

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650116

研究課題名（和文） 遺伝的アルゴリズムの電磁ノイズ低減配線への応用

研究課題名（英文） Application of the Genetic Algorithms for Electromagnetic Noise Reduction Traces

研究代表者

安永 守利 (YASUNAGA MORITOSHI)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80272178

研究成果の概要（和文）：情報通信機器の高速化に伴い、これらを構成するプリント基板の配線からの電磁ノイズが大きな問題となっている。本研究では我々が提案する「セグメント分割伝送線」をこの問題の解決に適用した。セグメント分割伝送線は、遺伝的アルゴリズムによって最適化構造を決定する配線である。これにより、信号の品質を保ちながら、電磁ノイズを低減できることが期待できる。試作基板配線による測定の結果、信号波形の整形と共に効果的に電磁ノイズを低減できることが実証できた。

研究成果の概要（英文）：As operation speeds of the information and communication devices increase, their electromagnetic noises, which are emitted from traces on their printed circuit boards, causes a troublesome problem. We applied the segmental transmission line, we had proposed already, to this problem. The segmental transmission line is the novel transmission line the structure of which is determined with the genetic algorithms. We can expect considerable electromagnetic noise reduction ensuring high signal integrity with the segmental transmission line. Under the measurements using some prototype boards, we showed that the segmental transmission line is effective to the electromagnetic noise reduction as well as the improvement of the distorted waveforms.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：集積回路工学

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：遺伝的アルゴリズム，組み合わせ問題，電磁ノイズ，配線，プリント基板

1. 研究開始当初の背景

情報通信機器の動作速度(周波数)はGHzに達しており、これら機器のプリント基板配線の信号伝送によって発生する電磁ノイズにより周囲機器が誤動作を起こす問題が生じている。この電磁ノイズ対策として、従来は、この電磁ノイズ対策として、配線の構造を一様にしたり、電子デバイス~~の~~プリント基板上での配置を変更するなどの方法がとられてきた。しかし、配線を一様にする対策

は、GHzの信号に対しては極めて困難であり、また、電子デバイスの配置を変更することについては、定まった設計手法がなく、現場技術者の試行錯誤によるしかなかった。

このため今後のプリント基板配線には、高い品質の信号を伝送するとともに、電磁ノイズを低減することのできる新たな構造が望まれている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高い信号品質を実現しながら、電磁ノイズも低減できる新たな配線構造とその設計手法を提案することである。さらに、この構造の効果と設計手法の **feasibility** を試作による実測により定量的に評価することが目的である。

3. 研究の方法

本研究の基本となるアイデアは、「セグメント分割伝送線」である。これは図1に示すように、伝送線上を伝送するデジタル信号の信号品質低下に対するアイデアである。図1はプリント基板上の配線にLSIなどの電子デバイスが接続されたモデルを示している。LSIなどのデバイスは、寄生容量 (Parasitic Capacitance) としてモデル化できる。これらの寄生容量により特性インピーダンスの不整合が生じ、このため、反射ノイズが発生する。この反射ノイズが伝送されるデジタル信号に重畳することにより波形が大きく歪む (信号品質が低下する) こととなる。

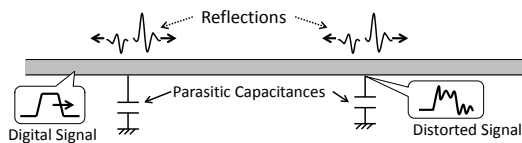


図1 デジタル信号の信号品質低下

信号品質の低下を改善するために、セグメント分割伝送線では、伝送線を複数のセグメントに分ける (図2)。そして、各セグメントの幅を個々に独立に与える。これにより、セグメント毎に特性インピーダンスが変化するため、セグメント境界で反射ノイズが発生する。そして、この意図的に発生した反射ノイズを歪んだデジタル信号に重畳することで波形を整形する (信号品質を向上させる)。これには、セグメント長も個々に変化させる。

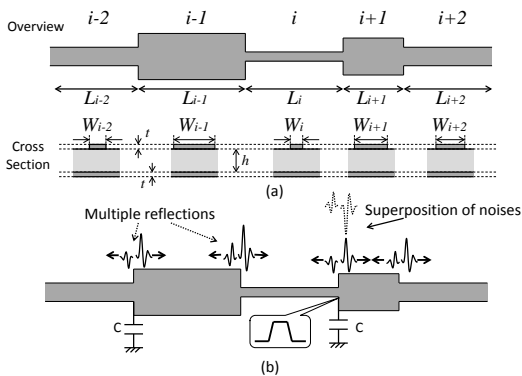


図2 セグメント分割伝送線の概略
ここでセグメント分割伝送線には、その設

計上、大きな課題がある。各セグメントの線幅とセグメント長の組み合わせ数は一般に 10^{20} を超える。このため、組み合わせ爆発問題となり、(準) 最適な解を求める場合でも多大な計算時間を必要とする。

