字符构成的字符串。wfdisc 文件中台站名 kstnm 与 station 匹配的行会被选中并读取。station 中可以包含通配符 * 和 ?。

CHANNEL channel channel 是一个 8 个或更少字符构成的字符串。wfdisc 文件中通道名与 channel 匹配的行会被选中并读取。channel 中可以包含通配符 * 和 ?。

BANDWIDTH bandcode 单字符编码。常见的取值为 E、S、H、B、M、L、V、U、R 等。bandcode 的具体含义参考附录中表频带码。channel 字段中第一个字符与 bandcode 匹配的行会被选择并读取。bandcode 中使用通配符 * 会匹配所有 bandcode。

ORIENTATION orientation-code orientation-code 通常可以取 “Z N E”（表示竖直、北和东）、“1 2 3”（表示正交但非标准的三个方向）。channel 字段中最后一个字符与 orientation-code 相匹配的行会被选中并读取。orientation-code 使用通配符 * 会匹配所有 orientation-code。

默认值

```
readcss ascii maxmem 0.3 verbose off station * band * chan * orient
```

说明

CSS 是一种数据库架构，该命令可以读取 CSS 3.0 或 CSS 2.8 中的文件。

每个 CSS 数据库包含了若干个数据库表，每个数据库表包含若干个记录。对于 CSS 3.0 而言，该命令支持读取如下数据库表：wfdisc、wftag、origin、arrival、assoc、sitechan、site、affiliation、origerr、origin、event、sensor、instrument、gregion、stassoc 和 remark sacdata。对于 CSS 2.8 而言，该命令只支持表 wfdisc、

arrival 和 origin。

关于 CSS 格式的详细介绍，请参考：

- <https://anf.ucsd.edu/pdf/css30.pdf>
- <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2002/023055.pdf>
- ftp://ftp.pmel.noaa.gov/newport/lau/tphase/data/css_wfdisc.pdf

在 CSS 数据库的众多表中，最常用的是与波形相关的 **wfdisc** 表以及波形数据 **.w** 文件。**wfdisc** 表中每行代表一个波形记录，共 19 列，每列代表了波形记录的不同信息。详情参考上面列出的格式说明文档。

readcss 命令的 **BINARY** 选项，可以用于读取 **writcss** 命令生成的二进制 CSS 格式。在 **BINARY** 模式下，**cssoptions** 选项没有作用，即 **wfdisc** 文件中包含的全部波形数据都会被读取。

12.126 readerr

概要

控制在执行 **read** 命令过程中的错误的处理方式

语法

```
ReadERR [Badfile Fatal|Warning|Ignore] [Nofiles Fatal|Warning|Ignore]
        [Memory Save|Delete]
```

输入

BADFILE 当文件不可读或不存在时出现的错误
NOFILES 文件列表中没有文件可读时出现的错误
FATAL 设置错误条件为 fatal，发送错误消息并停止执行命令
WARNING 发送警告消息，但继续执行命令
IGNORE 忽略错误，继续执行命令
MEMORY 如果无文件可读则对内存中原有的数据进行处理
DELETE 内存中的原数据将被删除
SAVE 内存中的原数据将保留在内存中

缺省值

```
readerr badfile warning nofiles fatal memory delete
```

说明

当你试着使用 **read** 命令将数据文件读入内存时可能会发生错误。文件可能不存在或虽然存在但不可读。当 SAC 遇到这些 badfiles 时，一般会发送警告消息，然后试着读取文件列表中的其余文件。如果你想要 SAC 在遇到坏文件时停止读取文件可以设置 **BADFILE** 为

FATAL。如果你不想看到警告信息，可以设置 **BADFILE** 为 **IGNORE**。如果文件列表中的文件均不可读，SAC 将发送错误信息并停止处理，如果你想要 SAC 发送警告信息或完全忽略这个问题，设置 **NOFILES** 为 **IGNORE**。当然，SAC 内存中先前的文件也可以从内存中删除或者保留在内存中。

12.127 readhdr

概要

从 SAC 数据文件中读取头段到内存

语法

```
ReadHdr [MORE] [DIR CURRENT|name] [filelist]
```

输入

MORE 将新数据头段放在内存中老文件头段之后。若忽略，则新数据文件的头段将代替内存中原文件的头段

DIR CURRENT 从当前目录读取文件。这里的当前目录是指启动 SAC 的目录

DIR name 从目录 name 中读取文件，目录名可以是绝对路径或相对路径

filelist 文件名列表。其可以是简单文件名也可以使用通配符，路径名可以是相对路径或绝对路径

说明

这个命令将一系列 SAC 文件的头段读入内存，你可以列出头段内容 ([listhdr](#))、改变头段值 ([chnhdr](#))、将头段写回磁盘 ([writehdr](#))。当你只需要文件的头段的时候，只读取头段要比读取整个文件到内存快很多。

12.128 readsp

概要

读取[writesp](#) 和[writespe](#) 写的谱文件

语法

```
ReadSP [AMPH|RLIM|SPE] [filelist]
```

输入

RLIM 读入实部和虚部分量

AMPH 读入振幅和相位分量

SPE 读取谱估计子程序文件，这个数据被从功率转换为振幅，相位分量设置为 0

filelist SAC 二进制数据文件列表

缺省值

```
READSP AMPH
```

说明

`writesp` 命令将每个谱数据分量作为一个单独的文件写入磁盘，你可以分别处理每个分量。这个命令让你能从两个分量重建谱数据，参见 `writesp`。SPE 选项允许你读取并转换由 `writespe` 写出的谱文件格式。这也使你可以使用 `mulomega` 和 `divomega` 命令。

12.129 readtable

概要

从磁盘读取列数据文件到内存

语法

```
ReadTABLE [MORE] [DIR CURRENT|name] [FREE|FORMAT tex] [CONTENT text]
          [HEADER number] [filelist]
```

所有的选项必须位于 `filelist` 之前。最后两个选项可以放在每个文件的第一行。

输入

MORE 将新文件追加到内存中老文件之后。若忽略该选项，则新数据将替代内存中的老数据

DIR CURRENT 从当前目录读取所有简单文件名。当前目录是你启动 SAC 的目录

DIR name 从目录 `name` 中读取全部简单文件，其可以为绝对/相对路径

FREE 用自由格式读取文件列表中的数据（以空格分隔）

FORMAT text 以固定格式读取文件列表中的数据。该选项目前不可用

CONTENT text 定义数据内容。`text` 的具体格式见说明及示例

HEADER 文件中要跳过的几个头段行

filelist 列数据文件

缺省值

```
readtable free content y. dir current
```

说明

该命令可以读取文本型列数据。最简单的用法就是读取一个 Y 数据，也可以通过修改 `content` 的内容读入 X-Y 数据或更复杂的数据。因而该命令可以用于直接读取其他程序输出的复杂格式数据。也可以用这个方法读入多个 Y 数据集，但只允许一个 X 数据集。

读入数据时会计算基本的头段变量，包括 `npts`、`b`、`e`、`delta`、`leven`、`depmin`、`depmax`

和 `depmin`。若只有一个 Y 数据集，内存中的数据文件名将与磁盘文件名相同；若有多个 Y 数据集，则在文件名之加上一个两位数字。

字符数字型数据文件的每一行都将以自由格式或声明的格式读入，每行最多 160 个字符。`content` 选项用于决定对于数据每行的每个输入该如何处理。在 `content text` 中的每个字符分别代表了不同的数据元素，这些字符的顺序与数据中每行的输入所代表的含义相对应。`content` 字段允许的字符如下：

- Y：下一个输入属于 Y（因变量）数据集
- X：下一个输入属于 X（自变量）数据集
- N：下一个输入属于数据集
- P：下一对输入使用 X-Y 数据集
- R：下一对输入使用 Y-X 数据集
- I：忽略这个输入

还有一个重复计数器可以跟在任何字符之后。这个重复计数器是一个 1 位或 2 位整数，其代表重复前面那个字符多少次，“.” 是一个无穷次重复的计数器，其只能出现在 `content` 的 `text` 的最后，意味着最后一个字符可以表示接下来的所有输入列。

示例

为了读取一个或多个自由格式的 X-Y 数据对：

```
SAC> readtable content p. filea
```

你不能在文件行之间打断一个 X-Y 数据对。假设你有一个包含了格式化数据的文件，在每行的中间有一个 X-Y 数据对。每行的其它数据都没有用。假设每行 Y 数据在 X 数据之前，一旦正确的格式声明给出了，就可以用下面的命令：

```
SAC> readtable content r format \"(24x,f12.3,14x,f10.2\) fileb
```

注意：在左括号和右括号两边的“\”是 SAC 的转义字符，这很重要，因为 SAC 使用括号作为内联函数。由于没有重复计数器，因而只有一个 Y-X 数据对被从文件的每行读入。

假设你有一个文件 `FILEC`，其每行包括一个 X 值和 7 个不同数据集的 Y 值，其为 (8F10.2) 格式。为了在内存中创建 7 个不同的数据集，可以使用下面的命令：

```
SAC> readtable content xn . format \"(8f10.2\) filec
```

这将在内存中产生 7 个不同的数据文件，其名称分别为 `FILEC01`、`FILEC02` 等等。

现在假设你不想读入第 5 个 Y 数据集，可以执行下面的命令：

```
SAC> readtable content xn6 format \"(5f10.20x,2f10.2\) filec
```

另一个可以少敲键盘但是稍微低效一点的命令如下：

```
SAC> readtable content xn4in2 format \(\8f10.2\) filec
```

头段变量改变

b、e、delta、leven、depmin、depmax、depmen

12.130 report

概要

报告 SAC 中的各参数的当前状态

语法

```
REPort APF|COLOR|CUT|DEVICES|FILEID|GTEXT|HPF|LINE|MEMORY|MTW|PICKS|
      SYMBOL|TITLE|XLABEL|XLIM|YLABEL|YLIM
```

输入

APF 字符数字型震相拾取文件的文件名

COLOR 当前颜色属性。只有当某个图像设备被激活时，其值才有意义

CUT 当前数据截窗的状态

DEVICES 当前系统上可用的图形设备

FILEID 当前文件 ID 显示属性

GTEXT 当前图形文本属性

HPF HYPO 震相拾取文件名

LINE 当前线型属性

MEMORY 内存管理器的可用内存块

MTW 当前的测量时间窗状态

PICKS 当前时间拾取显示属性

SYMBOL 当前符号绘制属性

TITLE 当前绘制标题属性

XLABEL 当前 X 轴标签属性

XLIM 当前 X 轴范围

YLABEL 当前 Y 轴标签属性

YLIM 当前 Y 轴范围

说明

该命令会报告 SAC 的某些选项的当前值，并将其值打印到终端。

示例

为了获取当前颜色属性的列表：


```
SAC> report color
COLOR option is ON
DATA color is YELLOW
INCREMENT data color is OFF
SKELETON color is BLUE
BACKGROUND color is NORMAL
```

为了获取 HYPO 文件名：

```
SAC> report apf hpf
Alphanumeric pick file is MYPICKFILE
HYPO pick file is HYPOPICKFILE
```

12.131 reverse

概要

将所有数据点逆序

语法

```
REVERSE
```

12.132 rglitches

概要

去掉信号中的坏点

语法

```
RGLitches [THreshold v] [Type Linear|Zero] [Window ON|OFF|pdw]
[METHOD Absolute|Power|Runavg]
```

输入

WINDOW ON|OFF|pdw 指定需要做校正的数据段。缺省值为 OFF，即校正整个数据文件；**pdw** 指定了时间窗，表示仅对该时间窗内的数据进行检测和校正；ON 表示只校正上一次 **pdw** 定义的时间窗内的数据；

THRESHOLD v 设置阈值水平为 **v**。当某个特定的指标大于该阈值时即认为是坏点，并做校正

METHOD ABSOLUTE 若数据点的绝对值大于或等值阈值 **v**，则做校正

METHOD POWER 用向后差分法计算信号的能量，若能量超过阈值 **v** 则做校正

METHOD RUNAVG 将一个长为 **SWINLEN** 的窗从整个数据的末尾以一个数据点的增量移动到数据的开头，并计算每个滑动窗内的平均值和标准差。若某个点与

当前窗的均值的差的绝对值大于标准差 THRESH 的 2 倍，且大于 MINAMP，则认为其是坏点，其值将用当前窗的均值代替。此方法不受 WINDOW 选项的影响，总是适用于整段波形数据。

对于 RUNAVG 方法，另有三个与之相关的选项：

SWINLEN *v* 设置滑动平均窗的长度为 *v*

THRESH2 *v* 设置坏点的阈值

MINAMP *v* 设置坏点的最小幅度

缺省值

```
rglitches threshold 1.0e+10 type linear window off method absolute
    swinlen 0.5 thresh2 5.0 minamp 50
```

说明

此命令可以用于由于平滑数据采集系统故障或测试¹而产生的坏点。该命令会检查每一个数据点是否超过指定的阈值，然后将这些坏点置零或者线性插值。使用 RUNAVG 方法，甚至可以去掉那些比整个数据的最大值要小的坏点。

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.133 rmean

概要

去除均值

语法

```
RMEAN
```

头段变量

depmen、depmin、depmax

12.134 rms

概要

计算测量时间窗内信号的均方根

¹ 有些台网会在每天的指定时间生成若干个人工脉冲，以检测数据采集系统是否正常运行。

语法

```
RMS [NOISE ON|OFF|pdw] [TO USERn]
```

输入

NOISE ON/OFF 打开/关闭噪声校正选项

NOISE pdw 打开噪声校正选项并设置噪声的测量时间窗，见 [pdw](#)

TO USERn 将计算结果保存到头段变量 USERn 中（n 取 0 到 9）

缺省值

```
rms noise off to user0
```

说明

该命令用于计算当前测量时间窗（由 [mtw](#) 定义）内数据的均方根，并将计算结果保存到头段变量 USERn 中。

均方根的定义为：

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2}$$

NOISE 选项用于校正计算结果中噪声的贡献。其计算公式为：

$$RMS_{corrected} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_j^2}$$

即，先计算 [mtw](#) 定义的信号时间窗内数据点的平方和均值，然后计算 **NOISE pdw** 定义的噪声时间窗内数据点的平方和均值，从信号的平方和均值中减去噪声的平方和均值，以校正噪声的贡献，最后将校正后的平方和均值的开方作为测量结果保存到头段变量中。

示例

计算头段变量 T1 和 T2 之间的数据的未做噪声校正的均方根，并将结果保存在头段 USER4 中：

```
SAC> mtw t1 t2
SAC> rms to user4
```

将 T3 前 5 秒作为噪声窗，计算校正噪声后的均方根：

```
SAC> mtw t1 t2
SAC> rms noise t3 -5.0 0.0
```

头段变量

USERn

12.135 rotate

概要

将成对的正交分量旋转一个角度

语法

```
ROTate [T0 Gcp|T0 v|Throug v] [Normal|Reversed]
```

输入

TO GCP 旋转到大圆弧路径 (“great circle path”)。两个分量必须都是水平分量且头段中必须定义台站和事件的经纬度

TO v 旋转一定角度使得第一个分量的方位角为 v 度。两个分量必须都是水平分量

THROUGH v 顺时针旋转 v 度。其中一个分量可以是垂直分量

NORMAL|REVERSED 输出分量为正/负极性

缺省值

```
rotate to gcp normal
```

说明

此命令可以对多对分量旋转一定的角度，内存中的每两个文件为一对分量。每对分量必须拥有相同的台站名、事件名、采样率和数据点数，且头段变量 **cmpaz** 和 **cmpinc** 必须定义，程序会检查两个分量是否正交（允许 0.02° 的偏差）。

THROUGH 选项表示将一对正交分量旋转一定的角度。这对正交分量可以均为水平分量 (**cmpinc**=90) 或包含一个垂直分量 (**cmpinc**=0)。其中，水平面内的旋转是相对于北向顺时针的角度；垂直面内的旋转是相对于垂直向上方向的角度。

TO 选项表示将一对正交分量旋转一定的角度（方位角），这对正交分量必须都是水平分量 (**cmpinc**=90)。对于 **TO v** 而言，表示将一对分量旋转一定角度，使得旋转后的第一个分量沿着方位角 v 的方向；对 **TO GCP** 而言，首先根据台站和事件经纬度计算出反方位角，并将分量旋转一定角度，使得旋转后的第一个分量沿着反方位角 $\pm 180^\circ$ 的方向，此时第一个水平分量由事件位置指向台站位置，即地震学中的径向 (Radial) 分量，一般方位码用 **R** 表示；第二个水平分量垂直于 **R** 分量，即地震学的切向 (Tangential) 分量，一般方位码用 **T** 表示。

NORMAL 和 **REVERSED** 用于指定输出分量的极性，仅用于一对水平分量的旋转中。在 **rotate** 命令中，就一对水平分量而言，若第二个分量比第一个分量超前 90° （可以理解为方位角大 90° ）则称为正极性；若第二个分量比第一个分量落后 90° 则称为负极性。对于一对输入分量而言，无论是 **N** 分量在前还是 **E** 分量在前均可，该命令会自动判断一对输入分量是正极性还是负极性，并对旋转公式进行调整，**NORMAL** 和 **REVERSED** 仅用于控

制一对输出分量的极性。

示例

将一对水平分量旋转 30°:

```
SAC> dg sub tele ntkl.[ne]          # 内存中的顺序是 E 分量先于 N 分量
SAC> lh cmpinc cmpaz

FILE: /opt/sac/aux/datagen/teleaseis/ntkl.e - 1
-----

cmpinc = 9.000000e+01
cmpaz  = 9.000000e+01

FILE: /opt/sac/aux/datagen/teleaseis/ntkl.n - 2
-----

cmpinc = 9.000000e+01
cmpaz  = 0.000000e+00
SAC> rot through 30                # 顺时针旋转 30 度
SAC> lh

FILE: /opt/sac/aux/datagen/teleaseis/ntkl.e - 1
-----

cmpinc = 9.000000e+01
cmpaz  = 1.200000e+02

FILE: /opt/sac/aux/datagen/teleaseis/ntkl.n - 2
-----

cmpinc = 9.000000e+01
cmpaz  = 3.000000e+01
```

旋转两对水平分量到大圆弧路径:

```
SAC> read abc.n abc.e def.n def.e
SAC> rotate to gcp
SAC> w abc.r abc.t def.r def.t
```

上面的例子中若头段变量 **baz** 为 33°, 则径向分量指向 213°, 切向分量指向 303°, 如果设置反极性, 切向分量指向 123°。

头段变量

cmpaz、cmpinc

12.136 rq

概要

从谱文件中去除 Q 因子

语法

```
RQ [Q v] [R v] [C v]
```

输入

- Q v** 设置质量因子为 v
- R v** 设置距离为 v，单位为 km
- C v** 设置群速度为 v，单位 km/s

缺省值

```
rq q 1. r 0. c 1.
```

说明

该命令用于从波形数据中去除 Q 衰减效应，用于校正振幅谱的方程如下：

$$AMP_{corrected}(f) = AMP_{uncorrected}(f) * e^{\frac{\pi R f}{QC}}$$

其中 f 为频率，单位为 Hz， R 为距离，单位 km， C 是群速度，单位为 km/s。Q 是一个无量纲衰减因子。

头段变量

depmin、depmax、depmen

限制

实际上各参数应是频率的函数，目前限制为常数值。

12.137 rtrend

概要

去除线性趋势

语法

```
RTrend [Quiet|Verbose]
```

输入

QUIET 不显示线性拟合信息

VERBOSE 终端显示线性拟合信息

缺省值

```
rtrend quiet
```

说明

该命令利用最小二乘方法将数据拟合成一条直线，然后从数据中减去该直线所表征的线性趋势。数据可以是不等间隔的。

若有 n 个数据 (x_i, y_i) ，利用最小二乘法拟合直线 $y = ax + b$ 。其中斜率为

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Y 轴截距为

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

内存中最后一个文件的线性拟合参数将会写入到如下黑板变量中：

- RTR_SLP 直线斜率
- RTR_YINT 直线的 Y 截距
- RTR_SDSLIP 斜率的标准差
- RTR_SDYINT Y 截距的标准差
- RTR_SDDTA 数据的标准差
- RTR_CORRCF 数据和拟合结果的相关系数

头段变量改变

depmin、depmax、depmin

12.138 saveimg

概要

将绘图窗口中的图像保存到多种格式的图像文件中

语法

```
SAVEimg filename.format
```

输入

filename 要保存的图像的文件名

format 图像文件格式，支持 PS、PDF、PNG 和 XPM

说明

该命令将当前绘图窗口中的图像保存到图像文件中，可用的格式包 PS、PDF、PNG 和 XPM，命令会根据图像文件的扩展名自动识别文件格式。

`saveimg` 相对于 SGF 文件的好处在于，SGF 文件中的字母和数字是由线段组成的，而 `saveimg` 产生的 ps 或 pdf 图像采用 Postscript 的特性直接产生字体。对大多数情况，低精度的 png 或 xpm 文件也能满足要求。出于可移植性的考虑，SAC 默认是不支持 PNG 格式的。

png 和 xpm 将拥有当前窗口的横纵比，pdf 或 ps 文件拥有固定的横纵比 $X/Y=11/8.5=1.2941$ ，对这些绘图，如果显示窗口设置为 1.2941 会看起来比较好。

与 SGF 文件类似，`saveimg` 生成的 PS 文件是没有 BoundingBox 的。对于 sgf 文件，脚本 `sgftoeps.csh` 可以生成一个有 BoundingBox 的 eps 文件。对于 `saveimg` 生成的 PS 文件，目前还没有相应的脚本。

为了使用 `saveimg` 保存一个绘图，图像必须是可见的，即通过 `plot`、`plot1` 等命令绘制出来。`saveimg` 在子程序 SSS 中无法工作，但如果输入 `quitsub` 退出子程序，此时图像窗口未关闭，`saveimg` 此时可用于保存该图像。另外如果使用了 `beginframe` 命令在一个窗口中绘制多张图，必须等到执行 `endframe` 命令之后方可使用 `saveimg` 命令。

示例

将图像保存为 PDF 文件：

```
SAC> read PAS.CI.BHZ.sac
SAC> p1
SAC> saveimg pas.ci.pdf
```

将谱图用多种格式保存：

```
SAC> fg seismo
SAC> spectrogram
SAC> save spectrogram.ps
SAC> save spectrogram.png
SAC> save spectrogram.pdf
```

12.139 setbb

概要

设置黑板变量的值

语法

```
SETBB variable [APPEND] value [variable [APPEND] value ...]
```

输入

variable 黑板变量名，可以是一个新变量或一个已经有值的变量，变量名最长 32 字符

value 黑板变量的新值，若包含空格则必须用引号括起来

APPEND 将值加到变量的旧值之后，若无该选项，则新值将代替旧值

说明

setbb 命令可以给黑板变量赋值，这些值可以通过getbb 命令获取，或在命令中直接引用。可以使用evaluate 对黑板变量做基本算术操作，并将结果保存在新的黑板变量中，也可以通过unsetbb 命令删除一个黑板变量。

示例

同时设置多个黑板变量，并在稍后使用使用这些黑板变量：

```
SAC> setbb c1 2.45 c2 4.94
SAC> bandpass corners %c1% %c2%
```

黑板变量的值中包含空格：

```
                                # 含空格的值需要用引号括起来
SAC> setbb mytitle 'sample filter response'
SAC> getbb mytitle              # 检查变量值是否正确
MYTITLE = Sample filter response
SAC> title '%MYTITLE%'         # 引用时需要再次用引用括起来
```

12.140 setdevice

概要

定义后续绘图时使用的默认图形设备

语法

```
SETDEVICE name
```

输入

name 图形设备名

说明

SAC 的默认图形设备为 X11 图形窗口，你可以使用该命令修改默认的图形设备，也可以使用 `begindevices` 命令随时用新的图形设备取代默认图形设备。

BUGS

- 使用该命令似乎会直接段错误退出 (v101.6a)

12.141 setmacro

概要

定义 SAC 宏文件的搜索路径

语法

```
SETMACRO [MORE] directory [directory ...]
```

输入

directory 放置 SAC 宏文件的目录，可以是相对路径或绝对路径

MORE 将 **directory** 加到已有的路径列表之后

说明

该命令让你能够定义一系列执行宏文件时搜索路径，最多可以定义 100 个。

当 `setmacro` 使用 `more` 选项时，指定的路径会追加到已存在的路径列表的后面；若没有使用 `more` 选项，则已存在的列表将被新列表取代。

当执行 `macro` 命令时，SAC 会先搜索当前目录，若没有找到则搜索 `setmacro` 指定的目录，若依然没有找到则在全局宏目录中寻找。

12.142 sgf

概要

控制 SGF 设备选项

语法

```
SGF [Prefix text] [Number n] [Directory CURRENT|pathname]
    [Size Normal|Fixed v|Scaled v] [Overwrite ON|OFF]
```

输入

PREFIX text 设置 SGF 的文件名前缀为 **text** (最多 24 字符长)

NUMBER n 设置下一个 SGF 的编号为 **n**。若 **n** 为 0，则 SAC 搜索 SGF 文件目

录下的 SGF 文件最大编号，并将其值加 1

DIRECTORY CURRENT 将 SGF 文件放在当前目录

DIRECTORY pathname 将 SGF 放在指定目录下

SIZE NORMAL 产生一个常规大小绘图,常规图形有一个 10*7.5 英寸的 viewport (最大绘图区域)。viewport (viewport 中除轴和标签之外的、绘图区) 的默认值为 8*5 英寸

SIZE FIXED v 产生一个在 X 方向 viewport 为 v 英寸长的图形

SIZE SCALED v 产生一个视口在 X 方向上为 v 乘以 X 坐标极限值的图形

OVERWRITE ON|OFF 当打开时,文件号不递增,每个新文件将擦除先前的文件

缺省值

```
sgf prefix f number 1 directory current size normal
```

说明

该命令控制 SGF 文件的命名规则和后续 SGF 文件的图形尺寸。SGF 文件名由 4 部分组成,分别为:

