

40 Hz 脑电信号检测理论在脑电混沌态分析中的应用

The Application of the Theory of 40 Hz EEG in the Study of Chaotic States of EEG Signals

王桂兰
Wang Guilan

周守昌
Zhou Shouchang

杨浩
Yang Hao

(重庆大学电气工程系, 重庆, 630044)

R791.044

摘要 在脑电信号的混沌态分析中引入阵发性 40 Hz 脑电信号检测理论, 用以判断受试者是否合作, 并决定可用于混沌态分析的数据段。文中对阵发性 40 Hz 脑电信号从理论、检测方法的实现、实际应用等几个方面进行了讨论。

关键词 脑电图; 混沌场 / 40 Hz 脑电信号, 混沌
中国图书资料分类法分类号 TN911.6

ABSTRACT In this paper, the theory of 40 Hz EEG bursts is firstly used to judge whether the subjects cooperate with us or not, and to determine the segments which can be processed for the study of chaotic states of EEG signals. The theory, the realization of detecting method and the practice application of 40 Hz EEG bursts are studied.

KEYWORDS electroencephalogram; chaotic field / 40 Hz EEG

0 引言

用混沌理论分析脑电信号(Electroencephalogram, 以下简称 EEG)时, 为什么有些人得不出有意义的结论? 为什么国内外在定量计算方面的数据结果相差很大, 至今还没有得出统一的结论? 除了参数的选择这个因素外, 一个重要的原因是受试者是否合作, 以及我们能否采集到合适的 EEG 数据, 也就是信号的样本是否有效。在现有的资料中, 作者未曾看到涉及这方面的研究报告, 更不用说解决这一问题的办法。

为了解决上述问题, 作者在脑电混沌态分析中首次引入短程、非周期、阵发性、中心频率为 40 Hz 的窄带(34~44 Hz) EEG(以下简称阵发性 40 Hz EEG)的检测理论来判断受试者是否进入受试状态, 并确定可用于混沌态分析的数据段。

* 收文日期 1993-07-14
国家自然科学基金资助项目

1 阵发性 40 Hz EEG 的理论及检测

1.1 阵发性 40 Hz EEG 理论

近年来,人们发现,阵发性 40 Hz EEG 与人的思维、记忆等心理活动有关,是神经心理活动(“集中警觉”)的可靠标志^[1],这一发现揭开了思维、记忆等精神活动不可知的秘密。

既然阵发性 40 Hz EEG 更能反映思维、记忆等精神活动,也就是说,人处于静态(指放松、尽量不思考的状态)时,阵发性 40 Hz EEG 不出现或者不明显,而当人处于思维状态时,阵发性 40 Hz EEG 则会显著增多,阵发性 40 Hz EEG 与思维状态的这一关系,为我们判断受试者是否合作,并确定可用于混沌态分析的数据段提供了依据。

1.2 阵发性 40 Hz EEG 的检测方法^[2]

阵发性 40 Hz EEG 的幅值很低,只有几个微伏的数量级(5 ~ 10 μ V),易受噪声的干扰。尤其是来自头皮的高幅、宽带(30 ~ 100 Hz)肌电信号(Electromyogram,以下简称EMG)完全复盖了阵发性 40 Hz EEG。要利用阵发性 40 Hz EEG 来确定处于混沌态的 EEG 数据段,首先必须有效地检测出 40 Hz EEG,即必须从 40 Hz EEG 中剔除 EMG 干扰。

阵发性 40 Hz EEG 与 EMG 均为短程、非周期阵发波,持续时间至少为 75ms,40 Hz EEG 是窄带信号,其能量主要集中在 40 Hz 频率上,而 EMG 则是宽带信号,其能量主要分布在 30 ~ 100 Hz 频带上。当出现 EMG 干扰时,不仅会使 EEG 信号频谱在 40 Hz 频率上有明显的增加,而且高频分量也会增大,例如频率为 70 Hz 的分量也会明显的增大。根据 EMG 的这一特性,一般采用双带通滤波法来识别 EMG 的干扰,该方法的原理说明如下。

让 EEG 通过两个带通滤波器滤波,一个带通滤波器的中心频率为 40 Hz,通带为 36 ~ 44 Hz(以下简称 40 Hz 滤波器);另一个带通滤波器的中心频率为 70 Hz,通带为 62 ~ 78 Hz(以下简称 70 Hz 滤波器)。下面把 40 Hz 滤波器输出的 EEG 信号称为窄带 40 Hz EEG,而把 70 Hz 滤波器输出的 EEG 信号称为 70 Hz EEG。为两个滤波器输出信号各设定一个阈值,当 70 Hz EEG 超过设定的阈值时,即可认为在此时刻附近有 EMG 干扰存在,于是剔除的相应间窗口(在 EMG 活动发生的两侧各扩展 50 ms)内的窄带 40 Hz EEG,而未被剔除的窄带 40 Hz EEG 则被认为是反映大脑思维状态的阵发性 40 Hz EEG。阵发性 40 Hz EEG 的检测原理可用图 1 表示。

