

977000
Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9711

**Um Estudo Sobre a Redução
de Ruídos em Sinais Caóticos**

**Ernane José Xavier Costa
Euvaldo F. Cabral Jr.**

São Paulo - 1997

Costa, Ernane José Xavier

Um estudo sobre a redução de ruídos em sinais caóticos / E.J.X. Costa, E.F. Cabral Jr. -- São Paulo : EPUSP, 1997.

23p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9711)

1. Sinais caóticos - Processamento digital 2. Ruídos eletrônicos I. Cabral Jr., Euvaldo Ferreira II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série

ISSN 1413-2206

CDD 621.3822

621.38224

UM ESTUDO SOBRE A REDUÇÃO DE RUÍDOS EM SINAIS CAÓTICOS

Ernane José Xavier Costa

Euvaldo F. Cabral Jr.

Escola politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Eletrônica

Laboratório de Comunicações e Sinais

CAIXA POSTAL: 61548

CEP 05498 - SÃO PAULO - SP

TEMA: sinais caóticos / redução de ruído

PALAVRAS CHAVE: Processamento digital de sinais caóticos / caos / ruído

SUMÁRIO

A metodologia de processamento digital de sinais caóticos vêm sendo muito utilizada na área de física de plasma experimental, mas só recentemente têm-se aplicado esta metodologia em problemas de engenharia.

O presente trabalho apresenta um estudo introdutório sobre a redução de ruídos em sinais caóticos experimentais, usando a metodologia desenvolvida nos trabalhos de Kosterlich & York (1988 e 1990).

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	4
2. UMA VISÃO DA REDUÇÃO DE RUÍDO DE SINAIS CAÓTICOS.....	5
3. O ALGORITMO DE REDUÇÃO DE RUÍDO.....	7
3.1 - A LINEARIZAÇÃO DE ECKMANN-RUELLE	8
3.2 AJUSTE DA TRAJETÓRIA PELA MINIMIZAÇÃO AUTO-CONSISTENTE	9
4. BIBLIOGRAFIA	11
5. APÊNDICE	12

1. INTRODUÇÃO

A análise de dados experimentais caóticos em sistemas físicos tem se tornado muito importante (Abarbanel & col., 1993) em todas as áreas da ciência inclusive na engenharia biomédica, haja vista que inúmeros desses sistemas físicos apresentam sinais caóticos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar de maneira sucinta como deve ser feito o tratamento de ruídos em sinais caóticos, do ponto de vista da engenharia, analisando o método utilizado nos trabalhos de Kosterlich & York (1988,1990) os quais desenvolveram algoritmos para a redução de ruído de sinais caóticos.

2. Uma visão da redução de ruído de sinais caóticos

Se um determinado sinal obtido (sinais de eletroencefalogramas por exemplo), estiver contaminado por ruído, como é possível filtrar o sinal de interesse de tal forma que possamos fazer uma análise dos coeficientes de Lyapunov, dimensão, etc? Numa análise linear (análise de Fourier por exemplo), o problema se resumiria em extrair o sinal que é bem definido do “ruído” de banda larga. De fato, os sinais necessitam ser separados uns dos outros no domínio temporal (como veremos no próximo parágrafo). Sucede-se que na separação de sinal, necessitamos caracterizar um ou todos os sinais superpostos de algum modo que nos permita diferenciá-los.

Se um sinal observado $s(n)$ é uma soma de sinais, e dela queremos obter alguma informação do sinal $s_1(n)$, que seja distinta dos outros sinais da soma

$$s(n) = s_1(n) + s_2(n) + \dots + s_i(n) \quad (1)$$

então precisamos distinguir alguma característica de $s_1(n)$ tal que cada $s_i(n)$ ($i > 1$) individual não possua, ou tal que talvez a soma $s(n)$, não possua.

A maneira mais natural de distinguir esta característica é atentando para o fato de que $s_1(n)$ ou a sua versão do espaço de fase reconstruído $Y(n)$ (aqui espaço de fase é o espaço $2n$ -dimensional onde cada ponto neste espaço corresponde a uma configuração das partes do sistema).

$$Y(n) = [s_1(n), s_1(n+T), \dots, s_1(n+T(d-1))] \quad (2)$$

satisfaz a regra dinâmica $Y_1(k+1) = F_1(Y_1(k))$, que é diferente de qualquer outra regra dinâmica associada com $s_2(n)$, $s_3(n)$, Para isso, utilizamos a chamada análise não linear. Entretanto, a distinção na prática, nem sempre é perfeita, e precisamos de métodos que melhorem esta distinção do sinal $s_1(n)$ que nos interessa.

Segundo Abarbanel & col. (1993), podemos identificar três classes de sinais aos quais diferentes métodos de redução de ruído podem ser aplicados:

1ª classe: quando conhecemos a dinâmica do sistema ($Y_1 = F(Y_1)$)

2ª classe: quando temos o sinal limpo ou com pouco ruído do sistema, mas não conhecemos a dinâmica. Neste caso fazemos uso da estatística do sinal caótico limpo para distinguir do sinal ruidoso.

3ª classe: quando não sabemos nada a respeito de um sinal limpo (como no segundo caso) e nada sobre a dinâmica que a gera. Este é o chamado caso “cego” (ou “blind”). Os sinais experimentais, em sua grande maioria, caem neste caso.

Neste trabalho será tratado o caso de sinais da terceira classe.

