

Dual Lifting Dyadic Wavelet 変換を用いた計測誤差 最小化のための適応信号処理に関する研究

葛目 幸一*

Signal Adaptive Processing for Measurement Error Reduction by Dual Lifting Dyadic Wavelet Transform

Koichi Kuzume*

Abstract

This paper presents methods for minimizing measurement errors, which occur in an acceleration sensor, including d.c offset and white noise and so on, by dual lifting dyadic wavelet transform. Proposed methods are based on tuning free parameters contained in lifting scheme, adapting to the measured signal. The frequency characteristics of the acceleration measurement system can be observed, dividing into several frequency bands by wavelet transform and modified by calibrating sensing data with reference signal.

Keywords : Dual lifting wavelet transform, signal adaptive, sensor, measurement error,

デュアル・リフティングウェーブレット変換, 信号適応処理, センサ, 計測誤差

1. はじめに

指紋照合やターゲット物体の自動追跡など、生体や画像などの情報を認識し、機器の制御や医用診断、個人認証などに応用する研究が盛んに進められている。これらの技術を実現するためには、測定された多チャンネル、多次元信号からシステムの持つ特徴を検出し、精度よく識別することが求められる。しかし、一般にこのような信号は非定常信号で、周囲の環境により時間的に特徴が変化するため正確に信号を検出し、識別することは難しい。例えば無拘束の手の動きを利用した3次元入力インターフェースを実現するためには、手の動きをセンシングする加速度センサの信号には雑音やユーザの個人特性が含まれているため、信号識別をいかに正確に行うかが問題となる^[1-4]。図1は、加速度センサの出力を積分して得られた速度波形と較正装置で計測した速度の実測値を比較したものである。加速度センサによる雑音の影響で時間が経過すると蓄積誤差が大きくなるのがわかる。

また、人間の手足の動きを無拘束状態で計測するシステムとして、特徴点にマーカや磁石を装着しカメラや磁気センサによりその特徴点を検出する方法

が既に実用化されているが、センサの特性上、計測できる範囲が限定されるうえ、システムが高価になるなどの欠点がある。

以上に述べたように無拘束でしかも計測範囲に制約のないシステムを構築するためには、外部センサによるセンシングに頼らない自律計測システムの開発が求められる。しかし自律計測ではわずかな雑音により誤差が蓄積する問題がある。

本研究では、上記の背景をふまえ、雑音等の影響により蓄積される誤差を最小にするため信号に適応してセンサの出力を較正する「dual lifting wavelet 変換を用いた適応信号処理法」を提案する。これは、計測システムの周波数帯域をwavelet変換により帯域分割し、各帯域で計測信号と標準信号との差、すなわち計測誤差を最小にする高周波復元フィルタを設計する一種の適応フィルタである。これまで著者らはlifting wavelet schemeに含まれる自由パラメータをターゲット信号について学習し、信号を検出する研究を行ってきたが、本研究はその概念を拡張したものである。^[5-7]

本報では研究成果の第一報として、lifting wavelet 変換を用いて誤差を最小化する適応信号処理理論の構築を行ったので報告する。第2章でまずdyadic

wavelet変換についてレビューしたのち、Sweldensが提案したdual lifting wavelet変換の理論について概説する^[8]。第3章ではDual lifting wavelet変換を用いた適応信号処理理論について、第4章ではまとめと今後の研究について述べる。

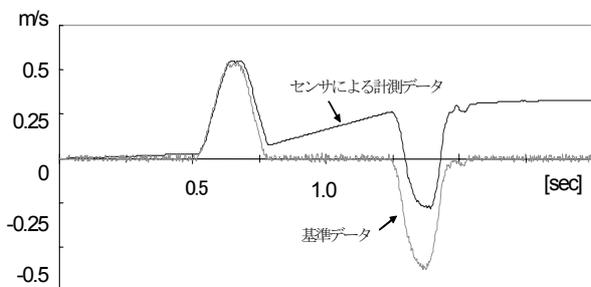


図1 加速度センサから求めた速度波形と基準速度データの比較

2. Dyadic Lifting Wavelet 変換

2. 1 Dyadic Wavelet 変換

Lifting wavelet 変換について述べる前に、まずDyadic wavelet 変換について説明する。信号を分解する低域通過フィルタ (LPF) と高域通過フィルタ (HPF) を $\{h^0[k], g^0[k]\}$ 、元の信号に復元する復元フィルタを $\{\tilde{h}^0[k], \tilde{g}^0[k]\}$ とすればDyadic wavelet 変換の低周波成分ならびに高周波成分は (2) (3)、その逆変換は (4) で計算することができる。ただしフィルタ群 $\{h^0[k], g^0[k], \tilde{h}^0[k], \tilde{g}^0[k]\}$ 、の

フーリエ変換、 $\{\hat{h}^0[\omega], \hat{g}^0[\omega], \hat{\tilde{h}}^0[\omega], \hat{\tilde{g}}^0[\omega]\}$ は (1) を満たすものとする。

$$\hat{\tilde{h}}^0(\omega)\hat{h}^{0*}(\omega) + \hat{\tilde{g}}^0(\omega)\hat{g}^{0*}(\omega) = 2 \quad (1)$$