2 阵发性 40 Hz EEG 检测的实现

根据上述检测原理,为了检测出阵发性 40 Hz EEG,需要设计两个带通滤波器。笔者采用四阶的巴特沃思带通数字滤波器来实现我们的要求。

四阶巴特沃思带通数字滤波器的传递函数为:

$$H(Z) = \frac{a(Z^4 - 2Z^2 + 1)}{Z^4 + bZ^3 + cZ^2 + dZ + e} \quad (1)$$

与此式对应的差分方程为:

$$y(n) = a[x(n) - 2x(n-2) + x(n-4)] - by(n-1) - cy(n-2) - dy(n-3) - ey(n-4) \quad (2)$$

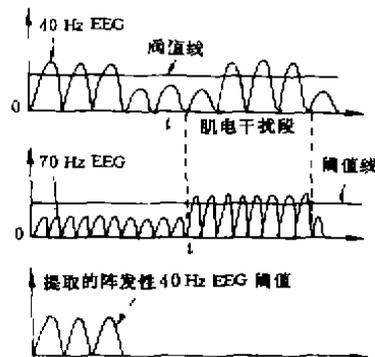


图1 阵发性40 Hz EEG 检测示意图

其中 a, b, c, d, e 为滤波器的滤波系数, 它是由滤波器设计中的技术指标来确定的。

40 Hz 带通滤波器的设计, 要求通带范围为 36 Hz 到 44 Hz, 在通带边缘处要求衰减不大于 3 dB, 在 25 Hz 和 53 Hz 处衰减不得小于 20 dB. 70 Hz 带通滤波器的设计, 要求通带范围为 62 Hz 到 78 Hz, 在通带边缘处要求衰减不大于 3 dB, 在 53 Hz 和 87 Hz 处衰减不得小于 20 dB. 采样频率取为 1000 Hz. 根据上述技术指标, 算得两个带通滤波器的滤波系数如下表所示。

带通滤波器参数表

滤波系数	40 Hz 带通滤波器	70 Hz 带通滤波器
a	0.000 624 925	0.002 403 425
b	- 3.803 586 7	- 3.493 225 2
c	5.545 843 7	4.910 939 8
d	- 3.669 096 6	- 3.2508892
e	0.9355400	0.86622716

将对应的系数代入(2)式, 利用该递推方程编程计算就可以得到预期的滤波效果。调试时采用正弦信号作为输入信号对滤波器的特性进行了校验。对于几个不同频率的正弦信号输入, 滤波器的输出波形如图2所示。

为了有效地检测出阵发性 40 Hz EEG, 还必须给窄带 40 Hz EEG 和 70 Hz EEG 分别设定一个阈值。当 70 Hz EEG 超过给定阈值时, 便可判定有 EMG 干扰; 而当窄带 40 Hz EEG 超过给定阈值, 但 70 Hz EEG 却没有超过给定阈值时, 便可判定有阵发性 40 Hz EEG 出现。由此可见两个阈值的设定关系到 40 Hz EEG 检测的正确性。本文按下述方法确定阈值。先找出滤波波形上的各峰值, 设为 z_i , 峰值点数为 N , 则阈值 K , 按下式计算:

$$K_i = k \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i \quad (3)$$

式中 k 为比例常数, k 的取值应使 K_i 大于脑电信号中背景 40 Hz EEG 的幅值, 而小于阵发性 40 Hz EEG 的幅值, 本文根据实验决定其取值。