Para a redução de ruído dos sinais da terceira classe existem vários métodos descritos na literatura (Cawley, R e col (1992), Hammel S,M (1990)). O grande problema destes métodos é que necessitamos lançar mão de um determinado número de suposições explícitas ou implícitas, por isso, não é de se esperar que qualquer um dos métodos seja geral, naturalmente, mas que em algumas gamas de problemas pode-se esperar êxito com alguns deles na separação de ruídos de sinais experimentais.

Os métodos de redução de ruídos que têm sido mais utilizados na análise de sinais experimentais, tem sempre duas estratégias:

1- Faz mapas locais usando a informação dos vizinhos mais próximos no espaço de fase. Os trabalhos de Kosterlich & York (1988,1990) utilizam este método (Denominamos mapa um sistema dinâmico que evolui no tempo de uma forma discreta $\mathbf{x}_{i+1} = F(\mathbf{x}_i)$ onde $\mathbf{x}$ é um vetor n-dimensional e $F(\mathbf{x})$ uma função não -linear)

2- Faz uso de filtros lineares localmente ou globalmente e então declaram os dados filtrados como sendo uma órbita “limpa” melhor. Somente “moving average” ou filtros de resposta de impulso finito são utilizados, pois há a possibilidade de alterar a estrutura do espaço de fase da dinâmica, e até a própria dinâmica. O trabalho de Cawley & Hsu(1992) utiliza este método.

Existem outros métodos menos conhecidos, como por exemplo, o trabalho recentemente publicado de Bloomhead & col (1996) que utiliza uma técnica de “feedback” para reduzir ruído de sinais digitais.

3. O algoritmo de redução de ruído

Nesta parte descreveremos o método utilizado por Kosterlich & York (1988,1991), que desenvolveram um algoritmo para atratores caóticos bidimensionais.

A análise do espectro de potência é insuficiente para caracterizar a dinâmica quando os dados observados são caóticos. A simples supressão de certas frequências pode alterar a dinâmica do sinal em estudo.

O objetivo do método é utilizar a dinâmica para gerar e corrigir erros na trajetória do atrator que resultam em ruído. Isto é realizado em duas etapas.

Na primeira etapa, consideramos o movimento de um conjunto de pontos em uma pequena vizinhança de cada ponto do atrator para computar uma aproximação linear da dinâmica nesta região, a chamada linearização de Eckmamm-Ruelle (Eckmamm & col. 1986). Numa segunda etapa, utilizamos estas aproximações para ajustar uma trajetória individual que a melhor obedece.

3.1 - A linearização de Eckmann-Ruelle

A natureza discreta do sinal original significa que os pontos no atrator reconstruído podem ser tratados como iterados de um mapa não linear f cuja forma exata não é conhecida. Assumimos então que f é quase linear em uma pequena vizinhança de cada ponto do atrator $\mathbf{x}$ e escrito como

$$f(\mathbf{x}) \approx \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b} \equiv L(\mathbf{x}) \quad (3)$$

Onde $\mathbf{A}$ é uma matriz $m \times m$ e o vetor $\mathbf{b}$ é m -dimensional. A matriz $\mathbf{A}$ é a Jacobiana de f em $\mathbf{x}$.

Esta aproximação em $\mathbf{x}$ pode ser computada utilizando o método de mínimos quadrados. Dado um ponto de referência $\mathbf{x}_{ref}$, temos $\{\mathbf{x}_i\}_{i=1}^n$ que é uma coleção de n pontos que são mais próximos de $\mathbf{x}_{ref}$. Para cada ponto $\mathbf{x}_i$ guardamos o próximo ponto no tempo (a imagem de $\mathbf{x}_i$), que denominamos $\mathbf{y}_i$. O índice i indica somente que os pontos do atrator estão contidos a uma pequena distância ε de $\mathbf{x}_{ref}$. Deve ficar bem claro que $\mathbf{x}_i$ e $\mathbf{y}_i$ são consecutivos no tempo. Assim, a k -ésima linha da matriz $\mathbf{A}$ representada pelo vetor $\mathbf{a}_k$ e a k -ésima componente de $\mathbf{b}_k$ do vetor $\mathbf{b}$ são dados pela solução de mínimos quadrados da equação

$$y_k = b_k + \mathbf{a}_k \mathbf{x} \quad (4)$$

onde y_k é a k -ésima componente de $\mathbf{y}$. a figura 1 ilustra a idéia desta linearização.

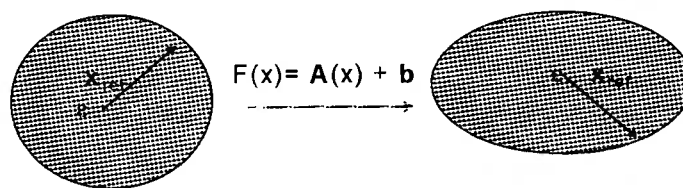


Figura 1 - Diagrama esquemático do 1º estágio da redução de ruído. Uma coleção de pontos em uma esfera de raio ε sobre o ponto de referência $\mathbf{x}_{ref}$ é utilizado para encontrar uma aproximação linear da dinâmica nesta região (Kosterlich & col. (1990)).

Nesta primeira etapa existem inúmeras dificuldades para uma melhor determinação do ajuste linear. Entre as dificuldades estão o mal

condicionamento do ajuste por mínimos quadrados; a dificuldade para implementar um algoritmo rápido para achar os vizinhos próximos em particular em nosso caso, utilizamos a sugestão dada por Kosterlich & York (1990) análogos aos métodos de otimização de modelos simulação de rede: a utilização de um vetor unidimensional para armazenar os endereços dos pontos das janelas do espaço de fases e, o erro nas variáveis utilizadas, pois, o método dos mínimos quadrados tradicional assume que se temos 2 variáveis a ajustar, uma delas é tomada como exata e, a outra tem um erro estatístico. Existem métodos que consideram erros em ambas as variáveis.

