インテリジェントな制御を行う最新マシンビジョンカメラシステム

東芝テリー株式会社

今日のマシンビジョンカメラシステムは、アナログインタフェースカメラ時代には考えられなかったインテリジェントな制御が行われている。

従来のアナログインタフェースカメラでは、動作前に撮影条件を設定し、以降変更することが無いアプリケーションが一般的であった。カメラの撮影条件はディップスイッチなど物理的な設定方法で行われ、周辺装置からカメラに対して行える制御は限定的であったためである。

しかし現在主流のデジタルインタフェースカメラでは、撮影条件を動的に変化させながら撮影を行うアプリケーションが非常に多い。アプリケーションの設計がハードウエア主体からソフトウエア主体に移行し、ソフトウエアによる撮影条件変更が格段に容易になったためである。

この場合、たとえフレームレートが同一のカメラであっても、撮影条件設定変更のための時間が異なるカメラではスループットに大きな差が生じる(**図1**)。

このようなアプリケーションにおいて、撮影条件設定変更時間は非常に重要な要素となっている。従来カメラ仕様として語られることの無かった撮影条件変更時間は、今やアプリケーション上の課題となりつつある。

東芝テリーはこの課題に早くから着目し、高速化のための技術を開発してきた。USB3 Vision カメラ BU シリーズ及び DU シリーズ、GigE Vision カメラ BG シリーズ、そして Camera Link カメラ BC シリーズでは、アプリケーションで最大のスループットを追及するための多くの高速化技術が備わっている。東芝テリーのカメラには、さまざまな高速化技術が導入されている。その中で、代表的な3点を紹介する。

コマンド高速応答性

カメラの高速性を実現する上で、撮影条件変更のためのコマンド実行時間を短縮することは非常に重要である。1回のコマンド実行時間は、カメラ動作期間の中で非常に短い。しかしコマンド実行が繰り返されるたびに、その実行時間が積分されていく。

コマンド実行回数は、「1回の撮影条件変更に使用されるコマンド数」と、「変更する撮影条件数」の積となる。多くの撮影条件を変更するアプリケーションでは、膨大なコマンドが実行される。このようなアプリケーションでは、軽微なコマンド実行時間であっても大きなアプリケーションの遅延を発生させる。

コマンド実行時間を短縮させる際、カメラのコマンド実行速度を速くすることは不可欠である。カメラのコマンド実行に時間を要する場合、応答までの期間が長くなる。ほとんどのカメラ制御PCは応答を受領した後に次のコマンド送信を行うため、コマンド実行期間はアプリケーションが停止することになる。

従来の多くのカメラは、組込みCPUによるソフトウエア(ファームウエア)処理でコマンド実行を実現していた(**図2**)。ソフトウエア利用による高い生産性、保守性が得られるが、カメラのコマンド実行速度はCPUパフォーマンスに依存する。コマンド実行速度を速くするには、高いパフォーマンスのCPUを利用する必要がある。これは、高価格化と消費電力増大を引き起こす原因となった。

これに対して東芝テリーのカメラは、Teli Core Technology を採用している。これは組込みCPUを使用することなく、コマンド実行をすべてハードウエアロジックで行う技術である

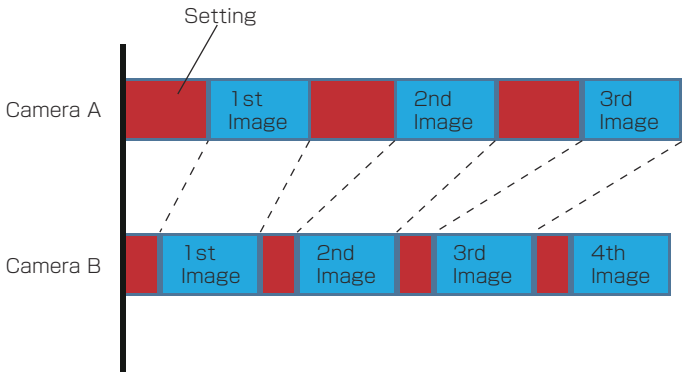

図1 撮影条件設定変更時間によるスループットの差。

（図3）。ハードウエアで処理を行うため、東芝テリーのカメラはコマンド実行をほぼリアルタイムに実行できる。コマンドを受信した時点で実行が終了しているため、アプリケーションの待ち時間は最短となる。

CPU利用時とTeli Core Technologyのカメラ動作時間の比較を行う（図4）。1コマンドあたりの実行時間の差は小さいが、繰り返し行われるコマンド処理により大きな差となる。