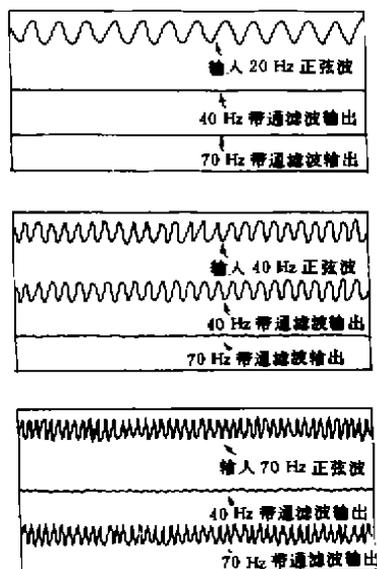


图 2 带通滤波器特性校验

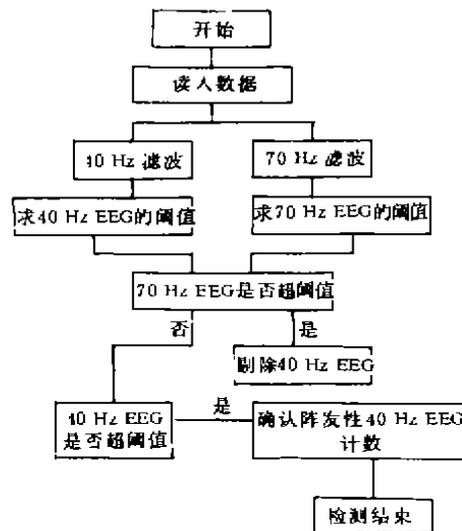


图 3 阵发性 40 Hz EEG 的检测流程

下面讨论阵发性 40 Hz EEG 的具体检测,检测过程如图 3 所示。

3 脑电信号样本的有效性判断

通过实验发现,人在安静(放松、尽量不思考问题)时,阵发性 40 Hz EEG 基本上不出现或不明显,而当人在积极思维时,阵发性 40 Hz EEG 则明显增多。根据这一事实,作者把阵发性 40 Hz EEG 作为判断受试者是否合作(即按要求进行思维或保持安静)的标志。此外,阵发性 40 Hz EEG 是低幅窄带弱电信号,极易受到干扰,尤其是来自头皮的 EMG 干扰。如果整个 EEG 样本都受到 EMG 的影响,则剔除 EMG 干扰后,无法找到需要的阵发性 40 Hz EEG,这样的 EEG 样本是无效的。因此有必要对 EEG 采样数据进行有效性判别,作者按上述阵发性 40 Hz EEG 的检测程序,对 40 位受试者 1200 多个 EEG 样本进行了样本有效性检验。

在 40 位受试者中,作者发现有 3 位受试者的 EEG 样本无效,3 位受试者的编号为 1、2、3 号,图 4 分别给出了这 3 位受试者 EEG 样本的一段典型波形的检测图。现在来分析一下他们的情况。

1 号受试者的脑电图和滤波波形图都不符合实际情况。这是由于电极没有接好所造成的。因此,该受试者的 EEG 样本无效。

2 号受试者在试验时咬牙,且不听劝阻,以至滤波波形图全是肌电干扰。因此,我们认为该受试者不合作,该受试者的 EEG 样本也无效。

3 号受试者与 2 号受试者一样在采样时不合作,以至滤波波形图上全是肌电干扰。因此,该受试者的 EEG 样本也判为无效。

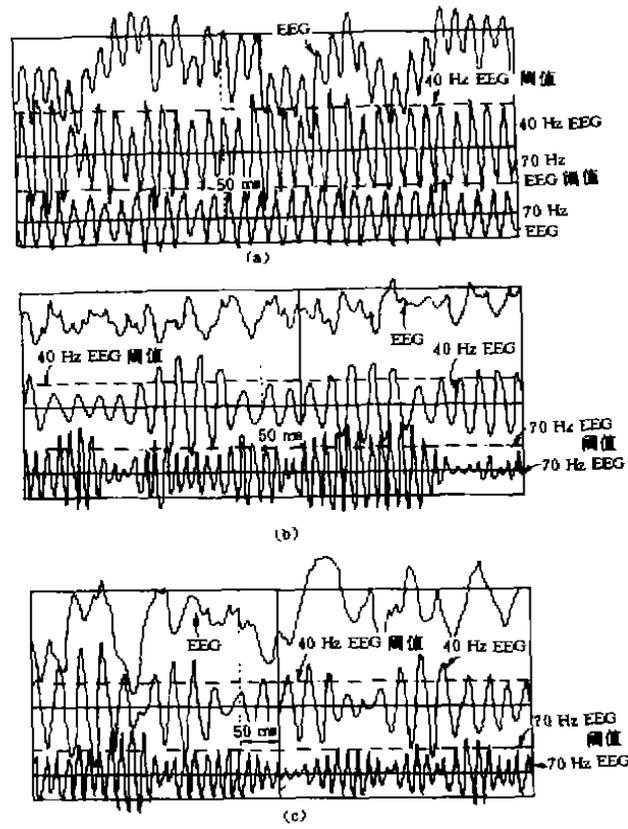


图4 三位受试者 EEG 样本的一段典型波形的检测图
(a)—1号受试者, (b)—2号受试者, (c)—3号受试者

对其余的 37 例, 作者按上述方法先判定 EEG 样本的有效性, 然后确定可用于混沌态分析的数据段。该数据段的确定, 使我们能取得受试者在安静或思维状态下的脑电信号。

因此, EEG 样本有效性的判定和可用于混沌态分析的数据段的正确选择, 为混沌态分析的定量计算打下了良好的基础。我们按上述方法, 通过对脑电信号混沌态的分析, 得出了一些有意义的结论。

参 考 文 献

- 1 Loring D W, Sheer D E. Laterality of 40 Hz EEG and EMG During Cognitive Performance. *Psychophysiology*, 1984, 21(1), 34 ~ 38
- 2 Glover J R, Sheer D E. A Microprocessor-Based System for Diagnosis of Cognition Dysfunction. *IEEE TRANS on BME*, 1986, 33(10), 942 ~ 948