

電磁界シミュレーションの車載用マルチメディア機器 EMS ノイズ解析への活用

Electro-Magnetic Compatibility Simulation of Automotive Multimedia Systems

上田千寿

株式会社エーイーティー 技術部

概要

FIT 法(有限積分法)と呼ばれる時間領域系の電磁界シミュレータのアルゴリズムは矛盾のない論理的体系から成り立つ。PBA 法はメッシュの形状近似を改善する手法である。PBA を用いることで解の収束性と解析効率が劇的に改善される。そのシミュレーション技術(FIT, PBA)を用いて車載用マルチメディア機器の EMS ノイズ解析を行った。解析対象物へ平面波を照射して筐体の共振解析を行う方法である。その結果、GSM キャリア周波数帯域へ共振を起こす構造体があることが判明した。改善方法として共振する構造体へキャパシタンスを追加して GSM キャリアの周波数帯域から共振周波数を異なる周波数帯域へシフトさせることができた。これは現実の電磁干渉問題に対して電磁界シミュレータを用いて改善した実例である。

Abstract

FIT method algorithm of the electromagnetic field simulator of the time domain system called the (finite integral method) was introduced briefly. PBA method is a method to improve the shape approximation of the mesh. Convergence and analysis efficiency of the solution by using a PBA is dramatically improved. The simulation technology (FIT, PBA) was EMS noise analysis of multi-media system in the vehicle. The analysis object is irradiated with the plane wave is a method for performing resonance analysis of the chassis. As a result, that there is a structure that resonates to the GSM carrier frequency band was found. It was able to shift the resonance frequency from the GSM carrier frequency band by adding the capacitance to the structure to resonate as an improvement method. This is an example that was improved by using an electromagnetic field simulator for real electromagnetic interference problems.

1. 有限積分法とは

有限積分法は、積分形式の Maxwell 方程式を離散化することで名づけられた手法である。離散化したメッシュのエッジの電圧 e とメッシュ面の磁束 b を未知数とする。ファラデーの法則をメッシュ面で離散化すると(1) 左辺は電界(電圧)の面の境界で線積分した値となる。この値は、エッジの未知数の和で表すことができる。右辺は面を通過する磁束の時間微分である。(ドットで表す)なお、空間をメッシュ化することによる離散化誤差はあるが、定義されたメッシュにおける方程式の離散の過程では誤差は生じない。 e と b を未知数とすることにより、(1)から(2)への移行は積分の数学的な性質のみに基づく移行となり、すなわち連続から離散への移行に起因する誤差はない。代数和の係数+1, -1 をまとめて行列の C (離散

化した curl 演算子)とし、電界と磁界の未知数をそれぞれベクトル e と b を記述するとファラデーの法則を微分したものと良く似た式が得られる。

$$\text{Curl}\vec{E} = -\dot{\vec{B}}$$

同様にして FIT ですべての Maxwell 方程式を離散化し、コンパクトな行列式 (3) に表すことができる。行列演算子 C , \tilde{C} (もう 1 つ別の curl 演算子), S , \tilde{S} (もう 1 つ別の divergence 演算子)は, 1, -1, 0 のみを要素とする位相行列である。直交グリッドでは、FDTD と FIT は等価となる。[4]

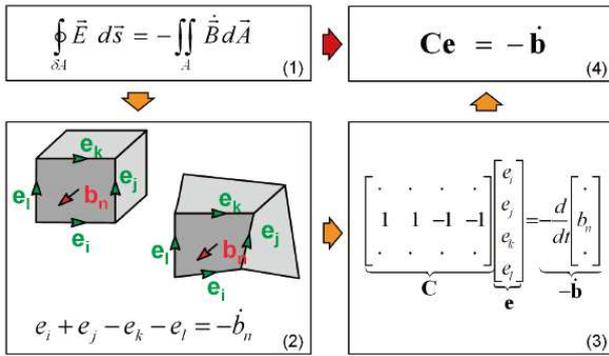


図 1：空間メッシュの離散化行列式

$$\begin{aligned} \oint_{\partial A} \vec{E} \cdot d\vec{s} &= -\frac{\partial}{\partial t} \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} & C\mathbf{e} &= -\mathbf{b} \\ \oint_{\partial V} \vec{H} \cdot d\vec{s} &= \iint_A \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \right) \cdot d\vec{A} & \tilde{C}\mathbf{h} &= \mathbf{d} + \mathbf{j} \quad (5) \\ \iint_{\partial V'} \vec{D} \cdot d\vec{A} &= Q & \tilde{S}\mathbf{d} &= \mathbf{q} \\ \iint_{\partial V'} \vec{B} \cdot d\vec{A} &= 0 & \mathbf{S}\mathbf{b} &= \mathbf{0} \end{aligned}$$

