

# 视觉诱发脑电波的时变最优滤波估计

华建兴

(中国纺织大学一系,上海)

唐渝

(浙江大学,杭州)

吕维雪

## 摘要

本文提出了一个自修正的非平稳信号模型,并设计了时变最优滤波器于视觉诱发脑电波的估计。估计出的信号与原始信号的各波峰潜伏期严格保持一致,而波峰幅值略有衰减。给出的仿真与实体试验结果都证明了本方法的有效性。

**关键词:** 时变最优滤波,视觉诱发脑电波,非平稳信号模型,协方差。

## 一、引言

获取对视觉诱发脑电波估计的一般方法是迭加平均,但其结果无法反映出每次刺激所得波形的变异性<sup>[1]</sup>。如果用维纳滤波改善波形估计,则要求信号与噪声是平稳的随机过程,而视觉诱发脑电波严格说来是一非平稳的随机信号,故效果较差<sup>[2]</sup>,其非平稳性主要表现为信号波形中各波峰的幅值与潜伏期在一定范围内是随机变化的<sup>[3]</sup>。本文提出了可修正的非平稳信号模型,并依此设计了时变最优滤波器用于波形估计。由信号模型计算出实现滤波器所需的信号协方差阵,而实现滤波器所需的数据协方差则根据对数据的不等加权实现。故在理想情况下,当噪声为白色时,可用单样本数据估计出信号波形,实体试验时,可用五组样本数据实现滤波器并估计出信号波形。

## 二、滤波器的设计与实现

### 1. 时变滤波器

时变滤波器是指滤波器系数随时间而变化。设记录数据为  $x(k)$ , 信号为  $s(k)$ , 自发脑电噪声为  $n(k)$ , 则有

$$x(k) = s(k) + n(k).$$

这里假设  $s(k)$  与  $n(k)$  是相互独立的,且  $n(k)$  为零均值。

使数据通过时变滤波器之后,可得到信号估计值  $\hat{s}(k)$

$$\hat{s}(k) = \sum_{i=1}^N h_k(i)x(i), \quad (1)$$

写成矩阵形式

$$\hat{\mathbf{s}} = H\mathbf{x}, \quad (2)$$

$H$ 为滤波系数矩阵,  $\hat{\mathbf{s}}$ 为待估信号矢量,  $\mathbf{x}$ 为数据矢量.

根据均方差极小原理,可得到滤波器系数矩阵

$$H = K_{sx}K_{xx}^{-1}. \quad (3)$$

其中  $K_{sx} = E[\mathbf{s}\mathbf{x}^T]$  为信号与数据的互协方差阵,  $K_{xx} = E[\mathbf{x}\mathbf{x}^T]$  为数据协方差阵.

由对信号及噪声的假设可得

$$K_{sx} = K_{xs}. \quad (4)$$

$K_{ss} = E[\mathbf{s}\mathbf{s}^T]$  为信号协方差阵.

故计算出  $K_{ss}$  及  $K_{xx}$  便可得到  $H$  阵.

## 2. 信号协方差矩阵的计算

### 1) 信号模型.

本文假设视觉诱发脑电波信号是由几个相互独立的随机分量信号组成, 每个随机分量都是正弦半波形的, 且峰值与潜伏期可在一定范围随机变化, 而半波周期可视具体对象而修正. 根据信号模型, 每一随机分量信号为

$$s_i^c(k) = a_i \sin(\omega_i(kT_s - t_i - T_i)), \quad (1 \leq k \leq M_i) \quad (5)$$

$a_i$ : 分量信号的幅值, 随机量.

$\omega_i$ : 分量信号的角频率, 非随机量, 可根据对象修正.

$t_i$ : 分量的潜伏期随机变化量.

$M_i$ : 分量信号的采样点数.

$T_s$ : 采样周期.

