

ウェーブレット変換による磁界分布データの ハンドリング

MATSUYAMA, Sawa / 松山, 佐和

(出版者 / Publisher)

法政大学計算科学研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of Computational Science Research Center, Hosei University / 法政大学計算科学研究センター研究報告

(巻 / Volume)

18

(開始ページ / Start Page)

169

(終了ページ / End Page)

174

(発行年 / Year)

2005-03-22

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025050>

ウェーブレット変換による磁界分布データのハンドリング

松山 佐和
法政大学計算科学研究センター

離散値系ウェーブレット変換によるデータ解析法としては、データの特徴が集約されるウェーブレットスペクトラムのマザーウェーブレット近傍要素のみを取り出すデータ圧縮、および、多重解像度解析による時間・周波数領域にまたがる解析があげられる。これを応用し、さまざまな測定データの圧縮とノイズ低減法を提案してきた。本論文では、スイッチング・レギュレータ上に生じる磁界の測定データに3次元の離散値系ウェーブレット変換を適用し、ウェーブレット変換による画像圧縮法と同様に、磁界分布データの情報の削減が可能であることを示す。また、離散値系ウェーブレット変換の対象となるデータの個数は2のべき乗個に制限されているため、貴重な観測・計測データを十分に活かす機会がない場合がある。データを有効に活用し、データの周波数特性を損なわない補間法を提案する。この結果、データを64分の1に圧縮した場合でも元のデータの特徴を十分に保持でき、3次元空間の大容量データの圧縮に有効であることを示す。

1. はじめに

磁界ベクトルデータは空間・時間の両領域にまたがり、複雑に変化する大容量の3次元データである。この大容量データの保存や転送にかかわるハードウェアの負担を軽減するため、データの特徴を損なわない情報の削減を考える。

ウェーブレット変換は観測データや実験データなどの周期的なデータの解析に適用されている^[1,2]。離散値系ウェーブレット変換は、ウェーブレットスペクトラムのマザーウェーブレット近傍要素にデータの特徴を集約する特徴を持ち、これを利用したデータ圧縮、および、多重解像度解析による時間・周波数領域にまたがった解析が可能である^[2]。

一方、離散値系ウェーブレット変換では、扱えるデータ数が2のべき乗個であるという制約があり、これまでは扱うデータの範囲を縮小するか、または値がゼロのデータを補ってきた^[3,4]。しかし、実際の測定や観測における測定間隔や測定数は空間的にも時間空間的にもウェーブレット変換を意識して決められたものではないため、物理的な解析を行うには、この方法では不十分である。データ構成要素数の削減は情報の削減につながり、ゼロ要素の追加はデータの特徴の変更を意味する。

本論文では、多くの物理系データがフーリエ変換により正弦波・余弦波の和である連続関数として表現できることに基づき、データの周波数特性を損なわずにデータ数をウェーブレット変換で扱える個数に変更する方法を提案する。この方法を用いてスイッチング・レギュレータ上に生じる磁界の測定データを補間し、測定されたデータを有効に使用する。補間後の磁界分布データに3次元ウェーブレット変換を適用しデータの情報を圧縮する。

2. 磁界分布データ

3次元ベクトルデータのウェーブレット変換を磁界分布データに応用する。ここで、使用するデータはスイッチング動作中のフィルムトランスを用いたDC/DCコンバータ^[5]周辺に生じる磁界分布を測定したものである。

Fig.1 は磁界分布を測定した DC/DC コンバータである。図中の破線で囲まれたフィルムトランス平面上に x 方向、 y 方向に 5 mm 間隔に 35×35 個の測定点を取り、1 パルス分の入力に対する磁界変化を 500 時刻点に分割して測定したものである。

測定されたデータ数は $35 \times 35 \times 500$ であるが、ここで使用するデータは時刻に関して前半に相当する $35 \times 35 \times 256$ である。1 測定点の磁界データは x, y, z 成分を持つベクトルである。このデータは 3 次元空間に分布する 3 次元ベクトルであるためデータの全体的な特徴を図示するのは難しい。そこでデータを Fig.2 と Fig.3 に部分的に図示することで特徴を示すことにする。