このため、セグメント分割伝送線では、「遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithms) を利用する。GAは、生物の進化をモデル化した (準) 最適解探索アルゴリズムであり、解を求めたいパラメータを染色体上の遺伝子としてマッピングし、複数の染色体に遺伝操作を行う。

セグメント分割伝送線の設計では、図3に示すようにパラメータ (各セグメントの特性インピーダンスとセグメント長) を遺伝子として、染色体 (一次元のパラメータ列) にマッピングする。

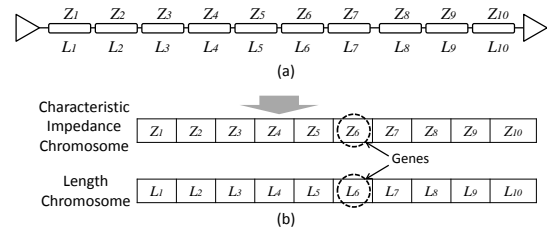


図3 セグメント分割伝送線の GA マッピング

この複数の染色体に対して図4に示すように、“交叉 (Crossover)”, “突然変異 (Mutation)”, “選択・淘汰 (Selection)” を行う。この“選択・淘汰”の際、染色体を“評価 (Evaluation)”して、得点の低い染色体を淘汰させる。

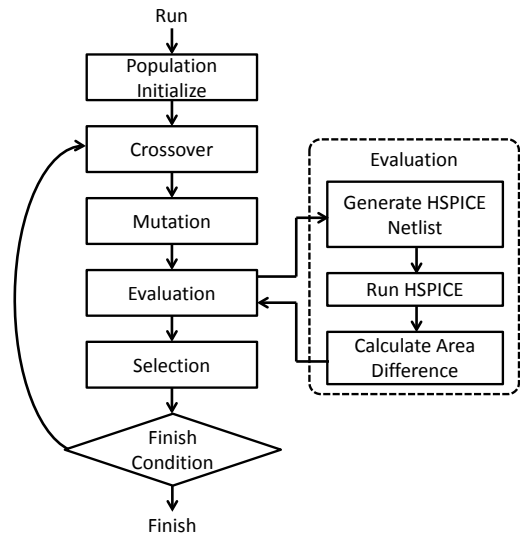


図4 セグメント分割伝送線の遺伝操作

ここで、“評価”の際には、図5に示す評

価値を使用する．すなわち，理想的な信号波形（Teacher Waveform）と現在の波形（Observed Waveform）の面積誤差の逆数を評価値とする．この値が大きいほど両波形は近いことになり，高品質な波形が得られたことに（進化が進んだ）なる．

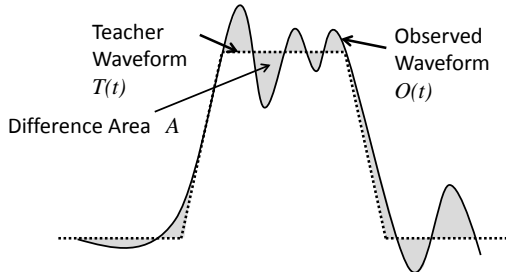


図5 デジタル信号波形と評価値

ここで，信号品質だけではなく，電磁放射も含めて評価を行うことにより，電磁ノイズも低減できる伝送線設計することが可能となる．

4. 研究成果

本研究では，セグメント分割伝送線により，信号波形の品質向上と電磁ノイズについて設計，評価を行った．ここでは，そのいくつかの結果を示す．

図6に対象とした伝送系の回路概略を示す．ハイエンドサーバのマザーボード（バックボード）とドーターボードからなる伝送系である．ドーターボードにはLSI等の電子デバイスが2個接続されており（24pFの寄生容量と等価である），その内の1つを波形観測点とする．

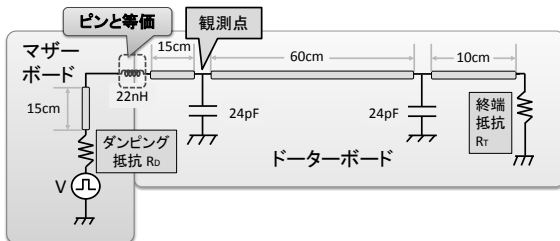


図6 設計対象とした従来伝送系

これに対して，セグメント分割伝送線の設計結果を図7に示す．また，従来伝送系（図6）の設計波形（シミュレーション結果）を図8に，セグメント分割伝送線の設計波形（シミュレーション結果）を図9に示す（それぞれの波形では，教師波形となる目標波形も示す）．

