

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
 Detecção de eventos

## Detecção de Eventos: sinais biológicos

Prof. Sérgio S Furuie

PTC/ LEB - S.Furuie

Ref. específicas: cap. 4 – Event Detection, Rangayyan

2

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
 Detecção de eventos

## Plano de aula

- Motivação: projetos
- Metodologias
  - Baseada em derivadas
  - Matched filter
  - Correlação

PTC/ LEB - S.Furuie

3

3

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
 Detecção de eventos

## Batimentos normais?

Arritmias, morfologias das ondas, ...  
 Holter: 24 horas (~ 100.000 batimentos)

Bloqueio do ramo esquerdo

PTC/ LEB - S.Furuie

5

5

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
 Detecção de eventos

## Estímulo

- Nodo Sinusal (SA)
  - limiar a -55 mV
- Fibras internodais
  - vias mais rápidas
- Nodo e fibra AV (atraso de ~90ms) => bomba de escorva dos átrios
- Fibras de Purkinje
  - 1.5 a 4 m/s
  - músculo: 0.3 a 0.5 m/s
- Período refratário ~ 180 ms

Fig. 10.4 Transmissão do impulso cardíaco pelo coração, mostrando tempo de aparecimento (em frações de segundo) do impulso em diferentes partes do coração.

fonte: Guyton, Koogan, 1997

PTC/ LEB - S.Furuie

8

8

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
 Detecção de eventos

## Detetor de Balda

PTC/ LEB - S.Furuie

20

20

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
 Detecção de eventos

## Diagrama do projeto

```

    graph LR
      A[Physionet N sinais  
1) Média e dp de cada sinal] --> B[Filtro passa-baixa  
FIR=media de 8, fc=20Hz  
1) módulo e fase do filtro]
      B --> C[Filtro passa-alta  
IIR, Butterworth, ordem=4  
fc=5Hz  
1) módulo e fase do filtro]
      C --> D[Normalização  
S(i)=s(i)/max  
1) Média e dp de cada sinal]
      D --> E[Detetor da equipe  
1) Balda1  
2) Murthy1  
3) Pan-Tompkins1  
4) Correlação1  
5) Filtro casado1  
...]
      E --> F[Avaliação  
1) Tabela (ver slide)  
2) Análise]
  
```

Obs.: atentar que a frequência de amostragem dos sinais da base é 360 Hz

PTC/ LEB - S.Furuie

21

21

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Processamento

Qual a diferença entre processamento em tempo real online; e off line?

- Tempo-real
  - Resultados devem ser obtidos antes da próxima amostra
  - Não tem informações completas sobre mínimos, máximos, etc
  - Algoritmos mais complexos (adaptativos, ...)
- Online
  - Tolera delay de acordo com aplicações
  - Possível aprender e usar dados históricos (janela de tempo)
- Off line
  - Dados completos do início ao fim
  - Pode usar algoritmos mais robustos

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 22

22

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Método de Balda

- Aplicar o método das 1ª e 2ª derivadas (Balda, pg. 183 do Rangayyan)
- Tempo real e Off-line
- E se on-line com tolerância de 1 s?
- E se em tempo real?

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 23

23

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Balda

- filtro passa-baixa (Butterworth, N=8, fa=200, fc=90, notch=60)
- Normalizar
- $y_0(n) = |x(n) - x(n-2)|$  (1ª. Derivada: [1 0 -1])
- $y_1(n) = |x(n) - 2x(n-2) + x(n-4)|$  (2ª. Derivada, deduzir)
- $y_2(n) = 1.3y_0(n) + 1.1y_1(n)$

Obs.:

- ECG original foi normalizada em amplitude
- desloca fase
- não foi filtrada linha de base
- Como detectar início e fim?
- Tempo real? Treinamento adaptativo?

Atenção que a freq. amostr. dos projetos é 360Hz!

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 24

24

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Deteção do QRS => ver ex. Matlab

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 25

25

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Método de Murthy

- método de Murthy e Rangaraj (pg. 185 do Rangayyan)
- Tempo real e Off-line
- E se on-line com tolerância de 1 s?
- E se em tempo real?

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 26

26

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Murphy/Rangaraj

- Filtrar (Butterworth, passa-baixa, N=8, fc=40Hz) e normalizar
- Obter várias "derivadas" deslocadas  $y_i$ 

$$y_i(n) = |x(n-i+1) - x(n-i)|^2 \cdot (N-i+1)$$

1ª derivada ao quadrado, com ponderação decrescente p/ distancia temporal da derivada (Ex.: N=8)

$$y_1(n) = |x(n) - x(n-1)|^2 \cdot (8)$$

$$y_2(n) = |x(n-1) - x(n-2)|^2 \cdot (8-1)$$

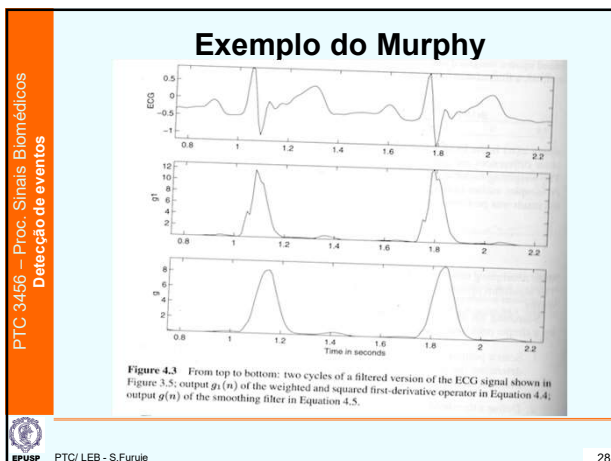
...