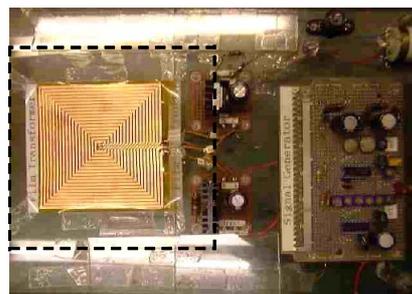


Fig. 1 磁界を測定した DC/DC コンバータ

Fig.2 は測定平面の中心付近の 1 点における磁界ベクトルの時間変化を各成分毎に表したものである。時刻 50 から 150 付近で 3 成分とも大きな値を示し振動している。振動の周期は約 10 時刻分を示している。そこで、Fig.2 に示されている大きな振幅をもつ時刻について、平面上の磁界分布を示すことにする。

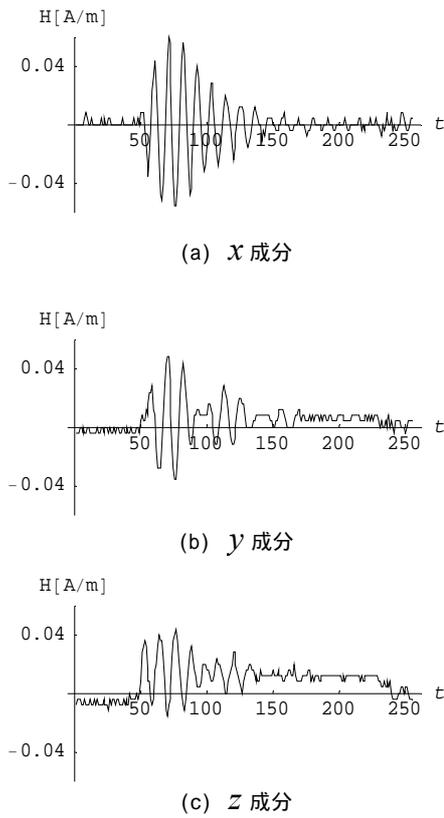


Fig. 2 測定平面の中心付近の測定点における磁界分布

Fig.3 は大きなベクトル分布を示す時刻 71、76、82 における測定平面上のベクトル分布を示したものである。Fig.2 に示された周期的な時間変化から推測できるとおり、時刻 71 と 76 では磁界分布のベクトルの方向が異なり、磁界分布が時刻とともに振動する様子が示される。

3. 磁界分布データの補間

測定平面上で測定された磁界分布データの個数は 35×35 であり、このままでは離散値系ウェーブレット変換を適用できない。そこで、平面上のデータ数を 35×35 から 2 のべき乗個の 32×32 へ削減する。補間法はフーリエ変換による補間⁶⁾を用いる。まず、平面上の磁界分布データの 2 次元マトリックスについて行と列の 2 次元フーリエ変換を行う。次に、行と列について、求められたフーリエ級数係数によりデータを補間する。磁界分布データは x, y, z 成分を持つベクトルであるため、それぞれの成分について補間する。

Fig.4 は補間された平面上の磁界分布を示す。勿論、補間前の元の磁界分布データと同じ周波数特性を示す。補間された磁界分布(Fig.4)と補間前の元の磁界分布(Fig.3)とはよく一致し、うまく補間できている。

