

ウェーブレット変換を用いた放射磁界分布の特徴抽出

土井 達也 (足利工業大学), 齋藤 兆古 (法政大学工学部)

Leakage Magnetic Field Distribution Analysis Using The Wavelets Transform

Tatsuya DOI, Yoshifuru SAITO

ABSTRACT

In recent years, rapid growth of high frequency techniques causes an electromagnetic compatibility (EMC) problem. Leakage magnetic fields out of the printed circuit boards (PCB) stimulate the miss operation and mutual action among the electronic devices.

This paper proposes an application of the 3-dimensional wavelets transform to the measured leakage magnetic field distributions along with a time. As a result, a simple example has demonstrated that the 3-dimensional wavelets approach exhibits its usefulness to identifying major dominant magnetic field source searching from the locally measured magnetic fields.

Keywords: EMC problems, Leakage magnetic field distribution, wavelets transform

1. まえがき

近年、電子機器動作の高周波化に伴い、電子機器の放射電磁界は深刻な電磁干渉を喚起する要因となっている。いわゆる、EMC(Electromagnetic Compatibility)問題である。このような放射電磁界を抑制するため、電子機器近傍の放射磁界から磁界源を特定し、放射磁界を低減する試みが検討されている[1]。しかし、電子機器の多様な形状・構造に起因して、理想的な磁界測定位置が望めないことが問題となっている。通常、測定された磁界分布には、測定システムに起因するランダム性の強いノイズが多かれ少なかれ含まれている。これは、磁界源となる電流分布推定精度が低下し、磁界源を特定する際の障害となる。

一方、複数の放射磁界源は、必ずしも同期しないため、放射磁界分布は時間変化を考慮する必要がある。このため、磁界源を特定するには、各時間毎の計算を反復して行う必要がある。

本稿では、プリント基板の放射磁界源モデルを作成し、測定される放射磁界分布に対してウェーブレット解析を行った。

最初に、測定面(X-Y面)上で測定された放射磁界

分布に時間変数 t を加え、放射磁界分布を X Y 平面と時間軸からなる三次元分布として表現した[2]。さらに、この三次元放射磁界分布に対して三次元ウェーブレット変換を適用し、一括して放射磁界分布のウェーブレット解析を行った[3,4]。その結果、支配的な放射磁界源分布の抽出と可視化を可能とした。

2. 三次元ウェーブレット変換

三次元ウェーブレット変換は、三次元行列の転置を

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{lmn} \\ \mathbf{H}_{nlm} \\ \mathbf{H}_{mnl} \end{bmatrix}^T = \mathbf{H}_{nlm} \quad (1)$$

と書けば、

$$S = \left[W_n \cdot \left[W_m \cdot \left[W_l \cdot \mathbf{H}_{lmn} \right]^T \right]^T \right]^T \quad (2)$$

で与えられる[3]。ここで、 S と \mathbf{H} はそれぞれ、ウェーブレットスペクトラム、 $l \times m \times n$ の三次元行列である。また、 W_l, W_m, W_n は、それぞれ、 $l \times l$, $m \times m$ および $n \times n$ のウェーブレット変換行列である。

三次元ウェーブレット逆変換は、

$$\mathbf{H}_{lmn} = \left[W_l^T \cdot \left[W_m^T \cdot \left[W_n^T \cdot S^T \right]^T \right]^T \right]^T \quad (3)$$

となる。

尚、本稿では、ドビッシーの2次基底を基底関数として採用した。

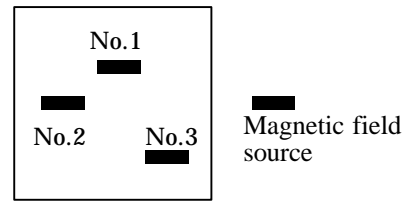
3. 放射磁界分布のウェーブレット解析

図1に、プリント基板の磁界源モデルと測定面上の放射磁界分布を示す。図1(a)は、放射磁界測定の外略図である。X-Y平面上の各磁界源は、周期1[μs]で正弦波状に変化し、各磁界源は同期しない場合を考える。また、測定された放射磁界分布には磁界の最大値の10%のランダムノイズが含まれるとして計算した。図1(b)-(e)は、複数の磁界源からの放射が同期しない場合、磁界分布は各時間毎に異なる。このため、測定結果から客観的に放射磁界源位置の特定や特徴を捉えるのは若干困難であることが判る。図2に、X-Y面の測定された放射磁界分布と時間軸tの3次元直交座標系で表現放射磁界分布を示す。本稿の三次元Contour表示中の濃淡は値の正負を表す。時間の変数tを加えた方法は画像処理における動画解析で用いられる手法[2]であり、ここでは時間軸計測された放射磁界分布へ適用した。本稿では、三次元放射磁界分布に対して三次元ウェーブレット解析を行い、放射磁界源推定問題への有効性の検証を行う。

