速度正帰還によって発生する自励振動を利用した生体表面の動剛性のリアルタイム測定

Realtime Measurement of Dynamic Stiffness in Subcutaneous Tissues Using Self-Excited Vibration Generated by Positive Feedback of Velocity

学 ○宮岡 孝行 (滋賀県立大院)
正 松村 雄一 (山梨大)

正 栗田 裕 (滋賀県立大)

Takayuki MIYAOKA, The University of Shiga Prefecture, 2500 Hassaka-cho, Hikone-shi, Shiga, 522-8533

Yutaka KURITA, The University of Shiga Prefecture

Yuichi MATSUMURA, University of Yamanashi

1 緒 言

著者らはこれまで、速度正帰還によって発生する自励振動を利用することにより、生体表面の動剛性をリアルタイムに測定する手法を開発した⁽¹⁾。本報では、動剛性測定の応答性を向上させるために、周波数推定器の適応フィルタとしてカルマンフィルタ(以下KF)を用いる。基本実験により、従来用いていた正規化 LMS(以下 NLMS)と比較する。応答性・精度が共に向上することが示された KF を用いて、人体表面の特性が急激に変化する場合の動剛性測定を行う。

2 動剛性測定原理

生体表面に接触子を押付け、自励振動で加振することで生体表面の動剛性であるばね定数 k 、粘性減衰係数 c をリアルタイムに測定できる(自励駆動法)⁽¹⁾。この自励駆動法では、ばね定数の算出などに自励振動の周波数を推定する必要がある。本報では、周波数推定器内の適応フィルタとしてKFを利用する。

KF について説明する。速度信号 v が定常的な単一調和信号と仮定すれば、次式の差分方程式が成り立つ。

$$v[n] = 2\cos(\omega N\tau)v[n-N] - v[n-2N] \quad \dots (1)$$

式(1)の関係をjを用いて、周波数推定器を構成する適応フィルタを作製した。速度信号 $v[n]$ を観測量、式(1)の係数からなるベクトル $[2\cos(\omega_s N\tau) \quad -1]^T$ を状態量 $x[n]$ とすれば、次式の状態空間表現を得る。

$$x[n+1] = x[n] + w_1[n] \quad \dots (2)$$

$$v[n] = cx[n] + w_2[n] \quad \dots (3)$$

ここで、 $w_1[k]$ 、 $w_2[k]$ はそれぞれシステム雑音と観測雑音の項であり、ともに平均値が0のガウス性白色雑音と仮定した。なお、システム雑音と観測雑音の分散を試行錯誤的にそれぞれ $\sigma_w^2 = 10^{-5}$ 、 $\sigma_v^2 = 1$ とした。

3 リアルタイム測定

実験によりKFとNLMSを応答性・精度の点で比較する。人肌ゲルを測定対象として動剛性を測定した。人体表面の動剛性測定において、人体は生命活動のために微小に体動している。実際の測定状態に近づけるため、VCMを用いて微小振幅を持つランダム振動を人肌ゲルに与えた。与える振動の方向は、接触子の加振方向と垂直になるようにした。実験結果をFig.1に示す。1列目はNLMSを、2列目はKFを用いた場合の測定結果であり、1行目は周波数推定結果を、2行目は速度波形と速度振幅推定値を示している。1行目に着目すると、NLMSでは最終値の95パーセントに達するまでに約0.3秒要しているが、KFでは約0.1秒であり、応答性が向上していることがわかる。また、整定後もKFのほうが波形の乱れが小さい。よって、NLMSよりKFのほうが精度・応答性が共に優れていることがわかった。

KFを利用した周波数推定器を用いて人体表面の動剛性を測定した。測定対象は人体の前腕部最大囲であり、測定対象者に筋肉を意図的に緊張・弛緩させ、動剛性変化を測定した。結果をFig.2に示す。1段目が速度波形と速度振幅推定値を、2段目がばね定数を、3段目が粘性減衰係数を示している。弛緩状態に比べ緊張状態では、ばね定数は約2.4倍、粘性減衰係数は約2倍に変化している。また、そのときの変化の様子を0.5秒ほどで変化に追従して測定できている。

4 結 論

周波数推定器にカルマンフィルタを用いることで、従来用いていた適応フィルタである正規化 LMS より、精度・応答性が向上することを基本実験で示した。応答性の向上により、急激な動剛性変化を0.5秒ほどの短時間で変化に追従して測定できた。

5 参考文献

- (1)栗田裕, 松村雄一, 森秀臣, 機論, 70-697, C (2004), 2573-2579.

Fig.1 Estimated frequency and detected amplitude

Fig.2 Time-varying dynamic stiffness