- **pathname** 目录路径名,默认为当前目录
- **prefix** 前缀,默认值为 **f**
- **number** 三位数的 frame 编号,默认值为 **001**
- **.sgf** 用于表示 SAC 图形文件的后缀

因而 SGF 的第一个文件名为 **f001.sgf**。每次新建一个 frame 时,frame 编号加 1。可以强制 frame 编号从某个给定的值开始。如果你为准备一个报告需要工作几天时间,而同时又希望所有图形都按一个统一的顺序排列,那么令 frame 编号不从 1 开始便很有用了。

有多个选项可以控制绘图的尺寸,常规的绘图为 10*7.5 英寸的 viewport 范围,使用默认的 viewport 的结果是产生一个近似为 8*5 英寸的图形区。你可强制 viewport 的 X 方向为固定长度或将 viewport 的 X 方向与整个坐标范围成比例。尺寸信息会被写入 SGF 文件中,然后由其他转换程序负责将 SGF 转换成合适大小的图片。

示例

设置 SGF 文件的保存目录为非当前目录,并重置 frame 编号:

```
SAC> sgf dir /mydir/sgfstore frame 0
```

设置 viewport 的 X 方向长度为 3 英寸:

```
SAC> sgf size fixed 3.0
```

创建一个大小相当于海报的图形:

```
SAC> sgf size fixed 30.0
```

设置 vierport 的 X 方向的尺寸与地震数据的时间长度成比例：

```
SAC> sgf size scaled 0.1 # 10s 的数据长度为 1 英寸
```

本例中，持续 60 秒的数据图形将有 6 英寸长，而持续 600 秒的数据将有 60 英寸长，过长的图形需要特殊的后期处理。

12.143 smooth

概要

对数据应用算术平滑算法

语法

```
SMOOTH [MEAN|MEDIAN] [Halfwidth n]
```

输入

MEAN|MEDIAN 应用均值/中值平滑算法

HALFWIDTH n 设置滑动窗的半宽为 n 个数据点

缺省值

```
smooth mean halfwidth 1
```

说明

此命令对数据应用算术平滑算法，可以选择均值平滑或中值平滑算法。

滑动窗的窗长通过指定其半宽度 n 来定义，对于第 n 到第 npts-n+1 个的每个数据点而言，应用一个窗长为 2n+1 个数据点平滑窗。对于两端的 2(n-1) 个数据点而言，做特殊处理。

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.144 sonogram

概要

计算一个频谱图，其等价于同一个谱图的两个不同的平滑版本的差

语法

```
SONOgram [WINDOW v] [SLICE v] [ORDER n] [CBAR ON|OFF] [YMIN v] [YMAX v]
          [FMIN v] [FMAX v] [BINARY|FULL] [METHOD PDS|MEM|MLM] [COLOR|GRAY]
```

输入

WINDOW v 设置滑动数据窗的长度为 v 秒，窗长决定了 FFT 的尺寸
SLICE v 设置数据滑动间隔为 v 秒，对每个滑动间隔将产生一个频谱图线
ORDER n 指定用于计算谱估计的自相关中的点数
CBAR ON|OFF 打开/关闭参考颜色条
BINARY|FULL 产生一个双色或彩色图像
YMIN v 指定绘图的最小频率
YMAX v 指定绘图最大频率
FMIN v 指定每次滑动频谱图被平滑的最小带宽
FMAX v 指定每次滑动频谱图被平滑的最大带宽
METHOD PDS|MEM|MLM 指定使用的谱估计方法，PDS 代表功率密度谱估计，
 MLM 代表最大似然，MEM 代表最大熵谱估计。
COLOR|GRAY 指定是彩色图还是灰度图

缺省值

```
sonogram window 2 slice 1 method mem order 100 ymin 0 ymax fnyquist
          fmin 2.0 fmax 6.0 full color
```

此处 fnyquist 代表 Nyquist 采样频率。

说明

sonogram 命令计算了一个谱图，其等效于同一谱图两种不同平滑版本的差。依赖于平滑参数 fmin 和 fmax 的选择，结果谱图可以加强小幅度谱特性，而其在传统谱图中很难观测到。这个在矿井爆炸的地震信号中寻找高频谱时很有用。

限制

图形在频率方向的尺寸为 512

问题

目前在头段检查以确定他们有相同的分量且在时间上连续方面还有些错误。

头段变量

需要：delta

修改：npts、delta、b、e、iftype、depmin、depmax、depmen

创建：nxsize、xminimum、xmaximum、nysize、yminimum、ymaximum

12.145 sort

概要

根据头段变量的值对内存中的文件进行排序

语法

```
SORT header [ASCEND|DESCEND] [header [ASCEND|DESCEND] ...]
```

输入

header 依据该头段变量的值进行文件排序

ASCEND 升序排列

DESCEND 降序排列

说明

根据给出的头段值对内存中的文件进行排序。头段变量在命令行中出现的越早，这个变量字段就具有越高的优先权，后面的变量字段用于解决无法第一个变量字段相同的情况。最多可以输入 5 个头段变量。

每个头段变量都可以跟着 **ASCEND** 或 **DESCEND** 来表明特定字段的排序方式。若未指定，则默认为升序排列。如果使用 **sort** 命令但未指定任何头段值，它将根据上一次执行 **sort** 命令时的头段去排序，如果第一次调用 **sort** 但没有给出头段，则会报错。

缺省值

默认所有的字段都是升序排列

BUGS

- 在 **SAC_USE_DATABASE=1** 的情况下，使用该命令会导致数据中的台站信息丢失 (v101.6)

12.146 spectrogram

概要

使用内存中的所有数据计算频谱图

语法

```
SpectroGram [WINDOW v] [SLICE v] [ORDER n] [CBAR ON|OFF]
             [SQRT|NLOG|LOG10|NOSCALING] [YMIN v] [YMAX v] [METHOD PDS|MEM|MLM]
             [COLOR|GRAY]
```

输入

WINDOW v 设置滑动数据窗的长度为 v 秒，决定了 FFT 的尺寸
SLICE v 设置数据滑动间隔为 v 秒，对每个滑动间隔将产生一个频谱图线
ORDER n 指定用于计算谱估计的自相关中的点数
CBAR ON|OFF 打开/关闭参考颜色条
SQRT|NLOG|LOG10|NOSCALING 指定振幅的自然对数、以 10 为底的对数或平方根
YMIN v 指定绘图的最小频率
YMAX v 指定绘图最大频率
METHOD PDS|MEM|MLM 指定使用的谱估计方法，PDS 代表功率密度谱估计，MLM 代表最大似然，MEM 代表最大熵谱估计。
COLOR|GRAY 指定是彩色图还是灰度图

缺省值

```
spectrogram window 2 slice 1 method mem order 100 noscaling
ymin 0 ymax fnyquist color
```

此处 fnyquist 代表 Nyquist 采样频率。

说明

频谱图是通过计算连续并可能重叠的数据时间窗的功率谱并将谱沿着时间轴绘制产生的。谱是由一个使用 MLM 或 MEM 或 PDS 得到的被截断的自相关函数。一般会选择高精度的 MLM 和 MEM 方法，因为他们提高了精度且不会产生由于不同频率之间能量泄漏导致的人工干扰。这些技术的介绍可以参考 Kanasewich(1981) 以及 Lacoss(1971)。被截断的互相关函数的长度由 ORDER 参数决定。为了保持和 SPE 子程序的一致性，设置了 PDS 的默认 order 为 200，MEM 和 MLM 的 order 默认为 100。在 SAC 中每个数据窗的长度由 window 参数决定。沿着频谱图时间轴的谱之间的间隔由 slice 参数决定。这两个参数的不同决定了临近时间窗的重叠量，如下图所示：

```
Time ->
0  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11
|.....|.....|.....|.....|.....|.....|.....|.....|.....|..|
|__^__| window 1, First time will be at the center of this window.
      |__^__| window 2
          |__^__| window 3

|.....| Slice: 临近时间窗的开始时间的差
```

频谱图时间轴的起始和结束点依赖于要被分析的时间序列的长度以及 window、slice 参数。频谱图的起始时间是时间序列起始时间迟半个窗对应的时间，因为它被定义为第一个窗的中间时刻。SAC 不会对数据的前面补 0。

限制

图形在频率方向的尺寸为 512

问题

目前在头段检查以确定他们有相同的分量且在时间上连续方面还有些错误。

头段变量改变

需要: `delta`

改变: `npts`、`delta`、`b`、`e`、`iftype`、`depmin`、`depmax`、`depmen`

创建: `nxsize`、`xminimum`、`xmaximum`、`nysize`、`yminimum`、`ymaximum`

12.147 `sqr`

概要

对每个数据点做平方

语法

```
SQR
```

头段变量

`depmin`、`depmax`、`depmen`

12.148 `sqrt`

概要

对每个数据点取其平方根

语法

```
SQRT
```

头段变量

`depmin`、`depmax`、`depmen`

12.149 `stretch`

概要

拉伸（增采样）数据，包含了一个可选的 FIR 滤波器

语法

```
STRETCH n [Filter ON|OFF]
```

输入

n 设置增采样因子，取值为 2 到 7

FILTER ON|OFF 打开/关闭插值 FIR 滤波器选项

缺省值

```
stretch 2 filter on
```

说明

此命令对数据进行拉伸，即增采样。当关闭滤波器选项时，仅仅在原始数据点之间插入适当数目的零值。若使用了 FIR 滤波器，则通过对数据进行滤波可以创建一个与原始波形相似但是采样周期更小的文件。需要注意的是，滤波器对频谱成分是有影响的。

头段变量

npts、delta、e、depmin、depmax、depmen

12.150 sub

概要

数据文件的每个数据点减去同一个常数

语法

```
SUB [v1 [v2 ... vn]]
```

输入

v1 从第一个文件中减去的常数

v2 从第二个文件中减去的常数

vn 从第 n 个文件中减去的常数

缺省值

```
sub 0.0
```

说明

参见[add](#)的相关说明。

头段变量改变

depmin、depmax、depmen

12.151 subf

概要

使内存中的一组数据减去另一组数据

语法

```
SUBF [Newhdr [ON|OFF]] filelist
```

输入

NEWHDR ON|OFF 指定新生成的文件使用哪个文件的头段。**OFF** 表示使用内存中原文件的头段区，**ON** 表示使用 filelist 中文件的头段区。缺省值为 **OFF**
filelist SAC 二进制文件列表

说明

参见 [addf](#) 命令的相关说明。

头段变量

depmin、depmax、depmen、npts、delta

12.152 symbol

概要

控制符号绘图属性

语法

```
SYMBOL [ON|OFF|n] [SIZE v] [SPACING v] [INCREMENT ON|OFF] [LIST STANDARD|nlist]
```

输入

ON 打开符号绘图开关，不改变符号号

OFF 关闭符号绘图开关

n 打开符号绘图开关。将符号号设置为 n。目前有 16 个不同的符号，符号 0 意味着关闭符号开关

SIZE v 设置符号尺寸为 v。值为 0.01 意味着占据整个绘图尺寸的 1%

SPACING v 设置符号间隔为 v。这是绘图时符号间的最小间隔；如果你想每个数据点都有符号，则设其值为 0，对注释行使用 0.2 到 0.4

INCREMENT ON 对每个数据文件操作完成后按符号列表递增为下一个符号

INCREMENT OFF 关闭上述 **INCREMENT** 选项

LIST nlist 改变符号表的内容。输入符号号码表。设置表中的第一个符号码，并打开符号绘图开关

LIST STANDARD 改变到标准符号表。设置表中的第一个符号表，并打开符号绘制选项。

缺省值

```
symbol off size 0.01 spacing 0. increment off list standard
```

说明

这些符号属性独立于由 **line** 命令定义的画线属性。打开画线选项，它们也可以用于注释在相同图形上的不同的线。关闭画线选项，则可以绘制散点图。如果你要将几个数据文件画在同一张图上，也许需要使用不同的符号。这是可以使用 **INCREMENT** 选项。当这个选项打开时，每次绘制数据文件，都从符号表中将原来的符号码增加 1，缺省符号表包含符号表从 2 到 16 的符号，你也可以使用 **LIST** 选项改变这个表的次序和内容。如果你在绘制一系列重叠绘图，并需要经相同符号用在相同次序的每个图形上，这样做很有用。符号码为 0 相当于关闭符号绘制选项。这个选项用于 **LIST** 选项和 **LINE** 选项，以在一张图上用线表示一些数据，用符号表示另外一些数据。

示例

为了创建一个散点分布图，关闭画线选项，选择适当的符号，然后绘图：

```
SAC> line off
SAC> symbol 5
SAC> plot
```

为了用符号 7、4、6、8 注释四条实线，间隔用 0.3，用 **plot2** 绘图：

```
SAC> line solid
SAC> sym spacing .3 increment list 7 4 6 8
SAC> r file1 file2 file3 file4
SAC> plot2
```

使用 **plot2** 在相同图形上绘制三个文件，第一个文件图形使用实线无符号；第二个没有线，为三角符号；第三个没有线，带有交叉符号：

```
SAC> read file1 file2 file3
SAC> line list 1 0 0 increment
SAC> symbol list 0 3 7 increment
SAC> plot2
```

12.153 synchronize

概要

同步内存中所有文件的参考时刻

语法

```
SYNChronize [Round ON|OFF] [Begin ON|OFF]
```

输入

ROUND ON 打开 ROUND 选项。若打开该选项，则会对每个文件的开始时间做微调以使得开始时间是采样间隔的整数倍

ROUND OFF 关闭 ROUND 选项

BEGIN ON 设置每个文件的开始时间为 0

BEGIN OFF 保持参考时间的绝对时刻不变

缺省值

```
synchronize round off begin off
```

说明

该命令用于同步内存中所有文件的参考时刻。通过检查所有文件的参考时间和文件起始时间 (B)，找到所有文件中最晚的文件起始时刻，并取该时刻作为内存中所有文件共同的参考时刻，最后再计算每个文件中所有相对时间相对于新参考时刻的值。

当数据文件具有不同的参考时刻时，对数据使用 [cut](#) 或 [xlim](#) 命令就会有些麻烦，因而可以使用该命令使得所有数据的参考时刻一致。

如果使用了 **BEGIN** 选项，则会将所有文件的 **kzdate** 和 **kztime** 设置为同样的值，并将所有文件的开始时间 (B) 设置为零，这样做会使得数据丢失绝对时间信息。

示例

假定你读取两个不同参考时间的文件到内存：

```
SAC> read file1 file2
SAC> listhdr b kztime kzdate

FILE: FILE1
-
B = 0.
KZTIME = 10:38:14.000
KZDATE = MAR 29 (088), 1981
```

(下页继续)

(续上页)

```
FILE: FILE2
-
B = 10.00
KZTIME = 10:40:10.000
KZDATE = MAR 29 (088), 1981
```

这些文件有相同的参考日期，不同的参考时刻以及不同的开始时间偏移量。可以执行 `synchronize` 同步参考时刻：

```
SAC> synchronize
SAC> listhdr

FILE: FILE1
-
B = -126.00
KZTIME = 10:40:20.000
KZDATE = MAR 29 (088), 1981

FILE: FILE2
-
B = 0.
KZTIME = 10:40:20.000
KZDATE = MAR 29 (088), 1981
```

现在内存中的所有文件有相同的参考时间，如果头段中有任何已定义的时间标记，它们的值也会调整以保证其绝对时刻是不变的。

12.154 systemcommand

概要

在 SAC 内部执行系统命令

语法

```
SystemCommand command [options]
```

输入

command 系统命令名

options 命令需要的选项

说明

在 SAC 中是可以执行大部分系统命令的，比如常见的 `ls`、`cp` 等。但某些命令无法直接在 SAC 中执行，比如用于查看 PS 文件的 `gs` 命令会首先被 SAC 解释为 `grayscale` 的简

写，故而在 SAC 中无法直接调用 `gs` 命令。

另一个经常使用但无法直接调用的命令是 `rm`。为了避免在读入数据时将命令 `r *.SAC` 误敲成 `rm *.SAC` 而导致数据文件被误删除，故而在 SAC 中禁止直接调用 `rm` 命令。

`systemcommand` 的作用就是为了能够在 SAC 内部间接调用这些无法被 SAC 直接调用的系统命令。

示例

调用系统命令 `rm` 删除某些 SAC 文件：

```
SAC> rm junks           # 无法直接调用 rm 命令
ERROR 1106: Not a valid SAC command.
SAC> sc rm junks        # 通过 sc 间接调用 rm 命令
```

12.155 taper

概要

对数据两端应用对称的 `taper` 函数，使得数据两端平滑地衰减到零

语法

```
TAPER [Type HANNing|HAMming|Cosine] [Width v]
```

输入

TYPE HANNING|HAMMIN|COSINE 应用 Hanning、Hamming、余弦衰减窗
WIDTH v 设置衰减窗的宽度占数据点数的比值为 `v`，`v` 取值在 0.0 和 0.5 之间

缺省值

```
taper type hanning width 0.05
```

说明

`taper` 函数是在 0 和 1 之间取值的单调函数，若将其对称地施加于数据的首尾两端，则可实现数据的“尖灭”。

`taper` 函数共计 $npts * v$ 个点，第一个点值为 0，最后一个点的值为 1，将此函数的每个点依次于数据的第 1 至 $npts * v$ 个点相乘，使得数据数据的首端从 0 开始光滑地增加到其原始值。数据的末端完全类似，此时数据由其原始值不断光滑地减小到 0。

`taper` 命令的通用形式为

$$Data(j) = Data(j) * (F_0 - F_1 \cos(\omega(j - 1)))$$

表 12.2 定义了不同的衰减函数的参数，其中 N 为衰减窗的宽度，即 $npts * v$ 。

表 12.2: taper 衰减函数参数一览

类型	ω	F_0	F_1
HANNING	$\frac{\pi}{N}$	0.50	0.50
HAMMING	$\frac{\pi}{N}$	0.54	0.46
COSINE	$\frac{\pi}{2N}$	1.00	1.00

图 12.4 给出了不同 taper 衰减函数的曲线图，图中可以看出，hamming 窗实际上并没有完全实现尖灭。

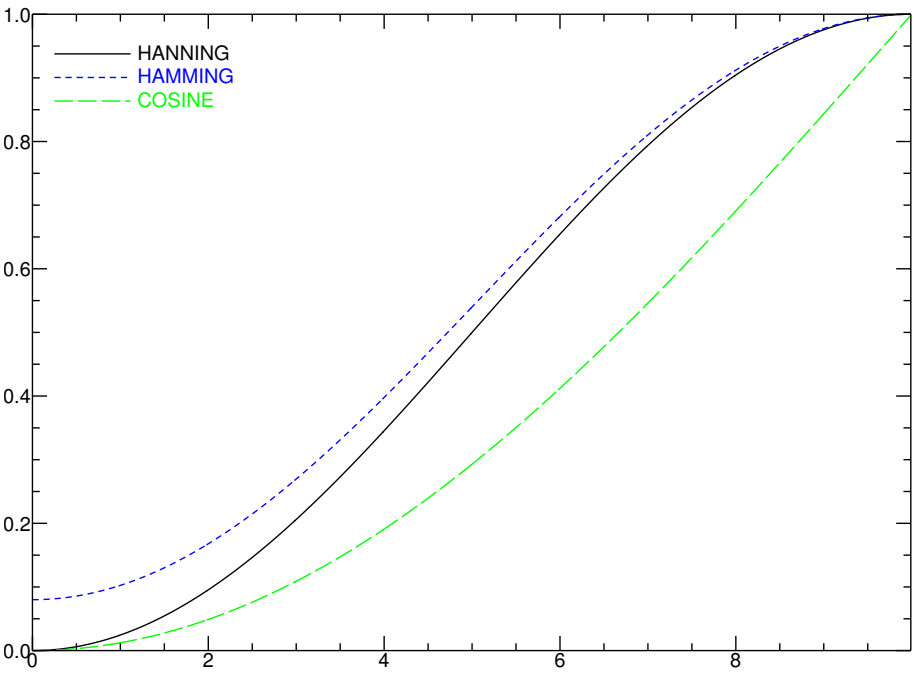


图 12.4: taper 衰减函数曲线

头段变量

depmin、depmax、depmen

12.156 ticks

概要

控制绘图上刻度轴的位置

语法

```
TICKS [ON|OFF|ONLY] [All] [Top] [Bottom] [Right] [Left]
```

输入

ON 在指定的边上显示刻度，其他不变

OFF 在指定的边上不显示刻度，其他不变

ONLY 仅在指定的边上显示刻度，其他关闭

ALL 所有四条边

TOP X 轴的上边

BOTTOM X 轴的下边

RIGHT Y 轴的右边

LEFT Y 轴的左边

缺省值

```
ticks on all
```

说明

刻度轴可以画图形四边的一边或几边上，刻度间隔由 [xdiv](#) 命令控制。

示例

显示上部刻度轴，其他不变：

```
SAC> ticks on top
```

关闭所有刻度轴：

```
SAC> ticks off all
```

只显示底部刻度轴：

```
SAC> ticks only bottom
```

12.157 title

概要

定义绘图的标题和属性

语法

```
TITLE [ON|OFF|text] [Location Top|Bottom|Right|Left]  
      [Size Tiny|Small|Medium|Large]
```


输入

text 显示标题，并设置标题内容，若 **text** 包空格，则需要用引号括起来

ON 显示标题，但不改变标题内容

OFF 不显示标题

LOCATION 设置标题的位置，可以取 TOP、BOTTOM、RIGHT、LEFT

SIZE 设置标题的尺寸，可以取 TINY、SMALL、MEDIUM、LARGE

缺省值

```
title off location top size small
```

说明

若打开该选项，则在每个图形上都显示标题，标题的尺寸、位置及内容均可改变，文本质量和字体可以通过 `gtext` 命令设置。

12.158 trace

概要

追踪黑板变量和头段变量

语法

```
TRACE [ON|OFF] name [name ...]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭变量追踪选项

name 要追踪的黑板变量或/和头段变量名。对于头段变量，其格式为 **filename**, **hdrname**，其中 **filename** 是要追踪的 SAC 文件名或文件号，**hdrname** 是 SAC 头段变量名

缺省值

```
trace on
```

说明

该命令用于在 SAC 执行过程中追踪 SAC 黑板变量或/和头段变量的值，主要用于调试大型或复杂的宏文件。当变量追踪选项被打开时，将显示变量的当前值。若变量追踪选项处于打开状态，则每次执行命令时将对变量值进行检查，若变量的值发生改变则将其新值打印到终端。当变量追踪选项被关闭时，也会显示变量的当前值。

示例

追踪黑板变量 TEMP1 和文件 MYFILE 的头段变量 T0:

```
SAC> trace on temp1 myfile,t0
TRACE (on) TEMP1 = 1.45623
TRACE (on) MYFILE,T0 = UNDEFINED
```

在执行命令时, SAC 会检查变量值是否发生改变。若发生改变则将相关信息显示出来。假设在完成一些计算之后改变了 TEMP1, 并定义了 T0 的值, 则 SAC 将显示如下信息:

```
TRACE (mod) TEMP1 = 2.34293
TRACE (mod) MYFILE,T0 = 10.3451
```

稍后的处理中 TEMP1 可能再次改变:

```
TRACE (mod) TEMP1 = 1.93242
```

当跟踪选项被关闭时, SAC 最后一次显示变量当前值:

```
SAC> trace off temp1 myfile,t0
TRACE (off) TEMP1 = 1.93242
TRACE (off) MYFILE,T0 = 10.3451
```

12.159 transcript

概要

将 SAC 终端信息输出到副本文件中

语法

```
TRANSCRIPT [OPEN|CREATE|CLOSE|CHANGE|WRITE|HISTORY] [FILE filename]
           [CONTENTS ALL|Errors|Warnings|Output|Commands|Macros|Processed]
           [MESSAGE text]
```

输入

OPEN 打开副本文件, 若文件已存在, 则将输出追加到文件的尾部, 相当于重定向符号 >>

CREATE 创建一个新的副本文件, 相当于重定向符号 >

CLOSE 关闭一个已打开的副本文件

CHANGE 修改一个已打开的副本文件的内容

WRITE 将信息写入副本文件, 不改变其状态或内容

HISTORY 将命令行历史保存到文件

FILE filename 定义副本文件的名字

MESSAGE text 向副本文件中写入文本。这个信息可以用于指定正在进行的进程或指定正在处理的不同事件，在两次执行这个命令的过程中这个信息不保存

CONTENTS ALL 定义副本文件的内容为全部输入输出的信息

CONTENTS ERRORS 定义副本内容为执行命令时产生的错误消息

CONTENTS WARNINGS 定义副本内容为执行命令时产生的警告消息

CONTENTS OUTPUT 定义副本内容为执行命令时的输出消息

CONTENTS COMMANDS 定义副本内容为终端输入的原始命令

CONTENTS MACROS 定义副本内容为宏文件中出现的原始命令

CONTENTS PROCESSED 定义副本内容为经终端或宏处理之后的命令

缺省值

```
transcript open file transcript contents all
```

说明

副本文件用于记录 SAC 执行的整个过程，其可以记录一次或多次执行 SAC 时的信息。同一时间，用户最多可以使用 5 个活动的副本文件，每个副本文件用于追踪不同的输出信息。

示例

创建一个新的副本文件，文件名为 **mytran**，包含了除已处理命令之外的其他全部输出内容：

```
SAC> transcript create file mytran cont err warn out com macros
```

若之后不想把宏命令送入这个副本文件中，则可以使用 **CHANGE** 选项：

```
SAC> transcript change file mytran contents e w o c
```

定义一个名为 **myrecord** 的副本文件，其记录了终端输入的命令：