3.2 Ajuste da trajetória pela minimização auto-consistente

Os mapas L resultantes da linearização Eckmann-Ruelle computadas conforme item anterior, para uma seqüência de pontos, são guardados e utilizados para obter uma nova seqüência de pontos que, em tese, é mais consistente com a dinâmica. O objetivo é escolher uma nova seqüência de pontos que minimiza a soma de quadrados

$$\sum w \|x_i' - x_i\|^2 + \|x_i' - L_{i-1}(x_{i-1}')\|^2 + \|x_{i-1}' - L_i(x_i')\|^2 \quad (5)$$

onde $L(x) = A_i x_i + b_i$ e w é o fator de peso. A soma é feita sobre todos os pontos ao longo da trajetória. No algoritmo desenvolvido neste trabalho o peso utilizado foi 1. A equação (5) foi resolvida utilizando novamente o método dos mínimos quadrados. Heuristicamente, a equação (5) mede a auto-consistência dos dados, assumindo que as aproximações lineares da dinâmica são precisas.

A trajetória ajustada pode ser iterada. Isto é, uma vez encontrada a nova trajetória x_i' , podemos trocar por cada x_i na equação (5) por x_i' e computar a nova seqüência $\{x_i'\}$.

Colocamos um limite superior na distância que um ponto pode se mover no espaço de fase o que facilita o ajuste das trajetórias. Pontos que requerem grandes ajustamentos não são movidos. Isto pode ser necessário se a série temporal contém buracos ("glitches") ou se as não linearidade são significativas sobre pequenas distâncias em certas regiões do atrator.

Para demonstrar o método descrito neste trabalho escrevemos um programa em FORTRAN 77 (Apêndice) que utiliza os seguintes passos:

- 1- divide o atrator em uma grade de pequenas janelas;
- 2- contabiliza quantos pontos contêm cada janela; a grade ajuda a diminuir o tempo de pesquisa dos vizinhos mais próximos, pois os vizinhos mais próximos só serão pesquisados nas janelas vizinhas à escolhida. Deve-se tomar cuidado, então, na escolha da grade e do raio ε ;
- 3- contabiliza quantos pontos têm dentro de uma esfera de raio ε para um ponto de referência x_{ref} dentro de cada janela da grade não vazia;
- 4- calcula os mapas L de um ponto de referência x_{ref} ;
- 5- faz a minimização auto-consistente.

Em cada janela é sempre utilizado vários e diferentes pontos de referência x_{ref} para realizar o ajuste dos dados

Para testar o programa pode-se usar o mapa de Hennon com 5000 pontos com 1% de ruído. O ruído no mapa de Hennon é gerado da seguinte forma:

$$x_{n+1} = 1 - a \cdot (x_n)^2 + b \cdot y_n + C \cdot \eta_i$$

$$y_{n+1} = x_n$$

onde η_i é um número aleatório entre 0 e 1; C é o fator de ruído, no caso de 1% $C=0.001$; e foi utilizado $a = 1.4$ e $b = 0.3$

O resultado pode ser visto na figura 2

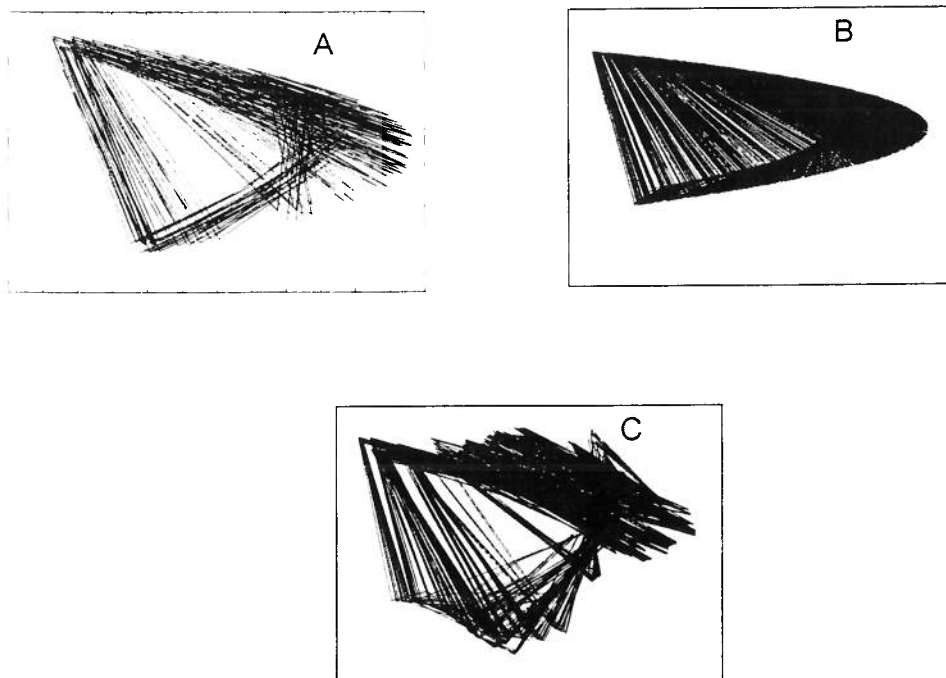


figura 2 - Aplicação do algoritmo de redução de ruído ao mapa de Hénon sem ruído (A) , com 1% de ruído (B) e filtrado (C).