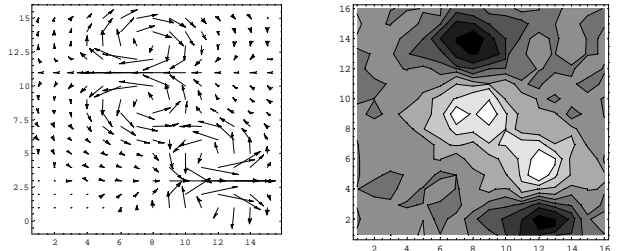
図3(a)と(b)に、それぞれ、三次元放射磁界分布の三次元ウェーブレットスペクトラム、および、図3(a)の全ウェーブレットスペクトラムからウェーブレット逆変換によって得られた磁界分布を示す。逆変換によって得られた磁界分布と測定された磁界分布[図2]は完全に一致しており、逆変換が妥当であることがわかる。

図4に、三次元ウェーブレットスペクトラムからマザーウェーブレット近傍のスペクトラム(全体の12.5%データ)から再現した磁界分布を示す。

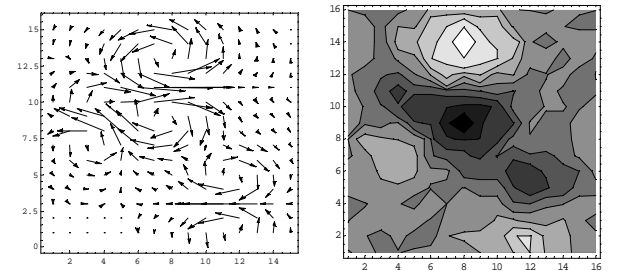
図4の結果は、ウェーブレット解析によって元の三次元放射磁界分布の支配的な成分が抽出可能で



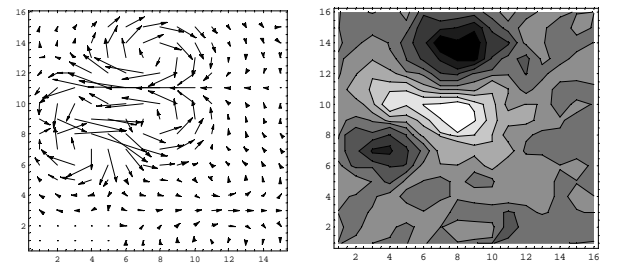
(a) Schematic diagram



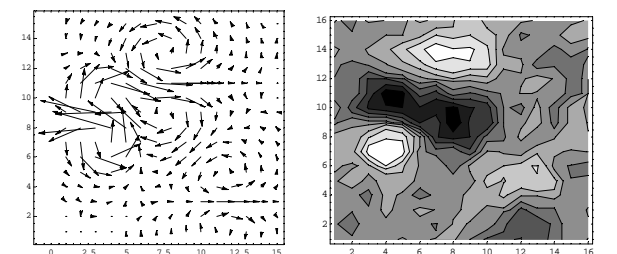
Exact current distribution Measured magnetic fields
(b) 0.0[μs]



Exact current distribution Measured magnetic fields
(c) 0.4[μs]



Exact current distribution Measured magnetic fields
(d) 0.8[μs]



Exact current distribution Measured magnetic fields
(e) 1.2[μs]

Fig.1. Simplified model of a printed circuit board and measured magnetic field distributions caused by the leakage magnetic field sources.

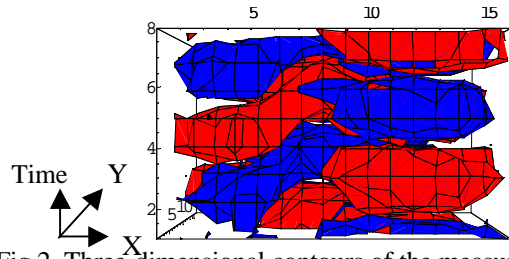
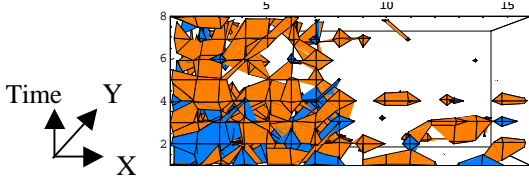
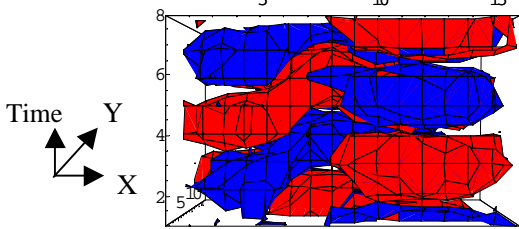


Fig.2. Three-dimensional contours of the measured magnetic field distributions.



(a) Wavelets spectrum



(b) Magnetic field distribution reproduced from entire wavelets spectrum

Fig.3. Three-dimensional wavelets analysis.

