

大規模ラボ用高速カラーレスキャナの開発 —システム・アーキテクチャと高速化の技法—

Development of a High-speed Color Scanner for a Large-scale Color Lab -The system architecture and the technological means for its high-speed processing rate -

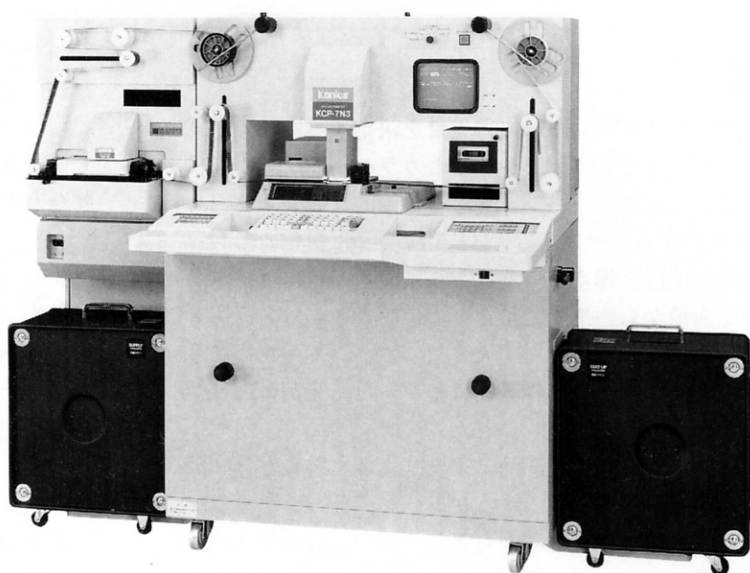
紀太 章

佐藤恭彰

今村潤一

感材生産本部

画像システム機器事業部開発設計部



Abstract:

We developed a high-speed color scanner, named 7N3-SCANNER, for a large-scale color lab. This scanner is designed to work with a KCP-7N3 printer. The scanner allows for higher productivity in the printing process and gives better quality of color prints while saving labor costs. For this purpose, the 7N3-SCANNER allows for (1) channel free facilities and (2) automated classification facilities of high accuracy.

The 7N3-SCANNER operates at up to 10,000 frames/hour. Therefore, there is no limiting influence on the processing performance of the KCP-7N3 printer. Moreover, with a 7N3-SCANNER attached, the KCP-7N3 printer does not suffer in any of its inherent functions.

This report shows the design concept and the system architecture of the 7N3-SCANNER. It explains the technological means used in the 7N3-SCANNER to achieve its high-speed processing rate. Specifically, the philosophy for the parallel and concurrent processing is described in detail.

Kida, Akira

Satoh, Yasuaki

Imamura, Junich

Design Department,

Imaging Systems Division

Photographic Products Manufacturing

Headquarters

1

はじめに

当社では、1987年より大規模ラボ向けに高速デジタル制御カラーロールプリンタであるKCP-7N3プリンタを販売し、ラボの省力化と高品質化を推し進めてきた。今回一層の省力化・省技能化・高水準での品質安定化と、同時に大規模ラボにおける生産性の増強を推進することを目的として、高速カラスキャナである7N3-SCANNERを開発した。本報告ではそのシステムアーキテクチャと高速化を実現するために採用した技術内容について詳述する。

2

背景

カラープリンタにおいて露光量を決定する際に考慮すべきファクタとしてデンシティとカラーバランスがあげられる。これら2つのファクタを自動的に調整するために、近代的なカラープリンタはLATD制御と呼ばれる自動露光調整手段を備えている。これは、ネガのB、G、R各色の全面積からの透過光量を一定に制御すれば、撮影光源や感度の変動に関わらず大多数のネガから適正なプリントが得られるという経験則に基づいた露光制御方法である。

この制御方法では、画面の平均濃度と主要被写体の濃度が極端に異なっているようなシーン（デンシティフェリア）や、統計的な平均から著しく隔たったカラーバランスを持つシーン（カラーフェリア）に関しては補正が必要になる。このため、実際のプリント作業では熟練オペレータによる目視判定によって画像ごとにデンシティおよびカラーの補正を指定する必要がある。このネガ判定作業は経験や熟練を要求するとともに、スピードと正確さが必要になる。