$$y_8(n) = |x(n-7) - x(n-8)|^2 \cdot (8-7)$$
- Obter média de  $y$  (N=8)
 
$$g_1(n) = y_1(n) + y_2(n) + \dots + y_8(n)$$
- smoothing de  $g_1$  usando média móvel
 
$$g(n) = (g_1(n) + g_1(n-1) + \dots + g_1(n-M+1)) / M$$
- Busca de início e fim (threshold=0.5  $g_{max}$ )

Obs.: - tempo real?

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 27

27



28

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

### Pan-Tompkins

- método de Pan-Tompkins (pg.187 do Rangayyan) p/ tempo-real
- E se on-line com tolerância de 1 s?
- E se Off-line?

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 29

29

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

### Pan-Tompkins

1. Filtro passa-faixa (5 a 11 Hz) usando filtros passa-baixa e passa-alta com delay de 16 amostras  $\Rightarrow x(n)$
2. Derivada  $\Rightarrow u(n)$
3. Squaring  $\Rightarrow u^2(n)$
4. Integrador (média móvel em  $N=30$ )  $\Rightarrow y(n)$
5. Threshold adaptativo p/ amplitude e tempo
  - Limiar para QRS e não-QRS
  - Check para IRR (busca de QRS perdido)

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 30

30

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

### Pan-Tompkins: limiar adaptativo

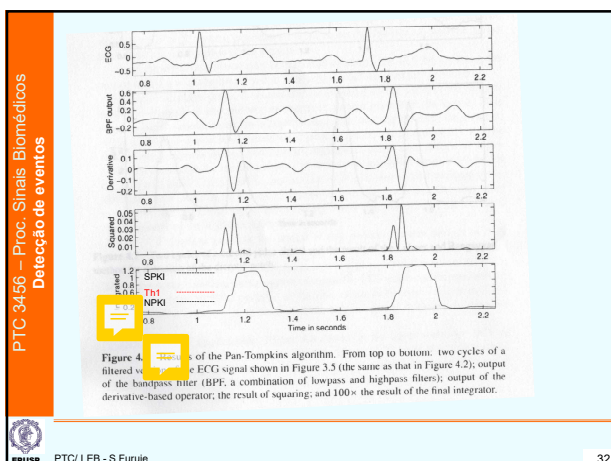
Candidato a Pico: caso sinal pre-processado **y** muda de direção (muda sinal da derivada). Note que  $y$  é maior ou igual a 0, pois é média de valores positivos.

- If ( $y > \text{THRESHOLD\_I1}$ ) then
  - {  $y$  é QRS  $\Rightarrow$  atualizar o valor do pico padrão
  - $\text{SPKI} = 0.125 y + 0.875 \text{SPKI}$  (notar que é filtro AR p/ SPKI)
- Se ruído  $\Rightarrow$  atualizar o nível do ruído
  - $\text{NPKI} = 0.125 y + 0.875 \text{NPKI}$  (notar que é filtro AR p/ NPKI)
- E atualizar os thresholds
  - $\text{THRESHOLD\_I1} = \text{NPKI} + 0.25(\text{SPKI} - \text{NPKI})$
  - $\text{THRESHOLD\_I2} = 0.5 \text{THRESHOLD\_I1}$
- Caso o IRR seja maior do que um limite também adaptativo, procura-se retroativamente, com  $\text{THRESHOLD\_I2}$  e atualiza SPKI

Como inicializar SPKI e NPKI?

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 31

31



32

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

### Detecção por coef. correlação

1. Obter referência do evento:  $r(n)$   $n=0, R-1$
2. Obter coef. de correlação ao longo de  $x(n)$ , i.e.,  $\rho_{r,y}(k)$ ;  $y(n) = x(n-k)$ ;  $n=0: R-1$
3. Aplicar threshold (p. ex. 0,50)
4. Se quiser, corrigir atraso
5. Determinar o início e o fim de cada evento
6. Se online?

Note que pode-se usar correlação sobre sinal obtido a partir do Original: filtrado, normalizado, combinado, ...

