

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現

PM名：山本 喜久

プロジェクト名：量子人工脳

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 2 7 年 度

研究開発課題名：

量子フィードバック回路開発

研究開発機関名：

大阪大学

研究開発責任者

井上 恭

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本課題は、コヒーレント・イジングマシン（CIM）の要の構成要素である量子フィードバック回路の開発、特に FPGA による信号処理回路の設計・実装を主たる担務としている。前年度、CIM システムへの要求条件及び利用可能な各種電気部品の性能を鑑みて、実装すべき信号処理回路の仕様・基本構成を策定した。本年度はこれを受け、実際に FPGA 信号処理回路を作製・実装し、さらにそれを NTT チームのファイバリング型縮退光パラメトリック発振器(OPO)と組み合わせ、CIMの基本動作を確認することを目標とした。

作製・実装する FPGA 回路は、1GHz で時分割された 2048 個の OPO パルスに対し、各パルス状態に基づいた演算を行ってフィードバック信号を出力するよう動作するものであり、具体的には、次の行列演算が主たる機能となる。

$$\begin{pmatrix} S_1(k+1) \\ S_2(k+1) \\ \vdots \\ S_M(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_{11} & J_{12} & \cdots & J_{1M} \\ J_{21} & J_{22} & \cdots & J_{2M} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ J_{M1} & J_{M2} & \cdots & J_{MM} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1(k) \\ S_2(k) \\ \vdots \\ S_M(k) \end{pmatrix}$$

上式において、右辺のベクトル $\mathbf{S}(k)$ は k 周回目のパルス状態であり、各要素は 1n 秒間隔で順次入力される。これに対し行列 \mathbf{J} を施し、フィードバック信号であるベクトル $\mathbf{S}(k+1)$ を生成する。ここで、 $M=2018$ 、 $J_{ij} = \{-1, 0, 1\}$ 、であり、この行列演算を 2~3 μ 秒内に行う。さらに、上記演算が誤りなく実行されるべく、周辺回路も適宜実装する。

上記 FPGA 回路の作製・実装・動作確認を当該年度の主たる目標とした。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

上記当該年度の目標は概ね達成された。前半期で FPGA 回路の初期段階の作製を終え、基本動作確認及びいくつかの手直しを行った後、NTT 研究所にて OPO に組み込んだ動作実験を行い、CIM の基本動作を確認した。作製した FPGA 回路の詳細は次項にて述べる。

2-2 成果

作製した FPGA 回路+入出力部の概略を図 1 に示す。FPGA ボードのゲート数の制限から、2048×2048 の行列計算を 1 台で行うことは不可であったため、行列 \mathbf{J} を右半分と左半分に分け 2 台のボードでそれぞれ計算するものとし、さらに部分的に並列処理することにより演算時間の短縮化を図った。入力部の AD 変換器は 1GHz クロック動作/分解能 12 ビット、出力部の DA 変換器は 2GHz クロック動作/分解能 14 ビット、である。

図 2 は周辺回路も含めた全体ブロック図である。基本演算部の他に、パルスに番号付けするためのタイミング調整部、ADC の周波数特性を等化するための FIR フィルタ、高分解能でデータを取り込む範囲をダイナミックに設定するサンプリング範囲調整部、DAC が AC 結合であることに対処するための interpolation、などが備えられている。これら周辺回路を具備することにより、正しい演算が実行される。

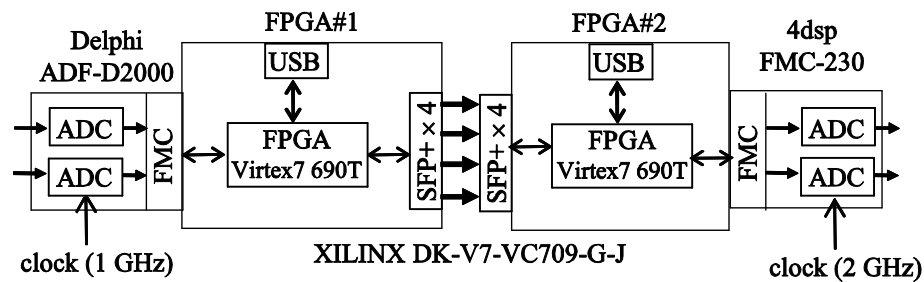


図 1. フィードバック制御演算部構成

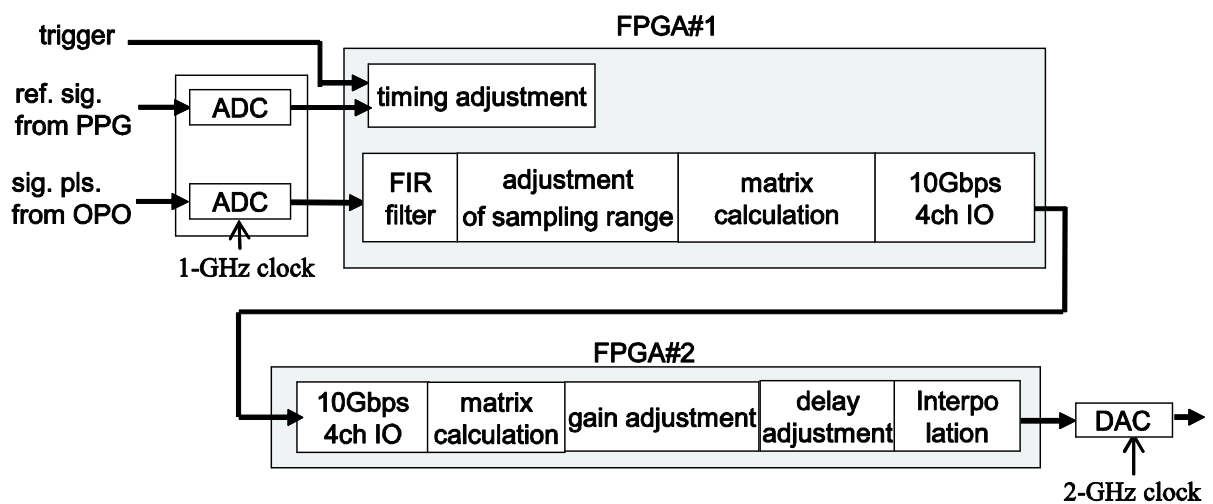


図 2. フィードバック演算回路全体ブロック図

2-3 新たな課題など

基本動作は確認された一方で、改良すべき点も見出された。

ひとつはデータ転送速度の遅さである。本 FPGA 回路は、途中の動作状態をモニターすべく、各パルス状態を逐次内部に記録しているが、使用したインターフェースの性能制限からこれを外部に転送するのに時間がかかり、効率的な実験実施の妨げとなった。今後、インターフェースを見直し、転送速度の向上を図る。

また、今回は行列演算の J_j を離散値としたが、これを連続値とすることも検討する。

3. アウトリーチ活動報告

特に無し。