セグメント分割伝送線では，ドーターボー

ド上の配線を16分割している．なお，伝送信号として，150MHzのクロック信号を用いて設計している．これは，1GHzクロック信号のスケールアップ設計である．スケールアップ設計とは，対象となる伝送系の周波数を1/nに減少し，伝送配線長と寄生容量，寄生インダクタンスをn倍にする設計である．対象とする伝送系の波形とスケールアップ系の波形は相似であるため，スケールアップ系を試作測定することで，高周波における波形を正確に実測評価できる．本研究においてもスケールアップ設計と試作を行った．

上段：特性インピーダンス[Ω]、下段：セグメント長[cm]

RD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	RT
50	110	75	60	85	95	70	60	65	90	60	105	100	120	55	70	85	57
	4.95	4.9	5.15	6.7	5.7	6.75	5.7	5.75	5.75	5.85	5.9	6.2	3.25	3.3	3.45		

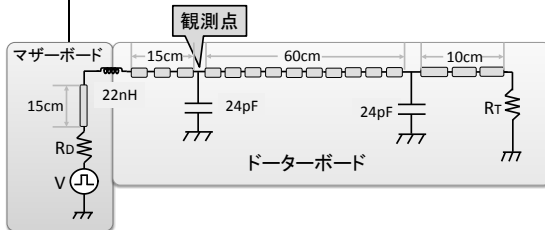


図7 セグメント分割伝送線の設計結果

図8に示すとおり，伝送波形（観測波形）は大きく乱れており，論理マージン（信号振幅の半分の値からの信号電圧余裕）は0.1V以下まで低下している．この波形では，実使用は困難である．

一方，図9に示すようにセグメント分割伝送線では，ほぼ目標波形と同等の波形となっている．論理マージンは約0.8V以上であり，論理マージンで比較するとその改善率は，10倍以上を達成している．

この設計結果を基に試作基板を作成し，波形を実測した．試作した基板を図10に示す．基板の上部に従来伝送線を，下部にセグメント分割伝送線を実装している．なお，LSIやコネクタの電子部品は，容量性負荷やインダクタンス性負荷とみなせるので，実測では，チップコンデンサとチップインダクタを実装することで等価的な測定を行っている．

図11に従来伝送線の実測波形を示す．シミュレーション（図8）と同様に波形は大きく歪み，論理マージンはシミュレーション結果よりは大きいものの実使用には適用できないレベルである．なお，シミュレーションで観測された鋭い振動波形が実測で観測されていないのは，測定用プローブの周波数特性が十分高くないためと考えられる．一方，セグメント分割伝送線の実測波形を図12に示す．図11の波形は十分改善されており，論理マージンも十分な理想的な伝送波形となっている．

評価用試作基板の電磁ノイズを電波暗室で測定した。図 1 3 に電波暗室における基板の配置状況を示す。受信アンテナに対して 3m はなれた位置に試作基板を配置している。電磁ノイズの測定結果を図 1 4 に示す。100MHz より高い周波数領域において放射強度が高まっており、300MHz 近辺で最大の放射強度となっている。これは、配線に入力したランダム信号の基本周波数が 250MHz であることより、その近傍の周波数が強くなっているためと考えられる。しかし、水平方向放射強度と垂直方向放射強度の両方とも $50 \mu\text{V}/\text{m}$ 以下であり、基準範囲以内のノイズ量となっている。これより、セグメント分割伝送線の電磁ノイズは実使用可能な範囲であることがわかる。