*は複素共役を表す。

すなわち、原信号 $C_0[i]$ から p 次の低周波成分 $C_p[i]$ 、および高周波成分 $d_p[i]$ は (2), (3) より再帰的に計算でき、原信号 $C_0[i]$ は、 p 回の再帰計算により復元することができることを示している。図2にDyadic Wavelet変換/逆変換の計算アルゴリズムを示す。

低周波成分

$$C_p[i] = \sum_k h^0[k] C_{p-1}[i + 2^{p-1}k] \quad (2)$$

高周波成分

$$d_p[i] = \sum_k g^0[k] C_{p-1}[i + 2^{p-1}k] \quad (3)$$

ウェーブレット逆変換公式

$$C_{p-1}[i] = \frac{1}{2} \sum_k \tilde{h}^0[k] C_p[i - 2^p k] + \frac{1}{2} \sum_k \tilde{g}^0[k] d_p[i - 2^p k] \quad (4)$$

2. 2 Dual Lifting Dyadic Wavelet変換

2. 1の分解、合成フィルタをもとに新たに自由パラメータ \tilde{s}_m を導入し、あらたな分解合成フィルタ $\{h_k^{new}, \tilde{h}_k, g_k, \tilde{g}_k^{new}\}$ を構築する。(5)のフィルタ群をlifting dyadic waveletフィルタと呼び、これらのフィルタのフーリエ変換もまた (1) を満足すれば、新たに構築したフィルタ群についても (2) ~ (4) が成立する。

$$\left. \begin{aligned} h_k^{new} &= h_k^o + \sum_{m=-L}^L \tilde{s}_m g_{k-m}^o, \\ \tilde{h}_k &= \tilde{h}_k^o, \\ g_k &= g_k^o, \\ \tilde{g}_k^{new} &= \tilde{g}_k^o - \sum_{m=-L}^L \tilde{s}_m \tilde{h}_{k-m}^o. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

3. Lifting Wavelet変換を用いた較正アルゴリズム

図3にDual lifting dyadic wavelet を用いた較正システムを示す。システムの較正方法は次のとおりである。

- ①センサから得られたデータ並びに基準データを (2), (3) によって p 次のDyadic waveletに展開する。
- ②wavelet逆変換により、もとの信号を復元する際、各解像度レベルで復元誤差が最小になるように (5) に含まれる自由パラメータを調節する。
- ③②で求めた自由パラメータより各解像度レベルで復元フィルタを求める。

上述のアルゴリズムをもとに、次に信号に適応した復元フィルタを設計する。

センサによる測定信号 (原信号) を $C_{p-1}[i]$ 、較正用参照信号 (較正信号) を $C_{ref}[i]$ とおけば、lifting waveletの逆変換公式 (4) を用いて高周波成分を補正することによりセンサから得られた信号を誤差が最小になるようにする。

$$\tilde{C}_{p-1}[i] = \frac{1}{2} \sum_k \tilde{h}^o[k] C_p[i - 2^p k] + \frac{1}{2} \sum_k \tilde{g}^{new}[k] d_p[i - 2^p k] \quad (6)$$

ただし、

$$\tilde{g}^{new}[k] = \tilde{g}^{old}[k] - \sum_m \tilde{s}[m] \tilde{h}^o[k - m].$$

(6) に含まれる自由パラメータ \tilde{s}_m を信号に応じて学習させ速度誤差を最小化する。また $\tilde{C}_{p-1}[i]$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{p-1}[i] &= C_{p-1} - \frac{1}{2} \sum_k \left(\sum_m \tilde{s}[m] \tilde{h}^o[k - m] \right) d_p[i - 2^p k] \\ &= C_{p-1} - \sum_m \tilde{s}[m] a_p[i, m] \end{aligned}$$

ただし

$$a_p[i, m] = \frac{1}{2} \sum_k \tilde{h}^0[k-m] d_p[i-2^p k]$$

速度誤差 E は次式で定義できる。

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (\tilde{C}_{p-1}[i] - C_{ref}[i])^2 \Rightarrow Min. \quad (7)$$

最小二乗法によって (7) を最小にする \tilde{S} を計算する。

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (C_{p-1}[i] - C_{ref}[i] - \sum_{m=-L}^L \tilde{S}[m] a_p[i, m])^2 \quad (8)$$

(8) の両辺を \tilde{S} で偏微分しゼロとおくと、

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, -L]^2 & \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, -L+1] a_p[i, -L] & \cdots & \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, L] a_p[i, -L] \\ \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, -L] a_p[i, -L+1] & \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, -L+1]^2 & \cdots & \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, L] a_p[i, -L+1] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, -L] a_p[i, L] & \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, -L+1] a_p[i, L] & \cdots & \sum_{i=0}^{N-1} a_p[i, L]^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_{-L} \\ s_{-L+1} \\ \vdots \\ s_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=0}^{N-1} (C_{p-1}[i] - C_{ref}[i]) a_p[i, -L] \\ \sum_{i=0}^{N-1} (C_{p-1}[i] - C_{ref}[i]) a_p[i, -L+1] \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{N-1} (C_{p-1}[i] - C_{ref}[i]) a_p[i, L] \end{pmatrix} \quad (10)$$