一方、ネガカラーフィルムは品種ごとにレギュラ・オルソ・パン各層の分光感度特性、調子再現特性、および色素の分光吸収特性が異なっている。同一被写体を同一撮影光源の下で撮影しても、ネガ上に形成される色素像

はフィルム品種ごとに異なるため、フィルム品種に応じて露光条件を変えなければならない。そのため実際のプリントはチャンネルと呼ばれる機能を備えていて、処理するフィルムの品種それぞれに対して露光条件を記憶するようにしている (Fig.1)。このチャンネルの条件設定 (セットアップ) は精密に行う必要があり、相当の技能と時間が要求される作業である。

また、たとえ同一品種のネガといえども、ユーザサイドでの撮影前後の保存状況などにより、必ずしもチャンネルの設定条件に合致しない場合もある。極端なケースとしては、ホルムアルデヒドの影響を受けた退色ネガ、熱の影響による変色ネガがあげられる。そのような場合においても、高品質のプリントを提供しなければならない。このため従来は熟練オペレータによる目視判定の結果、経験に基づいて特殊な色補正を行うのが普通であった。

現在ラボの作業工程においては省技能化・省力化が強く望まれており、上記の諸問題を解決できるシステムの開発が望まれていた。

3 7N3-SCANNERの機能と構成

3.1 基本機能

以上の状況を踏まえた上で、7N3-SCANNERの提供すべき機能として掲げたのは以下の4点である。

- (1)チャンネルフリー機能
 - (2)高精度の自動ネガ判定
 - (3)高い処理能力
 - (4)プリンタ単体機能とのコンパチビリティ
- 以下、それぞれについて簡単に説明する。

(1)チャンネルフリー機能とは、プリンタにおいてすべてのネガのチャンネルをあらかじめセットアップしておくのではなく、ただ1品種に対するセットアップを行っておきさえすれば、後はどのような品種のネガであってもそのままプリントできる機能を指している。同時に変退色などで特性が変化しているネガでも自動的に色補正を行ったプリントが得られる。このため、ラボのプリント工程における大幅な省力化と省技能化をはかることがで

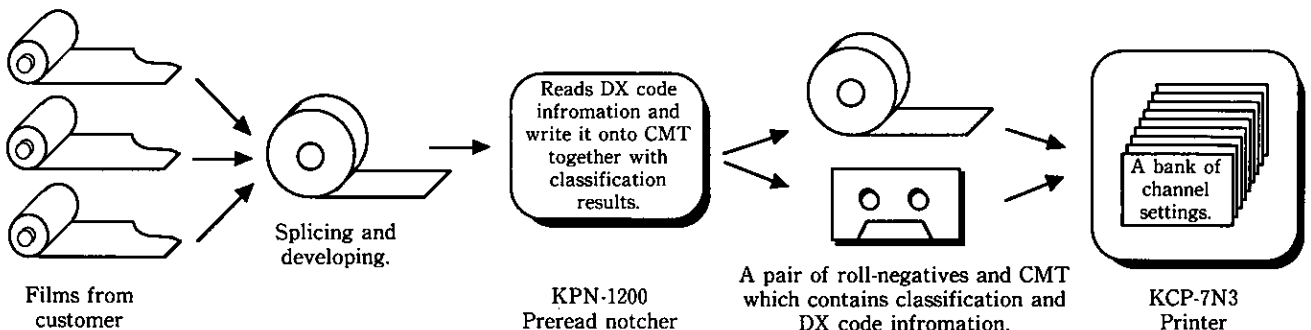


Fig.1 A flow of negative films on conventional photofinishing.