4. BIBLIOGRAFIA

- Abarbanel, H.D.I; Brown, R; Sidorowich, J.J & Tsimring, L.S. (1993). “ *The analysis of observed chaotic data in physical systems*”. **Rev. Mod. Phys.** **65(4)**:1331-1392
- Cawley, R. & Hsu, G.H (1992). “*Local-geometric-projection method for noise reduction in chaotic maps and flows*” **Phys.Rev.A**, **46(6)**: 3057-3082
- Eckmann, J.P.; Kamphorst, S.º; Ruelle, D. & Ciliberto, S. (1986) “Lyapunov exponents from time series”. **Phys. Rev. A**, **34(6)**: 4971-4979.
- Farmer, J.D. & Sidorowich, J.J (1987). “Predicting chaotic time series”. **Phys. Rev. Lett.**, **59(8)**: 845-848.
- Hammel, S.M. (1990). “A noise reduction method for chaotic systems”.**Phys. Lett.****148(8,9)**: 421-428
- Kosterlich, E.J.; & York, J.A. (1988)”Noise reduction in dynamical systems”. **Phys.Rev.A**, **38(3)**: 1649-1652.
- Kosterlich, E.J.; & York, J.A. (1990)”Noise reduction finding the simplest dynamical system consistent with the data”. **Physica D**, **41**: 183-196.

5. Apêndice

```
c*****
c      program filtro
c Programa de reducao de ruidos em sinais caoticos 2D
c      ERNANE JOSE XAVIER COSTA
c
c      PROGRAMA EM FORTRAM 77 COMPATIVEL EM MAQUINAS
c      SUN Sparc, HP e PC no MS fortram 1.0
c
c
c Referencia basicas
c E.J. Kostelich & J.A Yorke (1990)
c
c
c*****

c  param.f
c      parameter(mxpts=40000)
c
c      real*8 x(maxpts), y(mxpts)
c      real*8 xe(mxpts), ye(mxpts)
c      real*8 epslon, distfit
c      real*16 Efit, Eruido
c      integer is(mxpts), ipos(mxpts), ipontos, Nerr
c      integer vb(2000), npball, nler
c
c      common /dados/x,y,epslon,distfit,xe,ye
c      common /dinteger/is,ipos,ipontos,Nerr,nler
c      common /dreal16/Efit,Eruido
c      common /dlinear/vb,npball

c
c      include 'param.f'
c      character in*25,out*25
c      common /arq/in,out
c
c      Inicializa algumas variáveis gerais
c
c      Efit=0.0
c      Eruido=0.0
```

```

Nerr=0
c
c   Le parametros
c
write(*,*)'De ipontos,L,epsilon,distfit(dist max de fit)'
read(*,*)ipontos,L,epsilon,distfit
write(*,*)
write(*,*)ipontos,L,epsilon,distfit
read(*,5)in
read(*,5)out
5 format(1A25)
L2=L*L
Lp1=L+1
L2mLm1=L2-L-1
c
c   Le serie temporal e faz a grade
c
nler=0
call grade(L)
nler=1
c
c   Encontra a grade com maior no. de pontos
c
npmax=0
do i=Lp1,L2mLm1
    npmax1=ipos(i)-ipos(i-1)
    npmax=max(npmax,npmax1)
end do
c
c   Linealiza os pontos dentro da esfera de raio epsilon
c   nptesfera e'o numero minimo dentro da esfera
c   nptesfera=5
c
c   ix e' a o vetor x(i) de referencia (centro da esfera de raio epsilon)
c
c   npball e'determinado na subrotina ball(), e'o no. de pontos
c   dentro da esfera de raio epsilon
c
nptesfera=5
npballtot=0
itot=0
c
do iter=0,npmax,10
    do i=Lp1,L2mLm1
        i0=ipos(i-1)
        i1=ipos(i)
        i01=i0+1
        np=i1-i0

```

```

        if(np.GE.1) then
c          ix=int(np/2)+i01
            ix=i01+iter
            if(ix.LE.i1) then
                call ball(ix,i,L)
                npballtot=npballtot+npball
                itot=itot+1
                if(npball.GE.nptesfera) then
                    call linear
                end if
            end if
        end if
    end do
    write(*,*)'iteracao',iter
    call grade(L)
end do
    write(*,*)
    write(*,*)'Estatistica das esferas de raio epsilon'
    write(*,*)'No. de esferas contabilizadas',itot
    write(*,*)'No. de pontos tot das esfera-epsilon',npballtot
    write(*,*)'No. medio pts dentro da esfera',1.0*npballtot/itot
c    Imprime estatistica de erros
    Efit=0.
c    Eruido=0.
    Nptt=0
    do i=2,ipontos-1
        Efit=Efit+(x(i)-xe(i))**2+(y(i)-ye(i))**2
c        Eruido=Eruido+er(i)
        Nptt=Nptt+1
    enddo
    Efit=sqrt(Efit/Nptt)
c    Eruido=sqrt(Eruído/Nptt)
c    R=1.0-(Efit/Eruido)
    write(*,*)'No. de pontos ajustados',Nerr
    write(*,*)'Erro do fit ',Efit
        write(*,*)'Nao ha Erro do ruido'
    write(*,*)'Reducao de ruido R nao e possivel calcular '
c
c    Imprime atrator filtrado
c
    open(unit=2,file=out,status='new')
    do i=2,ipontos-1
        write(2,25)x(i),y(i)
    end do
25  format(F15.10,2X,F15.10)
    close(2)
c
c