4. 磁界分布データのウェーブレット変換

補間後の磁界分布データに、1 次元、2 次元、3 次元の離散値系ウェーブレット変換を順次適用する。

4.1 1 次元ウェーブレット変換

Fig.5 は測定平面の中心付近の 1 点における磁界分布ベクトルの時間変化を示している。データの補間により、

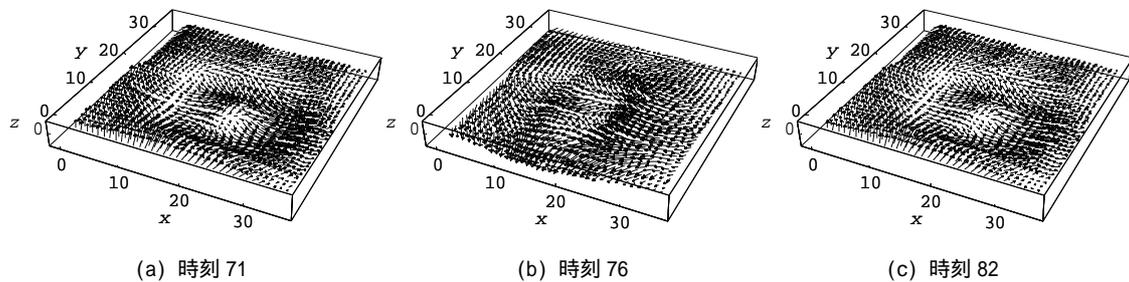


Fig. 3 測定平面上の磁界分布

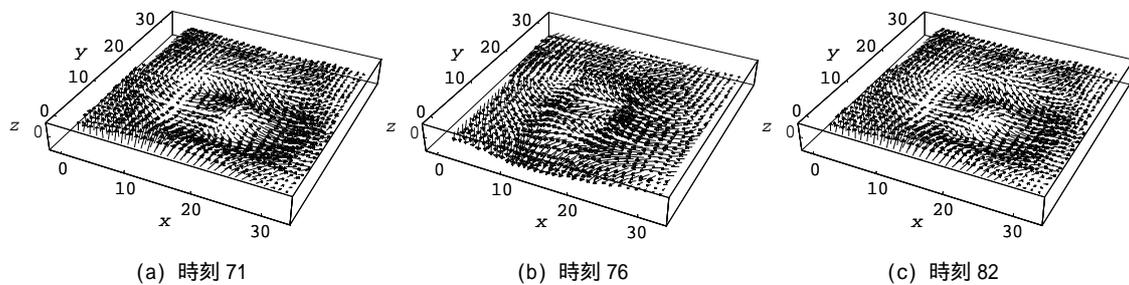


Fig. 4 補間後の磁界分布

測定平面上のデータの各点は基点となる点を除いて元の測定点とは異なっている。

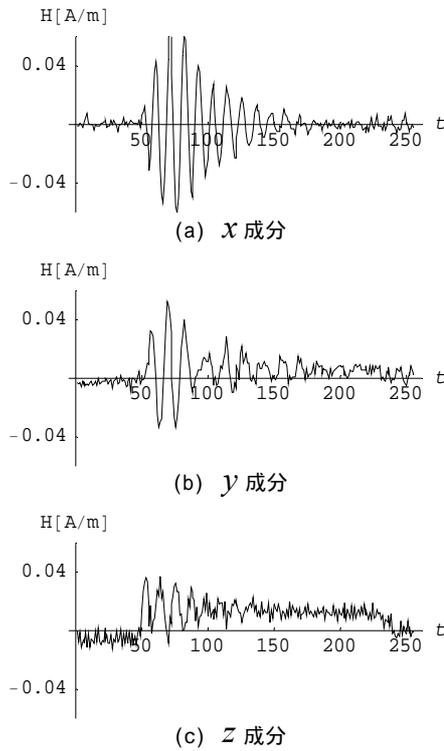


Fig. 5 測定平面の中心付近の補間後の磁界分布

Fig.5 に示した磁界分布データについてウェーブレット変換し圧縮する。齊藤^[2]は、復元率として圧縮・復元後のデータと元のデータとの相関係数を使用することを提案し、松山ら^[3,4]は、ウェーブレット変換における基底関数の選択に、この復元率を用いることを提案している。ここで扱う磁界分布データはベクトルデータであるため、復元率としてマトリックスの相関を使用する。

Fig.6 は Daubechies の基底関数の次数と復元率の関係を示したものである。ウェーブレット変換の多重解像度解析^[7]のレベルに基づいて、2分の1に圧縮した場合と4分の1に圧縮した場合について図示している。Daubechies の基底関数の各次数について復元率を調べた結果、Fig.6

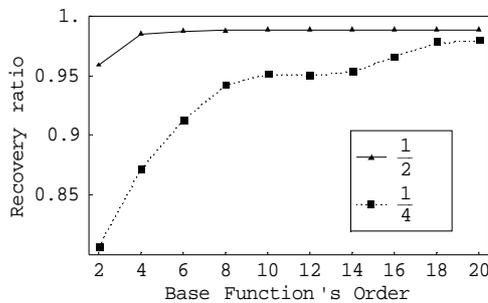


Fig. 6 磁界分布データの基底関数の次数による復元率 2分の1と4分の1に圧縮した場合

に示されるとおり、Daubechies の 18 次基底関数の復元率が大きな値を示していることがわかる。そのため、ここでは 18 次基底関数を使用することにする。

磁界分布データ(Fig.5)を Daubechies の 18 次基底関数を用いてウェーブレット変換し、得られたウェーブレットスペクトラムを圧縮し逆変換する。データを2分の1と4分の1に圧縮して復元したものを Fig.7 と Fig.8 に示す。

