

## FPGA の DSP 機能統合による、画像処理アプリケーションの性能向上

## 概要

このホワイトペーパーでは、商用・軍用フォトニクス製品の大手メーカー Intevac 社（米国）の、小型・高性能・超高度感度カメラ「NightVista」での事例を元に、組込み電子システムの開発手法について解説します。NightVista の初期モデルは、汎用の DSP プロセッサ、複数の ASSP および 外部メモリ・デバイスをベースにしたものでした。しかしながら、システム性能を向上させる必要が生じたため、エンジニアリング・チームは、プログラマブル・ロジックにコンフィギュレーション可能なソフトコア・プロセッサを実装する手法を検討しました。これにより、次のような利点を得ることができました。

- 目標性能の達成
- 1 個の FPGA に、ディスクリート部品とデジタル信号処理（DSP）機能を統合
- 消費電力をおよそ 80% 低減
- 大幅なコスト・ダウン：5 枚のコンポーネント・ボードを 1 枚に削減
- 開発期間の短縮

## DSP プロセッサに基づくアプローチ

NightVista 電子システムにおける機能の一部を、以下に示します。

- カメラの電源オン・テストと初期化
- ビデオ・センサのキャリブレーションとキャラクタライゼーション
- イメージ増倍管理のための自動ゲイン・コントロール
- グラフィックス、文字、ウォーターマークのオンスクリーン表示
- リアルタイム・アダプティブ・コントラスト調整
- ガンマ補正、ビデオ静止画像キャプチャ、フラッシュ・メモリへの保存
- リアルタイム・クロック
- プログラマブル・ユーザ定義プリセット・コンフィギュレーション
- RS-232 経由のホスト PC との通信
- カメラの機能およびパラメータのリモート・アップデート、カメラからホスト PC へのビデオ・データ転送

NightVista 機器開発の初期段階において、Intevac 社のアプローチは、DSP プロセッサを使用したものでした。プロセッサに加えて、NTSC ビデオ・エンコーダ、RS-232 インタフェース、複数の PLL（Phase-locked Loop）、グルー・ロジック用の CPLD、複数のメモリ（FIFO、SDRAM、フラッシュ）などの主要コンポーネントも必要としていました。さらに、これらのコンポーネントには 4 つの異なる動作電圧と（4 個のパワー・レギュレータと PCB レイヤ領域が必要）、4 つの独立したクロック・システム、関連する発振器、電源デカップリング回路も必要でした。これらのコンポーネントは全部で 5 枚のプリント基板（各 2 平方インチ程度）を占有し、これらの基板が重なることでカメラの電子回路を収容する部分が 2 インチの立方体になっていました。