きる (Fig.2)。

チャンネルフリー機能を提供するために、7N3-SCANNERではプリントすべきフィルムの特徴を推定した後に個々の画像に対する露光量を決定している。この処理方式を1オーダプレスキャン方式と呼ぶ。

(2)自動ネガ判定機能とは、オペレータの判断によらずにカラーフェリア及びデンシティブェリアの補正を行なうものである。この機能は大規模ラボの高い要求に応えることができる充分な精度を持たねばならない。最新鋭のカラーレスキャナとして、7N3-SCANNERではカラー補正収率(正しく補正が行なわれる割合)100%、デンシティブェリア補正収率98%以上を目標とした。

(3)大規模カラーラボの効率化に寄与するためには、高い処理能力が要求される。7N3-SCANNERはKCP-7N3プリンタ専用機であるが、スキャナを接続することでプリ

ンタ本来の処理能力を低下させることは容認されない。KCP-7N3プリンタ単体の処理能力は約8,000プリント/時である。このため、7N3-SCANNERの処理能力は約10,000プリント/時を目標においた。

(4)KCP-7N3プリンタ本体は、ラボにおける多様な要求に応えるための汎用カラープリンタとして設計されており、ロールネガの自動プリントのみならず、ロールネガやカットネガをマニュアルでプリントする機能を備えている。スキャナを接続した場合に、プリンタ本体がそもそも有していた機能はいつさい損なわれないように留意した。

3.2 全体構成

全体の構成としては、KCP-7N3プリンタの脇に配置して使用するオンライン形式を採用した。スキャナのスキャンステージにて測光および露光量の決定を行い、プリ

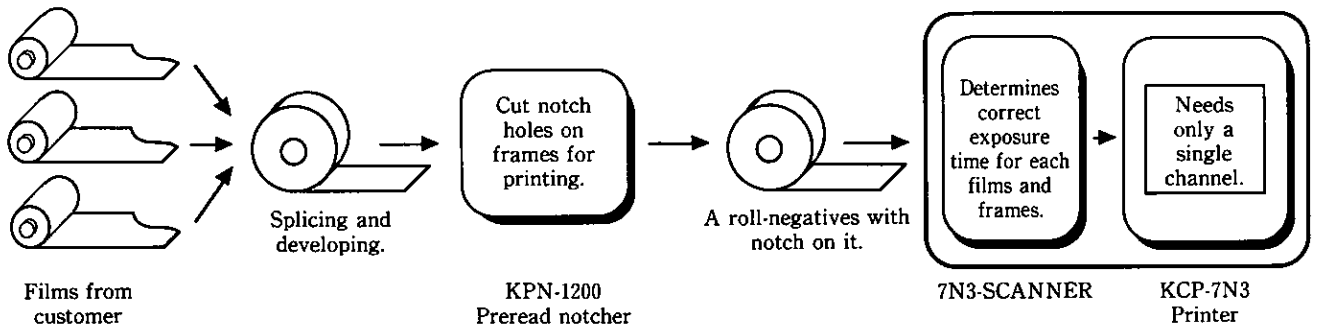


Fig.2 A flow of negative films on photofinishing with 7N3 color scanner.

