

氏名(本籍)	陳 崧 (中華人民共和国)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第 56 号
学位授与年月日	平成 8 年 3 月 25 日
専攻	電子情報システム工学専攻
学位論文題目	FFT計算ネットワークの故障検出に関する研究 (Study on Fault Detection for FFT Networks)
学位論文審査委員	(主査) 教授 後藤 宗弘 (副査) 教授 神保 雅一 教授 田中 嘉津夫

論文内容の要旨

本論文は、デジタル信号処理で最もよく利用される高速フーリエ変換計算ネットワークの故障検出について考察し、6章からなっている。

第1章の緒言では、フォールトトレラントシステムについての研究動向と問題点を概説し、本研究の目的と意義について述べている。

第2章では、まず、従来のFFT計算ネットワークの故障検出法が2種類に分類できることを示した。さらに、2点バタフライモジュールを基本回路素子とし、各段で $N/2$ 個の2点バタフライモジュールを $\log_2 N$ 段含む一次元FFT計算ネットワークに対して、実際の二点バタフライモジュール内部構造を考慮し、その内部での単純故障による出力への影響を分析した。その結果、従来の仮定より、さらにもう1種類の別の誤りも検出の対象としなければならないことを明らかにした。その故障は本研究ではじめて考察される故障モデルである。このような故障モデルに対して、故障によるFFT計算ネットワークの出力への影響を調べ、故障検出条件を与えた。そして、出力データ同士を比較するのみで、そのネットワーク内部の故障をオンライン検出する方法を提案し、それにより実際に故障検出ができることを示した。

第3章では、第2章で用いた故障検出法の結果を利用して、故障位置の同定と故障パターンの検出を試みた。また、FFT計算ネットワークのオフラインでのシステムの故障診断について考察し、二組の特殊入力データにより、故障検出、故障の位置、故障パターンを求める方法を提案した。こ

の方法により、従来検出できないと考えられていた入力段における故障の検出もできることを示した。

第4章では、画像、音声などに用いられる二次元信号に対して、二点バタフライモジュールをベースした二次元行-列分解フーリエ変換のネットワークの構成法が一次元の場合と類似していることに注目し、一次元の故障検出法を二次元処理系に応用し、二次元FFT計算ネットワークの故障検出ができることを示した。しかし、二次元での処理するデータの量が膨大になるので、一層の高速化が要求される。そこで、従来の方法より、25%の複素数の計算を減らすことができるベクトルラディックス高速フーリエ変換のアルゴリズムに基いた二次元FFT計算ネットワークに注目した。そして、二次元FFT計算ネットワークネットワークの基本モジュール(2,2)点ラディックスバタフライの内部構造を分析し、各点での数値 α だけの加法的な誤りを発生させる故障による出力への影響を分析し、それらを故障モデルにまとめた。さらに、本研究で提案した故障検出法をこの二次元FFTネットワークに応用し、故障検出条件を与え、故障検出ができることを示した。

第5章では、FFT計算ネットワークと同一の形の数論変換ネットワークを対象して、それを構成するバタフライネットワークの結線上の単一故障を検出する方法を求めた。数論変換はすべての計算を法 M の上の整数の計算に帰着させたもので、丸め誤差の影響を受けないので、計算機の処理に向いている。法 M としては計算のしやすさから、従来よく利用されているFermat数、Mersenne数、Golomb数について検討し、そのような故障の検出ができる数論変換の法 M の選び方を提案した。

第6章では、第2章から第5章で得られた成果について要約し、今後の課題について述べた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、デジタル信号処理で最もよく利用されるフーリエ変換をFFT計算ネットワークの形の専用VLSI回路で実現した場合に、発生すると考えられる回路内の故障の検出法について議論したもので、得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 2点入力バタフライ回路を基本モジュールとして、各段に $N/2$ 個ずつ並べて、全体を $\log_2 N$ 段で構成されるFFT計算ネットワークに対して、従来の故障検出法が大きく2種類に分類できることを示した。さらに、それらの故障検出法の故障検出条件を求め、特徴を分析した。
- (2) 2点入力バタフライモジュールの内部の構成を細かく分析し、従来のゲートレベルで定義された単一縮退故障、多重縮退故障などの故障モデルを含めて機能モジュールを単位として故障を数え、その意味での単純故障を定義した。そして、このような故障モデルが、FFT計算ネットワークのようなシステムのように、特に冗長モジュールを待機させないフォールトトレラントシステムでは有効であり自然なモデルであることを示した。さらに、想定した故障で、従来考えられている誤り以外に、別の種類の誤りも発生し得ることを示し、これも検出の対象にした。
- (3) これらの故障による出力への影響を分析し、誤り出力が対象性を持つことを明らかにした。これらの誤りを検出するために、特に、誤り出力の対象性を崩すために、入力データに冗長性を持たせることを考えた。そして、それらの検出手順を与え、実際にそれが復号回路も含めた回路内の単純故障のオンライン検出に有効に働くことを証明した。
- (4) この検出法は出力誤差を利用したものであるが、誤りの差分を利用したオフライン故障位置同定が可能であることを示した。さらに、2組の特殊データにより、FFT計算ネットワークの故障検出、故障位置の同定、故障パターン、また、見かけ上零となる断線エラーの検出もできることを示した。
- (5) これらの考察は、二次元フーリエ変換回路についても、応用できることを示した。

(6) 数論変換回路では複素数を扱わないが，このような回路でも従来の検出法が有効であることを確認した。

以上に述べた要旨のように，本論文は，一次元，二次元FFT計算ネットワークの単純故障のオンライン検出，オフラインでの故障位置の同定などにより，計算システム全体の信頼性，安全性を向上させるのに極めて有効な手法を明らかにしたものであると考えられ，学術上，實際上寄与するところが少なくない。よって，本論文は博士（工学）の学術論文として価値あるものと認める。