```

```

end
c*****
c      Final do programa principal
c*****
c
c
c*****
c*****
c
c      subroutine grade(L)
c
c      include 'param.f'
c      character in*25,out*25
c      common /arq/in,out
c
c      Le arquivo de dados (so' le arquivo na 1a. vez)
c
c      if(nler.NE.1) then
c      open(unit=1,file=in,status='old')
c      read(1,*)x(1),y(1)
c      xe(1)=x(1)
c      ye(1)=y(1)
c      xmaxt=x(1)
c      xmint=x(1)
c      ymaxt=y(1)
c      ymint=y(1)
c      write(*,*)xmint,xmaxt,ymint,ymaxt
c      do i=2,ipontos
c      read(1,*)x(i),y(i)
c      xe(i)=x(i)
c      ye(i)=y(i)
c      xmaxt=max(xmaxt,x(i))
c      xmint=min(xmint,x(i))
c      ymaxt=max(ymaxt,y(i))
c      ymint=min(ymint,y(i))
c      end do
c      close(1)
c      end if
c      write(*,*)xmint,xmaxt,ymint,ymaxt
c
c      Faz grade com espacamento delta
c
c      j=0
c      k=0
c      tmin=min(xmint,ymint)
c      tmax=max(xmaxt,ymaxt)
c      delta=(abs(tmin)+abs(tmax))/(L-2)
c      tmin=tmin-delta

```

```

        write(*,*)'tmin=',tmin,' tmax=',tmax,' delta=',delta
c      write(*,*)xmint,xmaxt,ymint,ymaxt
do 20 zy=tmin,tmax,delta
do 20 zx=tmin,tmax,delta
c    icont=0
    xmin=zx
    ymin=zy
    xmax=zx+delta
    ymax=zy+delta
do 30 i=2,ipontos-1
    if(x(i).GT.xmin) then
    if(x(i).LE.xmax) then
    if(y(i).GT.ymin) then
    if(y(i).LE.ymax) then
        j=j+1
        is(j)=i
c      icont=icont+1
    endif
    endif
    endif
    endif
30  continue
    k=k+1
    ipos(k)=j
20  continue
c
c
c
    ipm1=0
    j=0
do i=2,k
    ipm=ipos(i)-ipos(i-1)
    if(ipm.GT.0) then
        ipm1=ipm1+ipm
        j=j+1
    end if
end do
    write(*,*)'No. de seccoes nao vazias',j
    write(*,*)'No. de pontos na grelha',ipm1
    write(*,*)'No. medio de pts por seccao c/ pts',1.0*ipm1/j
    write(*,*)
c
end
c
c
c*****
c*****
c
c
c

```

```

c *****
c *****
c Subrotina ball (acha os pontos dentro da esfera de raio epsilon)
c      call ball(ix,i,L)
c      ix: ponto de referencia
c      ngrade: no. da seccao da grade a linealizar
c      L: grade L x L
c
c
c      subroutine ball(ix,ngrade,L)
c
c      include 'param.f'
c
c      integer npos(0:8)
c
c      define as seccoes vizinhas
c
c      npball=0
c      npos(0)=ngrade
c      npos(1)=ngrade-L
c      npos(2)=ngrade+L
c      npos(3)=ngrade-1
c      npos(4)=ngrade+1
c      npos(5)=npos(1)-1
c      npos(6)=npos(1)+1
c      npos(7)=npos(2)-1
c      npos(8)=npos(2)+1
c
c      x1=x(is(ix))
c      y1=y(is(ix))
c      do i=0,8
c        j0=ipos(npos(i)-1)
c        j1=ipos(npos(i))
c        npts=j1-j0
c        if(npts.GT.0) then
c          j01=j0+1
c          do j=j01,j1
c            distx=x1-x(is(j))
c            disty=y1-y(is(j))
c            dist=distx*distx+disty*disty
c            dist=sqrt(dist)
c            if(dist.LE.epsilon) then
c              npball=npball+1
c              vb(npball)=j
c            end if
c          end do
c        end if
c      end do
c    end if
c  end do

```

```

c
c
c
    end
c
c
c *****
c *****
c   Linealiza pontos dados por minimos quadrados
c
c   subroutine linear
c
c   include 'param.f'
c
c   real*8 sumx1,sumx2,sumx1x2,sumx12,sumx22,sumy1,sumy2,
#   sumx1y1,sumx2y1,sumx1y2,sumx2y2,sum2x1,sum2x2,sum2x1x2,
#   a11,a12,a21,a22,b1,b2,a11m1,a12m1,a21m1,a22m1,b1m1,b2m1,
#   det_a,det_a2,a,bc,d,aux1,aux2,aux3
c   real*8 x1,x2,y1,y2,x1j,x2j,x1m,x2m,x1p,x2p,dist,druido
c
c   data sumx1,sumx2,sumx1x2,sumx12,sumx22,sumy1,sumy2,sumx1y1,
#   sumx2y1,sumx1y2,sumx2y2,sum2x1,sum2x2,sum2x1x2/0.,0.,
#   0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,
#   0.,0.,0.,0./
c
c   Faz as somatorias de  $y = Ax + b$  para L(i) (A:matriz e; y,x,b:vetores)
c
c   do i=1,npball
c       ivb=vb(i)
c       x1=x(is(ivb))
c       x2=y(is(ivb))
c       y1=x(is(ivb)+1)
c       y2=y(is(ivb)+1)
c       write(*,*)'x1,x2,y1,y2'
c       write(*,*)x1,x2,y1,y2
c       sumx1=sumx1+x1
c       sumx2=sumx2+x2
c       sumx1x2=sumx1x2+x1*x2
c       sumx12=sumx12+x1*x1
c       sumx22=sumx22+x2*x2
c       sumy1=sumy1+y1
c       sumy2=sumy2+y2
c       sumx1y1=sumx1y1+x1*y1
c       sumx2y1=sumx2y1+x2*y1
c       sumx1y2=sumx1y2+x1*y2
c       sumx2y2=sumx2y2+x2*y2
c   end do