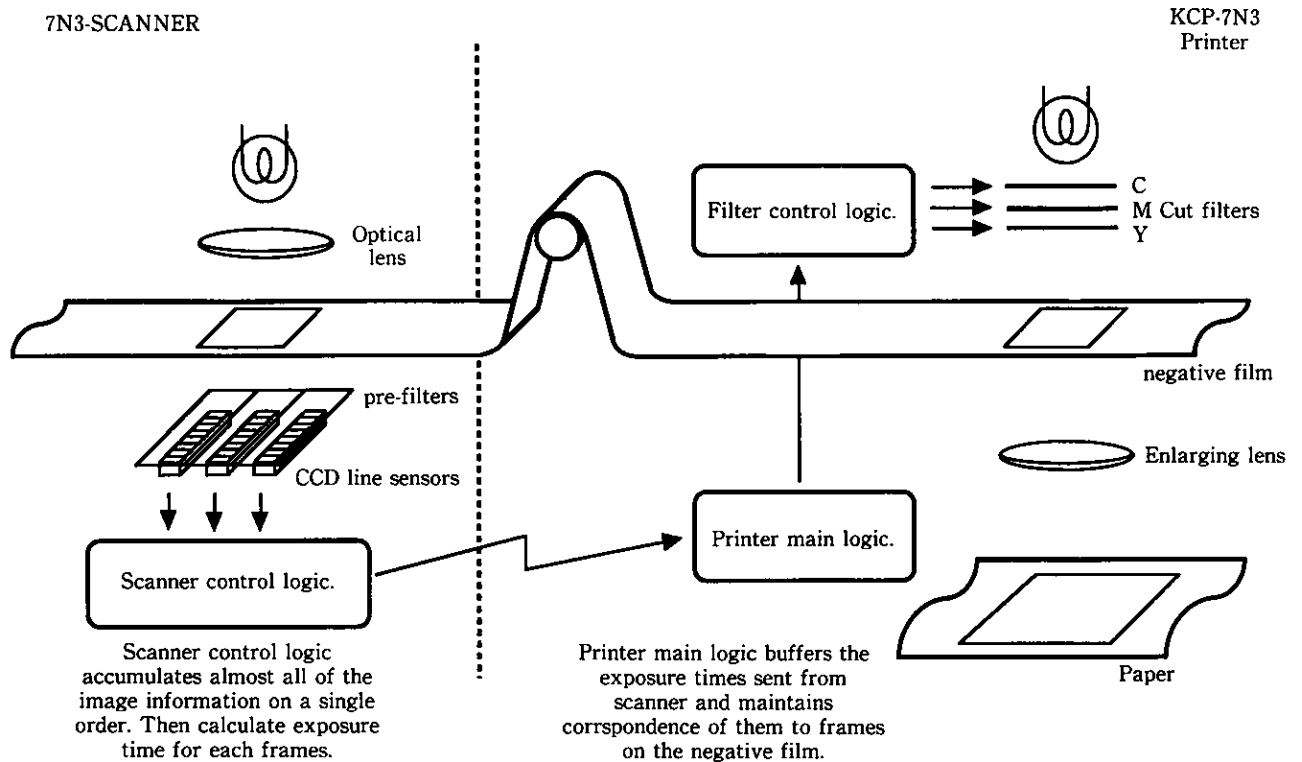


Fig.3 Schematic processing architecture.

ンタ側ではその露光量に基づき連続してプリントする形態である。プリンタ本体との情報の伝達にはシリアル通信方式を採用している。

スキャナにはプリンタとは独自に別個のネガ搬送用のパルスモータが備わっており、2つの機器が独立して同一のネガロールを搬送する事になる。このため、プリンタ側に備わっているアキュムレータを利用して両者の速度調節をはかっている。また1オーダプレスキャン方式のためには、スキャナのスキャンステージとプリンタのプリントステージの間は物理的にフィルム1オーダ分程度の距離が必要になる。アキュムレータは、そのための物理的なバッファとしての役目も持っている (Fig.3)。

3.3 内部構成

7N3-SCANNERは以下の3つ内部機能要素から構成されている。

- (1)画像入力部
- (2)画像処理部
- (3)搬送制御部

画像入力部によってネガ上の画像情報がデジタル画像として入力され、画像処理部において入力画像に対して各種統計・演算処理が施された後に最終的な露光量が決定される。搬送制御部は画像入力部・画像処理部と密接な情報交換をしつつネガを搬送し、ネガフィルム上の画像位置を示すためにネガ端部を切り欠くことで形成されたノッチの検出などを行なう。

4 7N3-SCANNERのアーキテクチャと高速化の技法

処理能力の目標を10,000プリント/時と決定したため、1画像あたり360msのサイクルタイムで処理を完了しなければならない。過去のスキャナ開発の経験、及び新しいチャンネルフリー・アルゴリズムの計算量の点から、直列に処理を行った場合には、約930msのサイクルタイムとなることが推定された (Fig.4)。