```
SAC> transcript create file myrecord contents commands
```

经过适当的编辑，该副本文件即可用作宏命令文件，去自动执行相同的一组命令。

假设你需要彻夜处理许多事件。你可以设置每个事件一个副本文件（用不同的副本文件名）去记录处理的结果。另外你可以将处理所有事件得到的任何错误消息保存到一个副本文件中：

```
SAC> transcript open file errortran contents errors
SAC> transcript write message 'processing event 1'
```

将这些命令放在批量处理的宏文件中。对于每个事件，都会将运行信息和出错信息添加到副本文件的最后。第二天检查一下副本文件的内容，就可以快速查阅在处理期间是否出现

了错误。

为了保存一个命令行副本，以记录 SAC 当前和将来要运行的命令：

```
SCA> transcript history file .sachist
```

这就在当前目录创建并写入了一个副本文件“`./sachist`”。任何储存在那里的文件将被载入命令历史中。如果这个命令位于你的启动初始化宏文件中，则每次你运行 SAC 时将在当前目录产生一个单独的命令行历史。在一个新执行的 SAC 中，上下键将浏览完整的命令历史，你可以修改以前输入的命令并再次执行它，如果你没有在 SAC 内或初始化宏文件中输入这个命令，则命令行历史将自动保存到 `~/.sac_history`。

12.160 transfer

概要

反卷积以去除仪器响应，如果需要，还可以卷积其他仪器响应

语法

```
TRANSFER [FROM type [options]] [TO type [options]] [FREQlimits f1 f2 f3 f4]
[PREWhitening ON|OFF|n]
```

输入

FROM type 要去除的仪器响应类型

TO type 要加入的仪器响应类型

FREQLIMITS f1 f2 f3 f4 压制大于 f4 以及低于 f1 的频段

PREWHITENING ON|OFF|n 预白化处理

缺省值

```
trans from none to none
```

说明

FROM and TO

`transfer` 命令的作用是将波形数据从一种仪器响应转换成另一种仪器响应。**FROM type** 指定要从波形数据中去除的仪器响应，**TO type** 指定了要加入到波形数据中的仪器响应。去仪器响应即反卷积，加仪器响应即卷积，二者分别通过谱域的除法和乘法完成。

type 为仪器类型，可以是 SAC 预定义的标准仪器类型（见附录中表 [SAC 内置仪器类型列表](#)），还可以是如下几种特殊的“仪器类型”：

- **none**: 表示“位移”
- **vel**: 表示“速度”

- **acc**: 表示“加速度”
- **evalresp**: 表示使用 RESP 仪器响应文件
- **polezero**: 表示使用 SAC PZ 仪器响应文件
- **fap**: 表示使用 fap 仪器响应文件

tranfser 命令的默认值是“transfer from none to none”，即默认的输入和输出“仪器类型”都是位移。因而当不指定 **FROM type** 或 **T0 type** 时，SAC 会假定仪器类型为 **NONE**。

- 若输出的仪器类型为 **NONE**，即表示从波形中去掉仪器响应得到位移，此时 SAC 头段中的 **IDEP** 设置为 **IDISP**，单位为 **nm**，若输出类型为 **VEL** 或 **ACC**，同理；
- 若输出的仪器类型不是 **NONE**、**VEL** 或 **ACC**，则内存中的波形会卷积上 **T0 type** 所指定的仪器响应；
- 若不指定 **FROM** 选项，则假定原始波形数据是位移，且不会去除仪器响应；通常用于给理论地震图添加仪器响应；

freqlimits

freqlimits 用于在去除仪器响应时对波形的低频和高频部分进行压制。当 **T0 type** 为 **NONE**、**VEL** 或 **ACC** 时，必须使用该选项，且必须认真选择合适的参数。

所有地震仪在零频率处都具有零响应，在只进行反卷积时，需要在频率域做谱的除法，此时可能会除以一个很小的值进而导致低频处有很大的谱振幅；在高频处，信噪比通常很低，因而有必要对其响应进行压制。

freqlimits 会在去仪器响应时对频谱做低通和高通尖灭，以实现高频和低频的压制。四个频率参数应满足 $f1 < f2 < f3 < f4$ ，即尖灭函数在零到 $f1$ 之间为 0， $f1$ 到 $f2$ 之间从 0 渐渐变成 1，在 $f2$ 和 $f3$ 之间保持为 1，在 $f3$ 到 $f4$ 之间从 1 渐渐变成 0，大于 $f4$ 的频段值为 0。过渡带内分别为余弦波的四分之一周期。如下图所示：

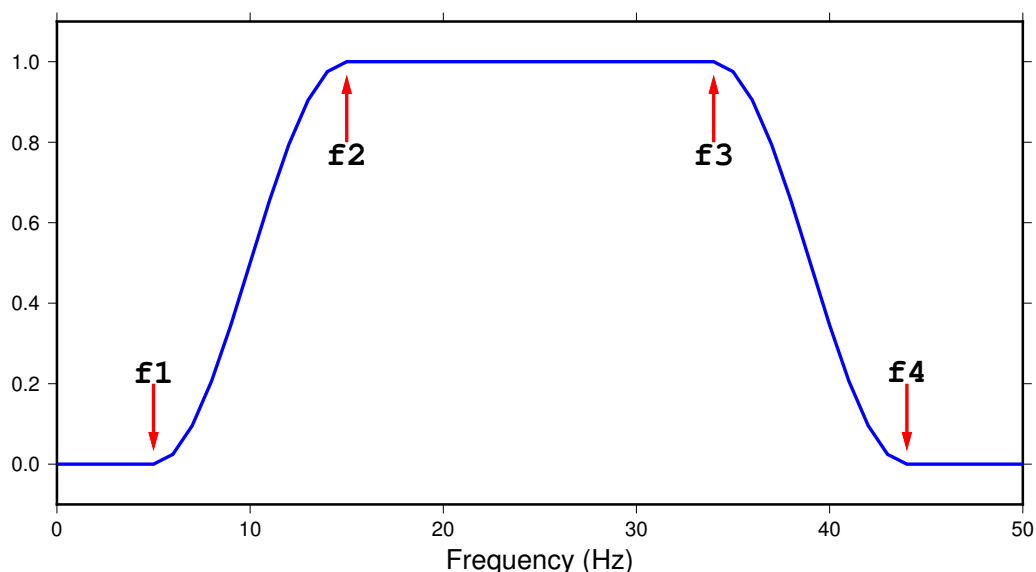


图 12.5: Freqlimits 尖灭函数

四个频率参数除了要满足 $f_1 < f_2 < f_3 < f_4$ 外，还应注意如下几条原则：

- f_4 应小于 Nyquist 采样率。比如若数据的采样周期为 0.01 s，则 Nyquist 采样率为 50 Hz，因而 f_4 应小于 50 Hz
- f_3 不能与 f_4 太接近
- f_2 与 f_3 之间应尽可能宽，然后再根据具体需求进行滤波
- f_1 和 f_2 不能太接近；
- f_1 的选取由具体需求决定，可以尝试不同的值并查看去仪器响应之后的效果来决定

若想要一个低通滤波器但在低频处不滤波，可以设置 $f_1 = -2$ 和 $f_2 = -1$ ；若想要一个高通滤波器但在高频处不滤波，可以设置 f_3 等于 Nyquist 频率， f_4 为 Nyquist 频率的两倍。

需要注意，该滤波器是零相位、非因果滤波器，因而，若数据点数不为 2 的指数幂次，会导致在频段 (f_1, f_4) 之外振幅不完全为 0。若想要数据点数为 2 的幂次方，可以参考 SAC 中的 `cut` 命令。

prewhitening

`prewhitening` 用于控制数据的预白化。预白化可以将输入时间序列在变换到频率域之前，进行谱的平化。这会减小谱值的动态范围，并提高数据在高频的计算精度。参见 `whiten` 命令。打开预白化选项，会在谱操作之前在频率域进行谱白化，并在谱操作后在时间域做谱白化的补偿，也可以设置预白化选项的阶数。默认情况下，预白化选项是关闭的，阶数为 $n=6$ 。

示例

内置仪器类型

SAC 中内置了一堆预定义的仪器类型，可以在命令中直接使用。

从数据中去除 LLL 宽频带仪器响应。并卷积上 SRO 仪器响应，且对频带做尖灭及预白化：

```
SAC> read abc.z
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from lll to sro freq .02 .05 1. 2. prew 2
```

当前的仪器类型为 RSTN 的子类型 `nykm.z`，为了去除该仪器响应并卷积上 DSS 仪器响应：

```
SAC> read nykm.z
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from rstn subtype nykm.z to dss prew off
```

将电磁仪器响应转换成位移：

```
SAC> r XYZ.Z
SAC> trans from elmag freep 15. mag 750. to none
```

从波形中去除 WWSP 的仪器响应，得到位移波形：

```
SAC> read xyz.z
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from WWSP to none freq 0.05 0.01 5 10
# 也可使用 to vel 或 to acc 得到速度或加速度
```

向合成的位移地震图中加入 WWSP 仪器响应：

```
SAC> r syn.z
SAC> trans from none to WWSP # 简写为 trans to WWSP
```

evalresp 类型

evalresp 类型并不代表真正意义上的仪器类型，而是表示从 RESP 仪器响应文件中读取仪器响应信息。在使用 evalresp 选项时，transfer 依次从当前内存中的 SAC 波形数据中提取出各自的头段信息，包括：kstnm、kcmpnm、kzdate、kztime、knetwk 和 locid，然后会在当前目录下寻找文件名为“RESP.<NET>.<STA>.<LOCID>.<CHN>”的 RESP 文件（比如“RESP.IU.COLA..BHZ”），并检测 RESP 文件中给出的台站信息是否与数据中的台站信息匹配¹。

```
SAC> r 2006.253.14.30.24.0000.TA.N11A..LHZ.Q.SAC
SAC> rtr; rtr; taper
SAC> trans from evalresp to none freq 0.004 0.007 0.2 0.4
```

该命令会首先从头段中提取台站信息，然后自动在当前目录下寻找文件 RESP.TA.N11A..LHZ，一旦文件中的台站信息与数据中的台站信息匹配，则使用该响应函数。

SAC 数据中的头段信息可以用一些选项来覆盖：

```
STATION, CHANNEL, NETWORK, DATE, TIME, LOCID, FNAME
```

每个选项都必须有一个合适的值。若 DATE 在 SAC 头段中未设定且在选项中未指定，则使用当前系统日期，TIME 同理；若 NETWORK 未指定，则默认使用任意台网名；若 LOCID 或 KHOLE 未指定，则默认使用任意 LOCID。

假设台网 IU 的所有台站都具有完全相同的仪器响应函数，而此时你只有 COLA 台站的 RESP 文件 RESP.IU.COLA..BHZ。为了给所有台站去除仪器响应，一种办法是对 IU 台网的每一个台站复制一份 RESP.IU.COLA..BHZ，重命名，并修改 RESP 文件中的台站信息。显然，这样很麻烦，利用上面的选项可以大大简化这一过程：

```
SAC> r *.IU.*.BHZ
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from evalresp STATION COLA to none freq 0.01 0.02 5 10
```

¹ 即，要求 RESP 文件名以及 RESP 文件中的台站信息都与数据头段中的台站信息匹配

使用 `STATION` 选项覆盖了波形数据中的台站名，此时，对每一个波形数据，`transfer` 命令都会去使用 `RESP.IU.COLA..BHZ2`。

下面的命令会将三分量数据去仪器响应，并卷积上 BHZ 分量的仪器响应：

```
SAC> r *.IU.COLA.00.BH?
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from evalresp to evalresp CHANNEL BHZ
```

操作完成后，BHZ 分量相当于没有进行操作，BH1 和 BH2 则去除了原本的仪器响应并卷积上 BHZ 的仪器响应。

为了显示 IU 台网 COL 台站 BHZ 通道，1992 年 01 月 02 日 16:42:05 的仪器响应：

```
SAC> fg impulse npts 16384 delta .05 begin 0.
SAC> trans to evalresp sta COL cha BHZ net IU \
        date 1992/2 time 16:42:05
SAC> fft
SAC> psp am
```

如果你的 RESP 文件名与 SAC 的标准格式不同，可以使用 `FNAME` 选项强制指定要使用的 RESP 文件：

```
SAC> r 2006.253.14.30.24.0000.TA.N11A..LHZ.Q.SAC
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from evalresp fname /tmp/Resp/RESP.TA.N11A..LHZ to none \
        freq 0.004 0.007 0.2 0.4
```

`transfer` 命令默认会使用 `RESP.TA.N11A..LHZ` 作为响应文件，此处使用 `FNAME` 选项强制指定使用 `/tmp/Resp/RESP.TA.N11A..LHZ`。需要注意的是，即便是使用 `FNAME` 强制指定了 RESP 文件，该命令还是会检测台站信息是否匹配。

由于一个 RESP 文件中可以包含多个响应函数，因而可以将所有仪器响应文件合并到一个总的 RESP 文件中：

```
SAC> r *.SAC
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> transfer from evalresp fname RESP.ALL to none freq 0.1 0.2 5 10
```

这个例子中，`RESP.ALL` 包含了所有数据的响应函数，`transfer` 命令会读取 `RESP.ALL` 文件的内容，对于每一个波形数据，会从波形数据中提取出台站信息，并与 `RESP.ALL` 中的众多响应函数进行匹配，若匹配成功，则使用该响应函数。

² 这里假定所有台站的 LOCID 都是未定义的

polezero 类型

polezero 类型并不代表真正意义上的仪器类型，而是表示从 SAC 零极点文件中读取仪器响应函数。

polezero 类型会从数据波形中提取台站信息，但不会根据台站信息去寻找默认的 PZ 文件，用户必须使用 **subtype** 来指定要使用的 PZ 文件。若 PZ 文件有注释行，则注释行中的台站信息必须与波形中的台站信息匹配，才能正确执行；若 PZ 文件中无注释行，则不进行台站信息匹配的检测，直接执行。

```
SAC> r *IU.COLA.BHZ
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from polezero subtype SAC_PZs.IU.COLA.BHZ to WWSP
```

一个 PZ 文件中可以包含多台站、多通道、多时间段的响应函数。可以将所有数据的 PZ 文件合并得到总的 PZ 文件。下面的例子中读入全部波形数据，并利用总 PZ 文件进行去仪器响应：

```
SAC> r *.SAC           # 读入全部数据
SAC> rmean; rtr; taper
SAC> trans from polezero s event.pz to none freq 0.05 0.1 10.0 15.0
SAC> mul 1.0e9         # 需要乘以 1.0e9 !!!
SAC> w over
```

需要格外注意，在用 PZ 文件去仪器响应得到位移物理量时，得到的数据的单位是 m，而 SAC 中默认的单位是 nm，因而需要将数据乘以 1.0e9 将数据的单位转换成 nm。对于转换得到速度或加速度，同理。

fap 选项

fap 选项表明使用 FAP 文件作为响应函数。

假设有 fapfile 文件 **fap.n11a.lhz_0.006-0.2**，其名字表示频率段为 0.006 Hz 到 0.2 Hz，要从波形 **2006.253.14.30.24.0000.TA.N11A..LHZ.Q.SAC** 中移除该仪器响应：

```
SAC> r 2006.253.14.30.24.0000.TA.N11A..LHZ.Q.SAC
SAC> rtr
SAC> taper
SAC> trans from fap s fap.n11a.lhz_0.006-0.2 to none freq 0.004 0.006 0.1 0.2
SAC> mul 1.0e9
```

12.161 traveltime

概要

根据预定义的速度模型计算指定震相的走时

语法

```
TRAVELTIME [Model model] [PICKS n] [PHASE phaselist] [VERBOSE|QUIET] [M|KM]
```

输入

MODEL 预定义的速度模型，可以取 `iasp91` 或 `ak135`，缺省值为 `iasp91`

PICKS `number` 的取值为 0 到 9，表明将第一个震相的到时存储到对应的头段变量 `Tn` 中，其余震相依次写入到后面的头段变量 `Tn` 中；若未指定 **PICKS** 选项，则只计算震相到时但不写入头段中

PHASE 要计算/标记的震相列表，若使用了 **PICKS** `n` 选项，则震相到时信息将被写入头段 `Tn` 和 `KTn` 中

VERBOSE|QUIET 若使用 **VERBOSE**，则会在终端输出震相走时及其相对于文件参考时刻的秒数；若使用 **QUIET**，则不在屏幕上显示震相走时信息

M|KM 头段变量 `evdp` 的单位为 `m` 或者 `km`

缺省值

```
traveltime MODEL iasp91 KM PHASE P S Pn Pg Sn Sg
```

说明

该命令使用 `iaspei-tau` 程序计算标准速度模型下的震相理论走时，要求内存中的 SAC 数据文件中必须包含事件位置、台站位置以及发震时刻。震相名区分大小写，可使用的震相名参考 `iaspei-tau` 的相关文档。

若使用了 **PICKS** `n` 选项，则会将震相列表中第一个震相的到时存储在头段变量 `Tn` 中，余下的震相到时依次存储到其余的 `Tn` 中。对于每个震相，终端会输出两个时间，前者时震相到时相对于参考时刻的秒数，后者是震相相对于发震时刻的走时。

由于历史原因，事件深度 `evdp` 的单位可以是 `m` 或 `km`。SAC 从 `v101.5` 开始，`evdp` 的默认单位是 `km`，但由于某些程序输出的 SAC 波形依然以 `m` 作为 `evdp` 的单位，为了能够兼容这些以 `m` 为事件深度单位的波形数据，新版的 SAC 中引入了 `km` 和 `m` 选项以指定深度单位。

示例

区域事件，使用默认震相列表：

```

SAC> fg seismo
SAC> travelttime
travelttime: depth: 15.000000
travelttime: error finding phase P
travelttime: error finding phase S
travelttime: setting phase Pn      at 10.464321 s [ t = 51.894321 s ]
travelttime: setting phase Pg      at 22.904724 s [ t = 64.334724 s ]
travelttime: setting phase Sn      at 50.047722 s [ t = 91.477722 s ]
travelttime: setting phase Sg      at 66.414337 s [ t = 107.844337 s ]

```

由于震中距比较小，没有 P 和 S 震相，所以会出现 error finding phase P 的错误，该错误可忽略。以 Pn 震相为例，震相走时为 51.89 s，相对于参考时刻的秒数为 10.46 s。

上面的示例，只是计算了震相走时，不会写入到头段变量中。要将震相走时存储到头段变量中，需要使用 PICKS n 选项：

```

SAC> fg seismo
SAC> travelttime picks 0 phase Pn Pg Sn Sg
travelttime: depth: 15.000000
SAC> lh T0MARKER T1MARKER T2MARKER T3MARKER
T0MARKER = 10.464      (Pn)
T1MARKER = 22.905      (Pg)
T2MARKER = 50.048      (Sn)
T3MARKER = 66.414      (Sg)
SAC> write seismo-picks.z

```

可以看到，T0 到 T3 分别保存了震相 Pn、Pg、Sn、Sg 震相的到时相对于文件参考时刻的秒数。KT0 到 KT3 中则分别存储了相应的震相名。此处，尽管没有使用 VERBOSE 选项，深度信息还是会被打印出来，这是为了提醒用户注意 evdp 的单位，可以通过 QUIET 选项设置不显示深度信息。

rdseed v5.0 生成的波形数据，震源深度 evdp 的单位为 m：

```

SAC> r 2008.052.14.16.03.0000.XC.OR075.00.LHZ.M.SAC
SAC> lh evdp
evdp = 6.700000e+03
SAC> travelttime M picks 0
travelttime: depth: 6.700000 km
SAC> lh t0marker t1marker t2marker t3marker
t0marker = 61.48      (Pn)
t1marker = 76.413     (Pg)
t2marker = 109.66     (Sn)
t3marker = 132.11     (Sg)
SAC> ch evdp (0.001 * &1,evdp&) # 将 evdp 的单位改成 km
SAC> setbb station &1,KSTNM&
SAC> write %station%.z

```

12.162 tsize

概要

控制文本尺寸属性

语法

```
TSIZE [Tiny|Small|Medium|Large v ] [Ratio v] [OLD|NEW]
```

输入

TINY|SMALL|MEDIUM|LARGE v 设定标准文本尺寸的值为 v

RATIO v 设定文本的宽高比为 v

OLD 将所有文本尺寸值设置为旧值。旧值即 SAC 9 之前的版本中的文本尺寸值

NEW 设定所有文本尺寸值为 SAC 初始化时的缺省值

缺省值

```
tsize ratio 1.0 new
```

说明

大多数的文本注释命令（[title](#)、[xlabel](#)、[fileid](#) 等）允许你改变要显示的文本的尺寸。

SAC 提供了四个标准尺寸：TINY、SMALL、MEDIUM 和 LARGE。每一个标准尺寸都有一个初始值，如下表所示：

表 12.3: SAC 标准文本尺寸

NAME	A	B	C	D	E
TINY	0.015	66	50	68	110
SMALL	0.020	50	37	66	82
MEDIUM	0.030	33	25	44	55
LARGE	0.040	25	18	33	41

上面每列的定义如下：

- A 字符高度相对整个视窗的高度的比值
- B 全视窗下文本的行数
- C 正常视窗下文本的行数。正常视窗是指 x 为 0.0 到 1.0, y 为 0.0 到 0.75
- D 正常视窗中，每行的最小字符数
- E 正常视窗中每行字符的平均数

tsize 命令允许你重新定义这四个标准尺寸的大小以及宽高比。

从 SAC 9 开始，系统的默认文本尺寸发生了变化，新的尺寸集覆盖了更宽的尺寸范围，在

多数设备上看上去更好。你可以使用 OLD 选项将文本尺寸修改为之前版本的文本尺寸。

示例

为了改变 MEDIUM 的定义，并使用它创建一个特别尺寸的标题：

```
SAC> tsize medium 0.35
SAC> title 'rayleigh wave spectra' size medium
SAC> plot2
```

为了重置文本尺寸到其默认值：

```
SAC> tsize new
```

12.163 unsetbb

概要

删除黑板变量

语法

```
UNSETBB ALL|variable ...
```

输入

ALL 删除已定义的全部黑板变量
variable 删除黑板变量 **variable**

示例

一次删除多个黑板变量：

```
SAC> unsetbb c1 c2 x
```

删除所有黑板变量：

```
SAC> unsetbb all
```

12.164 unwrap

概要

计算振幅和展开相位

语法

```
UNWRAP [Fill ON|OFF|n] [Intthr v] [Pvthr v]
```

输入

FILL ON|OFF 打开/关闭补零选项

FILL n 打开补零选项并设置填充值为 n

INTTHR v 改变积分阈值常量为 v

PVTHR v 改变主值阈值常量为 v

缺省值

```
unwrap fill off intthr 1.5 pvthr 0.5
```

说明

该命令将内存中的时间序列数据转换为谱数据，包括振幅谱和展开后的相位谱，该命令仅对有相位光滑变化的数据起作用。在数据转换之前先对数据补零使得数据点数为 2^n ，也可以使用 **FILL** 选项指定补其他的值。

用 `fft` 计算出的相位谱，相位限制在 $-\pi$ 与 π 之间，因而相位谱看上去比较杂乱。`unwrap` 将相位谱做展开，使得相位谱更加连续变化。下图中分别展示了原始相位谱（上）和展开后的相位谱（下）。

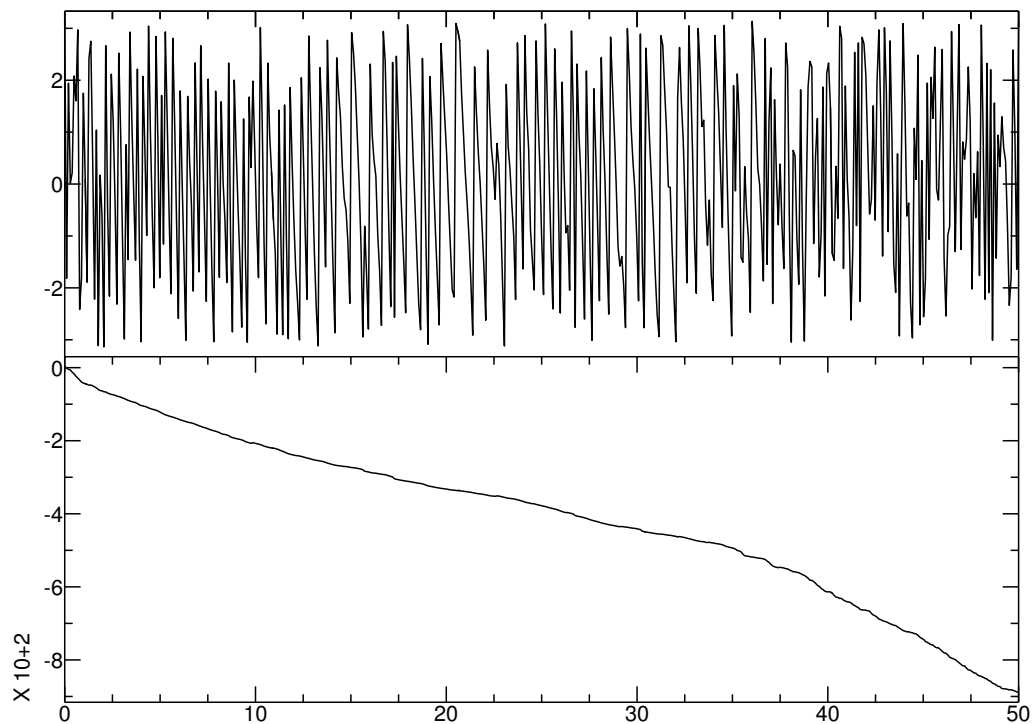


图 12.6: 展开相位

相位展开算法中使用了两种方法来估计每个频率处的展开相位。

一种是通过快速傅氏变换做相位偏导的数值积分。若要得到一个一致的估计，则可将梯形积分的步长在每个频率上对分。可以使用 `INTTHR` 选项控制这个验算的阈值，此值单位为弧度。减小 `INTTHR` 将改进相位计算结果，若该值太小，会导致解的发散。

算法中使用的第二个方法是先用反正切函数计算相位的主值。展开相位的计算方法是相位主值加上 2π 的整数倍，直到相位的突变小于给定的阈值为止。可以使用 `PVTHR` 选项控制这个验算的阈值。与上一个算法类似，减少这个阈值将改进相位估算的结果，但也增加了无解的可能性。

这两个阈值的初值通常经验地取为：

$$\pi/4 < PVTHR < INTTHR < 2\pi$$

头段变量

`b`、`e` 和 `delta` 分别改变为变换的起始频率、结束频率和采样频率。原始的 `b`、`e` 和 `delta` 被保存在为 `sb`、`se`、`sdelta`，当进行反变换时将值带回。

限制

目前可以转换的数据最大长度为 4096。

12.165 vspace

概要

设置图形的最大尺寸和长宽比

语法