```

```

    sum2x1=sumx1*sumx1
    sum2x2=sumx2*sumx2
    sum2x1x2=sumx1x2*sumx1x2
c
c    Calculo do determinante det_a para inverter matriz de L(i)
c
    det_a=2*sumx1*sumx2*sumx1x2-sumx12*sum2x2-sum2x1*sumx22
    det_a=det_a+npball*(sumx12*sumx22-sum2x1x2)
c
c    Calcula os coeficientes a11,a12,a21,a22,b1 e b2 de L(i)
c
    aux1=sumx12*sumx22-sum2x1x2
    aux2=sumx2*sumx1x2-sumx1*sumx22
    aux3=sumx1*sumx1x2-sumx2*sumx12
c
    b1=(aux1*sumy1 + aux2*sumx1y1 + aux3*sumx2y1)/det_a
    b2=(aux1*sumy2 + aux2*sumx1y2 + aux3*sumx2y2)/det_a
c
    aux1=sumx1x2*sumx2-sumx1*sumx22
    aux2=npball*sumx22-sum2x2
    aux3=sumx2*sumx1-npball*sumx1x2
c
    a11=(aux1*sumy1 + aux2*sumx1y1 + aux3*sumx2y1)/det_a
    a21=(aux1*sumy2 + aux2*sumx1y2 + aux3*sumx2y2)/det_a
c
    aux1=sumx1*sumx1x2-sumx12*sumx2
    aux2=sumx1*sumx2-npball*sumx1x2
    aux3=npball*sumx12-sum2x1
c
    a12=(aux1*sumy1 + aux2*sumx1y1 + aux3*sumx2y1)/det_a
    a22=(aux1*sumy2 + aux2*sumx1y2 + aux3*sumx2y2)/det_a
c
c
c*****
c    Faz as somatorias de y=Ax+b para L(i-1) (A:matriz e; ,x,b:vetores)
c*****
c
c    Zera as somatorias p/ calcular L(i-1)
    sumx1=0.
    sumx2=0.
    sumx1x2=0.
    sumx12=0.
    sumx22=0.
    sumy1=0.
    sumy2=0.
    sumx1y1=0.
    sumx2y1=0.
    sumx1y2=0.

```

```

sumx2y2=0.
sum2x1=0.
sum2x2=0.
sum2x1x2=0.
c
do i=1,npball
  ivb=vb(i)
  x1=x(is(ivb)-1)
  x2=y(is(ivb)-1)
  y1=x(is(ivb))
  y2=y(is(ivb))
c   write(*,*)'x1,x2,y1,y2'
c   write(*,*)x1,x2,y1,y2
  sumx1=sumx1+x1
  sumx2=sumx2+x2
  sumx1x2=sumx1x2+x1*x2
  sumx12=sumx12+x1*x1
  sumx22=sumx22+x2*x2
  sumy1=sumy1+y1
  sumy2=sumy2+y2
  sumx1y1=sumx1y1+x1*y1
  sumx2y1=sumx2y1+x2*y1
  sumx1y2=sumx1y2+x1*y2
  sumx2y2=sumx2y2+x2*y2
end do
  sum2x1=sumx1*sumx1
  sum2x2=sumx2*sumx2
  sum2x1x2=sumx1x2*sumx1x2
c
c   Calculo do determinante det_a para inverter matriz
c
c
c   Calcula os coeficientes a11m1,a12m1,a21m1,a22m1,b1m1 e b2m1 de
L(i-1)
c
  det_a=2*sumx1*sumx2*sumx1x2-sumx12*sum2x2-sum2x1*sumx22
  det_a=det_a+npball*(sumx12*sumx22-sum2x1x2)
c   write(*,*)'det_a L i-1',det_a
c
c   Calcula os coeficientes a11,a12,a21,a22,b1 e b2 de L(i)
c
  aux1=sumx12*sumx22-sum2x1x2
  aux2=sumx2*sumx1x2-sumx1*sumx22
  aux3=sumx1*sumx1x2-sumx2*sumx12
c
  b1m1=(aux1*sumy1 + aux2*sumx1y1 + aux3*sumx2y1)/det_a
  b2m1=(aux1*sumy2 + aux2*sumx1y2 + aux3*sumx2y2)/det_a
c

```

```

aux1=sumx1x2*sumx2-sumx1*sumx22
aux2=npball*sumx22-sum2x2
aux3=sumx2*sumx1-npball*sumx1x2
c
a11m1=(aux1*sumy1 + aux2*sumx1y1 + aux3*sumx2y1)/det_a
a21m1=(aux1*sumy2 + aux2*sumx1y2 + aux3*sumx2y2)/det_a
c
aux1=sumx1*sumx1x2-sumx12*sumx2
aux2=sumx1*sumx2-npball*sumx1x2
aux3=npball*sumx12-sum2x1
c
a12m1=(aux1*sumy1 + aux2*sumx1y1 + aux3*sumx2y1)/det_a
a22m1=(aux1*sumy2 + aux2*sumx1y2 + aux3*sumx2y2)/det_a
c
c
c*****
c Ajuste auto-consistente da trajetoria - minimizando somatoria das
c distancia
c*****
c
a=2+a11*a11+a21*a21
bc=a11*a12+a21*a22
d=2+a12*a12+a22*a22
det_a2=a*d-bc*bc
c
do i=1,npball
    ivb=vb(i)
    x1=x(is(ivb))
    x2=y(is(ivb))
    x1m=x(is(ivb)-1)
    x2m=y(is(ivb)-1)
    x1p=x(is(ivb)+1)
    x2p=y(is(ivb)+1)
    c1=x1+(a11m1*x1m+a12m1*x2m+b1m1)+a11*x1p+a21*x2p-a11*b1-
a21*b2
    c2=x2+(a21m1*x1m+a22m1*x2m+b2m1)+a12*x1p+a22*x2p-a12*b1-
a22*b2
c
c Novo ponto obtido pelo ajuste auto-consistente
c
    x1j=(d*c1-bc*c2)/det_a2
    x2j=(a*c2-bc*c1)/det_a2
c
c Verifica se a distancia entre o ponto obtido no ajuste
c e o antigo e' menor que epslon, se for menor aceita
c e se nao for nao aceita
c
    x1=xe(is(ivb))
    x2=ye(is(ivb))