この問題を解決するために、7N3-SCANNERでは以下の技術を採用して処理の高速化を実現している。

- (1)機能単位での並列処理
- (2)ラインセンサによる高速画像走査
- (3)画像データのパイプライン処理

以下、高速化技法の具体的内容に関して詳述する。

4.1 並列処理

7N3-SCANNERでは次の2つのレベルで並列処理を採用した (Fig.5)。

- (1)プリンタ・スキャナ両機器間での並列処理。
- (2)スキャナ内部の機能単位間での並列処理。

それぞれに対する技術的実現手段は以下の通りである。

- (1)機器間での並列処理

本スキャナシステムは、プリンタとスキャナという2つの独立した機器が複合されて一つの機器として動作するコンポジットシステムである。そこで、プリンタとス

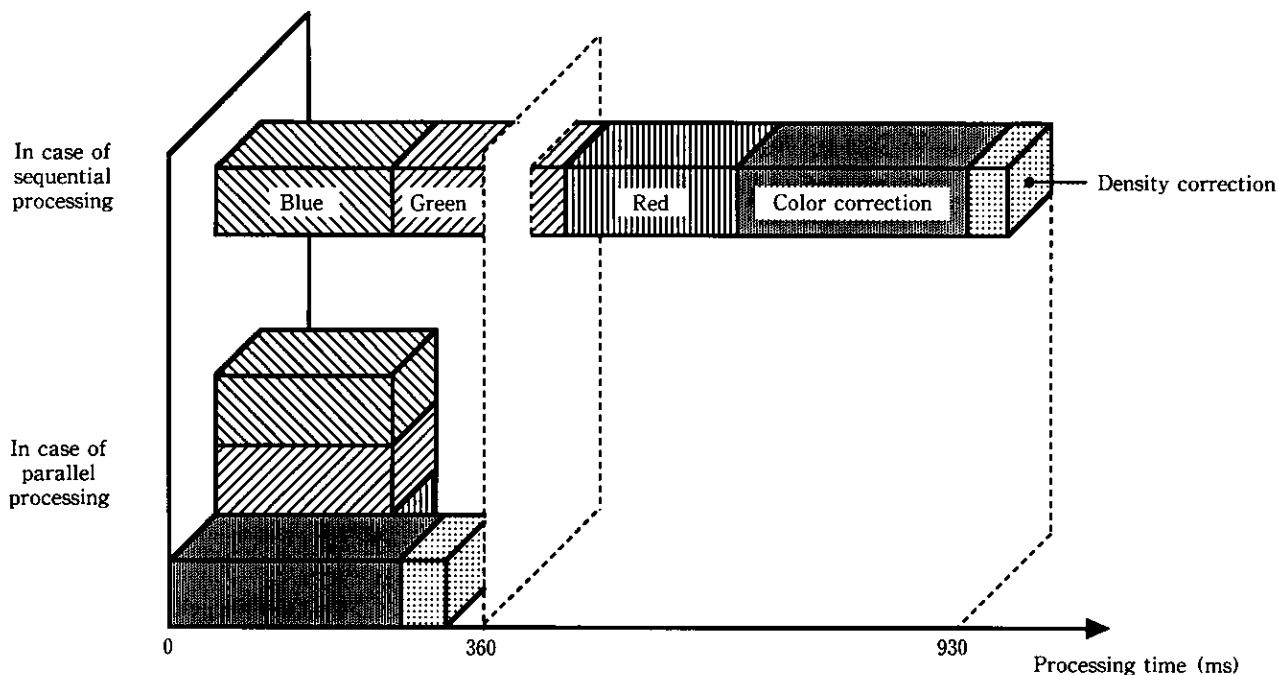


Fig.4 Comparison of processing time.