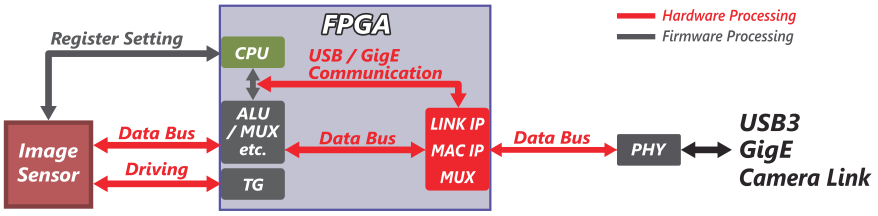

図2　CPUによるコマンド実行。

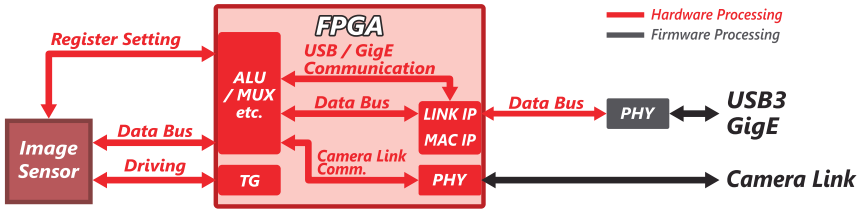

図3　Teli Core Technologyによるコマンド実行。

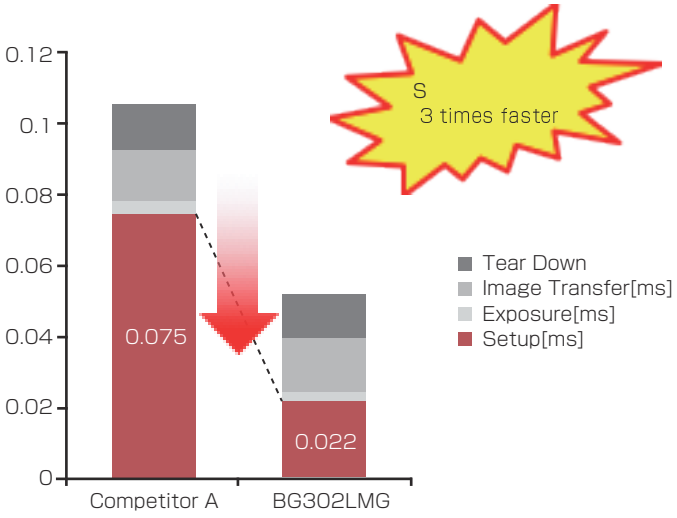

図4　CPU利用時とTeli Core Technologyの速度比較例。

シーケンシャルシャッタ

撮影条件を動的に変化させるアプリケーションにおいて、幾つかの決まった撮影条件を同じ順番で繰り返し設定するケースが存在する。例えば製品検査で、製品ごとに決まった検査個所について撮影条件を変化させて撮影する場合である。

コマンド高速応答性は、このようなアプリケーションにおいても非常に重要である。しかし遅延要因は、カメラだけではなくカメラ制御PCにもある。さまざまな処理や割り込みが発生するカメラ制御PCにおいて、カメラの動作タイミングに合わせた制御を安定的に行うのは難しいという問題があった。

このような問題の解決のため、東芝テリーのカメラにはシーケンシャルシャッタ機能が備わっている。これは、あらかじめ登録された複数の撮影条件を、カメラ自身が撮影を行う度に自動的に切り替える機能である。

複数の撮影条件は、カメラ内のユーザー設定保存メモリに登録する。ユーザー設定保存メモリは15バンクあり、最大15パターンの撮影条件を登録できる。撮影条件の切り替え順序は、ユーザー設定保存メモリのバンク番号をリスト化することで指定する。

図5に、シーケンシャルシャッタの動作例を示す。この例では、4種類の撮影条件を指定している。

イメージバッファ

近年のイメージセンサは高フレームレート化が進んでおり、高速シリアルインタフェースにおいてもインタフェース速度が不足するケースが存在する。この場合カメラのフレームレートは、インタフェースによって制限を受ける。

特に、映像データ量の大きいピクセルフォーマット、例えばRGB出力や、映像データのビット深度の深いピクセルフォーマットを選択した際に顕著である。映像データ量が増大すれば、その分インタフェースの転送時間が延長されるためである。従来のカメラでは、この際にイメージセンサがインタフェースの転送待ちとなりフレームレートが低下する。

東芝テリーのカメラはフレームメモリを有しており、メモリに空きがある限りイメージセンサとインタフェース

が独立して動作する。インタフェースの制限を受けることが無いため、イメージセンサは本来の速度で高速動作できる。

フレームメモリに格納された画像は、インタフェースの速度に合わせて順次カメラから転送される（**図6**）。これにより、高速イメージセンサと情報量の多い映像データを同時に有効利用できる。