図 2 Maxwell 積分方程式とグリッド方程式

メッシュは 1 種類の媒体で占められ、形状は階段形状となる。その一方で現実の構造には曲面形状を含むものが大半であるので、階段近似で近似することは大変難しい。精度を高めるためには非常に詳細なメッシュが必要となる。

PBA(Perfect Boundary Approximation)[20]は、その階段状近似の短所を補う手法となる。FDTD[6]のメモリ効率の良さを損なうことなく形状表現を改善する。この手法により、メッシュセル数が低減され且つ、小さなメッシュが無くなる。小さなメッシュがないことで時間ステップが大きくなりシミュレーションのパフォーマンスは劇的に向上する。(図 3) 尚、PBA の詳細についてここでは省略する。参考文献[20] PBA を用いることで安定的且つ早期に収束に至っている。(図 3 左)

2. 時間領域解析の形状近似

従来の FDTD 法では、六面体で個片化されたメ

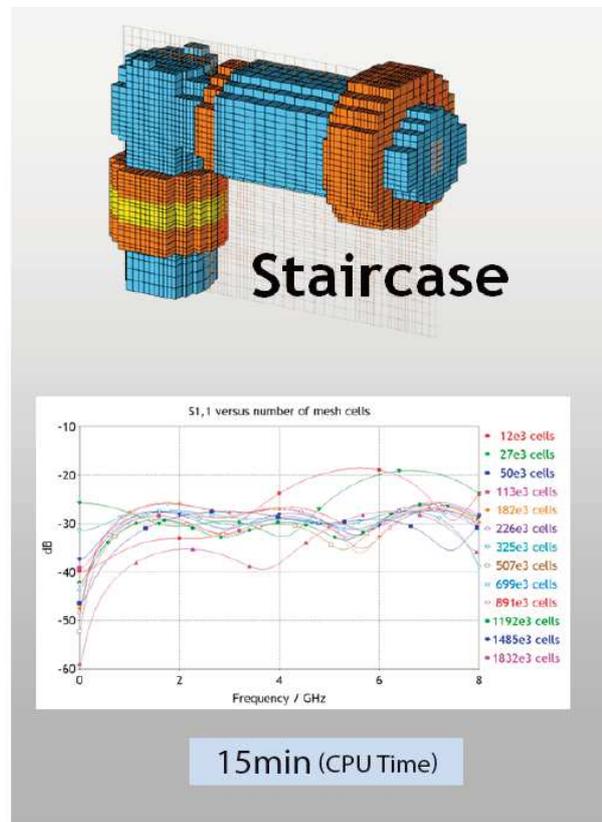
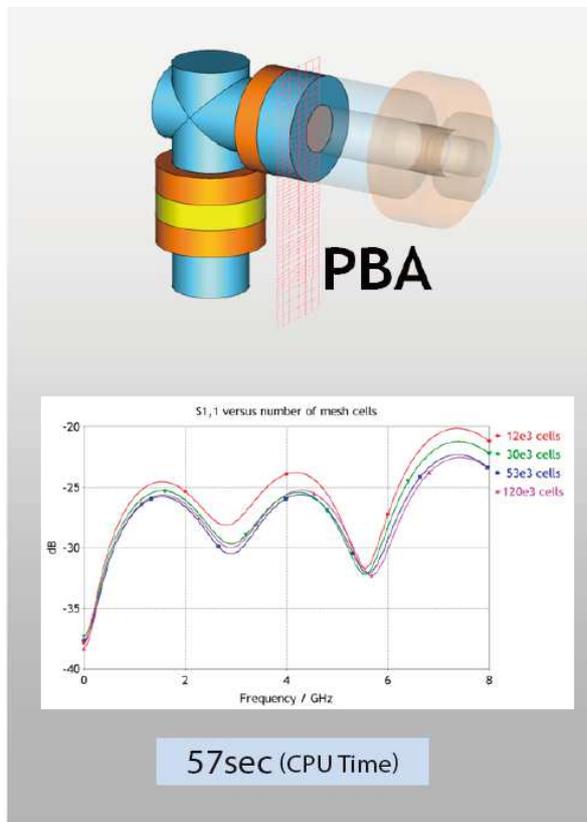