```

```

x1m=xe(is(ivb)-1)
x2m=ye(is(ivb)-1)
x1p=xe(is(ivb)+1)
x2p=ye(is(ivb)+1)
  dist=(x1-x1j)**2+(x2-x2j)**2
  dist=sqrt(dist)
  if(dist.LE.distfit) then
    x(is(ivb))=x1j
    y(is(ivb))=x2j
    Nerr=Nerr+1
  end if
end do
c
c
c
  end
c
c *****
c *****
c *****

```

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- BT/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Preditor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Condutoras: Cálculo do Campo Próximo - LUIZ CEZAR TRINTINÁLIA, ANTONIO ROBERTO PANICALI
- BT/PEE/9304 - Sistema de Otimização e Controle de Produção em Minas de Pequeno e Médio Porte - TSEN CHUNG KANG, VITOR MARQUES PINTO LEITE
- BT/PEE/9401 - Determinação das Frases de Aplicação Forense para o projeto NESPER e Tese de Mestrado IME/94, com Base em Estudos Fonéticos - MARCONI DOS REIS BEZERRA, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9402 - Implementação e Teste de uma Rede Neural Artificial do Tipo KSON (Kohonen Self-Organizing Network) com Entradas Bidimensionais - MARCELO YASSUNORI MATUDA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9403 - Transformada de Walsh e Haar Aplicadas no Processamento de Voz - ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, THIAGO ANTONIO GRANDI DE TOLOSA, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9404 - Aplicação de Redes Neurais ao Problema de Reconhecimento de Padrões por um Sonar Ativo - ALEXANDRE RIBEIRO MORRONE, CRISTINA COELHO DE ABREU, EDUARDO KOITI KIUKAWA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9405 - Tudo que se Precisa Saber sobre a Prática da FFT - Transformada Rápida de Fourier (Inclui Software) - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9406 - A Survey on Speech Enhancement Techniques of Interest to Speaker Recognition - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9407 - Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, MÁRCIO A. MATHIAS, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9408 - Implementação e Teste de Filtros do Tipo Adaptativo e "Notch" para a Remoção de Interferência de 60 Hz em Sinais de Eletrocardiograma - FLÁVIO ANTÔNIO MENEGOLA, JOSÉ AUGUSTO DE MATTOS, JOSÉ GOMES G. FILHO, SIDNEY SILVA VIANA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9409 - Compressão de Sinais de Voz utilizando Transformadas de Karhunen-Loève, Fourier e Hadamard - IVAN LUIS VIEIRA, LUIZ FERNANDO STEIN WETZEL, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9410 - "Ray Tracing" Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para "Gate-Arrays" Tipo Mar de Portas - JORGE W. PERLAZA PRADO, WILHELMUS A. M. VAN NOIJE
- BT/PEE/9412 - Tudo que se Precisa Saber Sobre a Teoria da FFT - Transformada Rápida de Fourier - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9413 - Análise do Ruído Sonoro em uma Sala de Aquisição de Amostras de Som com Microcomputador - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9414 - Cor: Aspectos Relevantes para Visualização de Dados - SÍLVIA DELGADO OLABARRIAGA
- BT/PEE/9415 - Projeto de Filtros Digitais IIR com Fase Aproximadamente Linear Utilizando Redução de Ordem - IVAN F. J. RODRIGUES, MAX GERKEN
- BT/PEE/9416 - GERAFILTRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais "IIR" (da especificação em alto nível ao leiaute do "ASIC") - RICARDO PIRES, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9417 - Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9501 - Estudo Comparativo de Métodos de Cálculo da Frequência Fundamental - MARCOS COSTA HUNOLD, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9502 - Combinando Técnicas de Redes Neurais Artificiais e Informações de Excitação no Reconhecimento Automático do Locutor - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9503 - Utilização de Redes Neurais Artificiais para Detecção e Identificação de Falhas em Circuitos - MÁRCIO YUKIO TERUYA, ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9504 - Uso de Redes Neurais Artificiais no Reconhecimento de Locutores no Domínio Temporal - BENEDITO JOSÉ BARRETO FONSECA JÚNIOR, EUVALDO CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9505 - Projeto de Filtros Passivos e Ativos em Técnicas de Circuitos Integrados de Microondas - DAVID VIVEIROS JÚNIOR, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9506 - Uma Análise de *Clustering* para as Frases de Projeto NESPER - RONALDO OLIVEIRA MESSINA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9507 - Controle com Estrutura Variável e Modos Deslizantes - Um Estudo para Aplicação em Controle Carga-frequência da Geração - JOSE PAULO F. GARCIA, JOCELYN FREITAS BENNATON
- BT/PEE/9508 - Recuperação das Margens de Ganho e de Fase para Sistemas de Fase Não Mínima por Realimentação da Saída - MARCO H. TERRA, VITOR M. P. LEITE
- BT/PEE/9509 - Sistema de Inspeção Óptica de Dispositivos Bi-Dimensionais - CASIMIRO DE ALMEIDA BARRETO, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ
- BT/PEE/9510 - Sistema de Partículas Uma Poderosa Técnica de Animação em Computação Gráfica - RENATO CURTO RODRIGUES, JOÃO ANTÔNIO ZUFFO
- BT/PEE/9511 - Efeito de Ruídos em Sinais de Voz Visualizados em Trajetórias Neurais de Kohonen - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9601 - "Um Reconhecedor de Sinais Sonoros Utilizando LVQ" - ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9602 - "Coleção Artificial Neural Networks: Uma Visão Geral dos Sistemas Neurais Artificiais de Stephen Grossberg" - CHIU HSIUNG HUANG
- BT/PEE/9603 - "Reactively-Sputtered TIN Formation Using a RF Magnetron System" - SÉRGIO PAULO AMARAL OSÓRIO, LUIZ SÉRGIO ZASNICOFF
- BT/PEE/9604 - Aspectos em Tradução de Linguagens Naturais Através de Redes Neurais Artificiais - CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9605 - Implementação de Blocos Passa-Tudo Utilizando Realimentação de Erro - SÉRGIO JOSÉ CARNEIRO LEÃO, MAX GERKEN
- BT/PEE/9606 - Coleção *SANN group* Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Sakoe - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9607 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Steinbuch - ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9608 - Desenvolvimento de uma Estrutura de Duplo Nível de Metal para a Confeção de Interconexões em Circuitos Integrados - JOSÉ AUGUSTO DE ALENCAR PEREIRA, LUIZ CARLOS MOLINA TORRES