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 33

33

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Correlação entre sinais reais

Correlação cruzada:  $x(n)$  e  $h(n)$

$$R_{xh}(k) = \sum_{n=0}^{N-1-k} x(n) \cdot h(n-k)$$

Coefficiente de correlação ao longo do sinal

- Normalizado entre [0,1]
- Extraídas as médias
- Normalizado pelo d. padrão

$$\rho_{xh} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (x(n) - \mu_x)(h(n) - \mu_h)}{\sigma_x \cdot \sigma_h} = \frac{\text{cov}(x, h)}{\sigma_x \cdot \sigma_h}$$

$\sigma_x, \sigma_h$ : desvio padrão

Matlab: `xcorr(x,h)`, `corrcoef(x,h)`

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule

34

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Matched filter

- método do filtro casado (pg.204 do Rangayyan)
- usar o primeiro QRS como referência
- E se on-line com tolerância de 1 s?

Note que pode-se usar também este método sobre sinal obtido a partir do Original: filtrado, normalizado, combinado, ...

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule

38

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Correlação e matched filter

$$R_{xh}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau+t) \cdot h^*(t) \cdot dt$$

Se  $x(t)$  e  $h(t)$  forem reais:

$$R_{xh}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau+t) \cdot h(t) \cdot dt$$

Note que:

$$R_{xh}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau+t) \cdot h(t) \cdot dt = \int_{-\infty}^{\infty} x(t') \cdot h(t' - \tau) \cdot dt'$$

$$R_{xh}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t' - \tau) \cdot x(t') \cdot dt' = R_{hx}(-\tau)$$

Se definirmos  $h_1(t) = h(-t)$ , teremos:

$$R_{xh}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h_1(\tau - t') \cdot x(t') \cdot dt' \equiv (h_1 * x)(\tau) = (h(-t) * x(t))(\tau)$$

A correlação entre sinal  $x(t)$  e um template  $h(t)$  em um ponto  $t_0$ :

- Corresponde à convolução entre  $x(t)$  e  $h(-t)$
- É a saída de um filtro com resposta impulsiva  $h(-t)$

$x(n) \rightarrow h(-n) \rightarrow y(n)$

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule

40

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Filtro casado no tempo: causal

- Obter referência do evento:  $r(n)$   $n=0, R-1$
- $h(n)=r(R-n)$
- $y(n)$ : resposta ao filtro  $y(n) = \sum_{k=0}^R h(k) \cdot x(n-k)$
- Aplicar threshold (p. ex. 50% do máximo)
- Se quiser, corrigir atraso
- Determinar o início e o fim de cada evento

$x(n) \rightarrow r(-n) \rightarrow y(n)$

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule

43

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Função Correlação cruzada no domínio da frequência

- $x(n)$ ,  $n=0, N-1$
- Obter referência do evento:  $r(n)$   $n=0, R-1$
- Zero padding em  $x(n)$  e  $r(n)$ ,  $n=0, N1-1$ ;  $N1 \geq N+R-1$
- $R(f)=FFT(r(n))$
- $X(f)=FFT(x(n))$
- $Y(f)=X(f) \cdot R^*(f)$  (p/ realizar correlação)
- $y(n)=FFT^{-1}(Y)$
- Aplicar threshold
- Se quiser, corrigir atraso ou usar R.R\*
- Determinar o início e o fim de cada evento

Note que não é coef. de correlação cruzada normalizada

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule

44

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

## Deteção: filtro casado

$x(n) \rightarrow h(n)=r(-n) \rightarrow y(n)$

Solução no domínio do tempo:

$$x(n), n = 1, N$$

$$r(n), n = 1, M \text{ (referenc. } M < N)$$

$$y(n) = h(n) * x(n)$$

onde  $h(n) = r(-n)$

ou

$$y = \text{filter}(h, 1, x)$$

ou

$$y = \text{filtfilt}(h, 1, x)$$

Solução no domínio da frequência:

$$x(n), n = 1, N$$

$$r(n), n = 1, M \text{ (referenc. } M < N)$$

$$y(n) = h(n) * x(n)$$

onde  $h(n) = r(-n)$

$$X = FFT(x) \text{ (x : zero - padded)}$$

$$R = FFT(r) \text{ (r : zero - padded)}$$

$$Y = H \cdot X = R^* \cdot X$$

$$y(n) = IFFT(Y)$$

(zero - padded p/  $N1 \geq M + N - 1$ )

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule

45

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

### Resumindo: detecção de QRS

- Detectores baseado em derivadas (eventos com mudança rápida)
  - Balda
  - Murphy/Rangaraj
  - Pan/Tompkins
- Detectores baseado em correlação (similaridade)
  - Coeficiente de correlação
  - Correlação cruzada
  - Filtro casado no domínio do tempo
  - Filtro no domínio da frequência

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 46

46

PTC 3456 – Proc. Sinais Biomédicos  
Detecção de eventos

### Bibliografia

- Biomedical Signal Analysis. R.M. Rangayyan. Wiley Interscience, 2002
- Signals and Systems (2nd Edition) A.V. Oppenheim, A. S. Willsky, S. H. Nawab  
Hardcover: 957 pages. Publisher: Prentice Hall; 1996. ISBN-10: 0138147574.

EPUSP PTC/ LEB - S.Furule 60

60