

超音波ドプラ欠落補間へのシステム同定理論の応用

慶應義塾大学 ○向井 文哉, 大甲 真嗣, 足立 修一
東芝メディカルシステムズ 馬場 達朗, 神山 直久

An Application of System Identification Theory to Spectral Interpolation Problem for Doppler Ultrasound System

○ Fumiya MUKAI, Masatsugu TAIKO, Shuichi ADACHI, Keio University
Tatsuro BABA, Naohisa KAMIYAMA, Toshiba Medical Systems Corp.

Abstract: Doppler ultrasound system is frequently used in the measurement and diagnosis of intra-cardiac blood flow. Recently the system which can display dual Doppler images are developed and it contributes to the improvement of the diagnosis efficiency. However, during the simultaneous measurement of multiple locations, there is a trade-off between the restriction of velocity range and the quality of spectrum image. In this paper, we propose a new dual Doppler image processing system that can avoid the trade-off and simultaneously measure the inflow and outflow of left ventricle gearing within one heartbeat cycle. The performance of the proposed interpolation algorithm is evaluated and confirmed by simulations.

1. はじめに

循環器超音波診断装置では、心腔内血流を計測することによって心機能診断をおこなっている。最近では断面画像中の複数箇所を同時に血流計測をおこなう装置も登場し、診断効率の向上に寄与している。便利な反面、速度レンジの制約やスペクトラム画像の劣化などの問題がある。今回は速度レンジの制約を受けず、同一心時相で左室流入血流と左室流出血流を同時計測できるシステムを開発するため、画質劣化の少ない画像欠落補間技術を開発したので報告する。

2. 現状と問題点

超音波診断装置による心臓機能評価に、壁運動解析や超音波ドプラ法による血流計測が用いられている。特に、左室の流入血流波形と流出血流波形の計測は重要であり、ルーチン検査では欠かせないものとなっている。Fig.1に左室血流のドプラ画像を示した。Fig.1(a)は体表から超音波プローブをあてた時の血流の測定ポイントを示しており、僧坊弁先端で左室流入血流、大動脈弁流入部で流出血流が測定される。Fig.1(b)は流入血流のカラー断面画像と測定ポイントに対応したスペクトラム画像である。Fig.1(c)は流出血流の画像である。これらの画像をもとに診断指標を計測し、診断をしている。

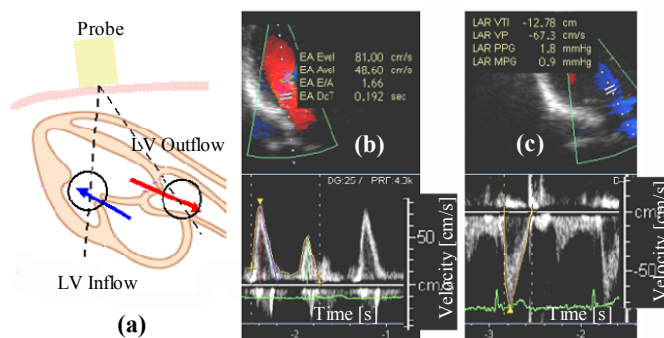


Fig.1 Cardiac Doppler measurement

(a) Measuring points (b) Inflow (c) Outflow

実際のルーチン検査では、断面像を見ながら何度も計測点を設定し計測を繰り返すため、操作が煩雑になり検者や被検者への負担も大きい。この問題を解決する手段の一つにデュアルドプラがある。しかし、実際にはデュアルドプラ計測の抱える原理的な問題点がある。すなわち、音速の制約による超音波パルス送受信周波数(PRF)と視野深度(Depth)とドプラ速度レンジ(Vrange)間のトレードオフである。

Fig.2にPRFを変化させた時のDepthとVrangeのトレードオフの例を示す。一般に成人の心臓診断に必要なDepthは10~20cm, 必要なVrangeは60~150cm/s程度なので、現行の装置条件では両者を満たすPRFは4kHz

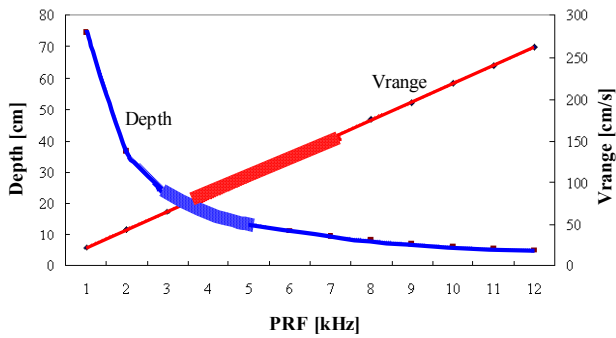


Fig.2 Trade-off between the Depth and the VRange

前後の狭い範囲に絞られる。ところが、超音波ビームを異なる方向に交互に送受信するデュアルドプラでは、PRF が半分（速度レンジも半分）になるため、折返りが発生しやすくなる。

