

# VHDL 仮想回路を用いたパラメータ最適化による回路設計

Design method of optimizing the circuit parameters using VHDL virtual circuit

高木 潔\*  
Takagi, Kiyoshi

中野 邦夫\*  
Nakano, Kunio

In the conventional design method, the circuit parameters were decided by using the actually manufactured prototype circuit. This paper describes the method for optimizing the circuit parameters using VHDL virtual circuit. We applied this method to the digital color camera process circuit, and decided the circuit parameters easily and quickly by the visual evaluation using the image output from the virtual circuit.

## 1 まえがき

画像処理回路のような、出力結果（画像出力）を評価しながら様々な回路パラメータ（例えばアパーチャ補正、色分離、ガンマ補正における各演算係数など）を決定するような場合、従来の回路設計手法では実際に回路を試作し、実動作の出力結果から適切な回路パラメータ値を求めてきた。このため試作回路は回路パラメータの変更を容易にするための冗長回路を多く含まなければならなかった。またそのような準備をしていなかった部分の変更が生じた場合は試作回路の手直しや再試作をせざるを得なかった。

もし、実際の試作回路による評価と同じことがコンピュータ上に構築した仮想回路を用いてできるなら、回路パラメータは容易に変更可能であり、回路パラメータ値確定期間の大幅な短縮が期待できる。

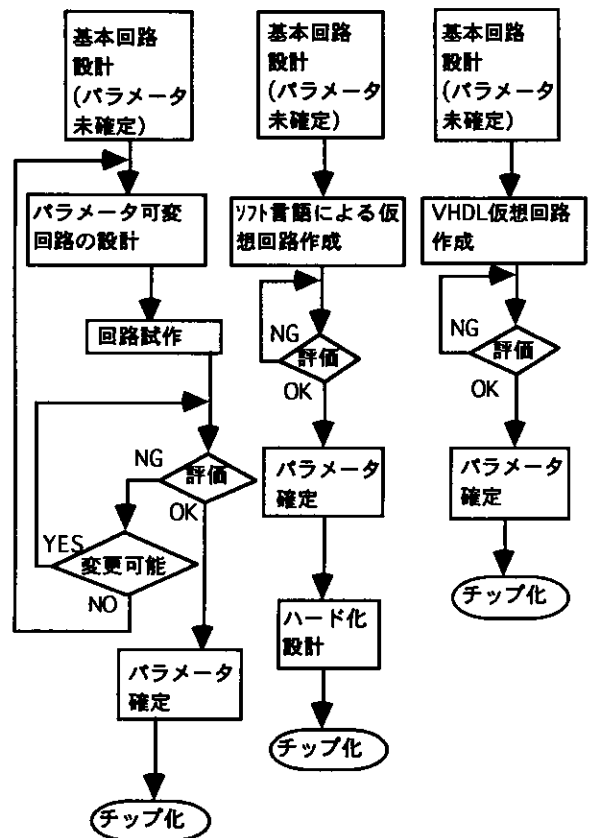
現在、コンピュータ上に回路を表現するためのハードウェア記述言語（HDL）として、VHDL（Very High Speed Integrated Circuit HDL）が注目されている。VHDLは、対象回路を外部から見た全体的な機能を動作レベルで表現できる言語である。この言語で記述された回路は、論理合成ツールを用いて、回路図と等価な回路構造情報を容易に作成することができるので、回路実現化までの行程を短期間で達成できる。一般的なソフト言語であるC言語等を用いて、回路をコンピュータ上に表現することもできるが、回路パラメータ確定後、ハード化回路設計を行わなければならない、VHDL仮想回路を用いた場合に比べ、回路実現化までの工数は増大する。

今回、デジタルカラーカメラプロセス回路を開発するにあたり、VHDLを用いて、画像の入力、処理、出力といった一連の機能をワークステーション上に仮想回路として構築した。この仮想回路を用いて、出力画像による評価を行うことにより、回路パラメータを変更したことによる画像への影響を、視覚的に評価できた。

\* 技術研究所

## 2 VHDL 仮想回路を用いた回路設計手法

従来の回路設計の1方法に、出力結果によってその回路パラメータを決定していくような場合、回路を実際に試作し動作させる方法がある。例えば本手法適用例のような画像処理回路を設計する場合、試作した回路を経て実際に出力される画像を評価しながら、回路パラメータの最適化を行っていた。



(a) 回路試作方式 (b) ソフト言語による仮想回路作成方式 (c) VHDL仮想回路作成方式

Fig. 1 Virtual circuit method and conventional methods

この従来手法では回路図による基本回路設計が完了した後、評価する回路パラメータを任意に変更できるように回路を加える必要がある。このため必然的に試作回路の規模は大きくなってしまふ。また、実際に試作を行わなければならない、もし変更可能なパラメータ以外の部分に評価の必要性が生じた場合は再設計、再試作をせざるを得ない (Fig. 1 (a)参照)。一般的なソフト言語 (C言語等) を用いた仮想回路を使用する場合、この行程を省くことができるが、回路パラメータ確定後、ハード化のための回路設計を再度行わなければならない (Fig. 1 (b)参照)。

