音楽・マルチメディア用ビジュアルプログラミング言語から HDL への高位合成ツールの開発 —プログラマブルな楽器 sigboost—

1. 背景

ソフトウェアによる先進的な芸術表現の分野では，音楽や映像などのマルチメディアの扱いに優れたビジュアルプログラミング言語である Cycling' 74 Max（以下 Max）がよく利用されている．これらはアーティストが高速なプロトタイピングを行なうことを可能にするが，リアルタイム性を重視するライブパフォーマンスの現場では，低い安定性・大きな遅延などの面で実用に耐えないという問題がある．

前述のような問題の一般的な解決策となる高速化の分野では，GPU や FPGA（プログラマブルな集積回路）などの専用アーキテクチャによるハードウェアアクセラレーションが注目されている． とりわけ FPGA は，ソフトウェアによる芸術表現が要求するような複雑かつ並列でリアルタイムな信号処理の高速化に適しているが，実装には HDL（ハードウェア記述言語）を用いた回路論理記述を含む多くの工数とノウハウが必要で，難易度が高く時間がかかる．FPGA 実装の難しさは高速化を行いたいすべての開発者にとって普遍的な問題で，解決策として高位合成と呼ばれる技術（C や Python などのソフトウェア言語による記述から回路論理，HDL を生成する技術）が存在するが，現在はまだ FPGA 実装に見識のあるハードウェアエンジニアが使わなければ，現実的に動作する回路論理を合成できない．

従って現在，FPGA による高速化というソリューションが存在しているにもかかわらず，高位合成技術が未熟であるために，ソフトウェア開発者やアーティストはその解決策を利用できない状況にある．

2. 目的

本プロジェクトの目的は大きく二つある．一つは高位合成技術の進歩と普及に貢献することである．ソフトウェアプログラマ，ないしそれより高いレイヤーの人間が，高位合成を用いた FPGA ハードウェアアクセラレーションによって既存の問題を解決した事例を作成し，ソフトウェアプログラマのための高位合成処理系の足がかりとする．もう一つは，ソフトウェアによる芸術表現に対する制約を，FPGA によるハードウェアアクセラレーションによって実際に解決することである．

Max から HDL への高位合成処理系を開発することで，この 2 つの目的を達成する．

3. 開発の内容

本プロジェクトではプログラマブルな楽器 sigboost を開発した．sigboost は 2 つのコンポーネントからなる．一つは楽器本体となる sigboost Processor である．もう一つは sigboost Processor を動作させるためのバイナリイメージを出力する sigboost HLS System である．ユーザは Max を用いてシンセサイザ・エフェクタなどの楽器を記述し，sigboost HLS System を用いてバイナリイメージを作成する．このバイナリイメージを microSD カードに入れて sigboost Processor に挿入すると，sigboost Processor は Max で開発した楽器と等価な処理を行なうハードウェア楽器として動作する．

【sigboost Processor】

sigboost Processor（図 1）は 2ch のステレオ音声出力と 1ch のステレオ音声入力，各 1ch の MIDI 入出力，および PC 接続用の USB ポートを備えたハードウェアである．内部には Digilent 社製の Zynq-7000 評価ボード ZYBO（図 2）を用い，必要に応じて入出力の拡張を行っている．ZYBO は Xilinx 社製の Zynq-7000（XC7Z010-1CLG400C）を搭載しており，Zynq-7000 は 2 つの ARM CPU と 1 つの FPGA が一体となって構成された SoC となっている（図 3）．

図 1 sigboost Processor 実機

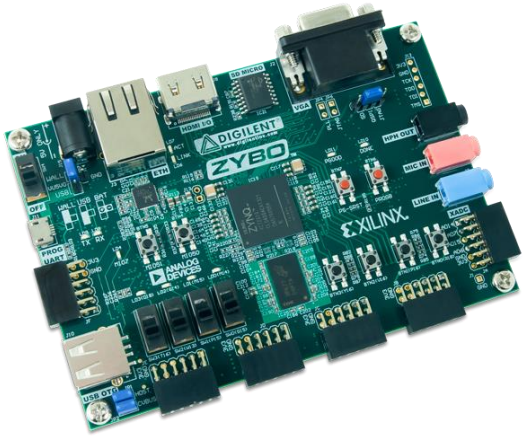

図 2 Digilent 社製 ZYBO

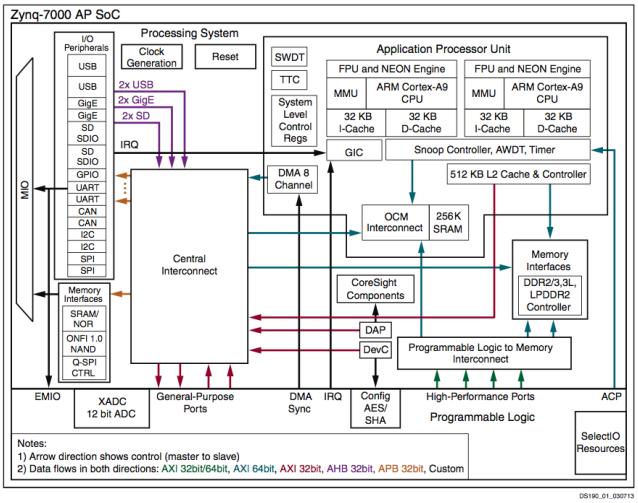

図 3 Zynq-7000 のブロック図

引用元：https://reference.digilentinc.com/zybo/zybo

【sigboost HLS System】

sigboost HLS System は Max プログラム（maxpat）を入力として受け取り，Zynq 用のバイナリイメージを出力する一連のビルドシステムの総称である．sigboost HLS System は高位合成処理系と自動ビルドシステムの 2 つの部分からなる．