3. 超音波スキャンと補間

従来の問題点に対して、数十 ms～数百 ms 単位でビームを切替るセグメント走査がある。この走査法では折返しは発生しないが、データの欠落が発生する。今回は心電図波形をもとにスペクトラム推定し、欠落部を補間する方法を検討した。

4. システム同定と欠落補間

心電図波形とスペクトラムデータをシステム同定し得られた数学モデルの係数列でフィルタを構成し、心電図波形と白色雑音をもとに欠落部のスペクトラムを補間するシステムを開発した。

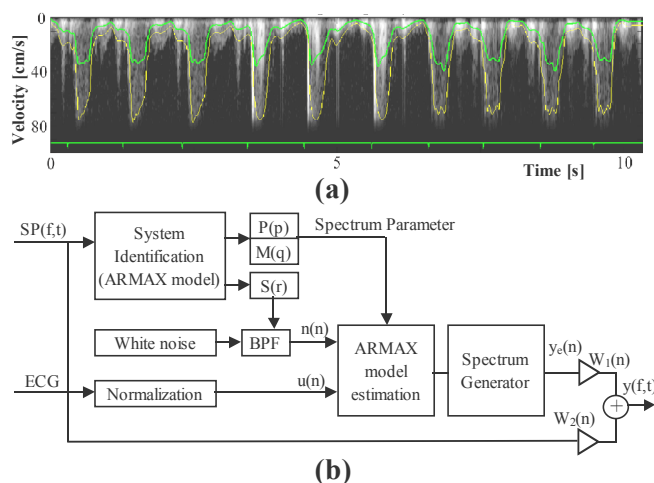


Fig.3 System identification and estimation

- (a) Data for system identification
- (b) Block diagram of interpolation algorithm

システム同定に使用したデータを Fig.3(a)に示す。ボランティア被検者 3 人分のスペクトラムデータをつなぎ合わせ、速度レンジの正規化などの前処理を施した。Fig.3(b)に ARMAX モデル[1]を用いたスペクトラム予測処理と補間データの合成処理のブロック図を示した。

5. 結果

ARMAX モデルによるスペクトラムパラメータ $P(t)$, $M(t)$, $S(t)$ の元データと予測データを Fig.4 に示す。ここで瞬時のスペクトラム分布を正規分布と仮定し、 $P(t)$ はそのトータルパワー、 $M(t)$ は平均速度、 $S(t)$ は分散とした。Fig.4 は左室流出血流のシステム同定結果であり、3 パラメータとも良好な推定結果が得られていることがわかる。

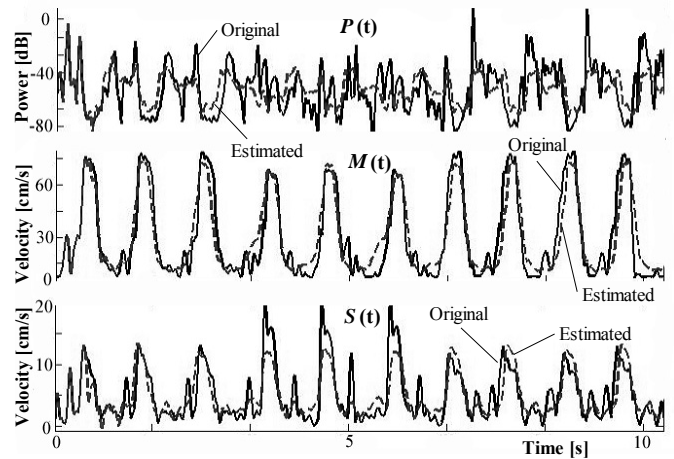


Fig.4 Left ventricle outflow simulation

5. まとめ

超音波診断装置のデュアルドプラ機能を実現するために、システム同定理論を応用して速度レンジと視野深度の制約のない新たな画像補間処理法を開発した。

外部確定入力として心電図波形を用いることにより、良好な予測波形が得られることをシミュレーションにより確認した。

今後、心臓の左室流入血流／流出血流の同時計測以外に、心臓の弁と血流の同時計測など引き続き検討を進めていきたい。

参考文献

- [1] 足立修一：システム同定の基礎，東京電機大学出版局 (2009)