VHDLを用いた仮想回路設計手法では、HDLによる仮想回路をコンピュータ上でシミュレータにより動作させる。シミュレータによって動作する仮想回路はコンピュータ上にあらかじめ用意しておいた入力データを自動的に読み込み、処理した結果をコンピュータ上のファイルへ出力する。この出力ファイルを実試作回路の出力と同様な出力形態に加工して評価を行う。回路パラメータを変化させるには、HDLで書いた数値を変化させるだけでよい。また回路の機能は全てコンピュータ上にHDLで表現されているので、回路内のいかなる部分のパラメータでも容易に変更が可能である。パラメータ確定後は論理合成ツールを用いることにより自動的に回路構造情報を作成し、チップ化を実現できる (Fig. 1 (c)参照)。

### 3 デジタルカラーカメラプロセスへの適用

#### 3.1 デジタルカラーカメラプロセス回路

近年、アナログ方式のビデオカメラにかわり、コンピュータに画像を取り込むための画像入力機器として、デジタルビデオカメラが注目されている。

このデジタルビデオカメラは、CCDの駆動技術、信号処理技術、画像圧縮技術、光学技術により、個人ユースのみならず、報道用カメラや軽印刷用の画像入力装置など、幅広い用途に使用できる。

今回このデジタルビデオカメラの入力部分であるデジタルカラーカメラプロセス部について仮想回路手法を適用し、最適回路パラメータを決定し、有効性を検証した。Fig. 2に今回開発したデジタルカメラのシステム

ブロック図を示す。

信号の流れに沿って説明する。CCDからの画像信号はクランプ部で黒レベルの決定、ブランキング部でブランキング期間における黒の基準値の決定を行う。

続いて色分離、クリップ部でのレベルオーバー処理、マトリクス部での色信号と輝度信号の分離が行われ、それぞれガンマ回路により階調補正、ローパスフィルタで高周波不要成分を除去するための帯域制限が行われる。

帯域制限された色信号はホワイトバランス (W/B) でゲイン調整、色差マトリクス、クロマサプレッス (CS) を経て色差信号に変換される。

同じく帯域制限された輝度信号は色信号とともに、Yマトリクスで輝度信号へ変換され、更にアパーチャ補正が行われ、セットアップ信号が加えられる。

以上のプロセスで、画像を色差信号および輝度信号のビデオ信号として出力する。

#### 3.2 仮想回路の構成

仮想回路の構成を Fig. 3 に示す。

基本的な構成は、デジタルプロセス回路ブロック図に準じている。各ブロックはその動作をVHDLによって記述した。それぞれのブロックの動作はVHDLシミュレータによる波形表示やリスト表示によるシミュレーション結果を用いて機能を検証済みである。

動作検証されたブロックは、さらにVHDL記述により一つのモジュールに統合される。ブロック間の信号の接続は論理合成ツールによる回路のハード化を容易にするためその形式をビット型とした。

画像入力部は、実際の回路ではCCDの出力をAD変換した信号を取り込むが、仮想回路ではこの信号をいったんコンピュータ上のファイルに取り込み、そのファイルからデータとして読み込ませる。