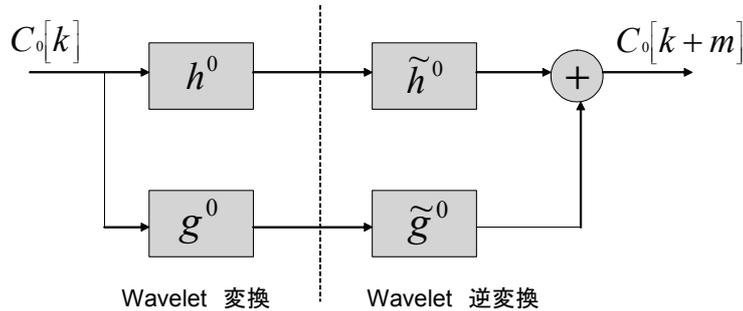


図2 Dyadic Wavelet 変換・逆変換アルゴリズム

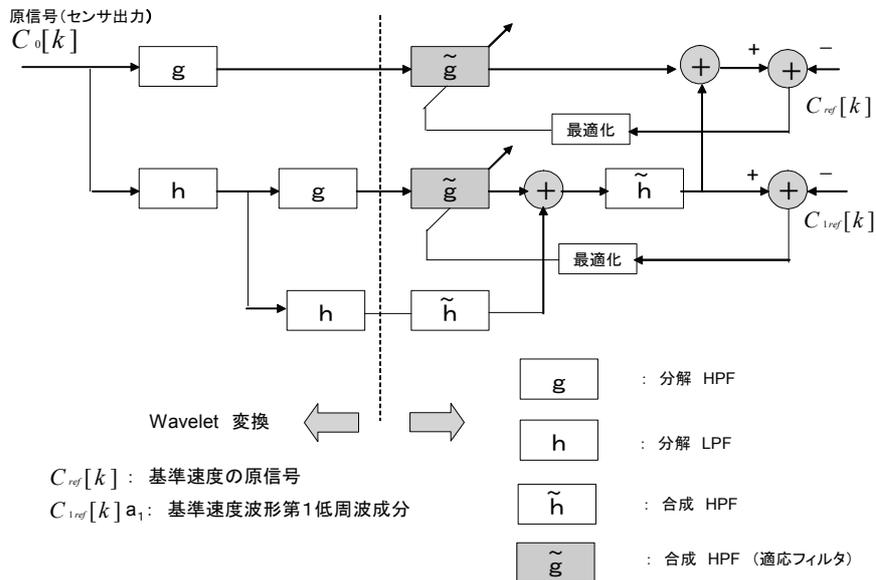


図3 Dyadic lifting wavelet を用いた計測誤差最小化アルゴリズム

4. まとめと今後の研究

謝辞

本論文では, Dual lifting dyadic wavelet 変換を用いた計測システムにおいて発生する誤差を最小化する適応信号処理の理論の導出について報告した. 今後は, この理論を実システムへ適用し, 理論の妥当性, 有用性について検討を進める予定である.

本研究は, 文部科学省科学研究補助金 (基盤研究 (c) 課題番号18500123) の助成を受けたものである.

参考文献

- [1] 笹田一郎, 森本 博:
“高速モーション検出のための線形勾配磁界と一様磁界を用いた三次元姿勢・位置検出”, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-98-226 (1998).
- [2] 坂口貴司, 金森 務, 片寄晴弘, 佐藤宏介, 井口征士:
“加速度センサとジャイロセンサを用いたジェスチャ認識”, 計測自動制御学会論文誌 Vol.33, No.12, (1997)
- [3] 澤田秀之 他:
“加速度センサを用いたジェスチャ認識と音楽制御への応用”, 電子情報通信学会論文誌 Vol.J79-A No.2 pp.452-459, (1995)
- [4] 山崎亜希子, 五味田 啓:
“加速度センサ等を用いた移動状態判別方式の検討”, 情報処理学会第70回全国大会講演論文集3.pp.39-40, (2008)
- [5] K.Kuzume, S.Takano, K.Nijima:
“FPGA-Based Lifting Wavelet Processor of Real-time Signal Detection”, Signal Processing Journal Vol.8, No.10, pp. 1931-1940,(2004)
- [6] S.Takano, K.Nijima, K.Kuzume:
“Personal Identification by Multiresolution Analysis of Lifting Dyadic Wavelets”, Proceedings of XII European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2004), CD-ROM, (2004)
- [7] K.Kuzume, S.Takano, K.Nijima:
“Design of a Lifting Wavelet Processor for One Dimensional Signal Detection”, Proceedings of IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems, CD-ROM, (2004)
- [8] W.Sweldens:
“The Lifting Scheme: A Custom-Design Construction of Biorthogonal Wavelets”, Appl. Comput. Harmonic Anal.13(2),(1996) pp.186-200.