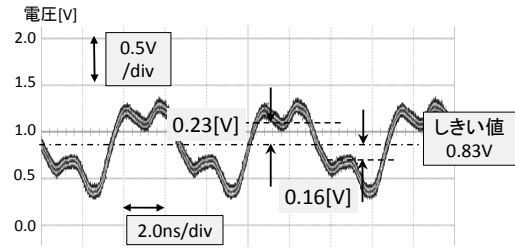


図 1 1 従来伝送線の実測波形

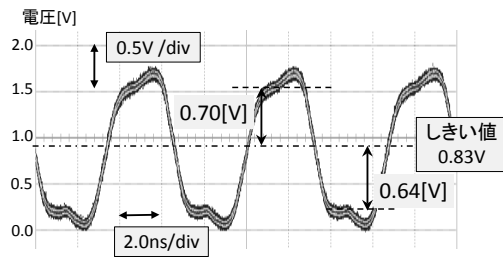


図 1 2 セグメント分割伝送線の実測波形

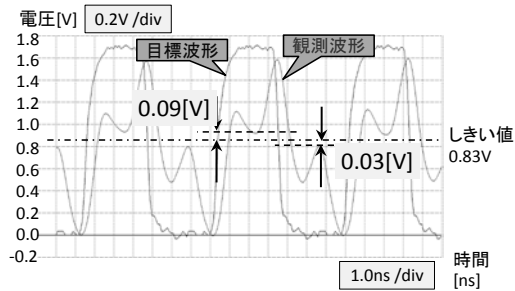


図 8 従来配線の伝送波形

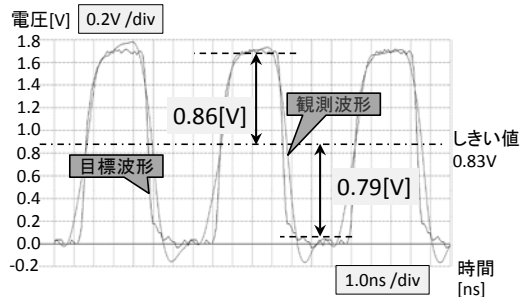


図 9 セグメント分割伝送線の伝送波形

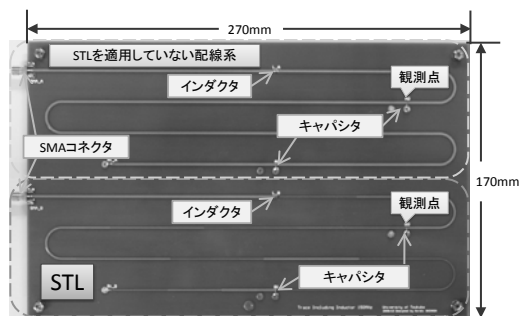


図 1 0 評価用試作基板

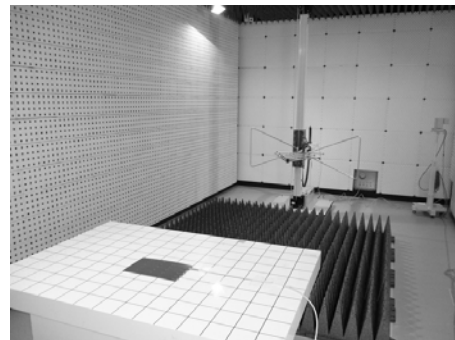


図 1 3 電波暗室による電磁ノイズ測定

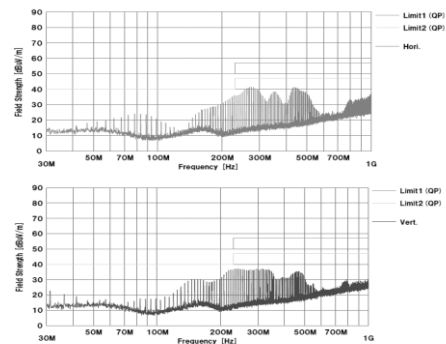


図 1 4 試作基板の電磁ノイズ測定結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 7 件)

(1) Hiroki Shimada, Shohei Akita, Yusuke Kuribara, Ikuo Yoshihara, and Moritoshi Yasunaga, “Signal Integrity Improvement in Lossy Transmission Line Using Segmental Transmission Line,” IEEE Proc. Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS) 2012, December 10–11, 2012, Taipei, Taiwan.

(2) Katsuyuki Seki, Hiroki Shimada, Ikuo Yoshihara, Moritoshi Yasunaga, “ Crosstalk-noise Reduction Using Segmental Transmission Line,” IEEE Proc. Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS) 2012, December 10–11, 2012, Taipei, Taiwan.

(3) 井上栄史, 安永守利, “周波数領域によるセグメント分割伝送線の設計と評価,” 電子情報通信学会第 49 回機能集積情報システム研究会, 2012 年 10 月 19 日, 東洋大学 (川崎市).

(4) 関勝之, 島田弘基, 安永守利, “セグメント分割伝送線を用いたクロストークノイズ低減の実証実験,” 電子情報通信学会第 48 回機能集積情報システム研究会, 2012 年 6 月 8 日, 関西大学 (大阪府).

(5) 安達拓也, 栗原佑輔, 秋田翔平, 島田弘基, 石嶋秀敏, 吉原郁夫, 安永守利, “反射波の重ね合わせによる超高速デジタル信号のシグナルインテグリティ改善技術,” 電子情報通信学会総合大会, 2012 年 3 月 20 日, 岡山大学, (岡山市).

(6) 安永守利, “高速デジタル伝送信号の波形整形技術,” 第 26 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会 (招待講演), 2012 年 3 月 7 日, 中央大学 (東京都).

(7) 栗原佑輔, 秋田翔平, 島田弘基, 安達拓也, 石嶋秀敏, 吉原郁夫, 安永守利, “セグメント分割伝送線を用いた PCB 分岐配線上の高速信号波形整形,” 電子情報通信学会電子部品・材料研究会 (デザインガイア), 2011 年 11 月 28 日, ニューウェルシティ宮崎 (宮崎市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安永 守利 (YASUNAGA MORITOSHI)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号: 80272178