高位合成処理系は，Max プログラム（maxpat）を入力として受け取り，これと等価な動作を実現する為に必要な信号処理回路を表現した SystemVerilog コードや，メッセージの制御

を行う C コードを出力するプログラムである. 高位合成処理系は Max プログラムの解析を行った上で, 予め記述しておいた各 Max オブジェクトに対応する SystemVerilog モジュールの接続や C 関数の呼び出しを生成する(図 4).

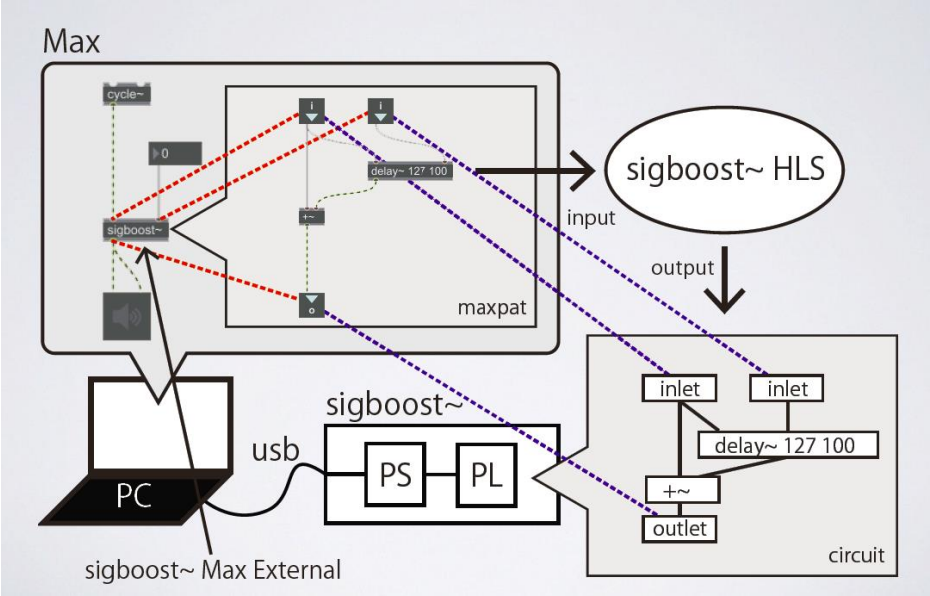

図 4 システム全体のイメージ

自動ビルドシステムは, リポジトリからの最新コードの取得, 前述の高位合成処理, 生成されたコード類を用いた FPGA 用の論理合成・配線配置, CPU 用のコンパイル・ビルドを行なう. さらに最終的に生成された FPGA 用の回路イメージと CPU 用の実行バイナリをパッケージして, sigboost Processor を microSD カードから起動するためのイメージファイルを作成する.

【sigboost~ Max External Object】

sigboost は sigboost Processor を PC と USB 接続することで, PC 上の Max と連携して処理を行う機能を持つ. これを実現する sigboost~ Max external object(図 5)とデバイスドライバを開発した.

図 5 PC 上の Max で動作する sigboost~オブジェクト

4. 従来の技術(または機能)との相違

本プロジェクトでは世界で初めてアーティスト向けの高位合成処理系を開発し, 実際に Max 上での記述のみからハードウェア楽器を開発することに成功した. アーティストによる FPGA アクセラレーションの実装を可能にする高位合成処理系はこれまでに例がない.

今後, FPGA によるアクセラレーションの需要は急増していく. 高位合成を用いたアクセラレーションが簡単に行なえることで, 直接回路記述ができるデベロッパ以外にもそのユーザ層は一般化していく. sigboost はその先駆けであり, 実際に楽器に特化してその有効性を示した.

5.　期待される効果

　sigboost の登場によって，アーティストによる芸術表現の可能性は広がった．sigboost を利用することで，従来は実現不可能だったようなライブパフォーマンスが行われることが期待される．

6.　普及（または活用）の見通し

　高位合成系としての sigboost のエッセンスは，ソフトウェアデベロッパによるハードウェアアクセラレーションの普及に寄与する．一方で楽器としての sigboost のコアなターゲットは，芸術表現の過程で高負荷な処理を低レイテンシで行ないたい，ソフトウェアによる実装では再現できない表現を追求するユーザである．これらのユーザは sigboost を活用して今まで不可能だった音楽表現を行なうことができる．

7.　クリエータ名（所属）

青木 海（筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類 学部 4 年）
尾﨑 嘉彦（筑波大学 大学院システム情報工学研究科 修士 1 年）

（参考）関連 URL

sigboost 公式サイト ：http://sigboost.audio/