BT/PEE/9609 - Determinação de Parâmetros de Processo para Fotomáscara "Balzers" Utilizando Gerador de Padrões - JORGE SEKI, MEGUMI SAITO

BT/PEE/9610 - Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos - PEDRO F. ROSA, JOÃO A. ZUFFO

BT/PEE/9611 - Interpretações Teóricas do Funcionamento Cerebelar: Uma Revisão - MARCUS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FÁBIO KOHN

BT/PEE/9612 - Marcapasso Cardíaco Temporário Microcontrolado de Demanda e Baixo Consumo - FLAVIO ANTONIO MENEGOLA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9613 - Um Sistema de Planejamento de Ação Baseado em Casos para uma Célula Flexível de Manufatura - RICARDO LUIS DE FREITAS, MÁRCIO RILLO

BT/PEE/9614 - Aplicações do Boundary-Scan para o Teste de Módulos Multichip - ROBERTO C. COSSI JR., JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS

BT/PEE/9615 - A 2.488 Gb/s GaAs 1:4/1:16 Demultiplexer IC with Skip Circuit for Sonet STS-12/48 Systems - TAUFIK ABRÃO, FATIMA S. CORRERA

BT/PEE/9616 - Uma Contribuição para a Construção de Algoritmos em Projetos de Redes - ALLAN DE SOUZA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA

BT/PEE/9617 - Análise Crítica dos Métodos de Medição do Intervalo QT do Eletrocardiograma - SÍDNEY DA SILVA VIANA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9618 - Deposição e Caracterização de Filmes de SiO₂ Crescidos pela Técnica de PECVD a Baixa Temperatura - MARCO ALAYO CHÁVEZ, INÉS PEREYRA

BT/PEE/9619 - PARSTOOL: Uma Ferramenta de Auxílio à Simulação de Sistemas Paralelos - LI KUAN CHING, LIRIA MATSUMOTO SATO

BT/PEE/9620 - Análise de um Método de Otimização por Malha no Treinamento de Robôs - OLÍMPIO MURILO CAPELI, JOSÉ CARLOS T. B. MORAES, SADA O ISOTANI

BT/PEE/9701 - Identification of Unstable Mechanical Systems - ROBERTO MOURA SALES, ANSELMO BITTAR, MICHAEL PORSCHE, LAÉRCIO LUCCHESI

BT/PEE/9702 - Analysis of the Subthreshold Slope Transition Region in SOI nMOSFET - VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO

BT/PEE/9703 - Introduction of the SOI MOSFET Dimensions in the High-Temperature Leakage Drain Current Model - MARCELO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE

BT/PEE/9704 - Controle de Largura de Banda Dinâmica para Transmissões *Multicast* para Redes de Alta Velocidade - SANG SOON LEE, SERGIO TAKEO KOFUJI

BT/PEE/9705 - Uma Modificação Proposta para o Controle Preditivo Generalizado com Filtro de Kalman - JAIME QUINTERO R., OSWALDO L. V. COSTA

BT/PEE/9706 - Aplicações de Redes Neurais em Previsões Financeiras - OLÍMPIO MURILO CAPELI, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9707 - Sistema Microcontrolado, Multicanal e Portátil para Estimulação Neuromuscular Funcional - ROGÉRIO QUIARIM ZARZA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9708 - Requisitos para o Mapeamento Tecnológico em Projetos de Microeletrônica - LUCIANO DE OLIVEIRA CORRÊA DE BRITO, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS

BT/PEE/9709 - Sistemas PRMA com Dados Acoplados - JOSÉ AUGUSTO DE LIMA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY

BT/PEE/9710 - Algoritmos Genéticos (AG's) para a Otimização de Controladores Nebulosos - JULIO CESAR CEBALLOS AYA, OSWALDO L. V. COSTA