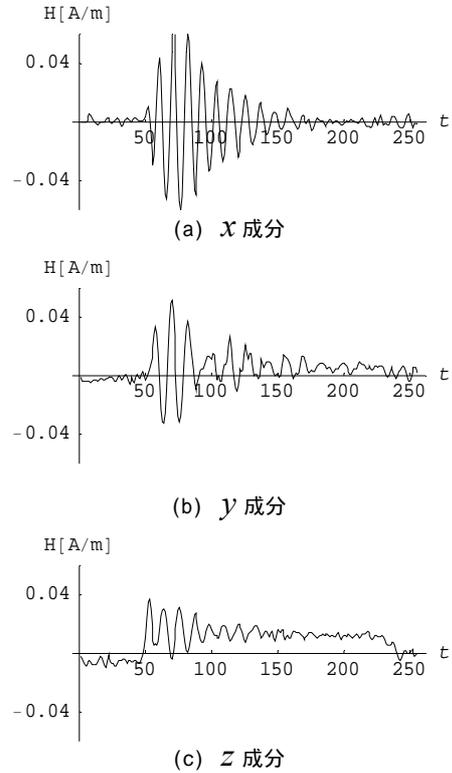


Fig. 7 2分の1に圧縮後復元した磁界分布データ

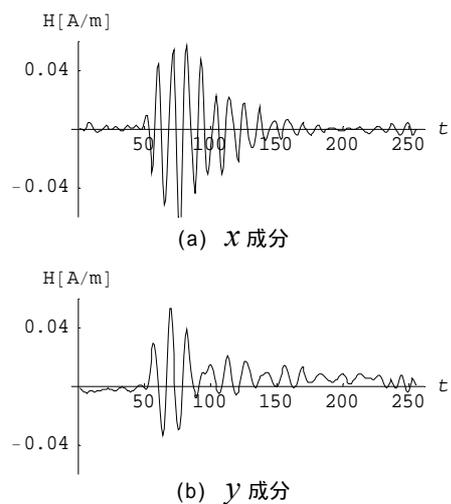


Fig. 8 4分の1に圧縮後復元した磁界分布データ(続く)

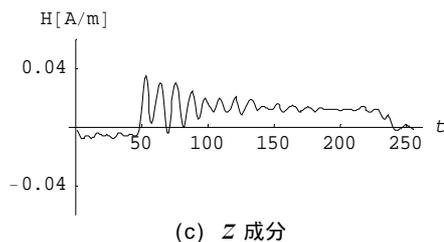


Fig. 8 4分の1に圧縮後復元した磁界分布データ(続き)

圧縮により省かれたベクトルの大きさは、Fig.7とFig.8に示される磁界分布データの6分の1以下である。マトリックスの相関(復元率)はFig.7では0.989であり、Fig.8では0.978である。両方ともよく復元されている。

4.2 2次元ウェーブレット変換

Fig.4の(b)に示した時刻76の測定面のデータについて2次元ウェーブレット変換する。Fig.9はDaubechiesの基底関数の次数と復元率の関係を示したものである。ウェーブレット変換の多重解像度解析のレベルに基づき、4分の1に圧縮した場合と16分の1に圧縮した場合について図示している。データ数が 32×32 で少ないため高次の基底関数は使用できない。Daubechiesの基底関数の各次数について復元率を調べた結果、Fig.9に示されるとおり、Daubechiesの12次の基底関数の復元率が大きな値を示していることがわかる。

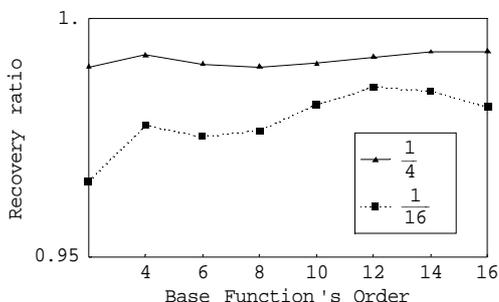
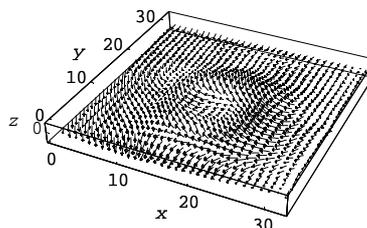


Fig. 9 平面磁界分布データの基底関数の次数による復元率
4分の1と16分の1に圧縮した場合

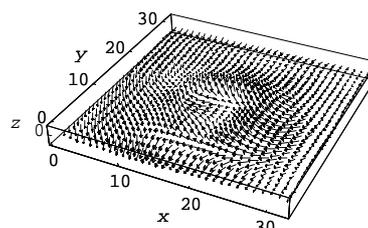
Fig.4の(b)に示した平面磁界分布データを、基底関数にDaubechiesの12次を使用してウェーブレット変換し、データ数を圧縮して逆変換する。データを4分の1と16分の1に圧縮して復元したものをFig.10の(a)と(b)に示す。圧縮により省かれたベクトルの大きさは、Fig.10の(a)と(b)に示される磁界分布データの4分の1以下である。復元率はFig.10の(a)では0.992であり、Fig.10の(b)では0.986である。非常によく復元されている。