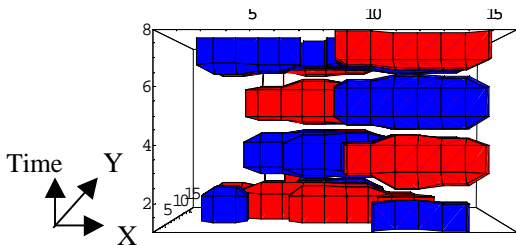
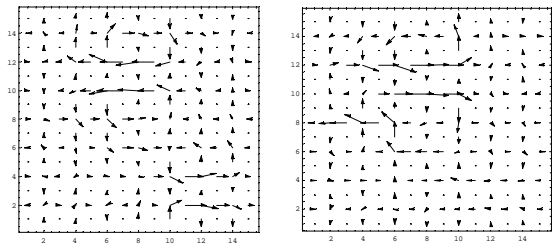


Fig.4. Magnetic field distribution reproduced from 12.5% spectrum around the Mother Wavelets.

あることを示す。元の磁界分布との相関は 86.3%である。

4. 磁界源推定問題への応用

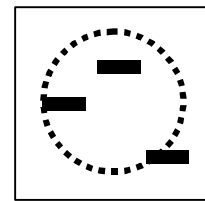
ここでは、三次元ウェーブレット解析の磁界源推定問題への応用例を示す。図 5 に、図 4 の結果で得られた磁界分布から磁界源である電流分布を計算した例を示す。



(a) 0.0[μ s]

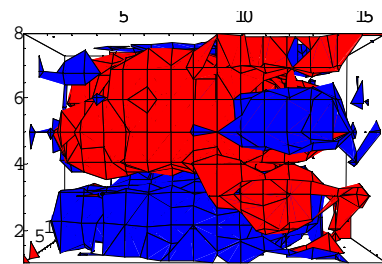
(b) 0.8[μ s]

Fig.5. Computed current distributions from the magnetic field distributions shown in Fig.4.

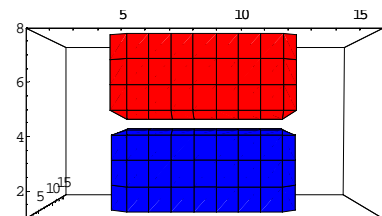


..... Circular loop current
 ■ Magnetic field source

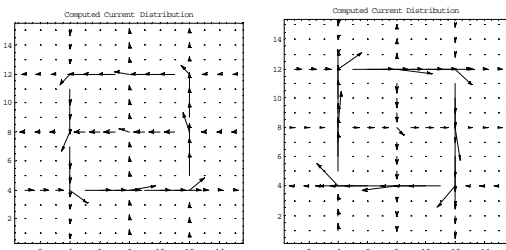
(a) Schematic diagram



(b) Measured magnetic field distribution



(c) Major dominant components of the magnetic field distributions extracted by the wavelets analysis



(d) Computed current distributions from Fig.6(c)

Fig.6. Identification of major dominant magnetic field source distribution

図5の結果は、正解の電流分布[図1(b)と1(d)]と比較して、電流分布の主要な成分がランダムノイズの影響を受けることなく計算されており、測定された放射磁界分布の三次元ウェーブレット解析が磁界源推定の前処理として比較的有効であることを示している。

図6に、対象領域内に還流する電流分布をもつ場合の例を示す。図6(a)と(b)は、それぞれ、磁界源の概略図、および、測定された放射磁界分布の三次元表示である。図6(c)に、三次元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6.5%のスペクトラムからウェーブレット逆変換によって得られた磁界分布を示す。図6(d)に、図6(c)の磁界分布から計算された電流分布を示す。

図6の結果は、三次元放射磁界分布に対して三次元ウェーブレット変換を適用し、マザーウェーブレット近傍スペクトラムから再現することで対象領域内を還流する電流分布のみを抽出することが可能であることを示す。

ここで、計算した電流分布が方形状に分布した結果になっているのは、ウェーブレット基底関数にドビッシ-2次基底を用いたためと考えられる。

5. まとめ

本稿では、最初に、X-Y面上で測定された二次元放射磁界分布に時間 t を第3軸として、時間領域磁界分布を表示する方法を提案した。さらに、三次元的表示された磁界分布へ三次元ウェーブレット変換を適用し、放射磁界分布の支配的な成分を空間のみならず時間領域へ拡張し抽出した。

その結果、測定された時間領域磁界分布から、磁界源である支配的な電流分布推定が可能であることを示し、その有効性を確認した。

参考文献

- 1) 赤尾保男:「環境電磁工学の基礎」 コロナ社, 1991年
- 2) 八木伸行、他:「C言語で学ぶ実践デジタル映像処理」 オーム社, 1995年
- 3) 斎藤兆古:「ウェーブレット変換の基礎と応用 (Mathematicaで学ぶ)」 朝倉書店, 1997年
- 4) 松山、小口、宮原、斎藤:「三次元ウェーブレット変換の応用」 日本シミュレーション学会 第19回計算電気電子シンポジウム, 1998年, pp.211-214.