

FPGA と OpenCV を用いたラインセンサカメラ TSL1401 のリアルタイム可視化システムの開発

秋山 暁星 (Soft Intelligent System on Chip 研究室)
(指導教員 星野 孝総 教授)

1. はじめに

FA の外観検査では、製品表面の傷や汚れ、欠けなどを生産ライン上で早期に検出し、不良流出を防ぐことが求められる。現場では人手不足や安全性に加えて品質のばらつきが課題となり、画像を用いた自動検査や予知保全が重要になっている [1]。加えて、計測結果を後から解析するだけでなく、運転中に状態を即座に把握できる可視化が重要である。

カメラによる外観検査において、ラインスキャン方式は線状の撮像素子で搬送物を高頻度に走査し、得られた断面列を積層して画像を構成するため、高精度な画像化に適するとされる。一方、連続的に生成されるデータが取得・転送・表示のどこかで詰まると行欠損や濃淡の乱れとして現れ、検査の信頼性を低下させる。

そこで本研究は、SoC FPGA を用いて取得・転送・表示の役割を分離し、処理時間のばらつきを抑えたリアルタイム可視化基盤を構築する。

2. 研究目的

DE1-SoC (SoC FPGA) 上でラインセンサカメラから送られてくるアナログ信号を取得する。

FPGA 内で表示用の 8bit 濃淡値へ整形した上で、ダブルバッファによる取り込み管理と DMA 転送により DDR へ連続転送し、HPS 側で OpenCV によりリアルタイム可視化する統合システムを構築する。

さらに、DMA 導入とバッファ制御が表示の安定性に与える効果を確認し、リアルタイム可視化を目指す。

3. 提案システムの概要

FPGA 側は SPI により DE1-SoC ボードに搭載された A/D 変換器 (AD7928) からサンプルを取得し、1 行 128 サンプルとして蓄積する。蓄積はダブルバッファで行い、行が埋まると ready フラグで HPS へ通知する。HPS 側は状態レジスタを監視して ready フラグが立った側を転送元を選び、DMA で 512 バイト (32bit×128 ワード) を DDR へ一括転送し、転送完了後に ready フラグをクリアしてバッファを解放する。DDR に到着した 1 行分を OpenCV の画像バッファへ逐次反映し、縦 480 行に積層して時間変化を 2 次元画像として表示する。

4. 設計と実装

FPGA 側では A/D 変換器 AD7928 を SPI 通信で駆動し、1 サンプルを 16 クロックで取得する構成とした。サンプル周期は SCLK 周波数で決まり、前段階 1 として SCLK=1MHz で成立を確認した後、前段階 2 で SCLK=20MHz へ移行して高速動作を確認した。

取得した 12bit の値は FPGA 側で 8bit に変換し、後段の可視化で扱いやすい濃淡値に整形した。

取り込みと読み出しの競合を避けるためバッファ A とバッファ B を用意し、ダブルバッファを用いたシステムにした。行完成時に準備完了を示す状態を送ることで次行は別バッファへ切り替える。

HPS 側は ready フラグ、OVF 等の状態ビットを読み出して処理対象を選択する。処理完了後にクリア指令を書き込んでバッファを解放する設計とした。

転送は 1 行=128 ワード(512 バイト)を単位に DMA で DDR (先頭 0x20000000) へ一括転送する。HPS は転送先領域を参照して OpenCV により画像として表示する。

5. 実験と評価

実験は円筒形回転台に測定対象を取り付け、照明を一定化しながらラインセンサカメラ TSL1401 でデータを取得した。照明条件の変動が画素値変動として現れやすい特性を踏まえ、周囲光やちらつき等の影響を抑えるためライトで照射条件を固定した。

転送方式の比較では、正弦波入力に対し出力画像の濃淡の変化を比較した。DMA 導入前の 1 サンプル転送方式では、条件によって出力画像に値の飛び (不連続な濃淡変化) が現れたのに対し、DMA 転送方式へ移行すると同一条件で連続した濃淡変化が得られ、表示が安定した。

さらに、1 サンプル時間を 1 μ s とし、128 サンプル=128 μ s の条件における動作でも連続した値が得られた。このことから、高速動作時でもリアルタイム可視化を確認できた。図 1 は TSL1401 から取得したデータによる出力画像である。

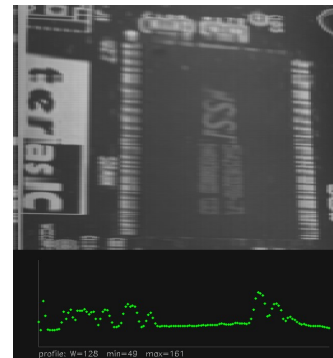


図 1. TSL1401 から得たデータの出力画像

6. おわりに

本研究は、DE1-SoC ボードに搭載されている AD7928 による取得系を実装、FPGA での一次蓄積と整形、ダブルバッファ管理、DMA 一括転送を一連の処理として実装した。それにより得られた 1 行 128 サンプルを、HPS の OpenCV 表示により 480 行積層してラインセンサカメラからの入力をリアルタイム可視化した。ダイレクトメモリアクセス方式で観測された表示の不連続は、DMA による行単位の転送をすることで改善され、連続性の高い可視化が可能になった。

今後は、移動量に基づく行取得開始など取得条件の安定化、バッファサイズや OVF 時の挙動、DMA 開始条件、長時間連続動作の限界条件の明確化、さらに制御処理の一部を Nios II へ移行し HPS 負荷を下げることで、SPI 以外の取得方式による帯域制約緩和が課題として挙げられる。

参考文献

[1] J. Y. Seongje, Kim Thong, Phi Nguyen, A Systematic Review of Machine Vision Applications in Factory and Manufacturing Processes: From Quality Control to Predictive Diagnostics