4.3 3次元ウェーブレット変換

2次元の平面磁界分布に時間変化を含めて3次元の磁界分布データとし、これを3次元ウェーブレット変換する^[8,9]。データ数は平面上に 32×32 、時間軸方向に256である。



(a) 4分の1に圧縮



(b) 16分の1に圧縮

Fig. 10 圧縮後復元した平面磁界分布データ(時刻76)

1平面のデータの基底関数の選択については前項で述べたので、時間軸方向の基底関数の選択について検討する。磁界分布データ全体について時間軸方向のみに着目し、1次元ウェーブレット変換を行う。Fig.11はDaubechiesの基底関数の次数と復元率の関係を示したものである。ウェーブレット変換の多重解像度解析のレベルに基づき、2分の1に圧縮した場合と4分の1に圧縮した場合について図示している。Daubechiesの基底関数の各次数について復元率を調べた結果、Fig.11に示されるとおり、Daubechiesの18次の基底関数の復元率が大きな値を示していることがわかる。

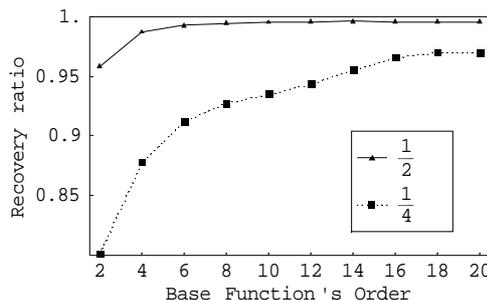


Fig. 11 3次元磁界分布データの基底関数の次数による復元率
2分の1と4分の1に圧縮した場合

Fig.11で示される結果は、前項の測定平面の中心付近の1点における磁界ベクトルの1次元ウェーブレット変換の復元率(Fig.6)と同じ傾向を示している。この結果から、磁界分布データの3次元ウェーブレット変換においては、時間軸方向にDaubechiesの18次基底関数を、 x 軸、 y 軸方向にDaubechiesの12次基底関数を使用することにする。

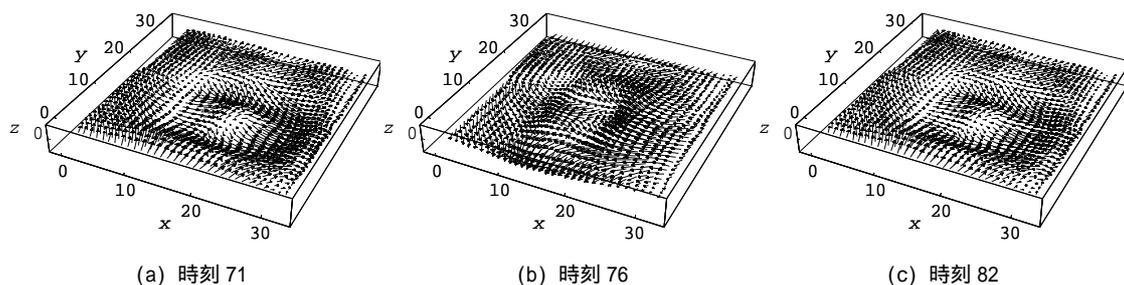


Fig. 12 3次元磁界分布データ(8分の1に圧縮)

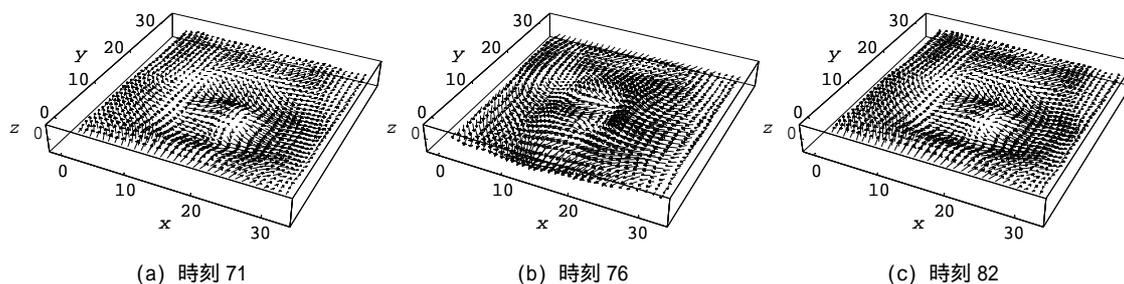


Fig. 13 3次元磁界分布データ(64分の1に圧縮)