図 3：PBA と Staircase の解析結果比較

3. 車載用マルチメディア機器の問題点

本主題であるマルチメディア機器へ話題を移行する。(尚この機器における図絵については著作権の関係にて省略する。) この機器にはラジオチューナーとコンパクトディスク再生メカが搭載されている。オーディオパワーアンプは HIC(ハイブリッド IC)で構成されている。音声系統はステレオ(2ch)であるが、ラウドネスシステムにより音声出力は 4ch となり 4つの車載スピーカーへ接続されている。その近傍で GSM の通信帯域を持つセルフォンで通話を始めるとスピーカーからソースとなる音声信号が無いにも関わらず、なぜかクリック音が聞こえた。 GSM キャリアには 217Hz の GSM パルスが含まれておりオーディオパワーアンプ回路が実装している付近のどこかへ電磁干渉を起こしてそのパルス音が復調されたと推定した。そこで電磁界解析技術を用いてその確認と原因調査を開始する。

4. 解析手順

解析モデルは機構系 3次元 CAD による設計データを利用した。設計データを電磁界シミュレータへ取り込む。オーディオパワーアンプ周辺にある大型の電界コンデンサは円筒形の金属円柱として配置した。また、その近傍にいくつかの電界プローブを設置した。筐体の前面から平面波を後部へ向けて照射し電磁界解析を実行した。

5. 解析結果

解析結果として電界プローブに 920MHz の周波数スペクトラムが存在することを確認する。これは GSM 通信キャリア周波数帯域と一致する。次に円柱導体として配置した電界コンデンサを取り去り同じ解析条件で電磁界解析を実行する。その結果 920MHz の周波数スペクトラムが無くなった。オーディオパワーアンプとヒートシンク、及び電界コンデンサの配置と位置関係により 920MHz 付近で共振を起こしている可能性がある。解析モデルの個々の要素を個別に電磁界解析を繰り返して行った結果、パワーアンプのアルミ製のヒートシンクが 920MHz で共振するアンテナ

ナとして振る舞っていることが判明。

6. 改善方法

改善策として 5pF のコンデンサをそのヒートシンクと基板上のグランドプレーンとの間に接続した。その結果 920MHz 帯の共振周波数を他の周波数帯域へシフト(チューニング)させることができた。それにて問題解決へ至る。

7. まとめ

(電磁界解析を効率よく行うためシミュレータに求められること)

今回は時間領域解析ソルバー(FIT PBA)を用いてマルチメディア機器の EMS ノイズ解析を行った。EMS 解析を効率よく行うためにシミュレータに求められる事項を以下にまとめる。

- ・様々な形式の CAD データを読み込める CAD インターフェースが必須。

- ・CAD で設計された形状データは非常に複雑である。FEM 系のシミュレータはその複雑な形状に対して 4 面体メッシュを形成する際、難易度が極めて高くなることが多い。その一方、時間領域系の直交座標メッシュは複雑な形状に対して形状認識以外の問題は、ほぼ皆無で解の安定性も良い。その理由により、目的が低周波数帯の解析ではない場合、且つ 複雑な設計データを用いた解析には時間領域系のシミュレータが推奨される。

- ・ノイズ解析の場合、回路基板を含めた電気・電子回路のアクティブな動作をシミュレートすることは難易度が高い。今回のように外部よりノイズ源を与えパッシブな解析を行うことで、現在の問題点や電磁界の振る舞いがわかりやすく、問題解決の近道となる場合が多い。

8. 参考文献

[1] Daniel G. Swanson, Jr. and Wolfgang J.R.