$T_i$ : 采样时间补偿, 保证信号模型时间长度与实际信号相一致.

$$T_i = \pi / \omega_{i-1} - M_{i-1}T_s. \quad (6)$$

### 2) $K_{ss}$ 的计算

由信号模型便可计算出信号协方差阵,  $K_{ss}$  中任一元素  $K_{ss}(I, J)$  便为

$$K_{ss}(I, J) = E[s(I)s(J)].$$

若  $s(I)$  相当于信号模型中第  $i_1$  个分量的第  $i_2$  个采样点,  $s(J)$  相当于第  $j_1$  个分量的第  $j_2$  个采样点, 即

$$\begin{aligned} s(I) &= s_{i_1}(i_2), \quad I = \sum_{i=1}^{i_1-1} M_i + i_2, \\ s(J) &= s_{j_1}(j_2), \quad J = \sum_{j=1}^{j_1-1} M_j + j_2. \end{aligned} \quad (7)$$

根据信号模型假设有

$$K_{ss}(I, J) = \begin{cases} E[s_{i_1}(i_2)s_{j_1}(j_2)], & (i_1 = j_1), \\ E[s_{i_1}(i_2)]E[s_{j_1}(j_2)], & (i_1 \neq j_1). \end{cases} \quad (8)$$

### 3. $K_{xx}$ 的计算

考虑到信号的非平稳性, 用对数据的不等加权平均来计算  $K_{xx}$  阵.