復元されたデータ全体は3次元空間上の3次元ベクトルであり図示は難しいので、時刻71、時刻76、時刻82の平面磁界分布をFig.12とFig.13に示す。

Fig.12とFig.13はウェーブレット変換の多重解像度解析におけるレベルの8分の1に圧縮した場合と64分の1に圧縮した場合である。

圧縮により省かれたベクトルの大きさは、Fig.12とFig.13に示される磁界分布データの4分の1以下である。復元率はFig.12では0.979であり、Fig.13では0.948である。圧縮後の磁界分布データは補間後の磁界分布データ(Fig.4)に非常によく似ている。

5. おわりに

離散値系ウェーブレット変換では、扱えるデータ数が2のべき乗個であるという制約があるため、測定データや観測データには、そのままではウェーブレット変換を適用できないことがある。本論文では、データすべてを有効に使用し、且つ、データの周波数特性を損なわない補間法を提案した。DC/DCコンバータ周辺に生じる3次元磁界ベクトルデータに、この補間法を応用し、離散値系ウェーブレット変換を適用した。この解析により、これまでのシミュレーション結果と同様にデータの支配的なベクトル分布が抽出され、データ数を64分の1に圧縮した場合でも高い復元率が得られることが示された。

参考文献

[1] 榎原進,"ウェーブレットビギナーズガイド",東京電機大学出版局,1995.

[2] 斉藤兆古,"Mathematicaによるウェーブレット変換",朝倉書店,1996.

[3] S.Matsuyama,Y.Oguchi and Y.Saito: Applications of the Wavelet Transform to the Meteorological Vector Data, 1998 ASME FEDSM, June 21-25, 1998, Washington, D.C.

[4] 松山佐和,小口雄康,斉藤兆古,"ウェーブレット変換の気象データへの応用",計算工学講演会論文集, Vol.2, No.2, 359-362, 1997.

[5] S. Hayano, H. Saotome, Y. Nakajima and Y. Saito, "A New Type High Frequency Transformer," IEEE Trans. Magn., Vol.MAG-27, No.6, 5205-5207, 1991.

[6] 松山佐和, "離散値系ウェーブレット変換における1問題点とその解決法",可視化情報, Vol.23, Suppl., No.1, 69-72, 2003.

[7] H. Endo, Y. Takasuka, I. Marinova, S. Hayano and Y. Saito, "Data representation by field calculus and leading to the orthonormal linear transforms", International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.19, 153-157, 2004.

[8] 松山佐和, 小口雄康, 遠藤久, 関島大志郎, 斉藤兆古, "離散値系ウェーブレット変換による三次元磁界ベクトルデータ処理に関する考察", 日本シミュレーション学会 第20回 電気・電子工学シンポジウム論文集, 195-198, 1999.

[9] 松山佐和,小口雄康,松山志保,斉藤兆古,國井利泰, "ウェーブレット変換によるベクトル動画の生成",可視化情報, Vol.20, Suppl., No.1,145-148, 2000.

キーワード.

ウェーブレット変換、フーリエ変換、補間、多重解像度解析、磁界分布データ

Summary.

Data Handling for the Magnetic Vector Field by the Wavelets

Sawa Matsuyama

Computational Science Research Center, Hosei University

One of the distinguished properties of the discrete wavelets transform is that the major dominant factors can be extracted from the data. We have applied this property to the data compression and reducing the noise in measured data. In the present paper, we apply the discrete wavelets transform to the three dimensional-magnetic fields measured over a switching regulator. The measured magnetic fields are the three-dimensional in space and time dependents. A discrete wavelets transform always requires a number of target data composed of a power of 2, we propose here a novel approach based on Fourier transform to overcome this difficulty without losing any original data information. A key idea is simple but effective because it exactly keeps all of the frequency components comprising the target data. We have tried to compress the magnetic vector field data by the multiresolution analysis using three dimensional discrete wavelets transform. The analysis indicates a high recovery ratio between the raw data and compressed data when the number of the data decreases even one sixty-fourth of number of the original data. As a result, several examples demonstrate the usefulness of our new method to work out the visual communication tools.

Keywords.

Wavelets transform, Fourier transform, Interpolation, Multiresolution analysis, Magnetic vector data