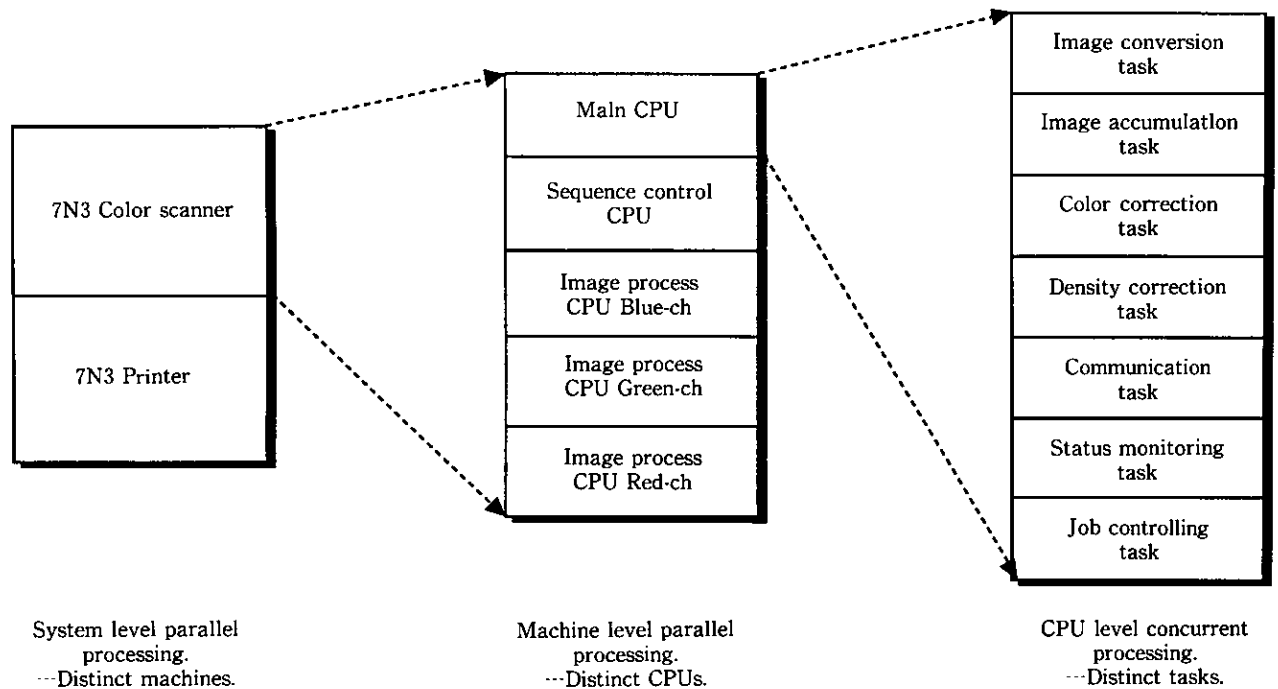


Fig. 5 Parallel and concurrent processing architecture.

キャナを独立した機器として作動させ、例えばプリンタ側が露光中でネガが停止している状態であっても、スキャナは可能な限りそのままネガを搬送し続け、動作を継続させるようにし、システムとしての無用なアイドルタイムの削減をはかっている。

またスキャナ・プリンタ間での通信・情報同期を確実にするために、ソフトウェア上で次のような工夫を凝らしている。まず、プリンタ本体側とスキャナ側を結ぶシリアル通信には全2重パケット通信方式を採用した。パケットの先頭にはフラグシーケンスを配し、パケット授受時の同期を確実なものとしている。またパケットには緊急度クラスを設定し、緊急パケットは優先して処理されるようにした。プロトコルとしては全2重通信回線の利点を生かすべくパケット単位のアクノリッジを採用し、さらにスライディング・ウィンドウによるパケット・センドアヘッドを実現して、パケット間でのアイドルタイムを極力排除している。以上の構成により、回線使用効率の向上をはかると共に、コマンド授受時のレスポンスタイム短縮、機器間での通信の信頼性向上を実現した。

(2)スキャナ内部の機能単位間での並列処理

前述のようにスキャナの内部機能は大きく3つに分割することができる。そこで、それぞれの機能単位に独立したCPUを割り当てることにした。さらに、特にデータ量が膨大である画像入力部分に関しては、B、G、Rの各色の画像入力部に対して1色に1つずつCPUを割り当てた。これで、メインの画像処理用CPUと、ネガ搬送・ノッチ

検出などを行なう搬送制御用のCPUを含めて、全体として5個のCPUを使用する構成となる。

スキャナ内部の5つのCPUはマスタースレーブの関係ではなく、対等で独立に動作する形式をとっている。これにより各CPUが並列に処理を行うことができ、スキャナ単体でのパフォーマンス向上をはかることができた。7N3-SCANNERで採用したのはすべて16ビットCPUである。特にメインの画像処理を受け持つCPUは、大量の画像データを処理するため、内部32ビットアーキテクチャと大容量16Mバイトのリニアアドレス空間を持ち、現時点はもちろん将来の拡張にも対応可能としている。

なお、メインCPUと他のCPUの間では、KCP-7N3プリンタとスキャナ間での通信処理と同様にパケット通信を採用して情報を密にやりとりし、単体の機器としての確実な動作を保証している (Fig.6)。

4.2 高速画像走査

画像入力部にはB、G、R各色ごとにCCDラインセンサを用い、ほぼ密着状態でネガ上の画像を読み取る方式とした。前述のように、3つのCCDにはそれぞれ専用画像入力用のCPUが配備されている。各々の画像入力用CPUは、搬送制御用CPUの発生するノッチ信号を受けると、自らの内部に画像に対応してバッファコントロールブロック (BCB) と称する管理情報を設定する。そして、このBCB内にB、G、R各色に応じて適切なオフセット距離を設定し、ネガ搬送距離の計測を開始する。その後、ノッチ信号を受け取ってからのネガの搬送距離が設定され