```
VSPace [FULL|v]
```

输入

FULL 使用整个 `viewspace`，这是最大窗口尺寸

v 设置 `viewspace` 的纵横比为 `v`，具有这个纵横比的最大区域即为 `viewspace`

缺省值

```
vspace full
```

说明

`viewspace` 是屏幕上可以用于绘图的部分。`viewspace` 的形状和尺寸在不同图形设备之间有很大的变化。

1. 尽管在尺寸上有很大不同，许多图形终端都具有 0.75 的纵横比
2. SGF 文件的纵横比为 0.75，其大约是标准的 8.5*11 英寸纸张的纵横比
3. 由 XWindows 或 SunWindows 图形设备建立的窗口可以有你想要的任意纵横比

默认情况下绘图会占据整个 viewspace。该命令可以控制 viewspace 的纵横比，从而使你能够控制图形的形状。如果确定了一个纵横比，则 viewspace 就是设备上具有这个纵横比的最大区域。

当你使用 `plotc` 命令在交互设备上建立一张图，并且最终要将它发送到 SGF 设备上，这个命令特别有用。在绘制任何图形之前，必须设置纵横比为 0.75。这将保证图形在 SGF 文件上与在交互设备上相同。如果你要建立一个独立于图形设备的正方形 viewspace，则可以简单地设置纵横比为 1.0。

12.166 wait

概要

控制 SAC 在输出大量文本或绘制多个图形时是否暂停

语法

```
WAIT [Text ON|OFF] [Plots ON|OFF|Every]
```

输入

TEXT ON|OFF 打开/关闭文本等待选项
PLOTS ON|OFF 打开/关闭绘图等待选项
PLOTS EVERY 每个图形之间均等待

缺省值

```
wait text on plots on
```

说明

TEXT 选项用于控制当 SAC 输出到终端的内容超过一屏时，是等待用户输入，还是继续输出。

PLOTS 选项用于控制绘制多张图时是否要暂停。在读取多个数据文件并 `plot` 命令绘图时，每个文件将产生一个 frame，正常情况下 SAC 将在每张图后暂停并发送信息“Waiting”到终端，用户键入回车即可看到下一张图，或输入“Go”使 SAC 不暂停地绘制剩下的图形，或键入“Kill”终止绘制这组文件。SAC 绘制完最后一张图后不再暂停，因为 SAC 的输入提示符已经实现了暂停功能。当这个选项关闭时，SAC 在不同的绘图间不暂停。

12.167 whiten

概要

对输入的时间序列的频谱进行平滑

语法

```
WhITen n
```

输入

n 阶数（极点数目）。阶数越大，结果数据就越平滑。高阶可以更好地清除一些数据，但是也可能会导致对数据处理过多而丢掉一些重要的数据。默认值为 6。

缺省值

```
whiten 6
```

说明

该命令对数据中加入白噪声，以平滑输入时间序列的频谱。在谱相关命令（比如子程序 SPE 中的命令、transfer、spectrogram）之前执行，可以减少频谱值的动态范围，提高了对地震数据高频操作的精度。

whiten 可以在 SPE 子程序内部调用，也可以在 SAC 主程序中调用。SPE 中的 whiten 和主程序中的 whiten，阶数是相互独立的，即在主程序中修改 whiten 的阶数，不会影响 SPE 中 whiten 的阶数。与此同时，主程序中的 whiten 命令与 transfer 命令的 prewhiten 选项共用一个阶数；SPE 中 whiten 命令与 SPE 中的 cor 命令的 prewhiten 选项共用一个阶数。

12.168 whpf

概要

将辅助内容写入 HYPO 格式的震相拾取文件中

语法

```
WHPF IC n m
```

输入

IC n m 在第 18 和 19 列插入带有两个整数的 **n** 和 **m** 的指令卡。**n** 的允许值为 0、1、5，**m** 的允许值为 0、1、9。

说明

“指令卡”用于分开在 HYPO 文件中的不同事件，参见 HYPO71 手册。关闭一个已经打开的 HYPO 震相拾取文件（[chpf](#)）或者退出 SAC 时，将自动添加“10”指令卡到震相读取文件中。

12.169 width

概要

控制线宽

语法

```
WIDTH [ON|OFF|width] [SKeleton width] [Increment ON|OFF] [List↵  
↵Standard|widthlist]
```

其中 width 只能取整数

输入

WIDTH width 设置数据的线宽为 width

WIDTH ON 打开 WIDTH 选项但是不改变当前线宽值

WIDTH OFF 关闭 WIDTH 选项

SKELETON width 设置图形边框宽度为 width

LIST STANDARD 设置为标准线宽列表，设置数据宽度为标准列表中的第一个宽度，并打开 WIDTH 选项

LIST widthlist 改变宽度列表的内容。输入宽度列表。设置数据宽度为列表中的第一个宽度，并打开 WIDTH 选项

INCREMENT ON 按照 widthlist 表中的次序，依次改变一个宽度值

INCREMENT OFF 关闭线宽递增功能

缺省值

```
width off skeleton 1 increment off list standard
```

说明

width 指定了绘制数据时的线条宽度。SKELETON 指定了坐标轴的宽度，其就仅修改坐标轴的宽度，网格、文本、标签和框架号总是用 1 号细线表示。

若将 WIDTH 设置为递增，则每次绘图之后，宽度都会按照宽度表中的顺序自动修改。

如果在同一张绘图中同时绘制几个数据文件，也许需要对每个文件使用不同的宽度。此时可使用 INCREMENT 选项。在这个选项打开时，每次绘制一个数据文件后，都按照宽度表中的次序自动地变成另一个宽度。宽度值和次序在标准宽度表中为：

```
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
```

你可以使用 **LIST** 选项改变这个表的次序或内容。这个命令常用于重叠绘图（参见[plot2](#)），此时你可能需要每张图上的数据宽度都按相同的顺序排列。

示例

选择自动变换的数据宽度起始值为 1：

```
SAC> width 1 increment
```

边框宽度起始值为 2，并按 1、3、5 的增量变化：

```
SAC> width skeleton 2 increment list 1 3 5
```

12.170 wiener

概要

设计并应用一个自适应 Wiener 滤波器

语法

```
WieNeR [Window pdw] [Ncoeff n] [MU OFF|ON|v] [EPSilon OFF|ON|e]
```

输入

WINDOW pdw 设置滤波器设计窗口为 pdw，详情见[pdw](#)

NCOEFF n 设置滤波器系数为 n 个

MU off|on|v 设置自适应步长参数

MU Off 设置自适应步长参数为 0

MU ON 设置自适应步长为 $1.95/\text{Rho}(0)$ ，其中 $\text{Rho}(0)$ 是 pdw 中延迟为 0 时的自相关系数

MU v 设置自适应步长为 v

EPSILON ON|OFF|e 设置岭回归（ridge regression）参数为 e。若为 OFF，则 SAC 将依次设置 epsilon 值为 0.0、 10^{-5} 、 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} ，直到滤波器稳定为止。若 epsilon=0 不稳定，则会给出警告信息，若所有值均不稳定，则会给出错误信息。

缺省值

```
wiener window b 0 10 ncoeff 30 mu off epsilon off
```

说明

对文件的 pdw 内的数据估计自相关函数，并利用 Yule-Walker 方法设计预测误差滤波器，然后将滤波器应用到整个信号，即信号被误差序列替换。该滤波器可以用作预白化或用作

瞬时信号的检测预处理器。若 `mu` 指定为非 0 值，则滤波器为时域自适应的，大值 `mu` 可能会导致不稳定。

岭回归（ridge regression）参数通过给自相关矩阵的对角线元素加上 `epsilon` 以达到稳定 wiener 滤波器的目的。

示例

下面的命令将应用一个非自适应滤波器，将第一个十秒指定为数据窗：

```
SAC> wiener window b 0 10 mu 0.
```

下面命令将应用带 40 个系数的滤波器，指定设计窗为从文件开始到第一个到时前 1 秒：

```
SAC> wiener ncoeff 40 window b a -1
```

头段变量

`depmin`、`depmax`、`depmen`

12.171 wild

概要

设置读命令中用于扩展文件列表的通配符

语法

```
WILD [ECHO ON|OFF] [SINGLE char] [MULTIPLE char] [CONCATENATION chars]
```

输入

ECHO ON 打开扩展文件表回显选项；当该选项打开时，会回显被通配符展开的文件列表

ECHO OFF 关闭扩展文件表回显开关

SINGLE char 修改用于匹配单个字符的通配符

MULTIPLE char 修改用于匹配多个字符的通配符

CONCATENATION chars 修改用于将联接字符串括起来的字符

缺省值

选项	UNIX	VAX	PRIME
echo	on	on	on
single	?	?	+
multiple	*	*	'
concatenation	[,]	(,)	[,]

说明

很多现代操作系统都提供了通配符特性，也可以称为文件扩展。它是一个可以让你使用简短文件名以及简单的简写形式去指定一组文件的表示符号。SAC 在 `read`、`readtable` 以及 `readhdr` 命令中使用通配符及一些扩展名，使用这些表示符号，你可以很容易地访问一组文件：

- 所有以字母 `abc` 开头的文件
- 所有以 `z` 结尾的文件
- 所有文件名中严格包含三个字母的文件

通配符代号有三个元素。对于不同的系统三个元素会有不同的缺省符。你可以使用这个命令改变通配符。多重匹配字符 (`*`) 用于匹配字符串中任意字符串，包括空字符串。单个匹配符 (`?`) 用于匹配任意单个字符。连接符号 (`[` 和 `]`) 用于包围由逗号分隔的要匹配的字符串。在这个字符串中，可以包含单通配符或多通配符。

SAC 使用通配符完成文件名的扩展，通常有几个步骤：

1. 如果标识目录部分存在的话将其去掉，否则使用当前目录
2. 做系统调用，以得到目录中所有文件的列表
3. 如果在标识中是一个连接表，就用其他字符形成连接表中每个字符的新的标识，然后匹配它们到文件表中。如果没有连接表标识，则可简单匹配标识到文件表
4. 去掉形成扩展文件表的所有重复的匹配
5. 如果需要，回显扩展文件表
6. 试着将扩展文件表读入内存

每个操作系统都使用一些不同的步骤在一个目录中存取文件。上面第一步的系统调用反映了这些不同。例如，在 UNIX 中以字母顺序显示文件名，但在 PRIME 或 VAX 上就不是这样。在 PRIME 目录中文件次序是随意的。这些不同反映在扩展文件表的文件次序上。你可以用各种不同的通配符和连接表进行实验，以确定扩展文件表中的文件次序是否重要。

下例将帮助你理解怎样使用这些通配符元素，一个有用的特征是 SAC 保存包含在连接表上的字符串，当你输入一个空表，则前面的表将被重复使用，这可以节省许多输入的操作。

示例

假定当前目录中包含如下次序的文件：

```
ABC DEF STA01E STA01N STA01Z STA02E STA02N STA02Z STA03Z
```

同样假定扩展文件设置回显，下面显示怎样使用各种通配符去将上面文件表的一部分读入内存：

```
SAC> READ S*  
STA01E STA01N STA01Z STA02E STA02N STA02Z STA03Z  
SAC> READ *Z
```

(下页继续)

(续上页)

```

STA01Z STA02Z STA03Z
SAC> READ ???
ABC DEF
SAC> READ STA01[Z,N,E]
STA01Z STA01N STA01E
SAC> READ *[Z,N,E]
STA01Z STA02Z STA03Z STA01N STA02N STA01E STA02E
SAC> READ *1[Z,N,E] *2[ ]
STA01Z STA01N STA01E STA02Z STA02N STA02E

```

限制

在一个标识中只可以有一个连接串

12.172 window

概要

设置图形窗口位置和宽高比

语法

```
WINDow n [Xsize xmin xmax] [Ysize ymin ymax] [ASPECT [value|ON|OFF]]
```

输入

n 要设置属性的图形窗口号，n 取值 1 到 10

XSIZE xmin xmax 设置图形窗口的水平位置。其中 xmin 和 xmax 分别是窗口左/右边界位置，其可以取值为 0.0 到 1.0。

YSIEZ ymin ymax 设置图形窗口的垂直位置。其中 ymin 和 ymax 分别是窗口左/右边界位置，其可以取值为 0.0 到 1.0。

ASPECT value|ON|OFF 设置宽纵比为 value。若打开 ASPECT 选项，则自动计算 xmax，使得 xsize 与 ysize 的比值为 value，若 value 则未设定，则使用系统默认值。若打开了 ASPECT 选项，但是却没有指定 xsize 选项，则 APSECT 选项被关闭，并且使用默认的 xmin 和 xmax 值。

缺省值

下面列出前 5 个绘图窗口位置的缺省值：

表 12.4: SAC 标准窗口

n	xwmin	xwmax	ywmin	ywmax
1	0.05	0.65	0.45	0.95
2	0.07	0.67	0.43	0.93
3	0.09	0.69	0.41	0.91
4	0.11	0.71	0.39	0.89
5	0.13	0.73	0.37	0.87

缺省情况下 ASPECT 选项是打开的，其值为 $11.0/8.5=1.294$ ，因而 xwmax 默认不使用。

说明

SAC 使用的 X11 图形系统支持多窗口绘图。**beginwindow** 命令使得你可以选择接下来的绘图命令要绘制在哪个图形窗口中。如果想要修改窗口的属性，则必须在使用 **beginwindow** 命令前使用 **window** 命令。

该命令可以控制每个 X 图形窗口出现时相对于屏幕左下角的位置以及窗口的宽高比。屏幕左下角的坐标为 (0,0)，右上角的坐标为 (1,1)。

默认情况下，使用编号为 1 的图形窗口。其水平方向的位置为 0.05 到 0.65，垂直方向的位置为 0.45 到 0.95，即窗口位于屏幕的左上角。图形窗口随着编号的增加不断右下角移动。

若关闭 ASPECT 选项，则图形窗口的宽高比由屏幕的宽高比决定。对于 4:3 的屏幕，默认宽高比为 1.6:1；对于 16:10 的屏幕，默认宽高比为 1.9:1。SGF 文件的宽高比为 4:3。

示例

设定图形窗口 1 的水平位置，垂直位置不变：

```
SAC> window 1 x 0.25 0.85
SAC> beginwindow 1
```

在这种情况下，显式指定了 XSIZE，因而 ASPECT 被自动设置为 OFF。

```
SAC> window 1 aspect 1.33 x 0.25 0.85
SAC> beginwindow 1
```

该命令与上面的命令相同，虽然设置了 aspect 的值，但由于指定了 XSIZE，因而 XSIZE 具有更高的优先级。

```
SAC> window 1 x 0.25 0.85 aspect 1.33
SAC> beginwindow 1
```

由于 ASPECT 位于 XSIZE 后面，因而 ASPECT 的优先级高于 XSIZE 的优先级，该命

令会忽略 xwmax，并固定宽高比为 1.33。

12.173 write

概要

将内存中的数据写入磁盘

语法

```
Write [SAC|ALPHA|XDR] [DIR OFF|CURRENT|name] [KSTCMP]
      [OVER|APPEND text|PREPEND text|DELETE text|CHANGE text1 text2] filelist
```

输入

无参数 使用以前的数据格式和文件列表

SAC 以 SAC 二进制文件格式写入磁盘

ALPHA 写 SAC 字符数字型写入磁盘

XDR 用 SAC 二进制 XDR 格式写文件。这个格式用于实现不同构架的二进制数据的转换

DIR OFF 关闭目录选项，即写入当前目录

DIR CURRENT 打开目录选项并设置写目录为当前目录

DIR name 打开目录选项并设置写目录为 **name**。将所有文件写入目录 **name** 中，其可以是相对路径或绝对路径

KSTCMP 使用 **KSTNM** 和 **KCMPNM** 头段变量为内存中每个数据文件定义一个文件名。生成的文件名将检查是否唯一，如果不唯一，则在文件名后加序号以避免文件名冲突

OVER 使用当前读文件列表作为写文件列表，用内存中的文件覆盖磁盘中的文件

APPEND text 在当前读文件列表的文件名后附加字符串 **text** 以创建写文件列表

PREPEND text 在当前读文件列表的文件名前附加字符串 **text** 以创建写文件列表

DELETE text 在当前读文件列表的文件名中删除第一次出现的 **text** 以创建写文件表

CHANGE text1 text2 将当前读文件表中每个文件名中第一次出现的 **text1** 修改为 **text2** 来创建写文件表

filelist 将写文件列表设置为 **filelist**，这个列表可以包含文件名、相对/绝对路径，不可以包含通配符

缺省值

```
write sac
```


说明

该命令允许你在数据处理的过程中将结果写入磁盘。写磁盘文件时可以选择几种数据格式，内存中的每个文件都将完整地写入到磁盘中。

多数情况下，你会选择使用 SAC 数据文件格式，这是 SAC 软件的标准输入输出格式，用于快速读写，其包含了以一个头段区和一个数据区。具体可以参考[SAC 文件格式](#)一章。

你可以直接指定写文件名，也可以通过修改内存中的当前文件名间接地指定它们。**OVER** 选项把写文件表设置为读文件表。它用于覆盖包含当前内存的数据的读入的最后一组磁盘文件。**APPEND**、**PREPEND**、**DELETE**、**CHANGE** 选项通过以所需要的方式修改每个读文件名的方式建立一个写文件表，这在宏命令中非常有用，在宏命令中你通常需要自动处理大量数据文件，并保持输出文件风格的一致。当使用这四个选项中的任意一个时，命令执行时会在终端输出文件列表，使得你可以看到实际写入磁盘的文件名。

示例

该命令的简单示例可以参考[SAC 读和写](#)一节。

对一组数据文件进行滤波，然后将结果存入一组新数据文件：

```
SAC> read d1 d2 d3
SAC> lowpass butter npoles 4
SAC> write f1 f2 f3
```

也可以使用 **CHANGE** 选项完成这一操作：

```
SAC> read d1 d2 d3
SAC> lowpass butter npoles 4
SAC> write change d f
```

若想要用滤波后的数据替换磁盘中的原始数据，则上例的第三行要变成：

```
SAC> write over
```

BUGS

- 使用 **dir off** 和 **dir current** 选项会直接报错，因为关键字 **off** 和 **current** 会被当作普通目录名，而由于目录不存在因而无法写入（v101.6a）

12.174 writebbf

概要

将黑板变量文件写入到磁盘

语法

```
WriteBBF [file]
```

输入

file 黑板变量文件的文件名

缺省值

```
writebbf bbf
```

说明

该命令让你能够将当前会话的所有黑板变量写入到磁盘文件中，稍后可以使用 [readbbf](#) 命令将黑板变量文件重新读入 SAC，该特性允许你保存某次 SAC 会话的信息，并用于另一次 SAC 会话中。你也可以在自己的程序中调用 SAC 函数库以访问黑板变量文件中的信息。

12.175 writecss

概要

将内存中的数据以 CSS 3.0 格式写入磁盘

语法

```
WriteCSS [Binary|Ascii] [DIR ON|OFF|CURRENT|name] name
```

输入

ASCII 以标准 ASCII 格式写入磁盘

BINARY 以 CSS 3.0 二进制文件输出

DIR ON 打开目录选项，但不改变目录名

DIR OFF 关闭目录选项，即写入当前目录

DIR CURRENT 打开目录选项并设置写目录为当前目录

DIR name 打开目录选项并设置写目录为 **name**。将所有文件写入目录 **name** 中，其可以是相对路径或绝对路径

name 以文件名 **name** 写入磁盘。只能指定一个名字其不能包含通配符。对于 ASCII 型输出，以 **name** 为基础，在其后加上各个 CSS 表所对应的后缀（比如：**name.wfdisc**、**name.origin**）。对于 BINARY 输出，则 **name** 是输出文件名

缺省值

```
wirtecss ascii dir off
```

说明

该命令允许你在数据处理过程中将数据以 CSS 3.0 格式保存到磁盘中。在 ASCII 模式下 (默认模式), 会写入一个或多个 ASCII 文件到磁盘。输出的具体文件依赖于数据来源, 但输出可以是下面列出的 CSS 表中的任意一个或多个:

```
wfdisc, wftag, origin, arrival, assoc, sitechan, site, affiliation,  
origerr, origin, event, sensor, instrument, gregion, stassoc, remark sacdata
```

在 BINARY 模式下, 所有的 CSS 表以及波形数据都会以二进制格式写入到同一个文件中。

12.176 writehdr

概要

用内存中文件的头段区覆盖磁盘文字中的头段区

语法

```
WriteHdr
```

说明

write 命令的 **over** 选项可以用内存中头段区和数据区覆盖磁盘文件中的头段区和数据区。该命令用内存中头段区覆盖磁盘文件中的头段区, 数据区不会被覆盖。如果使用了 **cut** 命令, 读取数据时将仅读入部分数据, 内存中的头段区将会做相应修改以反映 **cut** 命令的效果, 但是磁盘中的数据并没有被修改, 因而此时不能使用 **writehdr** 命令。对被 **cut** 的数据使用 **writehdr** 命令将可能导致磁盘中的数据产生类似于平移或截断的效果。

12.177 writesp

概要

将谱文件作为一般文件写入磁盘

语法

```
WriteSP [ASIS|RLIM|AMPH|RL|IM|AM|PH] [OVER|filelist]
```

输入

ASIS 按照谱文件当前格式写入

RLIM 写入实部和虚部分量

AMPH 写入振幅和相位分量

RL|IM|AM|PH 只写入实部/虚拟/振幅/相位分量

filelist SAC 二进制数据文件列表，这个列表可以包含简单文件名和绝对/相对路径名

缺省值

```
writesp asis
```

说明

SAC 数据文件可以为时间序列文件或谱文件。头段中的 **IFTYPE** 用于区分这两种格式。当你读取一个时间序列到内存，对其做快速 Fourier 变换，然后将数据写回磁盘，此时的文件即为谱文件。

某些操作只能对时间序列文件进行，而某些操作只能对谱文件进行。比如，你无法对一个谱文件应用 **taper** 命令或者将两个谱文件乘起来。这是 SAC 的保护机制。

然而有时你需要对谱文件做这些操作，为了越过 SAC 的保护机制，你可以使用这个命令将谱文件像时间序列数据一样写入磁盘。每一个分量都将作为一个单独文件写入磁盘。然后你可以将这些文件读入 SAC 并进行任何你想要的操作。因为 SAC 认为其为时间序列文件。一旦这些计算完成了，你可以将修改之后的数据通过 **write** 命令写回磁盘。如果你想要读回这个谱文件，可以使用 **readsp** 命令。

为了帮助你跟踪磁盘上的数据，SAC 将在你给出的文件名后加一个后缀以标识储存在文件的谱分量。后缀分别为 **.RL**、**.IM**、**.AM** 和 **.PH** 分别对应不同的分量。

示例

假设你想要对 FILE1 的谱文件振幅进行一些操作：

```
SAC> read file1
SAC> fft amph
SAC> writesp over
```

SAC 将输出两个文件 FILE1.AM 和 FILE1.PH，现在可以对振幅文件进行操作：

```
SAC> read file1.am
SAC> ...perform operations.
SAC> write over
```

现在磁盘中的文件为修改后的谱文件，如果你想要重建 SAC 谱数据并进行反变换：

```
SAC> readsp file1
SAC> ifft
SAC> write file2
```

头段变量改变

磁盘文件中的 b、e、delta 将包含频率的起始值、结束值和增值，单位为 Hz

12.178 xdiv

概要

控制 X 轴的刻度间隔

语法

```
XDIV [Nice|Increment v|Number n] [Power ON|OFF]
```

输入

NICE 由 SAC 自动选择合适的刻度间隔

INCREMENT v 设置刻度间隔增量为 v

NUMBER n 设置刻度的总数目数为 n

POWER ON 打开幂指数选项，SAC 以幂指数形式给出刻度值

POWER OFF 关闭幂选项

缺省值

```
xdiv nice power on
```

说明

该命令控制 X 轴的刻度间隔。多数时候默认的 nice 间隔即可满足需求。SAC 的 nice 刻度间隔是根据坐标轴的最小最大值、坐标轴的长度以及当前坐标轴文本尺寸来决定的。

也可以使用 INCREMENT 选项强制刻度间隔为一个定值，或者使用 NUMBER 选项设置刻度间隔的数目。

12.179 xfudge

概要

设置 X 轴范围的附加因子

语法

```
XFUDGE [ON|OFF|v]
```

输入

v 设置附加因子为 v

ON 打开附加选项，但不改变附加因子

OFF 关闭附加选项

缺省值

```
xfudge 0.03
```

说明

当坐标轴的范围设置为数据的时间极值时, $xmin=b$, $xmax=e$ 。实际绘图时会将 $xmin$ 调小一点, 将 $xmax$ 调大一点, 使得绘图时波形的两端与边框之间留有一些空隙。附加因子定义了这个空隙相对于时间极值的比例。

实际绘图时, 会根据附加因子计算新的坐标轴范围:

```
xdiff = xfudge * ( b - e )
xmin = b - xdiff
xmax = e + xdiff
```

其中 b 和 e 是数据的时间范围, $xfudge$ 是附加因子, $xmin$ 和 $xmax$ 是计算得到的 X 坐标轴范围。该算法对对数坐标也得类似的效果。

12.180 xfull

概要

控制 X 轴的坐标范围的极值为 10 的倍数

语法

```
XFULL [ON|OFF]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭整对数绘图选项

缺省值

```
xfull on
```

说明

该命令仅适用于使用对数坐标且坐标范围不固定 ($xlim\ off$) 的情况。当此选项打开时, 实际的坐标轴范围将被设置为略大于数据范围的 10 的倍数。当关闭这个选项时, 将使用实际数据范围。

12.181 xgrid

概要

控制绘图时的 X 方向的网格线

语法

```
XGRID ON|OFF|Solid|Dotted
```

输入

SOLID 设置网格线为实线

DOTTED 设置网格线为虚线

ON 绘制网格，但不改变网格类型

OFF 不绘制网格

缺省值

```
xgrid off
```

12.182 xlabel

概要

定义 X 轴标签及属性

语法

```
XLABEL [ON|OFF|text] [Location Top|Bottom|Right|Left]  
[Size Tiny|Small|Medium|Large]
```

输入

text 打开 X 轴标签选项，设置标签为 **text**。若文本含空格，需要用引号括起来

ON 打开 X 轴标签选项，但不改变标签文本

OFF 关闭 X 轴标签选项

LOCATION 设定 X 轴标签的位置。可以取 TOP、BOTTOM、RIGHT、LEFT

SIZE 改变绘图标签的文本尺寸

TINY 每行 132 个字符

SMALL 每行 100 个字符

MEDIUM 每行 80 字符

LARGE 大尺寸，每行 50 字符

缺省值

```
xlabel off location bottom size small
```

说明

若打开 X 轴标签选项，则绘图时会在图上显示 X 轴标签。标签的尺寸和位置以及文本均可以改变。文本质量以及字体可以使用 [gtext](#) 命令设置。

12.183 xlim

概要

设定图形中 X 轴的范围

语法

```
XLIM [ON|OFF|pdw|SIGNAL]
```

输入

pdw 打开 X 轴范围选项并设置范围为新的 “partial data window”，参考 [pdw](#)

SIGNAL 等同于输入 `A -1 F +1`，即初至前 1 秒到事件结束的后 1 秒

ON 打开 X 轴范围选项，但不改变 X 轴范围值

OFF 关闭 X 轴范围选项，即根据数据的自变量范围决定 X 轴范围

缺省值

```
xlim off
```

说明

当此选项关闭时，会根据数据自变量的范围决定绘图时 X 轴的范围。当此选项打开时，限定 X 轴的范围，可以通过此种方式 “放大” 当前内存中数据的图形。

12.184 xlin

概要

设置 X 轴为线性坐标

语法

```
XLIN
```


12.185 xlog

概要

设置 X 轴为对数坐标

语法

```
XLOG
```

12.186 xvport

概要

定义 X 轴的视口

语法

```
XVPort xmin xmax
```

输入

xvmin X 轴视口的最小值，范围为 0.0 到 xmax

xvmax X 轴视口的最大值，范围为 xmin 到 1.0

缺省值

```
xvport 0.1 0.9
```

说明

视口 (viewport) 是视窗 (viewspace) 的一部分。在 SAC 中，定义视口时使用的是相对坐标系，即坐标系在 X 和 Y 方向都是 0 到 1 的范围。视窗左下角的坐标为 (0.0, 0.0)，右上角的坐标为 (1.0, 1.0)。该坐标系是与输出设备无关的，因而可以很方便地指定一个图形的位置。

xvport 和 yvport 定义了视口相对于视窗的位置，后续的命令将在定义的视口中绘图。默认值 xvport 0.1 0.9 在 X 方向上使用了视窗的 80%，在图形的左右两边留下一些空间绘制坐标轴、标签和标题。

当与 [beginframe](#) 和 [endframe](#) 命令一起使用时，可以让你能够在一个视窗内绘制若干不同的图形，构成复杂的组合图。

示例

参见[组合图](#)一节。

12.187 ydiv

概要

控制 Y 轴的刻度间隔

语法

```
YDIV [Nice|Increment v|Number n] [Power ON|OFF]
```

说明

该命令的选项、默认值和说明，与 [xdiv](#) 相同。

12.188 yfudge

概要

设置 Y 轴范围的附加因子

语法

```
YFUDGE [ON|OFF|v]
```

说明

该命令的选项、默认值及说明，与 [xfudge](#) 类似。

12.189 yfull

概要

控制 Y 轴的坐标范围的极值是 10 的倍数

语法

```
YFULL [ON|OFF]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭整对数绘图选项

缺省值

```
yfull on
```

说明

该命令仅适用于使用对数坐标且坐标范围不固定 (`ylim off`) 的情况。当此选项打开时, 实际的坐标轴范围将被设置为略大于数据范围的 10 的倍数。当关闭这个选项时, 将使用实际数据范围。

12.190 ygrid

概要

控制绘图 Y 方向的网格线

语法

```
YGRID ON|OFF|Solid|Dotted
```

输入

SOLID 设置网格线为实线
DOTTED 设置网格线为虚线
ON 绘制网格, 但不改变网格类型
OFF 不绘制网格

缺省值

```
ygrid off
```

12.191 ylabel

概要

定义 Y 轴标签及属性

语法

```
YLABeL [ON|OFF|text] [Location Top|Bottom|Right|Left]  
[Size Tiny|Small|Medium|Large]
```

说明

该命令的输入、默认值、说明, 与 [xlabel](#) 相同。

12.192 ylim

概要

设定图形 Y 轴的范围

语法

```
YLIM [ON|OFF|ALL|min max|PM v]
```

输入

ALL 根据内存中所有文件的最大和最小值限定 Y 轴的范围

min max 设定 Y 轴的范围为 min 到 max 之间

PM v 设置 Y 轴的范围为 -v 到 +v 之间

ON 打开 Y 轴范围选项，但不改变范围值

OFF 关闭 Y 轴范围选项

缺省值

```
ylin off
```

说明

当内存中有多个数据文件需要绘制时，若关闭此选项，每个数据文件在绘图时都会根据自己的数据因变量的范围决定绘图时 Y 轴的范围。当此选项打开时，将限制所有绘图的 Y 轴的范围。ALL 选项会找到内存中所有数据文件的最大值和最小值作为所有绘图的 Y 轴的范围。

可以为内存中不同的文件设定不同的 Y 轴范围，只要在命令中多次使用这些选项即可。

示例

file1 的 Y 轴范围为 0.0 到 30.0, file2 的 Y 轴范围为内存中所有文件的最大、最小值, file3 的 Y 轴范围将限定为文件自身的最大、最小值。如果文件多于三个，则其余的所有文件都限定为文件自身的最大、最小值。

```
SAC> ylin 0.0 30.0 all off  
SAC> r file1 file2 file3  
SAC> p
```

12.193 ylin

概要

设置 Y 轴为线性坐标

语法

```
YLIN
```

12.194 ylog

概要

设置 Y 轴为对数坐标

语法

```
YLOG
```

12.195 yvport

概要

定义 Y 轴的视口

语法

```
YVPort yvmin yvmax
```

输入

yvmin Y 轴视口的最小值，范围为 0.0 到 yvmax

yvmax Y 轴视口的最大值，范围为 yvmin 到 1.0

缺省值

```
yvport 0.1 0.9
```

说明

参考 [xvport](#) 命令的说明。

12.196 zcolors

概要

控制等值线的颜色显示

语法

```
ZCOLORS [ON|OFF] LIST c1 c2 ... cn
```

输入

ON 打开等值线颜色显示开关

OFF 关闭等值线颜色显示开关

LIST c1 c2 . cn 设置等值线要使用的颜色列表，每一个颜色对应一条等值线，如果

等值线数目多于这个列表长度，则整个列表不断重复
cn SAC 当前颜色表的颜色名

缺省值

```
zcolors off list red green blue
```

示例

参考[等值线图](#) 中的相关示例。

12.197 zlabels

概要

根据等值线的值控制等值线的标记

语法

```
ZLABELS [ON|OFF] [SPACING v1 [v2 [v3]]] [SIZE v] [ANGLE v] [LIST c1 c2 ... cn]
```

LIST 选项只能放在这个命令的最后

输入

ON|OFF 打开/关闭等值线标签选项开关

SPACING v1 v2 v3 设置相邻标签名的最小、适中和最大间隔（视口坐标系）分别为 v1、v2 和 v3。如果第二、三个值省略则使用前面一个值

SIZE v 设置标签的尺寸（高度）为 v

ANGLE v 设置标签文本最大角度为 v（自水平方向起算的角度，单位为度）

LIST c1 c2 . cn 设置使用的等值线标签的列表。在这个表上的每个输入用于相应的等值线，如果等值线数目大于这个表的长度，则重复使用整个等值线表

cn 可以取 **ON|OFF|INT|FLOATn|EXPn|text**

ON 在相应的等值线上放置标签，使用 Fortran 自由格式，用等值线值形成标签名

OFF 在相应的等值线上不放置标签名

INT 在相应的等值线上放置整数标签名

FLOATn 在相应的等值线上放置小数点后面 n 位的浮点数作为标签名。如果 n 被忽略则使用先前值

EXPn 在相应的等值线上放置小数点后面 n 位数的指数幂形式标签名，如果 n 忽略则使用先前值

text 使用文本标注相应的等值线

缺省值

```
zlabels off spacing 0.1 0.2 0.3 size 0.0075 angle 45.0 list on
```

示例

参考[等值线图](#) 中的相关示例。

12.198 zlevels

概要

控制后续等值线图上的等值线间隔

语法

```
ZLEVELS [SCALE] [RANGE v1 v2] [INCREMENT v] [NUMBER n] [LIST v1 v2 ... vn]
```

输入

SCALE 根据数据自动确定等值线的标尺范围

RANGE v1 v2 用户设置等值线的范围为 v1 到 2。可以使用 **SCALE** 选项，也可以使用 **RANGE** 选项，但不可同时使用二者

INCREMENT v 设置等值线之间的增量为 v

NUMBER n 设置等值线的条数为 n，**INCREMENT** 和 **NUMBER** 选项只能二选一

LIST v1 v2 .. vn 设置一系列等值线上的值为 v1、v2 等等，如果使用这个选项，则其他选项均被忽略

缺省值

```
zlevels scale number 20
```

示例

参考[等值线图](#) 中的相关示例。

限制

等值线的最多数目为 40

12.199 zlines

概要

控制后续等值线绘图上的等值线线型

语法

```
ZLINES [ON|OFF] [LIST n1 n2 ... nn] [REGIONS v1 v2 ... vn]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭等值线显示选项

LIST n1 n2 .. nn 设置要使用的线型表，这个表上的每个输入用于相应的等值线。

如果等值线的数目大于这个表中给出的线型的数目，则使用整个线型表

REGIONS v1 v2 .. vn 设置等值线范围表。这个表的长度应小于线型表的长度，小于范围值的等值线使用线型表中相应的线型。超过最后一个范围值的等值线采用线型表中最后一个线型的值

缺省值

```
zlines on list 1
```

示例

循环四种不同线型，建立等值线：

```
SAC> zlines list 1 2 3 4
```

设置虚线表示低于 0.0 等值线，实线表示高于 0.0 的等值线：

```
SAC> zlines list 2 1 regions 0.0
```

12.200 zticks

概要

用方向标记标识等值线

语法

```
ZTICKS [ON|OFF] [Spacing v] [Length v] [Direction DOWN|UP] [List c1 c2 ... cn]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭等值线方向标记

SPACING v 在每条线段上设置项链标识之间的间隔为 v（视口坐标系）

LENGTH v 设置每个标识的长度为 v（视口坐标系）

DIRECTION DOWN|UP 标识在 z 值减小/增加的方向上

LIST c1 c2 . cn 设置要使用的等值线标识表。在这个表上的每个输入都用于相应的等值线。如果等值线数多于这个列表的长度，则重复使用整个标识表。**ON** 意味着标识画在等值线上，**OFF** 意味着标识不画在等值线上

缺省值

```
zticks off spacing 0.1 length 0.005 direction down list on
```

示例

参考[等值线图](#)中的相关示例。

保护环境，从阅读电子文档开始！

第 13 章 SSS 信号叠加子程序

13.1 信号叠加子程序

Signal Stack Subprocess, 是 SAC 提供的一个用于信号叠加的子程序。

在 SAC 中键入 `sss` 即可进入该子程序；在子程序中键入`quitsub` 即可退出子程序并回到主程序；也可键入`quit` 直接从子程序中退出 SAC。

在对多个信号进行叠加时，每个信号都有各自的属性，比如静延迟、震中距、权重因子、数据极性，也可以根据 `normal moveout` 或折射波速度模型计算动延迟。

该子程序具有如下特点：

- 延迟属性可以在叠加过程中自动递增；
- 文件可以很容易地从叠加文件列表中增添；
- 叠加时间窗也可以很容易调整；
- 若文件在叠加时间窗内不含数据，则将其置零值；
- 叠加文件列表可以单独绘制，也可以绘制叠加后的结果；
- 每次叠加结果都可以保存到磁盘上；
- 支持绘制记录剖面图；

在 SSS 子程序中，你可以执行一系列 SSS 专属的命令，以及部分 SAC 主程序中的命令。下面仅列出 SSS 专属的命令：

- `addstack` 向叠加文件列表中加入新文件
- `changestack` 修改当前叠加文件列表中的文件属性
- `deletestack` 从叠加文件列表中删除一个或多个文件
- `deltacheck` 修改采样率检测选项
- `distanceaxis` 定义剖面图中距离轴的参数
- `distancewindow` 控制接下来的剖面图的距离窗属性
- `globalstack` 设置全局叠加属性
- `incrementstack` 叠加文件列表中文件的增量属性
- `liststack` 列出当前叠加文件列表中文件的属性
- `plotrecordsection` 用叠加文件列表中的文件绘制剖面图
- `plotstack` 绘制叠加文件列表中的文件
- `sumstack` 对叠加文件列表中的文件进行叠加
- `timeaxis` 控制接下来剖面图的时间轴属性
- `timewindow` 设置叠加的时间窗
- `traveltime` 根据预定义的模型计算走时
- `velocitymodel` 用于计算动延迟的叠加速度模型参数

- [velocityroset](#) 控制剖面图中速度 roset 的放置
- [writestack](#) 将叠加结果写入磁盘
- [zerostack](#) 重新初始化信号叠加

13.2 addstack

概要

向叠加文件列表中加入新文件

语法

```
AddStack filename [Weight v] [Distance v] [BEgintime v] [ENDtime v]
    [DElay v [Seconds|Points]] [Increment v [Seconds|Points]]
    [Normal|Reverse]
```

输入

filename 要加入叠加文件列表中的文件

WEIGHT v 当前文件的权重因子。v 的取值范围为 0 到 1，在叠加之前会首先对文件的每个值乘以该权重因子再做叠加。

DISTANCE v 该文件所对应的震中距，单位为 km。用于计算动态时间延迟

BEGINTIME v 事件开始的时间

ENDTIME 事件结束时间

DELAY v SECONDS|POINTS 该文件的静态时间延迟，单位为秒或数据点数

INCREMENT v SECONDS|POINTS 该文件的静态时间延迟增量，单位为秒或数据点数。在每次执行 `incrementstack` 命令时，静态时间延迟会增加一个常数。

NORMAL|REVERSED 文件拥有正/负极性

缺省值

DELAY 和 INCREMENT 选型的缺省单位为 SECONDS

说明

每个叠加列表中的文件，都有 7 个属性，分别为：

1. 权重因子；
2. 台站到震中的距离；
3. 事件开始时间；
4. 事件结束时间；
5. 静态时间延迟；
6. 静态时间延迟增量；
7. 数据极性；

可以用 [globalstack](#) 命令为这些叠加属性设置全局值。当一个文件通过 [addstack](#) 命令加入

到叠加文件列表中时，若未指定属性值则使用全局属性值。`changestack` 可以用于在文件已经加入叠加文件列表后修改叠加属性值。

示例

```
SAC/SSS> gs delay 1.0 inc 0.03
SAC/SSS> as filea delay 2.0
SAC/SSS> as fileb delay 3.0 inc 0.01 rev
SAC/SSS> as filec
SAC/SSS> as filed w 0.5
```

第一个命令修改了时间延迟和时间延迟增量的全局属性值，其他全局属性则使用缺省值。

- filea：除时间延迟外其他属性均与全局属性相同；
- fileb：除时间延迟、时间延迟增量、信号极性外，其余属性均与全局属性相同；
- filec：所有属性与全局熟悉相同；
- filed：除权重因子外，其他所有属性与全局属性相同；

接下来对信号进行叠加：

```
SAC/SSS> sumstack
```

该命令会将叠加文件列表中的四个文件 filea、fileb、filec 和 filed 进行叠加，时间延迟分别为 2.0、3.0、1.0 和 1.0。文件 filec 的极性反转。文件 filed 在叠加时的权重是其他文件权重的一半。

```
SAC/SSS> incrementstack
SAC/SSS> changestack filec normal
SAC/SSS> sumstack
```

此次叠加，各个文件使用 2.03、3.01、1.03 和 1.03 的延迟。文件 filec 现在为正极性。

```
SAC/SSS> deletestack filed
SAC/SSS> incrementstack
SAC/SSS> sumstack
```

第三次叠加讲只对文件 filea、fileb、filec 进行，时间延迟分别为 2.06、3.02、1.06。

限制

叠加文件列表中文件数目的最大限制与 SAC 所能读取的文件数目一致，即最多 1000 个。

13.3 changestack

概要

修改当前叠加文件列表中的文件属性

语法

```
ChangeStack filename|filename [Weight v] [Distance v] [BEgintime v]
[ENDtime v] [DElay v Seconds|Points] [Increment v Seconds|Points]
[Normal|Reversed]
```

输入

filename 叠加文件列表中的文件名

filename 叠加文件列表中的文件号

WEIGHT v 当前文件的权重因子。v 的取值范围为 0 到 1，在叠加之前会首先对文件的每个值乘以该权重因子再做叠加。

DISTANCE v 该文件所对应的震中距，单位为 km。用于计算动态时间延迟

BEGINTIME v 事件开始的时间

ENDTIME 事件结束时间

DELAY v SECONDS|POINTS 该文件的静态时间延迟，单位为秒或数据点数

INCREMENT v SECONDS|POINTS 该文件的静态时间延迟增量，单位为秒或数据点数。在每次执行 `incrementstack` 命令时，静态时间延迟会增加一个常数。

NORMAL|REVERSED 文件拥有正/负极性

说明

该命令允许你修改修改叠加文件列表中任意文件的任意属性。详情参考[addstack](#) 命令。

13.4 deletestack

概要

从叠加文件列表中删除一个或多个文件

语法

```
DeleteStack filename|filename
```

输入

filename 叠加文件列表中的文件名

filename 叠加文件列表中的文件号

13.5 deltacheck

概要

修改采样率检测选项

语法

```
DELTACHECK ON|OFF|Roundoff|v
```

输入

ON 打开采样率检测选项

OFF 关闭采样率检测选项

ROUNDOFF 打开采样率检测选项，并强制采样率符合当前机器的 roundoff 因子

v 打开采样率检测选项，并强制采样率允许存在 v 的偏差

缺省值

```
deltacheck roundoff
```

说明

该命令用于修改采样率检测选项的行为。若该选项关闭，则不检测叠加文件列表中的文件是否具有相同的采样率。若该选项设置为开，则文件的采样率必须在一个能够容忍的范围之内，否则则会被报错。容错范围可以设置为 roundoff 因子或某个特定的值。

叠加文件列表中的所有文件的采样率之间的差值的绝对值不能超过容错范围。

13.6 distanceaxis

概要

定义剖面图的距离轴参数

语法

```
DistanceAxis Fixed v | Scaled v
```

输入

FIXED v 固定距离轴的长度为 v 厘米

SCALED v 设定距离轴的长度为总距离范围除以 v，v 的单位为 cm/km。

缺省值

```
distanceaxis fixed 35
```

示例

若剖面图的距离范围为 150 km 到 300 km，则如下命令设置距离轴长度为 75 cm：

```
SAC> distanceaxis scaled 2.0
```

13.7 distancewindow

概要

控制接下来的剖面图的距离窗属性

语法

```
DistanceWindow [Usedate|Width v|Fixed v1 v2] [UNits Kilometers|Degrees]
```

输入

USEDATA 使用叠加文件列表中文件的距离属性的最大最小值

WIDTH v 使用叠加文件列表中文件的距离属性的最小值，但强制其宽度为 v，即最大值为最小值加上 v

FIXED v1 v2 固定距离的最小、最大值分别为 v1 和 v2

UNITS KILOMETERS 设置距离窗的单位为 km¹

UNITS DEGREES 设置距离窗的单位为度

缺省值

```
distancewindow usedata units kilometers
```

13.8 globalstack

概要

设置全局叠加属性

语法

```
GlobalStack [Weight v] [Distance v] [DElay v [Seconds|Points]]  
[Increment v [Seconds|Points] [Normal|Reversed]
```

输入

WEIGHT v 全局权重因子，取值为 0 至 1；

DISTANCE v 全局震中距，单位为 km；

DELAY v SECONDS|POINTS 全局静时间延迟，单位为 s 或数据点数；

INCREMENT v SECONDS|POINTS 全局静时间延迟的增量，单位为 s 或数据点数；

NORMAL|REVERSED 正/负极性；

¹ 该选项尚未实现

说明

该命令用于定义全局叠加属性，这些全局叠加属性用于叠加文件列表中的每个文件。可以使用 `addstack` 命令为某个文件单独设定叠加属性。

13.9 incrementstack

概要

叠加文件列表中的增量属性

语法

```
IncrementStack
```

缺省值

缺省值为 0

说明

可以设定增量的属性包括静态时间延迟、视速度和速度模型中的截距时间。若属性增量为 0.0，则属性值不改变。

可以为视速度或速度模型截距时间设置增量，其他属性值则自动计算以保持在特定点的零时间延迟。

示例

```
SAC/SSS> addstack filea
SAC/SSS> addstack fileb
SAC/SSS> addstack filec
SAC/SSS> addstack filed
SAC/SSS> velocitymodel 1 refr vapp 7.9 vappi 0.1 tovm calc dist 320. tvm 45.
SAC/SSS> sumstack
SAC/SSS> writestack stack1
SAC/SSS> incrementstack
SAC/SSS> sumstack
SAC/SSS> writestack stack2
SAC/SSS> incrementstack
SAC/SSS> sumstack
SAC/SSS> writestack stack3
```

上面的命令会产生三个叠加文件，即 `stack1`、`stack2`、`stack3`。叠加时使用折射波速度模型，视速度 `VAPP` 分别为 7.9、8.0、8.1。速度模型截距时间 `TOVM` 自动计算以保证在 320km、45s 处具有零时间延迟。

13.10 liststack

概要

列出叠加文件列表中的文件属性

语法

```
ListStack [Narrow | Wide]
```

输入

NARROW 使用“窄”报告格式。每个文件的信息输出为两行

WIDE 使用“宽”报告格式。每个文件的信息用 120 字符宽的一行表示

缺省值

缺省值是 NARROW

13.11 plotrecordsection

概要

用叠加文件列表中的文件绘制剖面图

语法

```
PlotRecordSection [Lables ON|OFF|headerfield] [Origin Default|Reversed]
  [Referenceline ON|OFF] [Size v] [Weight ON|OFF] [Polarity ON|OFF]
  [Cursor ON|OFF] [REDuced ON|OFF|Phase phasename|Velocity velocity]
  [Aspect ON|OFF] [ORIENT Portrait|Landscape] [Ttime ON|OFF|Default|TEXT]
  [Xlabel ON|OFF|Default|TEXT] [Ylabel ON|OFF|Default|TEXT]
```

输入

LABELS ON|OFF 打开/关闭标签选项。若打开，则每个文件都用头段变量进行标签

LABELS headerfield 打开标签选项，并设置头段变量名

ORIGIN DEFAULT|REVERSED 在 Portrait 模式中，距离沿着 Y 轴，默认情况下距离原点位于左上角。在 landscape 模式下，距离沿着 X 轴，默认情况下原点位于左下角。

REFERENCELINE ON|OFF 开启/关闭参考线选项。若打开，则每个文件在距离属性值对应的地方绘制一条垂直虚线

SIZE v ?

WEIGHT ON|OFF 打开/关闭权重选项

POLARITY ON|OFF 打开/关闭极性选项

CURSOR ON|OFF 打开/关闭光标显示选项

REDUCED ON|OFF|VELOCITY vel|PHASE phase reduced 走时曲线。可以指定 reduce 速度或者一个参考震相

ORIENT PORTRAIT|LANDSCAPE portrait 模式中，水平轴为时间，纵轴为震中距；landscape 模式下，水平轴为震中距，垂直轴为时间

TTIME ON|OFF|DEFAULT|TEXT 绘制走时曲线。需要首先用 [traveltime](#) 命令计算走时曲线

XLABEL ON|OFF|DEFAULT|TEXT 打开/关闭/设置 X 轴标签

YLABEL ON|OFF|DEFAULT|TEXT 打开/关闭/设置 Y 轴标签

缺省值