なお本機能は、カメラへ特別な設定を行うことなく利用可能である。カメラは常にイメージバッファを使用しており、入力するトリガ周期を短縮することにより利用できる。

テリーカメラの高速化技術を導入したアプリケーション応用事例を、幾つか紹介する。

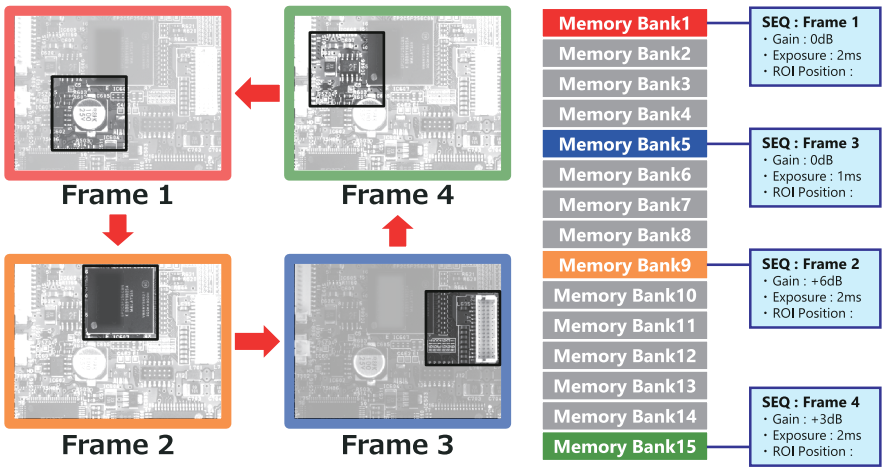

図5　シーケンシャルシャッタ動作例。

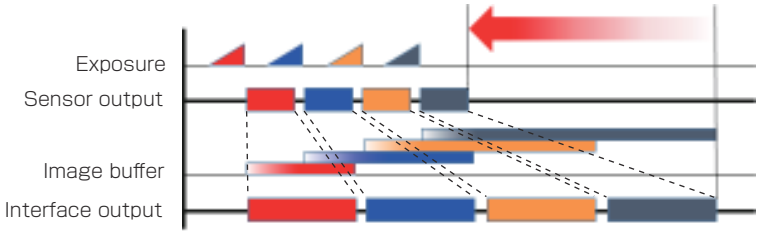

図6　イメージバッファによるイメージセンサ高速動作。

BU406Mを用いたROI高速切り替え

イメージサイズを変更しつつ高速撮影を行うアプリケーションを紹介する。

BU406Mは、4Mピクセルの画像を90fpsで出力するカメラである。このカメラはROI（Region Of Interest）機能を有している。これは、映像領域の切り出しを行うことにより、フレームレートを、さらに高速化できる機能である。

BU406Mを使用したアプリケーションで、映像取得時間短縮のため、1フレーム単位でROI設定を変更するという要求があった。

4Mピクセルを90fpsで動作させた場合の露光時間を除く映像出力期間は、1/90=11.1msecである。アプリケーションでは、ROI切り替え時間を含めた映像出力期間が11.1msecより十分短くなければならない。このため、ROI設定変更のための時間は1msec以下にする必要があった（**図7**）。

ROI設定変更は、カメラ設定変更の中で最も時間のかかるものである。設定変更には映像取得処理を完全に停止させなければならない点、映像ストリーム設定変更で多くのコマンドが必要になる点がその理由である。

ROI設定時間を1msec以下にする課題に対し、Teli Core Technologyによる高速応答性が解となった。大量のコマンド実行においても、リアルタイム処理により遅延時間は最小となるためである。

特に映像ストリーム設定変更は、カメラレジスタ書き込みと更新されたレジスタの読み出しが頻繁に行われる。イメージサイズ変更による映像データ長更新のように、カメラはレジスタ書き込みを受けて他のレジスタを自己更新する必要があるためである。

この動作において、書き込みコマンドが瞬時に反映されるTeli Core Technologyは極めて有利となる。

フリーランモードでのシーケンシャルシャッタを使用した高速シーケンス

被写体を移動させながら連続撮影を行う、アプリケーションの事例を紹介する。

製品検査装置において、撮影ポイントにつき条件を変更した撮影を複数回実施し、被写体を移動するというアプリケーションがあった。

この事例では、撮影ポイントに関わらず撮影条件シーケンスが一定であった。このため、シーケンシャルシャッタが有効であった。

多くのシーケンシャルシャッタを用いたアプリケーションでは、トリガモードを使用して動作する。これは、被写体とシーケンスの同期を取るためである。しかしトリガモードで動作を行うには、カメラ動作に合わせた適正なタイミングでトリガを入力する必要が

