

氏名・ <sup>2</sup> (本 籍)	なか <b>中</b>	むら <b>村</b>	たか <b>孝</b>	ぶん <b>文</b>	(静岡県)
学位の種類	学	術	博	士	
学位記番号	学博甲第	1	号		
学位授与の日付	昭和 56 年 5 月 27 日				
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当 電子科学研究科 電子応用工学専攻				
学位論文題目	<b>最適化法による生体微小信号処理の研究</b>				
論文審査委員	(委員長) 教授 鈴木久喜 教授 森田之大      教授 山田 稔      教授 水晶静夫 教授 吉村敬三				

## 論文内容の要旨

### 1. 序 論

生体からの情報は微小電位変化として得られることが多いが、測定電位の S/N が極めて悪いことが多々ある。このため S/N 改善に様々な方法が開発されてきたが、生体信号の多様性、特殊性により更に新しい方法の開発が必要である。本研究は工学分野で用いられてきた推定理論を生体に応用し、微小信号検出に役立つことを目的としたものである。研究対象には視覚機構の中樞レベルでの解明手段として、又、臨床検査手段として応用されはじめた視覚誘発電位 (VECP) をとりあげ、カルマン・フィルタを用いて大脳皮質視覚領野からの微小信号検出をおこなった。

### 2. 理 論

カルマン・フィルタ設計の基本的着眼点は次の 2 点である。1. steady-state VECP はパターン反転頻度と同じ周波数の正弦波で近似できる。2. 自発脳波はガウス定常雑音と考えるとよく、成形フィルタの出力で表現できる。観測雑音は測定器系雑音と自発脳波であるが、前者は白色雑音、後者は有色雑音と考えるとよい。後者について成形フィルタを構成する際に次の 4 種のモデルを考えた。1. 白色雑音過程、2. 1 次マルコフ過程、3. 一つの 2 次系の出力、4.  $\alpha, \beta, \theta, \delta$  各波に対応する 4 種の 2 次系の出力和、である。このモデルを基礎にカルマン・フィルタを設計した。推定誤差共分散行列の初期値は観測雑音を零として状態ベクトルの初期値を設定することにより理論的に求めた。

### 3. 実験方法

視覚刺激装置は多様な白黒のパターンを呈示できるよう特に開発されたパターン発生器を用いた。被験者は視機能調整用レンズを装用し、TV 画面より 1.5m 離れた位置より画面中央部を固視

する。脳波は 8 mm 径の皿状銀盤電極を後頭結節上方 3 cm の正中頭皮に固定して関電極とし、不関電極およびアースを左右の耳朶に装着する単極誘導にて導出した。脳波は 1.5~100Hz のバンドパスフィルタを通して増幅した後、磁気テープに記録した電子計算機で処理した。刺激パターン条件は最も大きな正弦波様反応が得られるように選んだ。すなわち、一辺の視角 48 分、全体の視角  $9.1 \times 12.9$  度の市松模様で、平均輝度  $99.4 \text{ cd/m}^2$ 、コントラスト 72.4% とし、12Hz の正弦波様反転刺激をおこなった。

#### 4. 実験結果

まず雑音について調べた結果、測定器系雑音の分散は  $0.01 \mu\text{v}^2$  であり、自発脳波は  $40 \mu\text{v}^2$  であった。後者について更に特性を調べた。周波数スペクトルは 2~3 Hz で最大となり、周波数が増すにつれて減少した。分散、周波数構造はともに視機能に依存せず、又、パターン固定で裸眼視したときの脳波と同じ値、構造であることがわかった。振幅分布は危険率 0.1% でガウス分布と認められた。以上の特性を基礎に 4 種のフィルタを設計し、実際に適用した。適用の際には、まず脳波を或る程度加算平均し、引き続きフィルタリングをおこなった。なお、サンプリング周期 5 ms、1 データ長 0.5 s とした。従来 100 回程度の加算平均により VECP を測定していたが、カルマン・フィルタを用いた場合 10~20 回程度の加算データでも良好な推定結果を得た。4 種のフィルタを比較した場合、推定回数が多くなれば差はなくなってくるが、2 次系の出力あるいは 4 種の 2 次系の出力和でモデル化したフィルタが早期より良好な推定結果を示した。サンプリング周期 5 ms、1 データ長 0.5 s、10 回加算として、測定および処理時間を加算平均法（100 回加算とする）と比較した結果、中型計算機、マイクロコンピュータを用いた場合それぞれ 1/8、1/5 に単縮できた。

#### 5. 考察

推定誤差について検討をおこなった。まず、一定の長さの測定データから推定をおこなう場合に加算回数の推定誤差に及ぼす影響を調べた結果、1 データ長を 100ms 以上にとるならば加算回数とり方には影響されないことがわかった。次に振幅推定の方法について推定波形から読みとる方法と状態変数から算出する方法を考え、推定誤差の理論値を比較した。後者は VECP の振幅や角周波数に依存するが、振幅が小さい場合には前者に比べて大きくなることがわかった。又、4 種のフィルタについて計算量を比較したところ、フィルタの次数の約 2 乗に比例して増大することがわかった。このことと推定結果を合わせて比較してみると、自発脳波を一つの 2 次系の出力でモデル化したフィルタが実用的であるとの結果を得た。更に、加算平均法、ウィーナ・フィルタ法と推定波形、計算量について比較検討した。又、システムのモデル化についても考察を加えた。

#### 6. 結論

以上、生体への推定理論の応用として VECP をとりあげ、カルマン・フィルタを用いて微小信号検出を試みた。自発脳波に 4 種のモデルを考案し、実際に適用した結果、一つの 2 次系の出力としてモデル化したものが実用的であるとの結論を得た。又、従来の加算平均法に比べて測定処理時間を 1/5~1/10 に短縮することに成功した。

今後は中枢神経生理学の新しい研究成果を踏まえ、視覚誘発電位の発現機構を考慮に入れたフィルタを構成することが課題である。