Fluency 理論の事象関連電位解析への応用

非会員 枝 元 祐 介 (青山学院大)
正 員 内 田 雅 文 (青山学院大)
正 員 井 出 英 人 (青山学院大)

Apply Fluency Theory to Analyze Event Related Potential

Yuhsuke Edamoto Non-member, Masafumi Uchida, Member, Hideto Ide, Member (Aoyamagakuin University)

キーワード：波形解析, Fluency, 事象関連電位 (P 300)

1. はじめに

未知の波形に対する解析方法として従来 Fourier 変換が用いられてきた。しかし、不連続点を含む波形に対し理論的には無限の帯域を必要とすることが挙げられる。原因としては、基底をなす exponential 関数系が無限回微分可能であるためである。実際の波形の解析に適する関数空間は、連続微分可能性をパラメータとする任意回連続微分可能な関数空間として系列化できる。この関数空間はスプライン関数基底によって生成され、次数が 1 のときには階段関数空間に、また次数が無限大のときには Fourier の帯域制限関数空間に一致する。この関数空間を Fluency 関数空間と呼び、この Fluency 関数空間上で波形を解析する一連の概念を Fluency 理論という⁽¹⁾⁽²⁾。直交 Fluency 変換に着目し、事象関連電位の一種 P 300 に応用し、直線的変化を示すことを見いだしたので報告する。

2. 事象関連電位

解析対象である脳波は、事象関連電位 (P 300) といい、被験者に 2 種類の感覚刺激を呈示し、一定の課題を実行させる場合に誘発される潜時 250~500 ms の長潜時陽性成分である。P 300 は、認知、判断などの脳の高次機能を反映するものとされている。現在、精神医学において痴呆、言語障害検査に使用されている。再現性が良く、障害部位の診断が可能である。

3. 測定方法

シールドルーム内において、図 1 の国際 10-20 電極法に基づき被験者に銀-塩化銀皿電極を装着し、脳波計によって採取した P 300 データをワークステーションに転送し加算平均後、直交 Fluency 変換により解析を行った。

非標的刺激として右手中指、標的刺激として右手人差指に試作プッシュプルソレノイドにより触覚的刺激を呈示した。課題として測定中何回標的刺激が呈示されたか数えさせる。標的刺激 (出現度数 10~20%) が呈示されたとき電極 Cz より P 300 が観測される。取得データのサンプリング周波数は 50 Hz であり 50 回の応答を加算平均した。

4. 解析方法

(1) 式によって与えられる直交 Fluency 変換は、Fourier 変換における周波数 (frequency) 概念の Fluency 関数空間への一般化を意味する。直交 Fluency 変換は、高調波成分を求めるだけでなく、原波形 $f(t)$ の連続微分可能性を示すスプライン次数 m を求めることができ、より詳細な波形の情報を獲得できる。

$$F(k) = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \phi_k^N dt \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 N ：標本点数、 T ：周期、 k ：Fluency

本研究では $N=1,024$ 、 $T=1.024$ s の P 300 加算平均波形を 0.128 s ごとに直交 Fluency 変換を行った。また、連続微分可能性の相違によるスペクトラムの相違をみるため、スプライン次数 $m=1$ から 3 の各場合について解析を行った。

$$\phi_{(o)}^N \triangleq \frac{1}{N} ({}^m H_k^N)^{-1/2} \sum_{l=0}^{N-1} \exp(i2\pi lk/N) \phi_{(b)}^N \dots\dots\dots (2)$$

$${}^m H_k^N \triangleq \sum_{p=-\infty}^{\infty} \left(\frac{\sin(\pi k/N)}{\pi(k+pN)} \right)^{2m} \dots\dots\dots (3)$$

$$\phi_{(b)}^N = m T^{1-m} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{r=0}^m \frac{(-1)^r}{r!(m-r)!} \times \left(t - \left(\frac{(r-m/2)}{N} + q \right) T \right)_+^{m-1} \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式中の $()_+$ は、切断べき関数である。

Subject's head

図 1 電極位置

Fig. 1. Position of electrode.

図2 P 300 加算平均波形
Fig. 2. Waveform of P 300 averaging data.

図3 Fluency スペクトラム (次数2)
Fig. 3. Fluency spectrum (order 2).

図4 窓関数 FFT による周波数スペクトラム
Fig. 4. Fourier spectrum.

5. 結 果

原波形を図2に、解析結果を図3に示す。スプライン次数1から3のすべての直交 Fluency 変換において、図2の潜時0.4sのP 300の出現に対応して、図3中の同時点の低い Fluency 帯において顕著なスペクトラムの変化が検出された。また、同様の手法で解析した窓関数 FFT においてもほぼ同じスペクトラム形状が得られた。しかし、各スプライン次数においてスペクトラムの絶対値に違いが認められ、スプライン次数が2の直線関数基底のときに最大値となった。

6. 考 察

P 300 の潜時には jitter があるため、加算平均 (図2) で検出すると出現の電位の大きさには変動が著しい。これを Fluency 変換を使用することにより改善できた。

スプライン次数が2のときにスペクトラムが最大となった理由としては、P 300 波形が、極めて急激な直線的变化を示しているため、スプライン次数2の直線関数基底による直交 Fluency 変換のときに最も強く反応したものと思われる。

7. む す び

(1) Fourier 変換と直交 Fluency 変換は、標本点数である N の値が等しい場合には、同様のスペクトラム形状が得られた。

(2) 直交 Fluency 変換において、解析対象である波形の滑らかさに近い次数で最大のスペクトラムが得られた。

Fluency 変換では Fluency という高調波成分に加えて、スプライン次数という波形の滑らかさの情報についても獲得できる長所から、P 300 検出には著しい効果を示した。

(平成6年3月22日受付)

文 献

- (1) 寅市和男・鎌田 賢: 「フルーエンシ理論とウェーブレット解析」, 音響学誌, 47, No. 6, 430 (平3)
- (2) M. Kamada, K. Toraichi, Y. Ikebe, R. Mori: "Orthonormal basis for spline signal spaces", *Int. J. Systems Sci.*, 20, No. 1, 157 (1989)

枝 元 祐 介 (非会員) 1969年10月31日生。1994年3月青山学院大学大学院理工学研究科修士課程修了(電気電子工学専攻)。同年4月(株)NEC入社。

内 田 雅 文 (正員) 1964年9月6日生。1990年工学院大学大学院工学研究科修士課程修了(電気工学専攻)。移動ロボット、ニューラルネットワークなどの研究に従事。現在、青山学院大学理工学部電気電子工学科助手。

井 出 英 人 (正員) 1943年7月19日生。1970年工学院大学大学院工学研究科修士課程修了(電気工学専攻)。1985年UCLA応用科学科客員研究員, 1986年同脳研究所客員教授。感覚の計測, 感覚代行の研究に従事。青山学院大学理工学部講師, 助教授を経て, 現在, 同教授。工学博士。