生じる。トリガ入力が早すぎると正常な露光が行われず、遅すぎるとシーケンスにギャップが生じスループットが低下するためである。

適正なトリガ信号発生器が構成上用意できないケースでは、トリガモードは適切でない場合が存在する。この様な事例において、シーケンシャルシャッタをフリーランモードで使用するのが有効である。

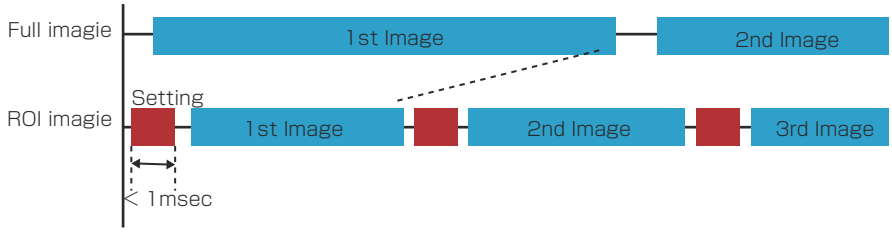

図7　ROI高速切り替え。

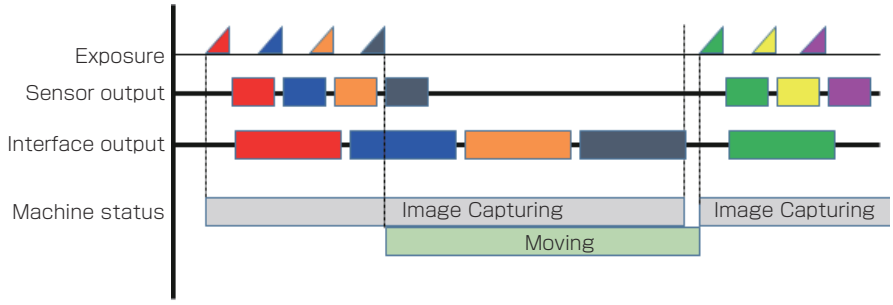

図8　イメージバッファによるタクトタイム短縮。

イメージバッファによるタクトタイム短縮

製品検査装置における、イメージバッファを用いたタクトタイム短縮の事例を紹介する。

カラーカメラを用いた製品検査装置の場合、肥大化する映像データの扱いが課題となる。カメラがRGB出力を行う場合、映像データ量は白黒カメラの3倍になるためである。

映像データの肥大化は、カメラインタフェース帯域の逼迫を招く。たとえ高速なイメージセンサを利用した場合でも、インタフェースがボトルネックとなりフレームレートが低下する。カラーカメラは、白黒カメラより情報量が多いためにタクトタイムを短縮させるのが難しいという課題があった。

一方、検査個所を変えながら撮影を行う製品検査装置において、タクトタイム短縮は非常に重要な要素であった。タクトタイムが短ければ、それだけ検査時間を短縮でき製品生産量を向上できるためである。

カメラのフレームレートは、タクトタイムに大きな影響を与える。特に1つの検査個所につき複数回の撮影を行う場合、タクトタイムに大きな遅延を生じる。映像データ量の多いカラーカメラを使用した製品検査装置では、タクトタイムを短縮させにくいという問題があった。

この問題は、イメージバッファ機能による高速化によって回避が可能である。イメージバッファ機能は、イメージセンサとカメラインタフェースの動作を独立させることができる。これを利用することで製品検査装置は、イメージセンサによる露光が終了した後、カメラインタフェースの動作を待つことなく直ちに次の検査個所に移動することができる。画像取得と移動をオーバーラップさせることで、タクトタイムの短縮が図れるのである(**図8**)。

まとめ

イメージセンサの高速化、高感度化及びカメラインタフェースの高速化に伴い、従来カメラ動作時間で支配的であった露光時間、映像出力時間は短縮されてきている。反してカメラ制御は高度化し、設定変更時間は増大している。この傾向は技術進歩により、更に顕著になっていくと予想される。

東芝テリーは今後も、高速アプリケーションに向けたカメラを提案していくが、フレームレートやインタフェース速度といったカタログ仕様で容易に比較できる高速性はもちろん、カメラ制御も含めた真の意味でのカメラの高速化を追求し続けていく。今後の東芝テリーの新製品、新技術に注目をしていただきたい。

注記

本文に掲載の会社名、製品名、規格名等の名称およびロゴは、各社各団体における商標または登録商標である。

著者紹介
東芝テリー株式会社　映像コンポーネント開発部。URL：http://www.toshiba-teli.co.jp

VSDJ