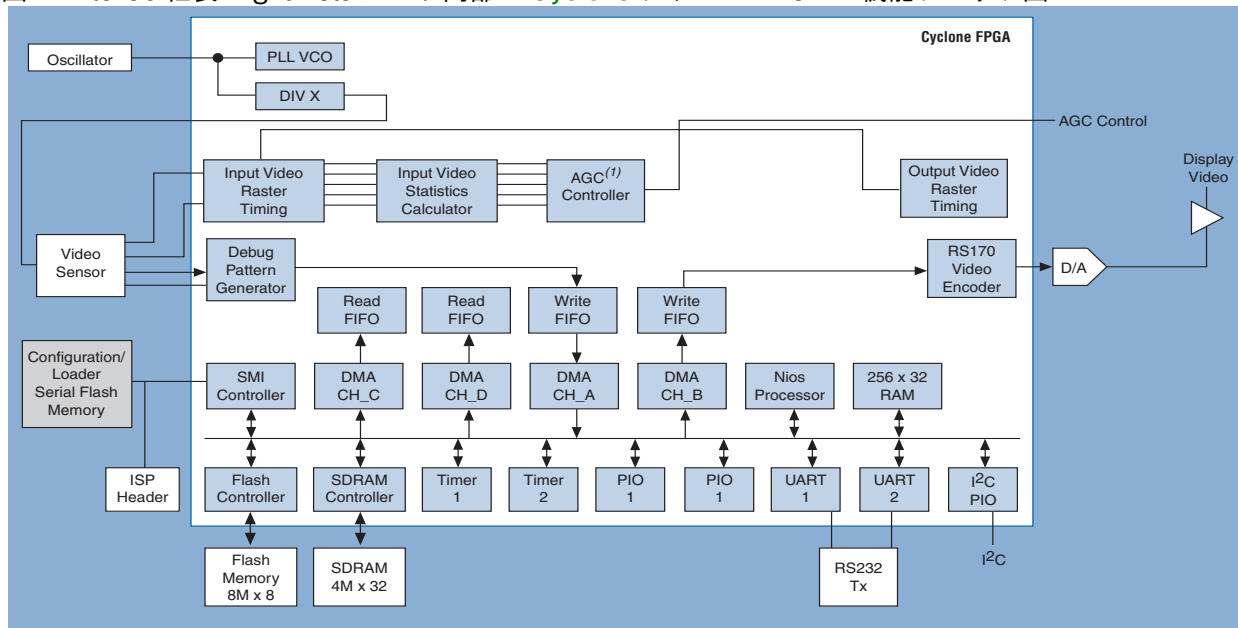
数ヶ月にわたるハードウェア開発の結果、このソリューションでは Intevac 社が NightVista に求める性能目標を達成できないこと、そして重量と消費電力が高すぎて許容できないことが判明しました。さらに、密集して積み重ねられた PCB 構成では消費電力が大きく、熱管理において重大な問題を抱えていました。Intevac 社は、DSP プロセッサをベースにしたデザインを中止して、FPGA ベースのハイブリッド・シストリック・ロジックとソフトコア・マイクロプロセッサの実装に変更しました。Intevac 社はそれまで、プログラマブル・ロジックに統合されたマイクロプロセッサの使用経験はありませんでしたが、アルテラのデモ用キットでの評価結果は非常に期待できる内容でした。最新の低コスト FPGA が、完全な 32 ビット RISC プロセッサに、メモリ・ブロック、PLL、およびビデオ特有の信号処理機能を実装するための多数のロジック・リソースを統合できる容量を備えていることが明らかになったためです。FPGA に統合した PLL を使用すれば、ボード・レベルのマルチ・クロック・システムに関する多くの問題が解決できると考えられました。

エンジニアリング・チームは、以下をはじめとする多くの要素を検討しました。

- 複数の FPGA ファミリの性能・機能セット
- IP (Intellectual Property) コアの入手性
- 複数ベンダーの要素を統合することによる、技術面およびビジネス面での影響
- 実証されたハードウェア/ソフトウェア開発ツールの入手性
- ベンダー・サポート・リソースの信頼性

これらの要素を分析した結果、アルテラ Cyclone® FPGA に Nios® プロセッサを実装したソリューションを使用することが決まりました。図 1 に、FPGA が担う機能を示します。

図 1. Intevac 社製 NightVista カメラ内部の Cyclone シリーズ FPGA の機能ブロック図



## デザインの移行

アルテラ・ソリューションの使用を決定した後、Intevac 社は旧来の DSP ソフトウェアをどのぐらい Nios プロセッサに移植可能かの判断を行いました。以前の DSP プロセッサ・ソリューションでは、18 人月に及ぶソフトウェア開発作業により、ビデオ処理を行うことなくプロセッサを介して画像データを出力できるまでになっていました。しかし FPGA を使用するカメラ設計では、Nios プロセッサの役割は大きく変わるため、再利用できたのは、ホスト PC との通信に使用される RS-232 シリアル通信プロトコルと、ビデオ・センサ・コンフィギュレーション・プロトコルのみでした。幸いにも、Nios プロセッサのソフトウェア開発は容易であったため、Intevac 社は Nios 開発ボードを使用して、プロセッサとホスト PC 間の通信を数時間で構築することができました。