$$K_{xx}(i, j) = c \sum_{k=0}^{N-1} x(i+k)x(j+k)f_k. \quad (9)$$

$c$  为平衡因子, 保证当仅有信号时, 滤波器输出与原始信号完全保持一致。

加权因子  $f_k$  是依次按比例减小的, 其含义是非平稳信号, 两不同时刻相关值随其间隔增大而减小。

$$f_k = f_{k-1} \cdot b, \quad (0 < b < 1),$$

$$\sum_{k=0}^{N-1} f_k = 1.$$

得 
$$f_k = d \cdot b^{k-1}, \quad d = \frac{1-b}{1-b^N}. \quad (10)$$

$b$  称为遗忘因子。

这样求得的  $K_{xx}$  阵是对称非负定的, 但并不保证其是非奇异的, 当  $K_{xx}$  为奇异阵时, 则用其伪逆矩阵来实现滤波器。

### 三、实验例子

记录的视觉诱发脑电波迭加计算机产生的伪随机数作为数据样本, 信噪比为  $-6\text{db}$ 。

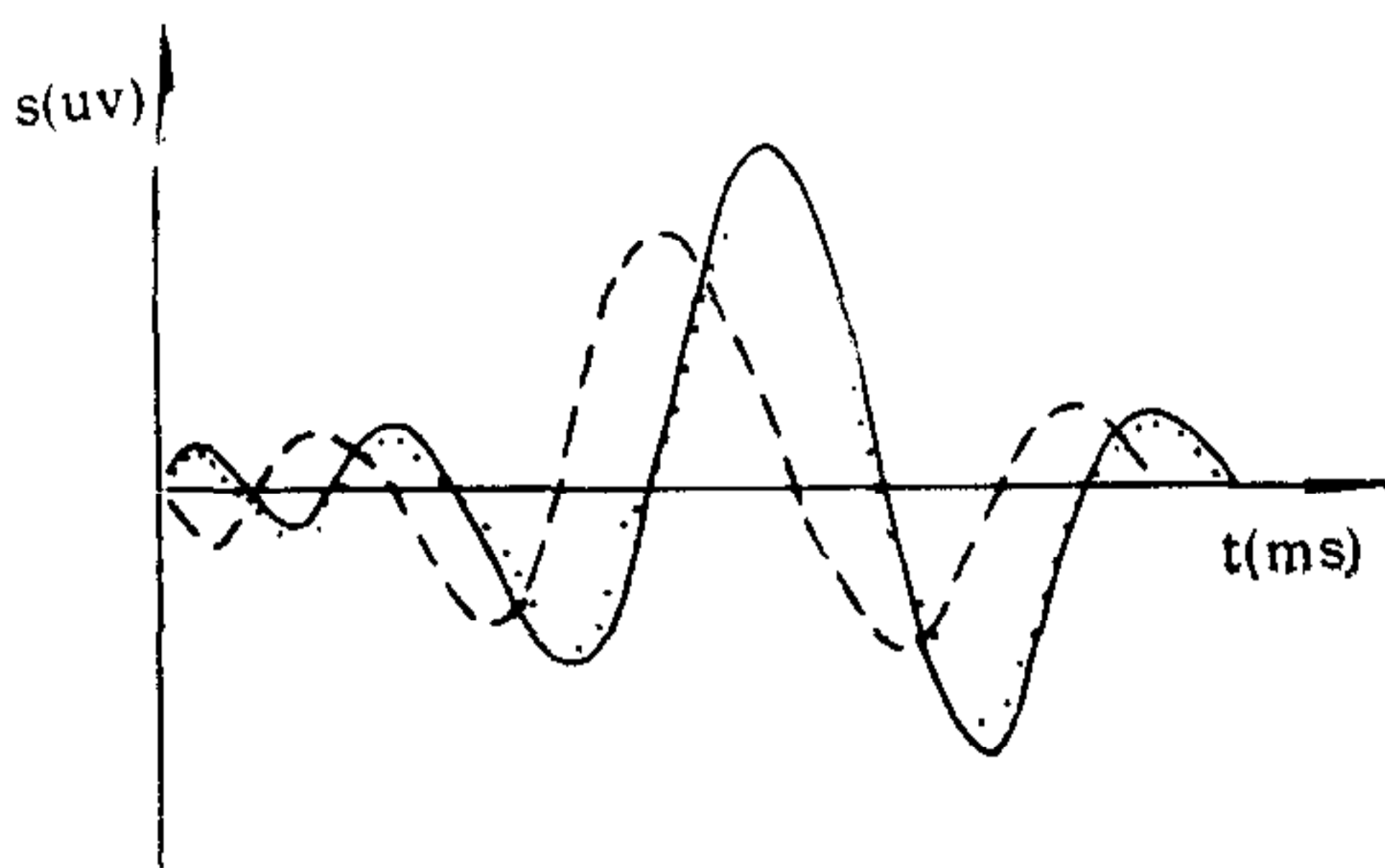


图 1

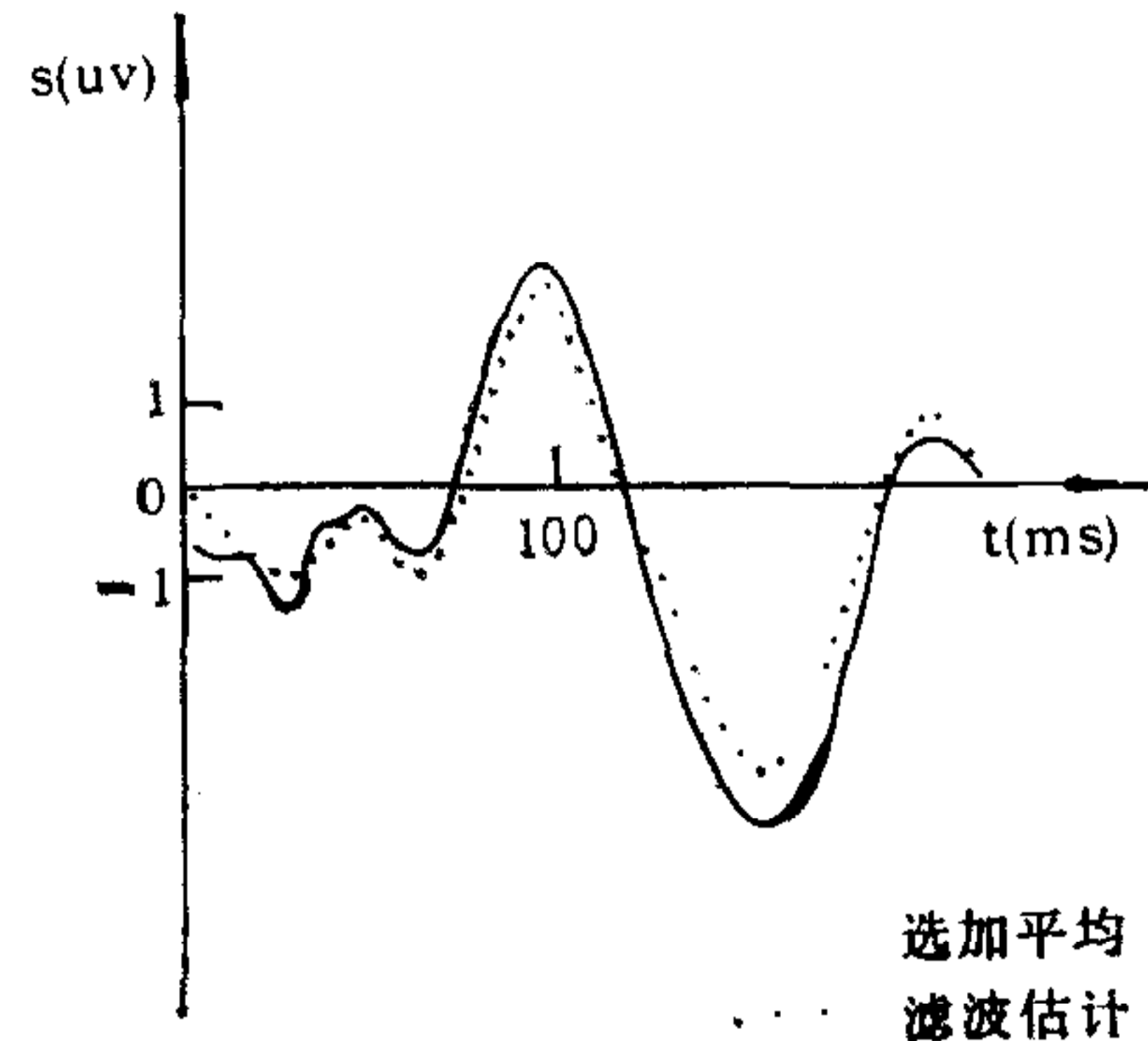


图 2

表 1

样 本 组		$W$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$
$N_1$	$A(\text{uv})$	-1.35	-1.30	-1.30	-1.28	-1.30
	$L(\text{ms})$	26.7	25.0	26.0	27.0	27.0
$N_2$	$A(\text{uv})$	-0.9	-1.10	-1.15	-1.10	-1.10
	$L(\text{ms})$	65.3	64.0	65.0	66.0	66.0
$P_1$	$A(\text{uv})$	2.70	2.45	2.50	2.50	2.55
	$L(\text{ms})$	95.0	94.0	94.5	96.0	96.0
$N_3$	$A(\text{uv})$	-3.80	-3.50	-3.60	-3.50	-3.55
	$L(\text{ms})$	151.4	150.0	151.0	152.0	151.5



滤波结果如图 1。实线为原始信号，虚线为信号没有潜伏期变化时的滤波结果，短划线为信号潜伏期前移两个采样周期所得的结果。从图 1 可以看出，估计出的信号各波峰潜伏期与原始信号保持一致，但幅值有所衰减。

**实体试验例子。**用五次刺激所得数据的迭加平均作为计算数据协方差阵的样本数据组，滤波器对此组数据进行滤波估计，结果如图 2 所示，其相应的数据关系如表 1。 $W$  为迭加平均结果， $W_i$  为对第  $i$  组数据滤波的结果， $P_i$  为第  $i$  个正波， $N_i$  为第  $i$  个负波， $A$  为幅值， $L$  为潜伏期。

## 四、结 论

使用本文设计的时变最优滤波器，只需要较少数据样本就可估计出视觉诱发脑电波信号。但实现滤波器时要有信号的先验统计知识，否则滤波结果与真实信号要有较大偏差。