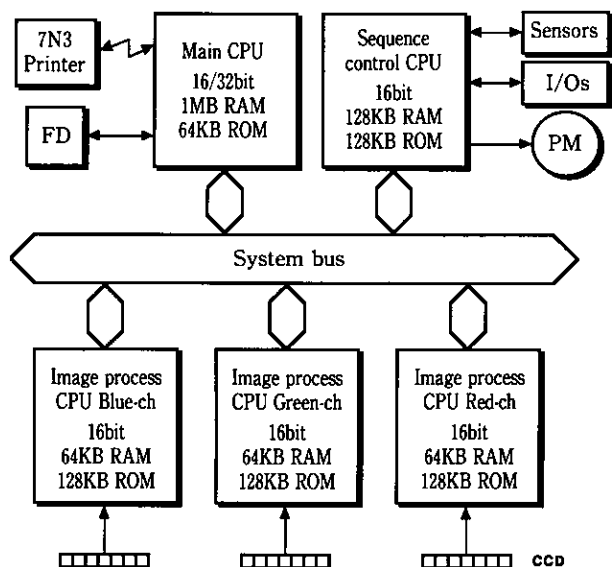


Fig. 6 Schematic system architecture.

たオフセット距離に等しくなった時点で、実際の画像入力を開始するようにしている。このようにして各CCDのネガ搬送路上での位置の違いを吸収している。

画像データは搬送パルスに対応して1ライン分が入力され、主走査方向への丸め込み処理を施された後に1次元画像バッファに格納される。各BCBにはこの1次元画像バッファ内の画像開始アドレスがポインタとして設定される。このようにしてネガを搬送しつつサンプリングを繰り返し、徐々に1次元画像バッファ内の新しい領域へと画像データを格納していく。そして画像のサイズに相当するライン数だけサンプリングが終了した後に、BCBの内容を参照しつつ、1次元画像バッファ内の画像情報を再構成することで最終的な2次元の画像データを得るのである。

なお、BCBおよび1次元画像バッファは、それぞれ同時に複数アクティブになると共に、徐々に棄却、新設される。そのため、メモリ管理のオーバーヘッドを最小にするべく、BCBと1次元画像バッファそれぞれには独立のサーキュラバッファを用いている (Fig.7)。