FPGA を使用した新しいデザイン用の回路ボードは 1 カ月で完成しました。その間も Intevac 社は、Nios プロセッサ開発ボードを使用してコードを作成し、動作確認を続けていました。Intevac 社は当初、DSP プロセッサのリアルタイム・オペレーティング・システム (RTOS) を使用して、ビデオ処理アルゴリズムの複雑なタイミングを管理することを考えていました。Nios プロセッサにはすぐに使用可能な RTOS が付属されていなかったため、ソフトウェア・チームはすべてのタイミング要件を満足できるか確信はありませんでした。そこでハードウェア・チームに確認したところ、Nios プロセッサのコンフィギュレーション可能という特性が、信号タイミングの高度な制御を実現し、FPGA デザインを少し変更するだけでタイミング目標の要件に達する機会が多いことが分かりました。ハードウェア処理とファームウェア処理が同一 FPGA 環境で高度に統合されているため、制御とビデオ処理を迅速かつ容易に最適化することができました。

## FPGA ベースのアプローチにより、カスタマイズ化および目標性能の向上を実現

さらなる可能性の追求により、Intevac 社は、ニーズを満たすカスタム機能とペリフェラルを開発することができました。ソフトウェアでボトルネックに遭遇したときにはすぐに、ハードウェア・チームはコプロセッサを開発して性能を向上させることができました。1 時間足らずでソリューションを完成させ、動作させたこともたびたびありました。ハードウェア・チームは、カスタム・ビデオ・エンコーダ、ビデオ・データをバッファするための FIFO ブロック、エンコーダに継続的にビデオ・データ・ストリームを供給する専用 DMA コントローラを設計して、外部エンコーダと FIFO バッファを不要にしました。さらに、カスタム SDRAM コントローラを構築し、すべてのビデオ、属性、そして **Nios プロセッサ**・コマンドフェッチおよびデータストレージ用に、同じメモリ・デバイスを共有して性能向上を図ることができました。これらの機能のいくつかは専用クロックを必要としたため、FPGA のオンボード PLL を採用して、マスタ・クロックからビデオ・エンコーダ用、SDRAM タイミング用、外部ピクセル・センサ用の 3 種類のクロックを生成しました。

### 統合による処理能力の向上

Intevac 社は、従来外部デバイスを必要としていた機能を実装しただけでなく、オリジナルの DSP プロセッサ実装を上回る機能をも追加しました。すなわち、ビデオ・テスト・パターン・ジェネレータが追加されたことで、ソフトウェア・チームはカメラの動作をシミュレートし、ビデオ処理やシステム調整を補助するための各種アルゴリズムを完成させることができるようになりました。また、統計ジェネレータ機能も追加され、画像補正や画像補力の決定に必要な、ビデオ・データの特性解析も実現しました。イメージ統計ジェネレータでは、数学的演算が必要となるため、ソフトウェアでの実装では処理速度が遅すぎます。Intevac 社は、FPGA のロジック・リソースを使用してロジックから構築し、プロセッサに結果を渡すようセットアップしました。

完成した回路ボードを受け取った後、開発ボードからコードを転送し、新しいボード上でコードを動作させるための所要時間は、わずか数時間でした。その後の数ヶ月間は、ソフトウェアとハードウェアの開発が並行して続けられ、その間に Intevac 社はデザインをさらに改良して、デバッグを行いました。プロセッサと FPGA デザインの残りの部分の変更は何度も行われましたが、ボード・レイアウトへの影響はまったくありませんでした。最終的に、**Cyclone デバイス**と **Nios ソフトコア・プロセッサ**を使用することで、5 枚のコンポーネント・ボードを 1 枚のボードに減らすことができました。この統合によって、カメラは軽量化され、サポートする所要電圧数は 4 つから 2 つに減り、消費電力は約 80% 削減されました。また、Intevac 社は同じ PCB セットを使用して、複数の製品を効率的に製造できるようになりました。