```
plotrecordsection labels filename origin default referenceline on size 0.1
weight on polarity on orient portrait reduced off cursor off ttime off
```

说明

该命令将利用叠加文件列表中绘制剖面图。在 portrait 模式下，X 轴为时间，Y 轴为震中距，在 landscape 模式下则交换 XY 轴。每个文件的零振幅将会画在距离轴上对应的震中距处。

为了能够正确绘图，叠加列表中的所有文件必须定义震中距属性，该属性可以来自于文件头段，也可以在 [globalstack](#)、[addstack](#)、[changestack](#) 等命令的 DISTANCE 选项中定义。

[distancewindow](#) 和 [timewindow](#) 命令可以控制要显示的数据窗。[distanceaxis](#) 和 [timeaxis](#) 命令控制横纵轴的尺寸。[velocitymodel](#) 定义了速度模型，用于计算动态延迟。[velocityroset](#) 命令用于控制速度 rosette 的显示效果。

光标模式

在光标模式下，有两个额外的功能：缩放和决定视速度。

缩放功能需要用户指定要显示的区域。用户首先将光标放在当前图形区域的一个角落，键入 **c1**，再将光标移动到对角的另一个角落，键入 **c2**。两次键入确定了唯一的矩形区域，也确定了要绘制的区域的时间范围和距离范围，此时，会自动重新绘制缩放后的剖面图，用户可以键入 **o** 命令重新绘制原始图形。缩放功能最多可以递归 5 次。

视速度确定功能需要用于移动光标，并分别键入 **v1** 和 **v2** 以标记点，SAC 会自动计算视速度，显示在输出设备上并保持到黑板变量 **vapp** 中。可以多次设置 **v2**，但只有最后一次的值会保存到黑板变量中。

除了 **c1**、**c2**、**v1**、**v2** 之外，光标模式下还有一个命令，即 **q**，用于退出光标模式。

13.12 plotstack

概要

绘制叠加文件列表中的文件

语法

```
PlotStack [Sum ON|OFF] [Perplot ON|OFF|n] [Weight ON|OFF] [Polarity ON|OFF]
```

输入

SUM ON|OFF 若打开该选项，则首先绘制叠加后的波形再绘制叠加文件列表中的文件；若关闭该选项，则只回执叠加文件列表中的文件

PERPLOT ON|OFF 若打开该选择，则每次只绘制固定数目的文件；若关闭该选项，则一次绘制叠加列表中的全部文件

PERPLOT n 打开 PERPLOT 选项，并设置每次绘制 n 个文件

WEIGHT ON|OFF 打开/关闭文件权重选项

POLARITY ON|OFF 打开/关闭文件极性选项

缺省值

```
plotstack sum on perplot off weight on polarity on
```

说明

该命令绘制叠加文件列表中的文件，所有的文件首先根据静/动延迟进行时移，该命令可以控制绘制文件时是否考虑权重因子和极性。

该命令的用法与[plot1](#)类似，在每个子图的左上角会显示文件名以及其他非默认的属性值。

13.13 sumstack

概要

对叠加文件列表中的文件进行叠加

语法

```
SumStack [Normalization ON|OFF]
```

输入

NORMALIZATION ON|OFF 打开/关闭归一化选项。若该选项打开，则对于叠加结果中的每个数据点除以所有文件的权重因子的和。

缺省值

该命令用于将叠加文件列表中的文件进行叠加。在该命令执行之前必须通过[timewindow](#) 命令设置叠加时间窗。每个数据会根据其静/动时间延迟做相应的时移。在叠加时间窗范围内文件不存在的数据直接按零值处理。每个文件可以给定权重以及极性。

在叠加之后，会自动生成叠加结果的绘图。叠加结果可以通过[writestack](#) 命令保存到磁盘中。

13.14 timeaxis

概要

控制剖面图的时间轴属性

语法

```
TimeAxis Fixed v | Scaled v
```

输入

FIXED v 固定时间轴的长度为 v cm

SCALED v 设定时间轴的长度为总时间窗长的 v 倍，v 的单位为 cm/s

缺省值

```
timeaxis fixed 23.0
```

示例

如果你在做多个不同时间窗长的剖面图，并希望剖面图中每秒对应 0.5 厘米长：

```
SAC> timeaxis scaled 0.5
```

13.15 timewindow

概要

设置叠加的时间窗范围

语法

```
TimeWindow v1 v2
```

输入

v1 v2 读入数据时所使用的的时间窗范围

缺省值

无缺省值，在叠加之前必须指定时间窗范围。

说明

该命令用于设置叠加时间窗，该设置会影响[sumstack](#)、[plotstack](#)、[plotrecordsection](#) 等命令的执行效果，叠加时间窗必须在使用这些命令之前定义。

如果某个文件在叠加时间窗的范围内无数据，则对相应部分补零值处理。

13.16 traveltime

概要


根据预定义的速度模型计算指定震相的走时，请参考[traveltime](#) 命令中的相关说明。

13.17 velocitymodel

概要

设置计算动延迟时所使用的叠加速度模型参数

语法

```
VelocityModel n [ON|OFF] [REFRACTEDWAVE|NORMALMOVEOUT] [FLIP] [VAPP ]
↪ v|CALCULATE]
    [TOVM v|CALCULATE] [DVM v1 [v2]] [TVM v1 [v2]] [VAPPI v] [TOVMI v]
```

输入

n 设置速度模型号，取值为 1 或 2

ON|OFF 打开/关闭速度模型选项。若打开则使用速度模型，否则忽略

REFRACTEDWAVE 打开速度模型选项，并修改为折射波模型

NORMALMOVEOUT 打开速度模型选项，并修改为 Normal moveout 模型

FLIP 交换两个速度模型的属性

VAPP v 设置视速度为 v

VAPP CALCULATE SAC 自动计算视速度

TOVM v 设置时间轴截距为 v

TOVM CALCULATE SAC 自动计算截距

DVM v1 v2 定义一/二个参考距离

TVM v1 v2 定义一/二个参考时间

VAPPI v 设置视速度增量为 v。每次[incrementstack](#) 命令执行时视速度增加 v

TOVMI v 设置时间轴截距的增量为 v。每次[incrementstack](#) 命令执行时视速度增加

v

缺省值

```
velocitymodel 1 off
velocitymodel 2 off
```

说明

第一个速度模型用于计算某个特定震相的动态台站延迟。在信号叠加 ([sumstack](#))、绘图叠加图 ([plotstack](#))、绘制剖面图 ([plotrecordsection](#)) 时会使用该模型。第二个速度模型用于在绘图剖面图时显示相对于第二震相的延迟。这两个模型的参数可以很容易的进行交换。

可以使用两种速度模型，即折射波速度模型：

$$T_{delay} = TVM(1) - \frac{TOVM + DIST}{VAPP}$$

normalmoveout

$$T_{delay} = TVM(1) - \sqrt{TOVM^2 + (\frac{DIST}{VAPP})^2}$$

这些速度模型延迟可以通过多种方式得到：

- 直接输入 VAPP、TOVM、TVM(1)
- 输入 DVM(1)、TVM(1) 以及 VAPP 或 TOVM，SAC 自动计算所需的变量以保证在距离 DVM(1) 处时间延迟为零
- 输入 DVM(1)、TVM(1)、DVM(2) 和 TVM(2)。SAC 将计算 VAPP 和 TOVM，以保证在距离 DVM(1) 处的时间延迟为零

示例

设置第一个叠加速度模型为折射波模型，视速度为 6.5 km/s，让 SAC 自动计算 TOVM 以使得 200 km 处的时间延迟为零：

```
velocitymodel 1 refractedwave vapp 6.5 tovm calculate dvm 200 tvn 35
```

13.18 velocityroset

概要

控制剖面图中速度 roset 的放置

语法

```
VelocityRoset [ON|OFF] [Location UL|UR|LL|LR]
```

输入

ON|OFF 打开/关闭速度 roset 绘制选项

LOCATION UL|UR|LL|LR 修改速度 roset 的放置位置。分别对应左上、右上、左下、右下角。

缺省值

```
velocityroset off location ll
```

13.19 writestack

概要

将叠加结果写入磁盘

语法

```
WriteStack [filename]
```

输入

filename 要写入的磁盘文件名

缺省值

```
writestack sum
```

13.20 zerostack

概要

初始化信号叠加子程序

语法

```
ZeroStack
```

说明

该命令会删除叠加文件列表中的全部项，并将全局叠加选项设置回默认值。

第 14 章 SPE 谱估计子程序

14.1 谱估计子程序

简介

SPE, 全称为 Spectrum Estimation Subprocess, 在 SAC 中键入 `spe` 命令即可进入谱估计子程序。该子程序主要用于处理稳态随机过程, 包含了如下三种谱估计方法:

- PDS: 能量密度谱
- MLM: 最大似然方法
- MEM: 最大熵方法

这三种方法都是间接法, 因为它们都用了采样相关函数而不是数据本身来估计谱内容。

SPE 命令

SPE 子程序中包含了一些专门的命令, 同时也可以使用 SAC 的部分命令。这里只列出 SPE 专属的命令。

- `cor` 计算互相关函数
- `mem` 用最大熵方法计算谱估计
- `mlm` 用最大似然法计算谱估计
- `pds` 用能量密度谱方法计算谱估计
- `plotcor` 绘制相关函数
- `plotpe` 绘制 RMS 预测误差函数
- `plotspe` 绘制谱估计
- `readcor` 读取相关函数
- `writcor` 将相关函数以 SAC 文件格式写入磁盘
- `writespe` 将谱估计以 SAC 文件格式写入磁盘

理论

SPE 主要用于分析稳态随机过程。它实现了三种不同的间接的谱估计方法。它们之所以称为是间接的是由于它们不直接从数据出发去做谱估计, 而是从由数据求出的样本相关函数出发去做频谱估计。选择间接方法完全是一种偏爱, 因为直接的频谱估计技术也是可以用的。相关函数本身也是一个有用的函数, 在进行频谱估计的过程中你会了解这一点。SPE 的谱估计类型为频率域中的功率密度谱, 其频谱被定义在一定的频率范围内, 于是在一些频带中随机过程的功率即为这个频带的功率谱密度的积分。

用户控制

SPE 可以使用户控制频谱估计过程中的一些细节。对那些有频谱估计的经验的人来说，这是很理想的。对那些不想过细地研究有关理论的用户也提供了便于使用的缺省值。在测定相关函数时用户可以对数据窗口的类型、尺寸和使用的窗口数进行选择。一般地讲，这些参数控制了谱分析的分辨率，以及最后的谱估计中的方差。另外，数据的预白化可以指定为测定相关函数的过程的一部分，预白化对减缓严重的窗口“混淆”现象是很有用的，“窗口混淆”有可能发生在具有大动态范围的谱估计过程中。发生在预白化时的频谱失真在最后的結果中进行补偿。在这个过程中，数据的预白化使用了低阶的预测误差滤波器。

算法

用户可以有三种谱估计算法的选择：功率密度谱、最大似然法和最大熵法。

PDS 法相当简单，样本相关函数乘以相关窗，然后对结果进行 FFT 以获得频谱估计结果。用户还可以对窗的类型和尺寸进行选择。

MLM 法生成一个频谱，这种频谱是一个经过平滑处理的功率密度谱的参量估计。用户可以选择参量的个数。

MEM 估计是另一个参量方法，它使用一个预测误差滤波器对数据进行预白化。这个谱估计的结果反比于滤波器的功率频率响应。用户可以选择预测误差滤波器的阶数。

诊断

除了频谱之外，一些诊断函数也可以计算并标绘出来。预测误差可以被标绘为阶的函数。这个图可用来为应用于 MEM 方法的预测误差滤波器选择一个较好的尺寸。由于进行 PDS 估计的算法已经众所周知，所以在 SPE 中给出了关于这种方法的更多的诊断信息。90% 置信区间以及估计的频率分辨率可以通过理论进行估算。这些值都可以在 PDS 的频谱上显示出来。

同主程序的区别

在 SPE 和 SAC 主程序之间有两个主要的区别。SPE 一次只能处理一个数据文件，这是因为 SPE 在运行期间生成并保存了大量的辅助函数（例如：相关函数、预测误差函数以及谱估计函数自身）。这种对单个数据文件的限制将在未来的版本中去掉。第二个不同点是，与 SAC 不同，SPE 中具有自己特有的执行不同指令的次序。

初始化

执行 SPE 命令时即调用了 SPE 软件包。调用的同时也定义了各种 SPE 参数的缺省值。数据文件在进入 SPE 之前或进入 SPE 的任何时间均可以使用 READ 命令读入，一旦读入新的文件，系统中将为前面所述的辅助函数生成一个空间。

相关

可以使用 `cor` 命令计算相关函数，用 `writecor` 命令可以激昂相关函数作为 SAC 的数据文件保存起来，还可以用 `readcor` 命令再将它们读回 SPE 中去，这比每次都重复计算相关函数要更为简单。在数据文件很长的时候尤为如此。此时用户也可以使用 `plotcor` 命令来看一下相关函数。如果用户准备使用 MEM 方法的话，还可以使用 `plotpe` 命令来看一下预测误差函数。

估计

用户可以使用 `pds`、`mlm`、`mem` 命令来选择三种频谱估计中的任何一种。每一种方法都有自己的选项，你可以使用 `plotspe` 命令来检验谱分析结果。有几种确定比例的选项可以使用。同样的你也可以使用 `writespe` 命令将谱估计的结果作为 SAC 的数据文件保存起来。

终止

可以使用 `quitsub` 命令终止谱估计子程序，或使用 `quit` 命令终止整个 SAC 程序的运行。

14.2 cor

概要

计算相关函数

语法

```
COR [Number n|ON|OFF] [Length v] [Prewhiten ON|OFF|n] [Stochastic|TRAnsient]
    [Type HAMming|HANning|Cosine|Rectangle|Triangle]
```

输入

NUMBER n 设定窗口数为 n

NUMBER ON 设定窗口数为先前值

NUMBER OFF 根据数据长度和窗长计算窗口数。使用该选项时没有数据重叠

LENGTH v 设置窗长为 v 秒

TYPE type 设置窗类型

PREWHITEN ON|OFF 打开/关闭预白化选项

PREWHITEN n 打开预白化选项，并设置系数的个数为 n

STOCHASTIC 设置相关定标，假定数据是随机的

TRANSIENT 设置相关定标，假定数据是瞬态信号

缺省值

```
cor number off type hamming prewhiten off
```

说明

这个命令假定数据是稳态的。基于这一假定，数据被分段成许多窗口，并且对每一个窗口计算一个相关函数。求这些函数的平均值即生成基于随机过程的相关函数的更加稳定的估计。窗口数和窗口长度以及窗口类型都由用户控制。如果窗口长度诚意窗口数目超过了数据总长度则窗口会发生重叠，重叠的部分不在用户的控制之下。

很明显，对于一个固定的数据长度，在窗口数和窗口尺寸之间存在一个折衷。这种折衷最终决定了使用相关函数做出的谱估计的混淆和方差之间的折衷。一个频谱估计算法的频率域分辨率依赖于可以使用的相关的长度，因而也就间接地依赖于数据窗口的大小。相关窗口越大，由频率平滑产生的频谱估计的混淆就越小。然而随着数据窗口尺寸加大，在平均计算只能怪可以使用的窗口的数量会减少，其结果是，相关函数估计的方差会增加，从而频谱估计的方差也会随之增加。

适当地选择窗口类型可以用来协调混淆和方差之间的折衷。较平滑的窗口使窗口边缘附近的数据平滑地过渡到零，从而实际上相当于减少了窗口的长度。于是窗口可以更多的重叠，也就是说可以有更多的窗口，折衷选择是在以增加混淆的代价减小方差。

在频谱的动态范围相当大的时候混淆还有另外一个来源，即窗口泄漏效应。在使用 PDS 估计的时候这一点尤为明显。经由相关窗口的 FFT 的旁瓣功率给求出的频谱带来了一个台阶。在典型的地震数据中，这种台阶是规则的，而且出现在高频段上，在这个频段上的频谱通常较小。相关函数估计有一个可选的预白化功能，它可以减缓旁瓣泄露问题。一个低阶的预测误差滤波器可以用来在计算相关函数之前平滑数据的频谱，滤波器的效果将在频谱的计算过程中得到补偿。

数据进行预白化改变了原始信号，如果用户使用了预白化，退出子程序并且想要在别的操作中再次使用原始的信号，则必须重新读入原始信号到 SAC。

这种相关函数用于频谱的计算，`cor` 必须在执行 `pds`、`mlm`、`mem` 之前执行，用户可以执行 `plotcor` 命令绘制相关函数并且可以使用 `writcor` 命令将其作为 SAC 文件进行保存。

头段变量改变

`depmin`、`depmax`、`depmin`

14.3 mem

概要

利用最大熵方法计算谱估计

语法

```
MEM [Order n] [Number n]
```

输入

ORDER n 设置预测误差滤波器的时滞阶数为 n

NUMBER n 设置用于谱估计的点数

缺省值

```
mem order 25
```

说明

该命令实现了最大熵谱估计法，该方法使用一个预测误差滤波器对数据进行白化处理，得到的谱估计正比于滤波器的能量频率响应的倒数。用户可以自由选择预测误差滤波器的阶数，详情参考 [plotpe](#) 命令。

该方法的主要优点是用相对少量的数据即可获得相当高的分辨率，它的缺点是跟传统方法相比没什么理论好说。

14.4 mlm

概要

利用最大似然方法计算谱估计

语法

```
MLM [Order n] [Number n]
```

输入

ORDER n 设置预测误差滤波器的时滞阶数为 n

NUMBER n 设置用于谱估计的点数

缺省值

```
mlm order 25
```

说明

该命令实现了能量密度谱的最大似然法。该方法生成的谱估计能够代表一个窄带通滤波器的能量输出，最终得到一个平滑的、参数化的能量密度谱，这些参数是有限脉冲响应窄带滤波器的系数。用户可以指定这些参数。

该方法的特点在于其一般比传统方法有更高的分辨率。算法的阶数限制在 100，因为它需要一个维度与阶数相同的矩阵的逆。对于这个求逆运算，存在更快的方法，但对于大阶数估计可能存在数值噪声。

14.5 pds

概要

用能量密度谱方法计算谱估计

语法

```
PDS [Seconds v|Lags n] [Number n]
    [Type HAMming|HANning|Cosine|Rectangle|Triangle]
```

输入

SECONDS v 设置窗长为 v 秒
LAGS n 设置窗长为 n?
NUMBER n 设置谱估计使用的数据点数
TYPE type 设置要使用的窗类型

缺省值

```
pds type hamming
```

说明

该命令实现了传统的谱估计方法。样本相关函数首先进行相关窗截窗，生成的函数再使用 FFT 获得谱估计。正如在 [cor](#) 命令文档中提到的，在估计偏差（即丧失分辨率）与估计方差之间存在 tradeoff。随着窗长增加，频率域分辨率增加，进而偏差减少；然而，样本相关函数在大延迟时值较大，谱估计的方差也会增加，这是由于在大延迟时用于估计的数据点数变少了。

相关窗类型的选取与 [cor](#) 文档中描述的数据窗有不同的效果。这是两种不同类型的偏差之间的选择。

该谱估计方法用相关窗的 Fourier 变换来逼近真实谱的卷积。窗变换由两个特性控制，一个是控制分辨率的中心瓣，一个是控制带外能量泄露的旁瓣。通常来说，用户想要尽可能窄的主瓣以及尽可能小的旁瓣。

大的旁瓣会在谱估计上产生一个虚假的低值，可能会掩盖高动态范围的频谱衰减。窗类型的选取在主瓣分辨率与旁瓣能量泄露之间存在 tradeoff。

矩形窗有最窄的主瓣，因此也具有最好的分辨率，同时有最大的旁瓣。余弦窗稍微减小了旁瓣，但基本不太影响主瓣宽度。这两种窗主要用于估计瞬变信号的谱，以获取尽可能小的时间域失真。Hamming 和 Hanning 窗则具有很小的旁瓣和较宽的主瓣，当用户有大量数据的时候比较有用，可以通过增加窗的尺寸来控制分辨率。Hamming 和 Hanning 窗都是余弦窗的衍生，但 Hamming 窗经过优化以尽可能地减少最大旁瓣的尺寸，因而该命令默认使用 Hamming 窗。三角窗也有很好的旁瓣结构，但是它有特别好的性质，即保证了

谱估计总是非负值。

通常情况下，当用户需要处理大量数据时，PDS 方法要优于另外两种参数化方法。因为在这种情况下，分辨率不受限制，并且对这种算法的了解要比对其他方法更多一些。例如，理论上可以给出该方法的置信度和分辨率。这些指标包括在 SPE 中。参量方法通常显示出比 PDS 更好的分辨率（尤其是在估计线性谱的时候），并且在数据量有限时更加有用。

14.6 plotcor

概要

绘制相关函数

语法

```
PlotCOR [Xlim v|ON|OFF]
```

输入

XLIM v 打开 X 轴范围选项，并设置上限为 v 秒，下限一直为 0

XLIM ON 打开 X 轴范围选项，并使用原先设置的上限

XLIM OFF 关闭 X 轴范围选项，即绘制全部相关函数

缺省值

```
plotcor xlim off
```

14.7 plotpe

概要

绘制 RMS 预测误差函数

语法

```
PlotPE
```

说明

该命令生成一个诊断绘图，用来选择 MEM 谱估计的阶数。该绘图是归一化的预测误差函数，表示成算法的阶的函数。一般说来，预测误差对于低阶数来说是很大的。随着阶数的增加误差会迅速下降。预测误差是预测滤波器对数据滤波之后的残余功率。理论表明，这个数量很小时，频谱中的主要部分都被滤波器的功率响应所捕获。残余数据为白噪声，结果是用户可以检测预测误差函数以寻找曲线中的“膝部”。在该位置处，函数会急剧下跌到某些值，在这些点上即使进一步增加阶数，函数也不会随之进一步下降。在“膝部”的预测算法的阶数经常被用来作为 MEM 频谱估计的阶数。

14.8 plotspe

概要

绘制谱估计

语法

```
PlotSPE [Power|Log|Amplitude] [Confidence [ON|OFF]]
```

输入

POWER 用线性插值绘制功率响应

LOG 用对数内插法绘制功率响应

AMPLITUDE 绘制振幅响应

CONFIDENCE ON 在绘图上包含置信区间

CONFIDENCE OFF 在绘图上不包含置信区间

缺省值

```
plotspe power confidence off
```

说明

这个绘图中还包括用于计算相关函数和频谱估计的参数的描述。

14.9 readcor

概要

读取 SAC 文件到内存中

语法

```
READCOR file
```

输入

file 合法的文件名

说明

该命令与 SAC 主程序中的 [read](#) 命令相同，存在如下两个例外。

首先，在 SPE 中只能读取一个文件；其次，执行该命令会删除内存中已经计算的任何相关函数或谱估计。当该命令执行时，SPE 中的参数，如预白化系数的数目或窗类型及长度，不会被改变。

为了重新初始化所有 SPE 参数，你需要使用 `quitsub` 命令终止 SPE 子程序，再重新启动。

14.10 writecor

概要

写一个包含相关函数的 SAC 文件

语法

```
WriteCOR [file]
```

输入

file 要写入的 SAC 文件名

缺省值

```
writecor cor
```

说明

由此命令写出的相关函数的结构取决于用来计算它的算法。由于数据被分配到几个窗口中，并且样本相关函数是从每一个窗口算出的然后再去平均，则相关函数的长度由数据窗口的尺寸决定，它实际上容纳的样本数则为数据窗内数据的二倍减一。然而，由于计算样本相关函数时使用了 FFT 算法，文件中的样本数是 2 的乘方。也就是说实际上是数据窗口尺寸的 2 倍。附加的样本都是零。相关函数也是在文件内循环回转的。这是由于使用 FFT 算法计算相关函数的特殊性。这意味着零滞后样本是文件在中的第一个样本，负滞后的样本紧随着正滞后的样本。

14.11 writespe

概要

写一个包含谱估计的 SAC 文件

语法

```
WriteSPE [file]
```

输入

file 要写入的 SAC 文件名

缺省值

```
writespe spe
```

说明

频谱估计文件包含从 0 到截止频率的频谱。频谱估计由 FFT 算法计算得出，文件中的采样点数是 FFT 使用的长度的一半再加上 1，选择这种格式以使由 SPE 计算出的多个频谱能通过 [plot2](#) 绘制函数来进行比较而无需事先为绘图而剪裁文件。

第三部分

附录

附录 A 错误与警告

0131 sac/datagen data directory not found

`datagen` 在生成波形数据时需要从 `${SACAUX}/datagen` 目录下读取 SAC 文件，出现该错误的原因是该目录不存在。

1028 External command does not exist

执行 `load` 命令时找不到外部命令。产生该错误的原因很多，可能是环境变量 `LD_LIBRARY_PATH` 不包含要载入的共享库的所在目录，或 `$SACSOLIST` 中不包含要载入的共享库的名字。

1103 No help package is available

没有可用的帮助文档包，可能原因是没找到 `${SACAUX}/help` 目录。

1106 Not a valid SAC command.

对于每一行命令，SAC 首先会检查是否是 SAC 内部的命令，如果不是，则检查是否是系统自带的命令，比如 `ls`、`cp` 等。

一个例外是系统命令 `rm`。在 SAC 中直接执行 `rm` 命令会出现如上所示的错误。出现该错误的原因是 SAC 禁用了系统命令 `rm`，主要目的是为了防止将 `r *.SAC` 误敲成 `rm *.SAC` 而导致数据的误删除。可以使用 `systemcommand` 命令显式调用系统命令，如下：