画像出力部として仮想回路では、CRT上での画像による視覚的評価を可能とするMTX部およびC言語プログラムによるイメージビューを準備した。

MTX部は輝度信号Y、色差信号R-Y、G-YをRGB信号に変換し、ファイルへ出力する。

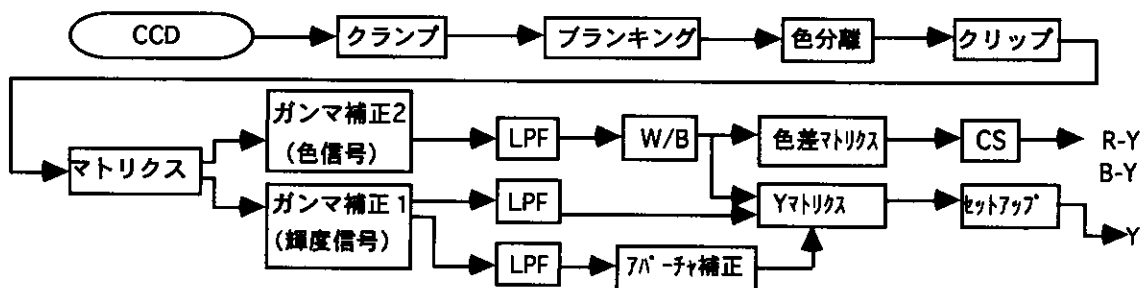


Fig. 2 System block diagram of digital process circuit

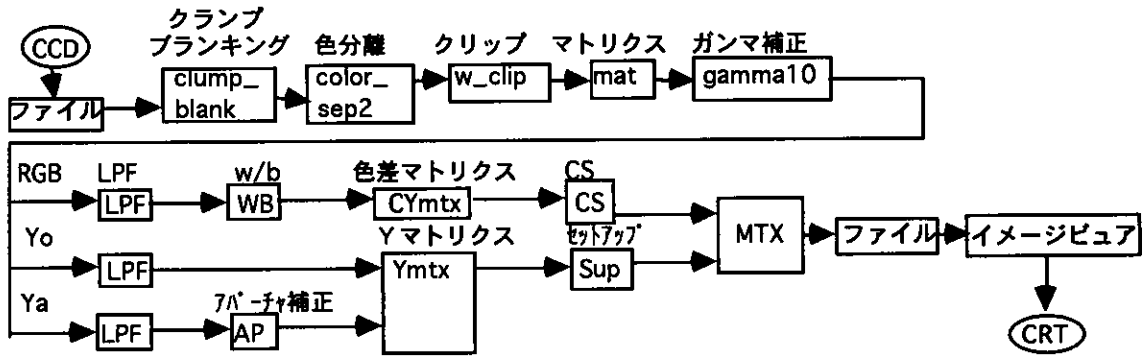


Fig.3 System block diagram of virtual circuit

ファイルへ出力された画像信号は、X ウィンドウシステムのライブラリを用いたC言語プログラムによってワークステーション上に画像として出力する。

ファイル上に出力された画像信号を、ワークステーション上に画像として出力することにより、仮想回路のパラメータを変化させた場合の変化を容易に確認できた。

Fig.4にVHDLで記述した設計例を示す。

### 3.3 回路パラメータ評価の一例

回路パラメータ評価の一例としてガンマ補正部の係数決定を示す。

CRT上に出力した仮想回路の出力画像をFig.5に示す。

取り込んだ画像は、その評価をしやすいように、基準として画面上部にカラーバーを表示している。図からわかるとおり、全体的に画像が暗く見えるがカラーバー自体はその先端から終端にかけて正常に表示されている。ガンマ補正回路で輝度補正を行っているので、この補正による輝度信号値が低いために全体的に画像が暗くなっているのではないかと予想した。

輝度信号値はFig.3におけるgamma10で設定される。補正係数を変化させ、出力画像を評価しながら適切な画像が得られる値を求めた。

Fig.6はこの最適値を用いて、画像を出力したものである。

出力画像はFig.5に比べて全体的に明るく、良好な結果を得た。

これらの作業はワークステーション上で行うので、実際に試作回路を使用する実験に比べて、はるかに容易であった。

以上の行程により、容易かつ迅速に、仕様決定に必要な回路パラメータの最適化を行うことができた。

今回のデジタルカラーカメラプロセス回路には他にもカラーマトリクス部での演算係数、クリップ部におけるピークレベル値、ガンマ補正部における係数、ホワイトバランス部におけるゲイン、アパーチャ補正における係数、クロマサプレス部における加減値、セットアップ

値等の回路パラメータがあり、上記行程で最適化を行った。

## 4 考察

本論文では、VHDL記述した仮想回路を用いたデジタルカラーカメラプロセス回路における回路パラメータ最適化の一例を示した。

仮想回路に実画像の入出力機能を持たせることで、コンピュータ上に従来手法における実試作回路と同等の機能を実現することができた。実際に出力結果をCRT上に画像として出力することで、従来手法と同様に視覚的評

```

architecture ARC_SUP of SUP is
    signal Yinta:integer:=0;
    signal Yintb:integer:=0;
    signal Yintc:integer:=0;
begin
    P1:
    process
    begin
        Yinta <= toint(Ym);
        wait on Ym;
    end process;

    P2:
    process
    begin
        Yintb <= as + Yinta;
        wait on Yinta;
    end process;

    P3:
    process
    begin
        if Yintb >=255 then
            Yintc <= 255;
        else
            Yintc <= Yintb;
        end if;
        wait on Yintb;
    end process;

end ARC_SUP;