### アルテラの鉛フリー製品で、RoHS の準拠を容易に実現

アルテラは、業界で最も幅広い RoHS 準拠製品ラインナップを誇り、1,200 を超える鉛フリー・パッケージの製品を提供しています。環境に優しいプログラマブル・ロジック・ソリューションを提供する優良サプライヤとして、2002 年以降、8,500 万個以上の鉛フリー製品を出荷してきました。アルテラの RoHS 準拠デバイスは、鉛 (Pb)、水銀、カドミウム、六価クロム、多臭素化ビフェニル (PBB)、およびポリ臭化ジフェニル・エーテル (PBDE) に関して、有害物質の使用制限に関する欧州連合指令 (RoHS Directive) No.2002/95 で要求される最大濃度に準拠しています。RoHS に準拠しない ASSP を、アルテラの PLD で統合することにより、RoHS に準拠する製品を容易に開発することができます。

### まとめ

デザインの簡略化により、Intevac 社は、性能目標を達成、部品コストおよび製造コストを大幅に削減、NightVista の品質と信頼性の向上を実現しました。また、当初の製品仕様を上回る機能向上も実現しました。Intevac 社は、FPGA に余分なリソースを残し、市場に出荷している間にも、カメラのアップグレードを図れるようにしています。このソリューションによって、Intevac 社は、より迅速かつ効率的なデザイン開発フローを使用でき、将来の製品開発における時間とリソースを大幅に低減することができました。

## リソース

詳細については、アルテラ・ウェブサイトの次のセクションを参照してください。

- アルテラのカスタマ・ショーケースにある Intevac NightVista Camera 事例紹介：  
[www.altera.co.jp/corporate/cust\\_successes/customer\\_showcase/csh-intevac\\_lp.html](http://www.altera.co.jp/corporate/cust_successes/customer_showcase/csh-intevac_lp.html)
- その他のシステム・インテグレーション・ソリューション：  
[www.altera.co.jp/technology/integration/int-index.html](http://www.altera.co.jp/technology/integration/int-index.html)
- プログラマブル・ロジックの事例紹介：  
[www.altera.co.jp/corporate/cust\\_successes/customer\\_showcase/csh-index.html](http://www.altera.co.jp/corporate/cust_successes/customer_showcase/csh-index.html)
- アルテラの DSP ソリューション  
[www.altera.co.jp/technology/dsp/dsp-index.jsp](http://www.altera.co.jp/technology/dsp/dsp-index.jsp)
- Nios エンベデッド・プロセッサの情報：  
[www.altera.co.jp/products/ip/processors/nios2/ni2-index.html](http://www.altera.co.jp/products/ip/processors/nios2/ni2-index.html)

## 謝辞

Intevac Corporation エンジニアリング・グループ・マネージャ David Main 氏、ソフトウェア・エンジニア Vladimir Adam 氏の本プロジェクトへのご協力に感謝申し上げます。



101 Innovation Drive  
San Jose, CA 95134  
[www.altera.com](http://www.altera.com)

Copyright © 2008 Altera Corporation. All rights reserved. Altera, The Programmable Solutions Company, the stylized Altera logo, specific device designations, and all other words and logos that are identified as trademarks and/or service marks are, unless noted otherwise, the trademarks and service marks of Altera Corporation in the U.S. and other countries. All other product or service names are the property of their respective holders. Altera products are protected under numerous U.S. and foreign patents and pending applications, maskwork rights, and copyrights. Altera warrants performance of its semiconductor products to current specifications in accordance with Altera's standard warranty, but reserves the right to make changes to any products and services at any time without notice. Altera assumes no responsibility or liability arising out of the application or use of any information, product, or service described herein except as expressly agreed to in writing by Altera Corporation. Altera customers are advised to obtain the latest version of device specifications before relying on any published information and before placing orders for products or services.