## 参 考 文 献

- [1] Aunon, J. I. and McGillem, C. D., Signal Processing in Evoked Potentials Research: Averaging, Principal components, Modeling, *Critical Reviews in Bioengineering*, 5, 1981, 323—367.
- [2] J. P. C. de Weerd and Martens, W. L. J., Theory and Practice of a posterior "Wiener" Filtering of averaged evoked potentials, *Biol. Cybern.* 30, 1978, 81—94.
- [3] Kai-Bor Yu and C. D. McGillem, Optimum Filters for Estimating Evoked Potential Waveforms, *IEEE Trans. BME-30*, 1983, 730—737.

# TIME-VARYING OPTIMUM FILTERS FOR THE ESTIMATION OF VISUALLY EVOKED POTENTIAL (VEP) WAVEFORMS

HUA JIANXING

(Dept. 1, China Textile University, Shanghai)

TANG YU LU WEIXIE

(Zhejiang University, Hangzhou)

## ABSTRACT

By means of a self-adjusting nonstationary signal model for the VEP waveforms' presented in this paper, we devise a time-varying filter for the estimation of the VEP waveforms. Signals thus estimated concur with the original in latency, but have some declinations in peak amplitude. Both computer simulations and experiments' have proven its effectiveness.

**Key words:** Time-varying optimum filter; visually evoked potential; nonstationary signal model; covariance matrix.