```

Fig.4 VHDL description example

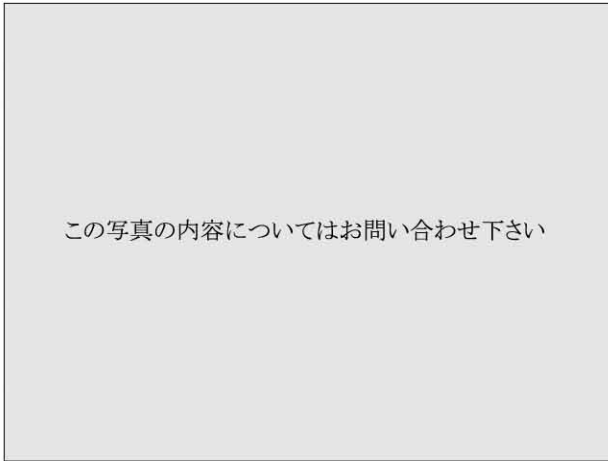


Fig. 5 Image before optimizing parameters

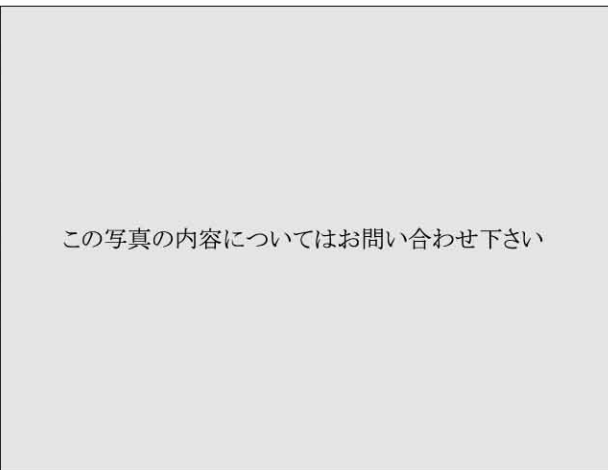
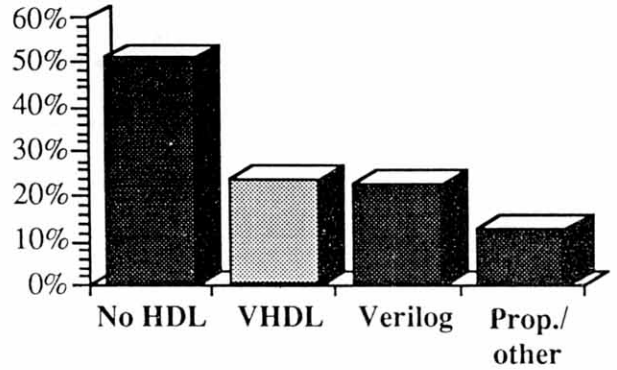


Fig. 6 Image after optimizing parameters

価によって回路パラメータの最適化を行えた。また回路パラメータの変更は、VHDLで記述した数値を変化させるだけの非常に簡単な作業だった。

以上から、仮想回路を用いた回路パラメータ最適化は、従来の試作回路を作製し実験を行う手法に対して効果的な手法であることが確認できた（従来手法 Fig. 1 (a) に比べて作業時間は1/3）。

VHDLは対象をシステムとして内部構造にとらわれず外部から見た全体的な機能を記述することができる。機能仕様は決定されているが回路パラメータ不確定の仕様から、デジタルカラーカメラプロセス回路を容易に構築できたのも、VHDLを用いた事による。ハードウェア記述言語としては他に Verilog-HDLがある。この言語はVHDLと共に現在ハードウェア記述言語において主流を占めているが（Fig. 7参照）、VHDLのような内部構造にとらわれない全体的な動作の記述は現在のところ不可能である。したがって今後、より機能が複雑化する回路の仕様確認にはVHDLを用いた仮想回路が適切であると考えられる。



\*From EETimes/Collet International Survey conducted July, 1993. 5000 EDA users polled; 474 respondents.

Fig. 7 HDL's use in today<sup>1)</sup>

本論文の適用例では、画像出力行程において640×480画素の処理に約10時間かかった。またVHDLはVerilog-HDLに比べて文法的に複雑である。

以上の点に対しては、処理能力の高いワークステーションによる仮想回路動作の高速化、ESDA (Electronic System Design Automation) ツールを用いた簡単な入力によるVHDLコード自動生成によって、更に容易かつ迅速な回路設計を行うことができる。

なお今回、画像信号をテキスト形式でいったんファイルへ出力し、そのファイルをC言語プログラムによって画像出力したが、今後そのテキスト形式をTIFF形式やJPEG形式にすることで、一般的に用いられている画像ビューアの使用を可能にしていきたい。

## 5 むすび

ハードウェア記述言語VHDLを用いた仮想回路によって、デジタルカラーカメラプロセス回路のパラメータ最適化を行った。画像出力を行うことにより、あたかもワークステーション上にデジタルビデオカメラが存在しているかのような仮想回路を構築し、仕様決定に重要な様々な回路パラメータの決定を行った。実験は全て仮想回路を用いて行ったため、従来の回路を試作する手法に比べて、約1/3の作業時間で回路パラメータの決定を行うことができた。

### ●参考文献

- 1) Cary Ussery : "ハイレベル設計と言語設計手法", CADENCE, 2 (1994)