```
SAC> rm BAD*.SAC
ERROR 1106: Not a valid SAC command.
SAC> sc rm BAD*.SAC
```

1301 No data files read in

内存中未读入数据。可能是未指定要读取的文件列表，或列表中的文件不可读。

1303 Overwrite flag is not on for file

该错误主要出现在写 SAC 文件时，出现该错误的原因是 SAC 文件的头段变量 `lovrok` 的值为 `FALSE`，即磁盘中的数据不允许被覆盖。解决该问题的方法有两种：

- 以其他文件名写入磁盘，不覆盖磁盘文件；

- 修改 `lovrok` 的值为 `TRUE`;

1304 Illegal operation on data file

对数据文件的非法操作。

1305 Illegal operation on time series file

某些命令无法对时间序列数据进行操作。

1306 Illegal operation on unevenly spaced file

某些命令无法对不等间隔数据进行操作。

1307 Illegal operation on spectral file

命令不能对内存中的谱文件进行操作。

1311 No list of filenames to write

没有要写入的文件列表。

1312 Bad number of files in write file list

通常在使用 `write` 命令时会出现该问题。出现该错误的原因是内存中的波形文件的数目与 `write` 命令给出的文件名的数目不想匹配。在该错误信息的后面，紧接着会给出 `write` 命令中给出的文件数目以及内存中的波形数目。

1317 The following file is not a SAC data file

试图读入非 SAC 格式的文件所产生的错误。

1320 Available memory too small to read file

系统内存不足。

1322 Undefined starting cut for file

`cut` 命令中时间窗的起始参考头段未定义。默认情况下，会使用磁盘文件的起始时间代替，也可以使用 `cuterr` 命令控制该错误的处理方式。

1323 Undefined stop cut for file

`cut` 命令中时间窗的结束参考头段未定义。默认情况下，会使用磁盘文件的结束时间代替，也可以使用 `cuterr` 命令控制该错误的处理方式。

1324 Start cut less than file begin for file

`cut` 命令中时间窗的开始时间早于磁盘文件的开始时间。默认情况下，会使用磁盘文件的开始时间代替，也可以使用`cuterr` 命令控制该错误的处理方式。

1325 Stop cut greater than file end for file

`cut` 命令中时间窗的结束时间晚于磁盘文件的结束时间。默认情况下，会使用磁盘文件的结束时间代替，也可以使用`cuterr` 命令控制该错误的处理方式。

1326 Start cut greater than file end for file

`cut` 命令中时间窗的开始时间晚于文件结束时间。

1340 data points outside allowed range contained in file

文件中数据点的值超过了所允许的范围。比如`log` 中要求数据为正。

1379 No SORT parameters given

使用了`sort` 命令，但未指定按照哪个参数排序。

1380 Too many SORT parameters

`sort` 命令中用于排序的参数太多。

1381 Not a valid SORT parameter

无效的`sort` 参数。

1383 SORT failed

排序失败。

1606 Maximum allowable DFT is 16777216

SAC 中与 FFT 相关的命令所能允许的最大数据点数是 $2^{24} = 16777216$ 。

1611 Corner frequency greater than Nyquist for file

对数据进行滤波时，拐角频率超过了文件的 Nyquist 采样率。

1613 Minimum size of data file for Hilbert transform is 201

在做 Hilbert 变换时，要求数据的最小长度是 201 个数据点。

1701 Can' t divide by zero

除零的非法操作。

1702 Non-positive values found in file

数据文件中存在非正值。

1801 Header field mismatch

该错误出现在`addf`、`subf`、`divf`、`mulf` 以及`merge` 和`beam` 中。

出现该错误的原因是多个数据文件中的头段变量不匹配。该命令会明确给出不匹配的头段变量名，以及出现不匹配的数据文件，以供用户查错。会出现不匹配的头段变量包括 `npts`、`delta`、`kstnm`、`knetwk`、`kcmpnm`。

1802 Time overlap

要进行操作的两个数据的时间段不完全重合。

1803 No binary data files read in.

`addf`、`subf`、`merge` 等命令需要先读入二进制数据，再对数据做操作。

1805 Time gap

使用`merge` 命令时，两段数据间存在时间间断。

2001 Command requires an even number of data files

使用`rotate` 命令进行数据对的旋转时，需要内存中有成对的数据文件（即偶数个），若内存中数目不为偶数个，则报错。注意检查是否有数据漏读。

2002 Following files are not an orthogonal pair

出现该错误的原因是使用`rotate` 旋转的两个分量不完全正交，此时应注意检查两个分量的头段变量 `cmpinc` 和 `cmpaz`。若两个头段变量未定义，则需要根据仪器的其他信息确定两个头段变量的值；若两个头段变量有定义，但的确不正交，则无法进行分量旋转。

2003 Following files are not both horizontals

`rotate` 命令的 `T0` 选项只能用于将两个水平的分量旋转到某个角度，出现该错误时应注意检查两个分量的头段变量 `cmpinc` 是否等于 90° 。

2004 Insufficient header information for rotation

`rotate` 命令的 `T0 GCP` 选项要求头段变量中 `stla`、`stlo`、`evla` 和 `evlo` 必须定义。该选项会读取一对分量中的第一个文件中的头段变量，并计算反方位角，而不是直接使用头段变量中已有的反方位角值。

2008 Requested begin time is less than files begin time. Output truncated.

`interpolate` 命令中指定的开始时间小于文件起始时间，此时输出会被截断。

2111 Taper frequency limits are invalid. No taper applied.

该警告出现在 `transfer` 命令中，出现该错误的原因是 `freqlimits` 选项的参数设置有误。四个频率应满足 $f1 < f2 < f3 < f4$ 。

出现该警告时，`transfer` 会忽略 `freqlimits` 选项，即在去仪器响应时不使用 `taper` 函数，进而可能导致去仪器响应后的波形出现问题。

2405 Cannot PRINT: no SGF files produced

无法打印，原因是未生成 SGF 文件。

5003 No correlation function calculated

未计算相关函数。

5004 No spectral estimate calculated

未计算谱估计。

9005 Amplitude mismatch

要合并的两段数据之间存在时间重叠，且在重叠的时间段内振幅不匹配。出现这样的错误可能是数据的绝对时间有问题。

Environmental variable SACAUX not defined.

出现该错误的原因是环境变量 `$SACAUX` 未定义，参考[Linux 下安装 SAC](#)。

Environment variable SACAUX too long: max: 128 SACAUX: xxx

环境变量 `$SACAUX` 超过 128 字符。

保护环境，从阅读电子文档开始！

附录 B 仪器响应

B.1 仪器响应简介

地震仪观测到的地面运动记录可以表示为

$$u(t) = s(t) * g(t) * i(t)$$

其中 $s(t)$ 代表震源项， $g(t)$ 代表路径效应， $i(t)$ 代表仪器响应，星号代表卷积。翻译成中文就是“地面运动记录是震源项、路径项以及仪器响应三者的卷积”。

四个量中：

- $u(t)$ 是地震仪的数字记录，已知；
- $i(t)$ 在仪器设计的时候会给出各种参数，已知；
- $s(t)$ 为震源项，包括震源机制、震源时间函数等，未知；
- $g(t)$ 为路径项，即地球内部结构，未知。

其中的两个未知项，是地震学研究的两个主要内容：震源和结构。因而理解仪器响应 $i(t)$ 的基本原理并准确地去除仪器响应是研究的关键一步。

真实世界里，有很多因素会引起地面的运动，比如地震波、长周期潮汐波以及人类活动等等，因而真实的地面运动是极其复杂的。图 2.1 给出了 COLA 台站记录到的持续时间为 22000 s 左右的地面运动情况，即 $s(t) * g(t)$ 所对应的波形：

从图 2.1 可以看到，整个地面运动中最明显的地方是弯弯曲曲类似正弦的波形，其周期大概在 6000 s，也就是两个小时，这很可能是潮汐波引起的长周期地面运动。波形的最大振幅大概是 2×10^7 。在 1000 s 左右有一个明显的振动信号，这是一个震级为 Mw 8.3 级的大地震的信号，其振幅大概在 2×10^6 的量级，比长周期波小了一个量级。

这就是真实的地面运动。即便是如此大的地震，其引起的地面运动相对来说也是很小的。这样的记录因为有太多其它类型的地面运动的干扰，因而对于地震学来说是没有太大用处的，所以需要设计合适的仪器尽量去除其它类型地面运动的干扰，也就是地震仪。

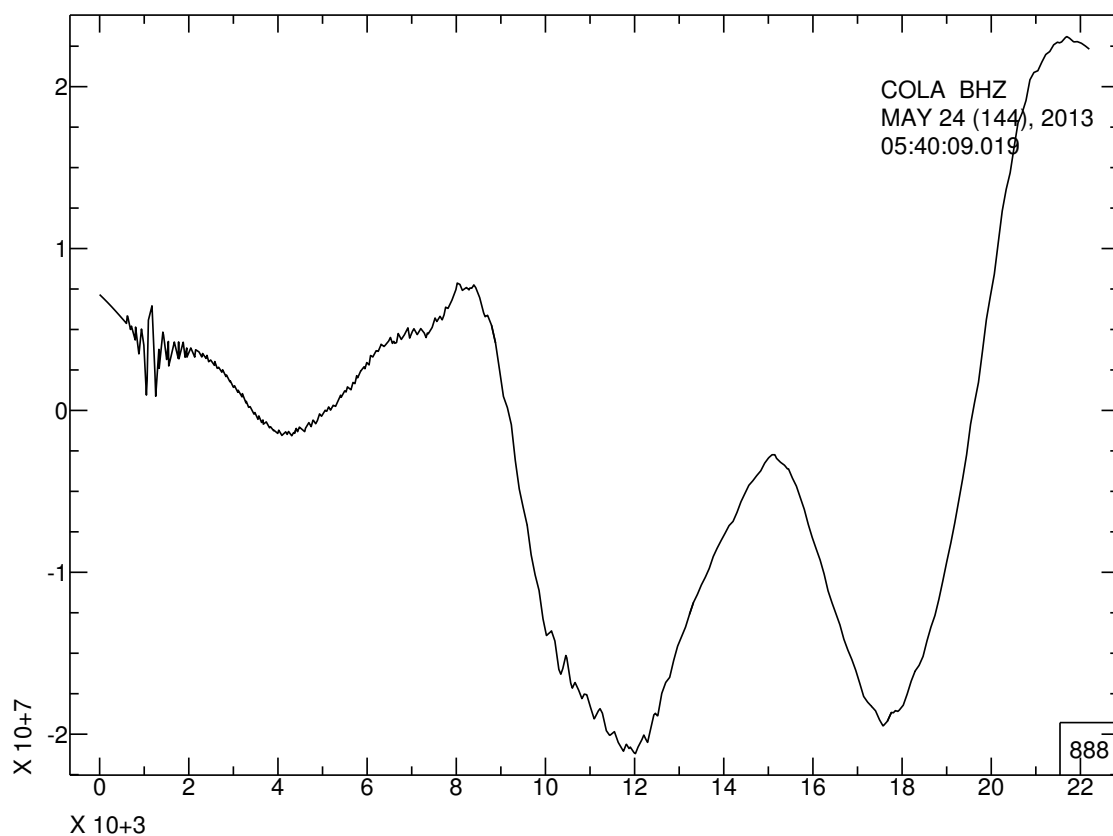


图 2.1: COLA 台站处的原始地面运动

从信号处理的角度来看，常见的地震仪是一个带通滤波器，对地震学不关心的超高频和超低频的信号进行压制，只保留感兴趣的周期段。下图给出了该台站的仪器响应，即 $i(t)$ ：

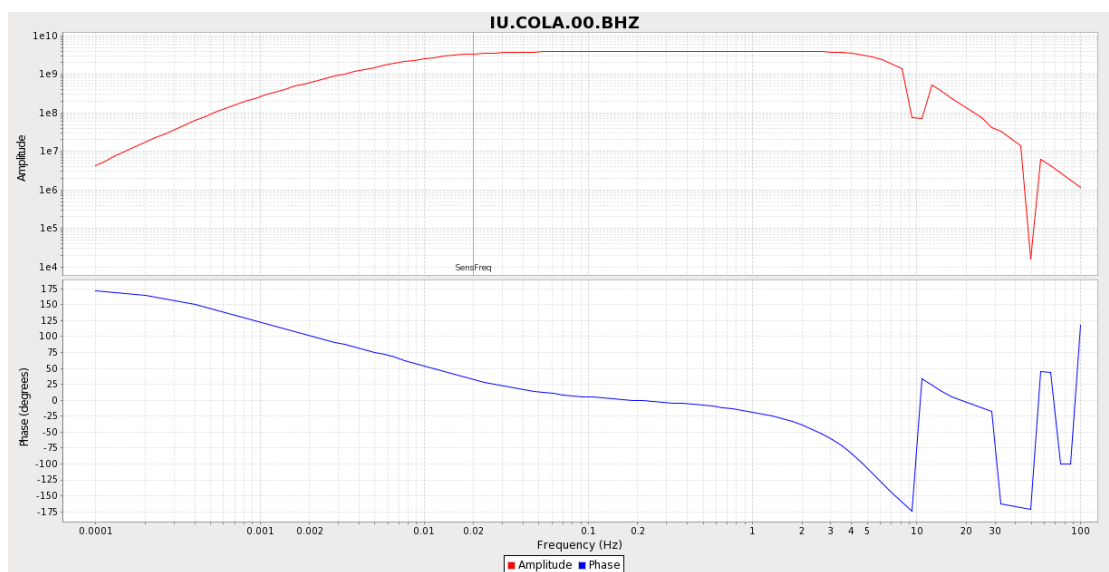


图 2.2: 仪器响应频谱图

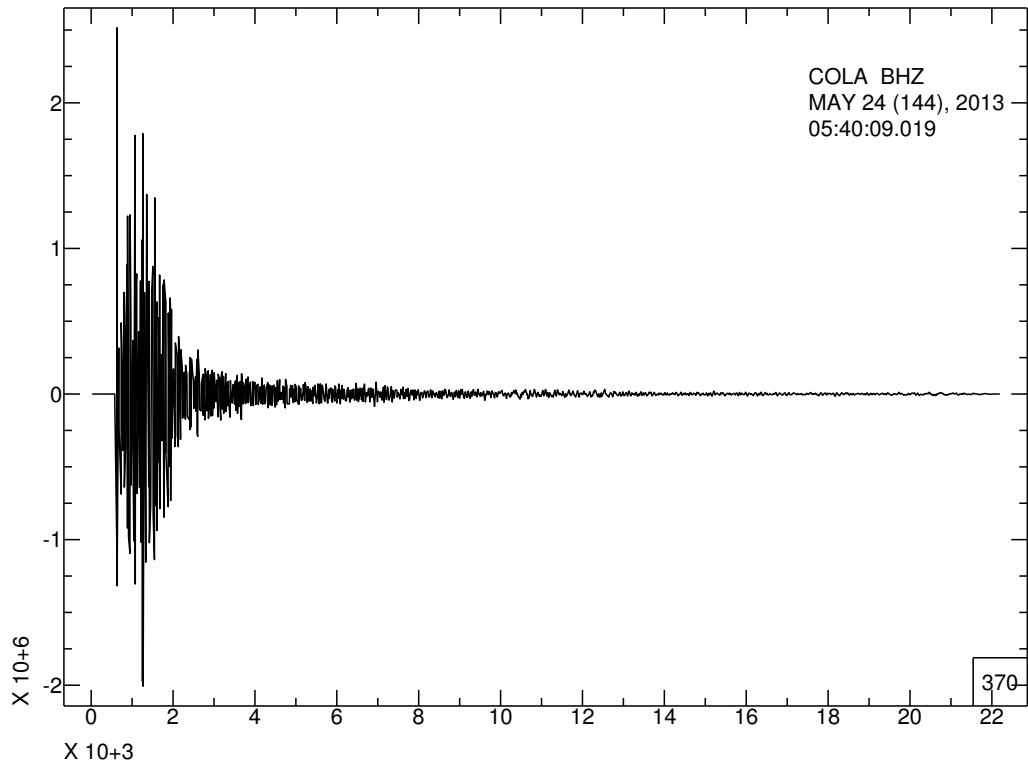


图 2.3: COLA 台站的地震记录

从图 2.2 中振幅谱可以看出，频率在 0.02 Hz 到 8 Hz 内的信号具有相同的振幅增益（被增强），而小于 0.02 Hz 或大于 8 Hz 的信号则被压制。图 2.1 中的周期为 1000 s 量级的信号被压制到了原来的千分之一。

原始的地面运动 $s(t) * g(t)$ 在经过仪器 $i(t)$ 之后，即得到地震仪的数字记录，如下图。超低频和超高频的信号被压制，留下地震学感兴趣的频段，也就是前面说的 $u(t)$ ：

与图 2.1 相比，长周期的类正弦信号没了。在 0 s 到 300 s 内，“地面”很安静，300 s 左右，强烈的地震信号开始出现，最大振幅约为 2.4×10^6 ，持续了很长一段时间后，又恢复了“平静”。这里可以很明显地看到“平静 → 震动 → 平静”的过程。这才是地震数据处理理想的波形。

为什么要去仪器响应呢？哪些时候需要去仪器响应呢？下面列举出若干需要去仪器响应的场景：

- 需要获取某个台站绝对振幅值；
- 仪器响应不同的台站之间的波形对比；
- 待补充…

B.2 物理与数学

地震仪一般固定在地表或地下浅层，也有放置在钻孔深处或海底的，因而地震仪可以直接感知到地面的运动。在地面运动物理量被地震仪接收后，首先要将其转换为电信号，然后

对电信号振幅进行放大以及滤波，再将连续的时间序列离散化，最终以常见的波形数据的形式表现出来。

概括地说，地面的运动在被地震仪感知之后，需要经历如下三个阶段，最终成为用户拿到的波形数据：

1. 模拟信号阶段
2. 模数转换
3. 数字信号阶段

地震仪的仪器响应可以表示为频率的复函数，即常说的振幅响应和频率响应。上面提到的三个阶段，每个阶段的响应函数都是频率的复函数，表示为 $G_i(f)$ ，整个仪器的响应函数是各个阶段响应函数的乘积：

$$G(f) = \prod_i G_i(f)$$

B.2.1 预备知识

FIR 滤波器

信号处理没学好，不敢瞎说，姑且翻译重点部分。简单地说，**FIR 滤波器**就是对一些数据采样点做加权平均，设计不同的加权系数就得到不同的 FIR 滤波器。FIR 滤波器一般设计为振幅响应为方阶跃函数 (boxcar)，因而其在通带内有较平的振幅响应，在拐角频率处有很尖锐很陡峭的振幅响应变化（一般拐角频率设置为 Nyquist 频率的 70%-90%）。与此同时，滤波器具有线性相位，即具有类似 $e^{i\omega t}$ 的形式，这个线性相位在时间域代表信号的时间延迟，一般数据采集系统会对这个时间延迟做校正。由此，用户基本不需要考虑 FIR 滤波器对仪器响应的影响。

响应函数

模拟信号的响应函数用 Laplace 变换表示：

$$H(s) = \int_0^{\infty} h(t)e^{-st} dt$$

数字信号的响应函数用 Z 变换表示：

$$H(z) = \sum_{-\infty}^{+\infty} h_m z^{-m}$$

归一化

频率响应可以表示为

$$G(f) = S_d R(f)$$

其中 $R(f)$ 是频率的函数。在某个特定的频率 f_s ，有 $|R(f_s)| = 1.0$ ，即 $R(f)$ 在频率 f_s 处进行归一化。 S_d 是放大系数，也称为 Sensitivity 或者 Gain。

$R(f)$ 可以表示为

$$R(f) = A_0 H_p(s)$$

其中 $H_p(s)$ 是用零极点表示的 transfer 函数，一般来说在频率 f_s 处这个 transfer 函数的振幅响应不为 1，所以需要归一化因子 A_0 。

B.2.2 Analog Stages

这个阶段的主要功能是将连续的地面运动物理量（比如速度）转换为电压信号，并进行电压放大。因而这个阶段的输入单位是 m/s，输出单位是伏特 (V)。这个阶段的响应函数可以表示为

$$G(f) = S_d A_0 \frac{\prod (s - r_n)}{\prod (s - p_m)} = S_d A_0 H_p(s)$$

如前所说， S_d 是放大系数， $H_p(s)$ 是用零极点表示的 transfer 函数，这里 n 和 m 代表 n 个零点和 m 个极点。 A_0 是归一化因子。

B.2.3 Analog-Digital Converter

模电转换器，将上个阶段产生的连续的电压信号转换为离散的电压信号。输入的单位是伏特 V，输出单位是 counts。（不了解 A/D C 的细节，大概就是说在离散的时候存在一个非常小的阈值，这个值是离散信号所能识别的最小电压差。）这个过程中，其在所有频段内振幅响应相同，也就是只存在一个放大系数，同时可能存在一个时间延迟。

B.2.4 Digital Stages

这个阶段对离散数据进行处理。这个过程包含了三个小部分：离散信号滤波，数据重采样，校正滤波引入的时间延迟。

离散信号滤波可以采用 FIR 滤波器，也可以采用 IIR 滤波器。多数情况下采用 FIR 滤波器，这意味着这个阶段只需要考虑放大系数 S_d ，归一化因子 A_0 不需要考虑，或者可以认为其为 1.0。同样，对于数据重采样以及时间校正也不会引入新的响应函数。

说明：FIR 滤波器的响应函数可以近似认为其振幅恒为 1，实际情况下，在 Nyquist 采样率附近会有 5% 左右的震荡。因而当感兴趣的频率比 Nyquist 频率小很多时可以不考虑 FIR 滤波器的响应函数。

B.2.5 小结

综上所述，三个阶段中，第一个阶段最为复杂，需要给出放大系数 S_{d1} 、归一化因子 A_0 以及多个零极点；第二个阶段以及第三个阶段都只需要给出放大系数 S_{d2} 和 S_{d3} 。时间校正由数据采集系统自动完成（mark 一下，这话说得没底气）。

最终得到仪器的响应函数为

$$G(f) = S_{d1} A_0 H_p(s) S_{d2} S_{d3} = S_{d0} A_0 H_p(s)$$

即需要仪器在第一个阶段的零极点信息、归一化因子 A_0 以及全部三个阶段的放大系数 S_{d0} 即可以完全表示地震仪的仪器响应。

B.3 仪器响应文件

在 SAC 诞生的 80 年代，模拟地震仪的类型很少，SAC 将这些地震仪的响应函数都内置到程序中，可以直接使用。随着数字地震仪的出现和不断发展，地震仪的类型越来越丰富，不可能把这些地震仪的响应函数都内置到 SAC 中，这就需要有更通用的方式来描述仪器响应，即仪器响应文件：RESP、PZ 和 FAP。

B.3.1 内置仪器响应

SAC 内置了很多标准地震仪的仪器响应，如 表 2.1 所示。部分仪器类型还拥有子类型，如 表 2.2 所示。在 SAC 命令中，可以直接使用这些仪器类型。

表 2.1: SAC 内置仪器类型列表

type	说明
BBDISP	Blacknest specification of Broadband Displacement
BBVEL	Blacknest specification of Broadband Velocity
BENBOG	Blacknest specification of Benioff by Bogert
DSS	LLNL Digital Seismic System
DWWSSN	Digital World Wide Standard Seismograph Station
EKALP6	Blacknest specification of EKA LP6
EKASP2	Blacknest specification of EKA SP2
ELMAG	Electromagnetic
GBALP	Blacknest specification of GBA LP
GBASP	Blacknest specification of GBA SP
GENERAL	General seismometer
GSREF	USGS Refraction
HFSLPWB	Blacknest specification of HFS LPWB
IW	EYEOMG-spectral differentiation
LLL	LLL broadband analog seismometer
LLSN	LLSN L-4 seismometer
LNN	Livermore NTS Network instrument
LRSMLP	Blacknest specification of LRSM LP
LRSMSP	Blacknest specification of LRSM SP
NORESS	NORESS (NRSA)
NORESSHF	NORESS high frequency element
OLDBB	Old Blacknest specification of BB

下页继续

表 2.1 – 续上页

type	说明
OLDKIR	Old Blacknest specification of Kirnos
PORTABLE	Portable seismometer with PDR2
PTBLLP	Blacknest specification of PTBL LP
REDKIR	Blacknest specification of RED Kirnos
REFTEK	Reftek 97-01 portable instrument
RSTN	Regional Seismic Test Network
S750	S750 Seismometer
SANDIA	Sandia system 23 instrument
SANDIA3	Sandia new system with SL-210
SRO	Seismic Research Observatory
WA	Wood-Anderson
WABN	Blacknest specification of Wood-Anderson
WIECH	Wiechert seismometer
WWLPBN	Blacknest specification of WWSSN long period
WWSP	WWSSN short period
WWSPBN	Blacknest specification of WWSSN short period
YKALP	Blacknest specification of YKA long period
YKASP	Blacknest specification of YKA short period

表 2.2: 部分仪器子类型

主类型	子类型
LLL	LV, LR, LT, MV, MR, MT, EV, ER, ET, KV, KR, KT
LNN	BB HF
NORESS	LP IP SP
RSTN	[CP ON NTR NY SD][KL KM KS 7S][Z N E]
SANDIA	[N O][T L B D N E][V R T]
SRO	BB SP LPDE
FREPERIOD _v	ELMAG, GENERAL, IW, LLL SUBTYPE BB, REFTEK
MAGNIFICATION _n	ELMAG, GENERAL
NZEROS _n	GENERAL, IW
DAMPING _v	GENERAL, LLL SUBTYPE BB, REFTEK
CORNER _v	LLL SUBTYPE BB, REFTEK
GAIN _v	
HIGHPASS _v	REFTEK

除了 表 2.1 中列出的众多仪器类型之外，还有几个特别的仪器类型：

- none: 即位移, 也是 SAC 的默认值
- vel: 速度
- acc: 加速度

B.3.2 RESP 文件

RESP 文件是用于描述仪器响应的文件, 其包含了描述仪器响应所需要的全部信息。

RESP 仪器响应文件可以通过如下几种方式获得:

- 用 rdseed 程序从 SEED 数据中提取;
- 用 evalresp 程序从 SEED 数据中提取;
- 从 IRIS DMC resp Web Service¹ 下载;
- 手写 RESP 文件;

一个 RESP 文件中可以只包含一个仪器响应函数, 也可以包含多个台站、多通道、多时间段的多个仪器响应函数。每个仪器响应函数中包含了台站名、台网名、通道名、开始时间和结束时间等台站的基本信息。具体的仪器响应函数部分又分成多个 Stage, 每个 Stage 中又分为多个 block, 包含了仪器响应的不同信息。

- Stage1 一般对应模拟信号阶段, 从中可以提取中这一阶段的输入单位、零极点、归一化因子 A_0 以及第一阶段的增益。
- Stage2 一般对应 ADC 阶段, 从中可以提取出这一阶段的放大系数。
- Stage3 一般对应于数字滤波和减采样阶段。通常需要对数字信号多次滤波或减采样, 因而 Stage3 后面可能会接多个类似的 Stage。从这几个 Stage 中提取的信息是增益, 一般值为 1。
- Stage0 是给出前面所有 Stage 的增益的乘积, 主要是起到了辅助验证的作用。

B.3.3 SAC PZ 文件

RESP 文件中包含了仪器响应的完整信息, 同时也包含了不少冗余信息。SAC 从 RESP 文件中提取出仪器响应中的重要信息, 定义了新的零极点响应文件 (即 SAC PZ)。相对于 RESP 文件而言, PZ 文件中仅包含仪器响应中的零极点和增益信息, 在去仪器响应时更方便。

SAC PZ 文件可以用 rdseed 程序从 SEED 文件中提取, 也可以从 IRIS DMC SAC PZ Web Service² 获取, 当然也可以手写 SAC PZ 文件。

下面是某个台站的 SAC PZ 文件:

```
* *****
* NETWORK      (KNETWK): IU
* STATION      (KSTNM): COLA
* LOCATION     (KHOLE): 00
```

(下页继续)

¹ <http://service.iris.edu/irisws/resp/1/>

² <http://service.iris.edu/irisws/sacpz/1/>

(续上页)

```

* CHANNEL      (KCMPNM): BHZ
* CREATED       : 2013-06-22T14:12:09
* START        : 2012-09-14T04:00:00
* END          : 2599-12-31T23:59:59
* DESCRIPTION   : College Outpost, Alaska, USA
* LATITUDE     : 64.873599
* LONGITUDE    : -147.861600
* ELEVATION    : 84.0
* DEPTH        : 116.0
* DIP          : 0.0
* AZIMUTH      : 0.0
* SAMPLE RATE  : 20.0
* INPUT UNIT    : M
* OUTPUT UNIT   : COUNTS
* INSTTYPE     : Geotech KS-54000 Borehole Seismometer
* INSTGAIN     : 2.013040e+03 (M/S)
* COMMENT      : N/A
* SENSITIVITY  : 3.377320e+09 (M/S)
* A0           : 8.627050e+04
* *****
ZEROS  3
      +0.000000e+00 +0.000000e+00
      +0.000000e+00 +0.000000e+00
      +0.000000e+00 +0.000000e+00
POLES  5
      -5.943130e+01 +0.000000e+00
      -2.271210e+01 +2.710650e+01
      -2.271210e+01 -2.710650e+01
      -4.800400e-03 +0.000000e+00
      -7.384400e-02 +0.000000e+00
CONSTANT +2.913631e+14

```

SAC PZ 文件中，以星号开始的行为注释行，给出了该 PZ 文件所对应的台站信息，其中 INPUT UNIT 表明了该 PZ 文件的输入是位移、速度还是加速度。用 rdseed 从 SEED 数据中提取出来的 PZ 文件，输入都是位移，且单位为 m。

以关键字 ZEROS 起始的行给出了零点数目，接下来几行列出了每个零点的实部和虚部。以关键字 POLES 起始的行给出了极点数目，接下来几行列出了每个极点的实部和虚部。最后一行给出了仪器响应中的常数 CONSTANT。

根据零极点以及 CONSTANT，即可计算得到仪器响应函数：

$$H(s) = C_0 * \frac{(s - z_1)(s - z_2) \dots (s - z_{nz})}{(s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_{nz})}$$

其中 $s = 2\pi i f$ 。

一些说明：

- 若有零点 (0.0,0.0)，则这样的“零”零点可以省略。因而列出的零点数可能会少于“ZEROS”行给出的零点数；上例中的三个零点可以不列出；
- **CONSTANT** 对应于 **RESP** 文件中所有阶段的增益 Sd_0 以及归一化因子 A_0 的乘积；
- 若未指定 **CONSTANT**，则默认值为 1.0；

B.3.4 FAP 文件

FAP 文件是响应函数的另一种表现形式，其包含了很多记录行，每行三个字段，分别是频率、振幅及相位。

频率不需要等间隔分段。在执行 **transfer** 时，低于第一行频率的频段将使用第一行的振幅和相位；同理大于最后一行频率的频段将使用最后一行的振幅和相位。

FAP 文件可以从程序 **evalresp v3.3.2** 中获得，FAP 相对于 PZ 文件的优势在于，其给出了每个频率的振幅和相位响应，因而包含更丰富的信息，且方便人工修改以控制需要校正的频率段。

B.3.5 RESP vs PZ vs FAP

RESP、**PZ** 和 **FAP** 都可以用于表征仪器的响应函数，常用的是 **RESP** 和 **PZ**，而这两种还是有很大区别的：

- **RESP** 文件包含了仪器响应的完整信息，而 **PZ** 文件中仅包含了零极点和增益信息，二者的主要差异在于 **PZ** 文件中未包含 **FIR** 滤波器的信息；
- **RESP** 文件中可以知道输入数据是位移、速度还是加速度，而 **PZ** 文件默认输入为位移。因而若 **RESP** 文件中输入是速度，则 **PZ** 文件中会多一个“零”零点；若 **RESP** 文件中输入是加速度，则 **PZ** 文件中会多两个“零”零点；
- **SAC** 中的默认位移单位是 **nm**，**RESP** 文件中有指定输入单位为 **m**，因而在用 **RESP** 去仪器响应时，**transfer** 会在去除仪器响应之后在对数据做单位上的变换以使得得到的位移数据的单位是 **nm**，即与 **SAC** 的标准相一致。而 **PZ** 文件中并未提供输入单位信息，或者说即便提供了也没有被利用到，故而用 **PZ** 文件去除仪器响应得到的位移物理量单位是 **m**，为了与 **SAC** 标准相一致，需要手动对数据乘以 10 的 9 次方将数据单位由 **m** 转换成 **nm**；

对于大多数情况，建议使用 **PZ** 文件，数据处理速度要快很多。

B.3.6 RESP 转换为 PZ

将 **RESP** 格式的仪器响应文件转换为等效的 **PZ** 格式的仪器响应文件，可以遵循如下几个步骤：

1. 在 **RESP** 文件中搜索以 **B053F05** 开头的行，确定地震计的输入物理量是速度、位移还是加速度
2. 在 **RESP** 文件中搜索以 **B053F09** 开头的行，得到零点数目
3. 在 **RESP** 文件中搜索以 **B053F14** 开头的行，得到极点数目
4. 在 **RESP** 文件中搜索以 **B053F10-13** 开头的行，每行代表一个零点，每行的第三

和第四列分别是零点的实部和虚部

5. 在 RESP 文件中搜索以 B053F15-18 开头的行，每行代表一个极点，每行的第三和第四列分别是极点的实部和虚部
6. 在 RESP 文件中搜索以 B053F07 开头的行，得到归一化因子 A0
7. 在 RESP 文件中搜索以 B058F04 开头的行，通常会搜索到多个结果。若某个结果的前一行“Stage sequence number”为 0，则该行给出的值即为仪器灵敏度 Sensitivity
8. 新建 PZ 文件，按照 PZ 文件的格式分别写入如下信息：

- 零点数目。需要注意，PZ 中零点数目可能与 RESP 中零点数目不同：
 - 若地震计的输入物理量是位移，则 PZ 文件的零点数目与 RESP 文件的零点数目相同；
 - 若地震计的输入物理量是速度，则 PZ 文件的零点数目应比 RESP 文件的零点数目多一个，即多一个“零”零点 0.0 0.0；
 - 若地震计的输入物理量是加速度，则 PZ 文件的零点数目应比 RESP 文件的零点数目多两个，即多两个“零”零点 0.0 0.0。
- 零点信息。其中，“零”零点可以省略不写
- 极点数目
- 极点信息
- CONSTANT 值，为 RESP 文件中 A0 与 Sensitivity 的乘积

读者可尝试将 IU.COLA.00.BHZ 通道的 RESP 转换为 PZ 格式，并与 IRIS 提供的 PZ 进行对比以确认自己的理解正确。

需要注意的是，通常一个 PZ 文件中仅包含一个通道，此种情况下 PZ 文件中无需包含注释部分。若一个 PZ 文件中包含多个通道的仪器响应，则需要包含注释部分以保证 SAC 可以区分不同通道。

保护环境，从阅读电子文档开始！

附录 C 数据获取

C.1 数据来源

地震波形数据主要来自于全球各地震数据中心。各地震数据中心的数据下载方式略有不同，但目前大部分数据中心已支持 [FDSN web service](#)，这些支持 FDSN web service 的数据中心均可使用 SOD、ObsPy 等工具统一下载数据。

C.1.1 IRIS 数据中心

[IRIS DMC](#) 是全球最大的地震波形数据中心，其提供了全球大多数地震台网的波形数据。IRIS DMC 的大部分数据是完全公开的，无需注册即可直接申请下载波形数据。

IRIS DMC web service: <http://service.iris.edu>

C.1.2 美国

- 北加州地震数据中心: [主页](#) | [web service](#)
- 南加州地震数据中心: [主页](#) | [web service](#)
- Texas 地震数据中心: [主页](#) | [web service](#)

C.1.3 加拿大

[加拿大地震数据中心](#)提供了 [加拿大国家台网](#)、[Yellowknife Seismic Array](#)、POLARIS Network 等台网/台阵的连续波形数据。连续波形数据则可以通过工具 [AutoDRM](#) 下载。

C.1.4 欧洲

欧洲的地震数据中心相对比较多，但均支持 web service。

- BGR Hannover, Germany: <http://eida.bgr.de/>
- Boğaziçi University, Kandilli Observatory: <http://www.koeri.boun.edu.tr/2/tr/>
- ETHZ: <http://eida.ethz.ch/fdsnws/>
- GEOFON Program, GFZ: <http://geofon.gfz-potsdam.de/>
- ICGC: <http://www.icgc.cat/en/xarxasismica>
- IPGP Data Center: <http://centrededonnees.ipgp.fr>
- INGV: <http://webservices.ingv.it/>
- LMU Munich, Germany: <http://www.geophysik.uni-muenchen.de/observatory/seismology>
- NIEP, Romania: http://www.orfeus-eu.org/eida/eida_niep.html
- NOA, Greece: <http://bbnet.gein.noa.gr/>
- ORFEUS Data Center: <http://www.orfeus-eu.org/>

- RESIF: <http://seismology.resif.fr/>

C.1.5 中国

国家测震台网数据备份中心，隶属于中国地震局地球物理研究所。到 2014 年底，国家测震台网已建成由 170 个台站和 3 个小孔径台阵（共 30 个子台）组成的国家地震台网；859 个台站组成的 31 个区域地震台网，33 个子台组成的 6 个火山监测台网；291 套地震仪器组成的 32 个应急流动观测台网。国家测震台网数据备份中心可以提供从 2007 年 8 月起的全球 M5.5 级以上地震事件以及国内及周边地区 M3.5 级以上地震事件的波形数据。

要申请数据备份中心的数据，需要注册账户并升级账户属性。要升级账户属性，需要按程序进行申请，并且签署和遵守 [相关协议](#)。

C.1.6 日本

NIED 是日本的国家防灾科学技术研究所。其下包含若干台网：

- 高感度地震观测网 [Hi-net](#)
- 宽频带地震台网 [F-net](#)
- 强地面运动地震台网 [K-net](#) 和 [KiK-net](#)
- 火山观测网 [V-net](#)

C.1.7 南美

- USP Seismological Center, Brazil: <http://www.moho.iag.usp.br/>

C.1.8 澳大利亚

- AusPass, Australia: <http://auspass.edu.au/>

C.2 地震数据申请工具

IRIS 及部分地震数据中心支持 FDSN web service，均可使用支持 web service 的通用下载工具下载数据。这一节不会去介绍工具的具体用法，而是试着总结不同工具各自的优缺点以及适用范围。读者应根据实际需求选择合适的工具，并自行阅读相应工具的说明文档。

C.2.1 支持 Web Service 的通用下载工具

SOD

- 主页：<http://www.seis.sc.edu/sod/>
- 教程：<https://blog.seisman.info/sod-notes/>
- 适用范围：基于事件的事件波形数据 + 基于台站的事件波形数据 + 连续波形数据
- 特色及优点：
 - 命令行工具，易于批量处理
 - 申请数据的同时可以对数据进行预处理
 - 数据格式：SAC、miniSEED

ObsPy

- 主页: <http://docs.obspy.org>
- 适用范围: 基于事件的事件波形数据 + 基于台站的台站波形数据 + 连续波形数据
- 特色及优点:
 - 基于 Python 语言, 可编程实现任意复杂的数据申请
 - 文档简单易读, 易于使用
 - 数据格式: miniSEED、SAC 等多种格式

Bash Scripts

- 主页: <https://seiscode.iris.washington.edu/projects/ws-fetch-scripts>
- 适用范围: 连续波形数据
- 特色及优点:
 - Perl 语言写的脚本, 在命令行使用
 - 基于 DMC Web Service
 - 数据格式: miniSEED
- 缺点: 仅适用于连续波形数据。对于地震时间波形数据, 需要自行写脚本处理。

irisfetch.m

主页: <https://github.com/iris-edu/irisFetch-matlab>

- 适用范围: 连续波形数据
- 特色及优点:
 - Matlab 脚本, 可以在 Matlab 中直接调用相关函数获取数据
 - 数据格式: 支持保存为 Matlab 自定义结构体

C.2.2 IRIS 专用数据下载工具

以下工具仅适用于从 IRIS DMC 下载数据。

Wilber III

- 主页: http://ds.iris.edu/wilber3/find_event
- 教程: <https://blog.seisman.info/wilber3/>
- 适用范围: 仅用于申请基于事件的事件波形数据
- 特色及优点:
 - 网页端
 - 提供地震目录, 筛选条件: 经纬度范围、发震时刻、震级范围
 - 基于 Google 地图服务显示地震分布
 - 台站筛选条件: 台网名、虚拟台网名、通道名、震中距范围、方位角范围
 - 基于 Google 地图服务显示台站分布
 - 提供波形预览
 - 根据发震时刻、P 波到时、S 波到时确定数据时间窗

- 数据格式：SAC、SEED、miniSEED、ASCII、dataless SEED
- 申请得到的数据位于 IRIS 的 FTP 中
- 申请得到的数据已经写入事件信息
- 缺点：
 - 一次只能下载一个事件的波形数据，难以自动化
 - 只能用于基于事件的波形数据，无法用于基于台站的波形数据或连续波形数据

BREQ_FAST

- 主页：https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/manuals/breq_fast/
- 教程：<https://blog.seisman.info/breq-fast/>
- 适用范围：连续波形数据
- 特色及优点：
 - 发送特定格式的邮件到特定邮箱即可申请数据
 - 邮件格式相对简单
 - 易于自动化和批量处理
 - 数据格式：发送到不同的邮箱可分别得到 SEED、miniSEED 和 dataless 格式的数据
 - 申请的数据位于 IRIS 的 FTP 里
- 缺点：需要一定的编程基础

JWEED

- 主页：<https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/software/downloads/jweed/>
- 适用范围：基于事件的事件波形数据 + 基于台站的事件波形数据
- 特色及优点：
 - Java 语法写的 GUI 客户端
 - 基于 DMC Web Service
 - 跨平台，但兼容性较差，某些平台下无法正常使用
 - 运行速度稍慢
 - 地震目录类型：NEIC PDE、GCMT、ISC、ANF
 - 地震事件筛选条件：时间范围、震级范围、深度范围
 - 台站筛选条件：台网名、虚拟台网名、通道名
 - 地震台站对筛选条件：方位角范围、反方位角范围、震中距范围
 - 数据格式：SAC、RESP、PZ、ASCII、miniSEED
 - 可以生成 BREQ_FAST 格式的文件，供发邮件申请数据
 - 数据会直接下载保存到本地
- 缺点：无法下载连续数据

SeismiQuery

- 主页：http://ds.iris.edu/SeismiQuery/breq_fast.phtml
- 适用范围：连续波形数据
- 特色及优点：

- 网页工具
- 可以生成 BREQ_FAST 所需的文件

保护环境，从阅读电子文档开始！

附录 D 数据命名规则

用 `rdseed` 程序从标准 SEED 格式中解压得到的 SAC 文件，通常都具有固定格式的文件名。具体格式为：

```
yyyy.ddd.hh.mm.ss.ffff.NN.SSSSS.LL.CCC.Q.SAC
```

其中

- `yyyy.ddd.hh.mm.ss.ffff` 是 SAC 文件中第一个数据点对应的时间
 - `yyyy` 为年；
 - `ddd` 为一年的第多少天；
 - `hh.mm.ss` 为时、分、秒；
 - `ffff` 为毫秒；需要注意的是 $1s = 1000ms$ ，这里毫秒用了 4 位来表示。
- `NN` 为台网名¹，长度不超过 2 个字符；
- `SSSSS` 为台站名，长度不超过 5 个字符；
- `LL` 为位置码，为空或两字符；
- `CCC` 为通道名；
- `Q` 为质量控制标识；
- `SAC` 为文件后缀；

D.1 位置码

关于位置码的详细介绍，见 [IRIS: DS Newsletter: Vol. 1, No.1](#)。

位置码用于区分同一个台站下多个传感器的不同数据，或者同一个传感器传来的多个数据流。通常来说，同一个台站不同位置码的两个地震数据具有极为相似但有略有不同的波形。

常见的位置码为空，偶尔会见到 `00`、`01`、`10` 这样的，也有遇到 `60` 这样的。

D.2 质量控制

质量控制符 `Q` 用于表征当前 SAC 数据的数据质量。该标识符可以取如下四种：

- `D` 不确定状态的数据
- `M` 已合并的数据
- `R` 原始波形数据
- `Q` 经过质量控制的数据

¹ 所有永久或临时台网的台网名列表：<http://www.fdsn.org/networks/>

常见的质量控制符为 M 或 Q。

D.3 通道名

通道名用三个字符来表示，这三个字符分别代表了频带码 (Band Code)、仪器码 (Instrument Code) 和方位码 (Orientation Code)。

D.3.1 频带码

频带码是通道名的第一个字符，代表了仪器的采样率以及响应频带等信息。

表 4.1: 频带码

频带码	频带类型	采样率 (Hz)	拐角周期 (sec)
F	...	1000-5000	> 10
G	...	1000-5000	< 10
D	...	250-1000	< 10
C	...	250-1000	> 10
E	Extremely Short Period	80-250	< 10
S	Short Period	10-80	< 10
H	High Broad Band	80-250	< 10
B	Broad Band	10-80	> 10
M	Mid Period	1-10	> 10
L	Long Period	≈ 1	
V	Very Long Period	≈ 0.1	
U	Ultra Long Period	≈ 0.01	
R	Extremely Long Period	0.0001-0.001	
P	Order of 0.1 to 1 days	0.00001-0.0001	
T	Order of 1 to 10 days	0.000001-0.0000 1	
Q	Greater than 10 days	< 0.000001	
A	Administrative Instrument Channel	variable	NA
O	Opaque Instrument Channel	variable	NA

D.3.2 仪器码

仪器码是通道名的第二个字符，代表了不同的仪器传感器。

表 4.2: 仪器码

仪器码	说明
H	High Gain Seismometer
L	Low Gain Seismometer
G	Gravimeter
M	Mass position Seismometer
N	Accelerometer

常见的是高增益（H）仪器，记录地面运动速度。

D.3.3 方位码

方位码表示了传感器记录的地面运动的方向。地震学中常见的方位码有如下几种：

表 4.3: 方位码

方位码	说明
N E Z	南北向、东西向、垂向
1 2 3	3 为垂向；1、2 为水平方向，正交但与正东西、正南北向有偏离
T R Z	T 为切向、R 为径向，通常 R 方向是震中到台站的大圆连线方向

通常情况下，若仪器的方向与正东西方向的夹角小于 2 度时，方位码取为 E；当与正东西方向夹角大于 2 度时，方位码取为 1 或 2。因而，方位码为 E 并不意味着分量是正东西方向的，真实的分量方向应以 SAC 头段中的 `cmpaz` 和 `cmpinc` 为准。更进一步，由于仪器放置过程中的技术问题，SAC 头段中的 `cmpaz` 在某些情况下也会产生一定的误差。

保护环境，从阅读电子文档开始！

附录 E 文档更新历史

v4.1 (2020-09-23)

- 新增内容: Julia 中的 SAC I/O
- 修复 BUG

v4.0 (2018-12-23)

- 文档不再使用 LaTeX 源码, 改而采用 reStructuredText 语言, 并使用 sphinx 制作文档
- 新增内容: 将 RESP 文件转换为 PZ 文件
- 修正 bugs 和 typos

v3.6 (2018-03-21)

- 新增内容: 调用 SAC 库中的 rms 子函数
- 新增示例: cut

v3.5 (2016-01-09)

- 增加示例: 绘制滤波器的时间响应和频率响应
- 增加示例: 一次性修改多个波形数据的发震时刻
- 新增章节: rdseed 的选项及其用法
- 新增章节: 介绍 IRIS 等地震数据中心
- 新增章节: 介绍数据申请: 连续波形数据和事件波形数据
- 新增章节: IRIS 波形数据申请工具
- 新增章节: SAC 与脚本运行速度差异导致的陷阱
- 新增 Perl 脚本: 数据提取、合并、重命名、修改发震时刻、去仪器响应、分量旋转、重采样
- 新增 Python 脚本: 数据提取、合并、重命名、修改发震时刻、去仪器响应、分量旋转、重采样
- 更新命令说明: plotpk、plot1、plot2、datagen
- 新增命令: writecss
- 修正 Bugs 和 Typos

v3.4 (2015-09-15)

- 调整与修订:

- 将命令的“错误消息”和“警告消息”集中整理到附录中
- 将文件重命名脚本移动到“在脚本中调用 SAC”一章
- 重新整理了“震相拾取”一节的内容
- 新增内容：
 - 在 macOS 中安装 SAC
 - 在 C 程序中调用 SAC 提供的 `distaz` 函数
 - 数据处理中使用 `decimate` 和 `interpolate` 进行数据重采样
 - Python 中修改发震时刻
 - 在 C 程序中读写 SAC 文件
 - 在 Fortran 程序中读写 SAC 文件
 - 在 Python 脚本中读写 SAC 文件
 - 在 matlab 中读写 SAC 文件
 - 修改 SAC 所能读取的文件数目的上限
 - 文档维护与更新并征集维护者
- 命令整理: `mtw`、`markptp`、`markvalue`、`readcss`
- 修正 Bugs 和 Typos

v3.3 (2015-06-06)

- 修改 bugs 和 typos
- 命令整理: `hilbert`、`transfer`
- 新增内容：
 - 四个文件重命名脚本
 - 读取某个目录下全部文件遇到的问题
 - 使用 Tab 遇到的问题
 - 数据命名规则
 - 时区校正
 - 错误与警告消息
 - 未定义变量
 - SAC debug
 - `wh` 与 `w over` 的区别

v3.2 (2015-05-02)

- 修复 bugs 和 typos
- 命令整理: `systemcommand`、`transfer`
- 新增章节
 - 波形排序
 - 标记震相理论走时的三种方法
 - 图像格式转换
 - SAC 初始化宏文件
 - SAC 命令的长度上限
 - 字节序

- 新增附录“仪器响应”，整理了“去仪器响应”一节
- 新增示例：调用 SAC 的 Hilbert 函数

v3.1 (2014-09-25)

- 重新整理了大部分命令的语法说明
- 对“SAC 图像”一章进行了修订
- 新增章节：“信号迭加子程序”、“谱估计子程序”、“在 Python 中调用 SAC”
- 修复 bugs

v3.0 (2014-04-18)

- 重写了教程部分的大多数内容
- 教程部分根据 SAC v101.6a 进行修正
- 修复 bugs

v2.3 (2014-02-22)

- 使用 git 管理源码
- 整理结构和布局的修改
- 新增小节：“SAC IO 升级版”、“黑板变量的读写”、“SAC 保存图像”
- 修复 bugs

v2.2 (2013-04-12)

- 重新排版了全部命令
- 重新设计了封面

v2.1 (2013-04-06)

- 重新整理了第一章
- 修复 bugs

v2.0 (2013-03-29)

- 用 LaTeX 重新排版文档

v1.2 (2012-09-18)

- 增加了封面配图

v1.1 (2012-09-03)

- 重新格式化整个文档，使得其看上去更规范，也易于以后的修改
- 代码从 NotePad++ 中直接导出，支持语法高亮

- 代码及正文英文字体采用 Consolas 字体
- 增加了“在脚本中调用 SAC”一节
- 新增命令 `transfer`、`traveltime`、`saveimg`、`datagen`
- 更新至 SAC v101.5c
- 公式用公式编辑器编辑

v1.0 (2012-01-08)

- 第一版发布，由 DOC 转换为 PDF
- 参考《数字地震波形分析》一书，翻译了大部分官方文档中的内容
- 结合 SAC v101.4 版本，增加、删除和修改了一些命令
- 增加了书签，方便定位，支持全文搜索