- Hoefler, *Microwave Circuit Modeling Using Electromagnetic Field Simulation*. Norwood, MA: Artech House, 2003.
- [2] F. Gustrau and D. Manteuffel, *EM Modeling of Antennas and RF Components for Wireless Communication Systems*. Springer-Verlag, Berlin 2006.
- [3] T. Weiland, "A discretization method for the solution of Maxwell's equations for six-component fields," *Electronics and Communication (AEU)*, vol. 31, no. 3, p. 116, 1977.
- [4] T. Weiland, "Time domain electromagnetic field computation with finite difference methods," *International Journal of Numerical Modelling*, vol. 9, no. 4, pp. 295-319, 1996.
- [5] K.S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Antennas and Propagation*, vol. 14, no. 5, pp. 302-307, 1966.
- [6] Allen Taflove and S.C. Hagness, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, 3rd edition. Norwood, MA: Artech House, 2005.
- [7] F. Zheng, Z. Chen, and J. Zhang, "A finite-difference time domain method without the Courant stability conditions," *IEEE Microw. Guided Wave Letters.*, vol. 9, no. 11, pp. 441-443, 1999.
- [8] E.P. Li, I. Ahmed, and R. Vahldieck, "Numerical dispersion analysis with improved LOD-FDTD method," *IEEE Microwave & Wireless Components Letters*, vol. 17, no. 5, pp. 319-321, May 2007.
- [9] P.B. Johns and R.L. Beurle, "Numerical solutions of 2-dimensional scattering problems using a transmission-line matrix," *Proceeding of the IEE*, vol. 118, no. 9, pp. 1203-1208, 1971.
- [10] Christos Christopoulos, *The Transmission-Line Modeling Method: TLM*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995.
- [11] A. Bossavit, *Computational Electromagnetism. Variational Formulations, Complementarity, Edge Elements*. New York: Academic Press, 1998.
- [12] J. Jin, *The Finite Element Method in Electromagnetics*, (second edition). Piscataway, NJ: IEEE Press, 2002.
- [13] R.F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*. New York: Piscataway, NJ: IEEE Press, 1993.
- [14] A. Taflove and M.E. Brodwin, "Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 23, pp. 623-630, Aug. 1975.
- [15] K.M. Krishnaiah and C.J. Railton, "A stable subgridding algorithm and its application to eigenvalue problems," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, No 5, pp. 620-628, 1999.
- [16] P. Thoma and T. Weiland, "A consistent subgridding scheme for the finite difference time domain method," *Int. J. Num. Model., Electron. Network, Devices Fields*, vol. 9, no. 5, pp. 359-374, 1996.
- [17] W.H. Schilders, H.A. van der Vorst, and

- J. Rommes,
Model Order Reduction: Theory, Research Aspects and Applications
(*Mathematics in Industry / The European Consortium for Mathem.*)
New York: Springer-Verlag, 2008.
- [18] G. Conciauro, M. Guglielmi, and R. Sorrentino, *Advanced Modal Analysis*. New York:Wiley, 2000.
- [19] W.C. Chew, J.-M. Jin, E. Michielssen, and J. Song, *Fast and Efficient Algorithms in Computational Electromagnetics*. Norwood, MA: Artech House, 2001.
- [20] B. Krietenstein, R. Schuhmann, P. Thoma, and T. Weiland, “The perfect boundary approximation technique facing the challenge of high precision field computation,” in *Proc. of the XIX International Linear Accelerator Conference (LINAC’ 98)*, Chicago, 1998, pp. 860–862.
- [21] J.P. Berenger, “A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves,” *J. Comput Phys.*, vo.114, no.2, pp. 185–200, 1994.
- [22] L. Foged, A. Giacomini, L. Duchesne, E. Leroux, L. Sassi, and J. Mollet, “Advanced modelling and measurements of wideband horn antennas,” in *Proceedings of the 11th International Symposium on Antenna Technology and Apply Electromagnetics (ANTEM 2005)*, pp. 105–108.
- [23] IBM, Thomas J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY, private communications, A. Deutsch.
- [24] E. Gjonaj, M. Bender Perotoni, and T. Weiland, “Large Scale Simulation of an Integrated Circuit Package,” in *Proceedings of the 15th Topical Meeting on Electrical Performance of Electronic Packaging (EPEP 2006)*, October 23, 2006, pp. 291–294.
- [25] C.E. Shannon, “Communication in the presence of noise,” in *Proc. Institute of Radio Engineers*, Jan. 1949, vol.37, no.1, pp. 10–21. Reprint as classic paper in: *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 2, Feb. 1998.
- [26] J. G. Maloney and G. S. Smith, “The efficient modeling of thin material sheets in the FDTD method,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, no. 3, pp. 323–330, 1992.
- [27] R. Courant, K. Friedrichs, and H. Lewy, “Über die partiellen Differenzengleichungen der mathematischen Physik,” *Mathematische Annalen*, vol. 100, no.1, 32–74, 1928.
- [28] R. Schuhmann and T. Weiland, “Stability of the FDTD algorithm on nonorthogonal grids related to the spatial interpolation scheme,” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 34, no. 5, pp. 2751–2754, 1998.
- [29] All simulation pictures created with CST MICROWAVE STUDIO, except Figure 7 created with CST MICROSTRIPES™