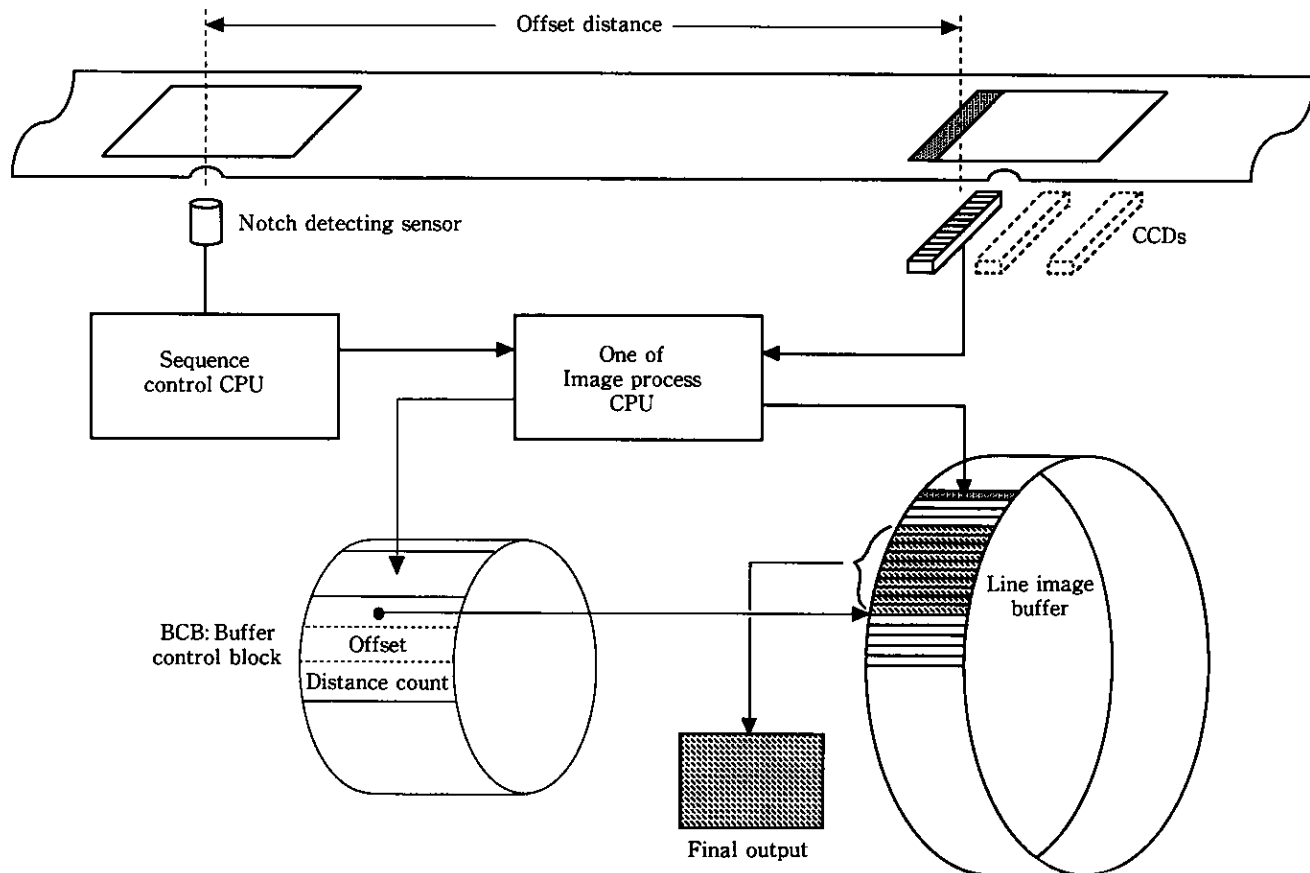


Fig. 7 Conceptual model for image scanning.

4.3 パイプライン処理

一連のデータに対して繰り返し同様の処理を行なう場合には、パイプライン処理を採用することで高速化をはかることができる。これは処理を複数のステップに分割し、各ステップが相異なるデータに施されるように構成した処理方式のことである。

実際には、7N3-SCANNERでは画像データおよびそれから得られた露光量データを次の各ステップで独立に蓄積・管理することでパイプライン処理を実現している。

画像入力CPU：

- (1) 1次元画像バッファ
- (2) 2次元画像バッファ

メイン画像処理CPU：

- (1) 画像バッファ
- (2) フィルム特性情報バッファ
- (3) 濃度補正データバッファ
- (4) 露光量送信バッファ

すなわちスキャナ内部のパイプラインは2つのCPUにまたがり、また1次元画像データ、2次元画像データからフィルム特性情報そして露光量に至る各種データで合計6段階のパイプラインステージを構成していることになる。

パイプライン処理を行わずに結果を得る場合には、この一連の処理すべてをサイクルタイム内に終える必要

がある。しかしパイプライン処理の採用により、結果的に単独の画像に対する処理がサイクルタイム以内に終了する必要はなく、単に各ステージにおける画像データの処理が360msのサイクルタイム以内に終了すればよいことになる。このようにして全体としてのスループットを向上させている。

画像データのパイプライン処理を効率的に実行するために、7N3-SCANNERでは各CPUにおいてマルチタスクモニタを採用した。すなわち処理をタスクレベルに分割し、複数のタスクを並行処理する形態を採用したのである。メインの画像処理CPU内部では、各々のタスクではそれぞれパイプラインステージの一つを担当することになる (Fig.8)。

マルチタスクモニタを採用すると、タスク相互の同期処理がモニタプログラムによって一括して管理されるようになり、処理単位間のインターフェースが単純化される。そして各ステージの処理を独立したプログラムとして記述することが可能となり、各処理間の切り替えはマルチタスクモニタによって適宜処理されることになる。これにより、7N3-SCANNERのようにネガの状況によって処理すべきデータの構成が動的に変化する場合でも柔軟に対応することができる。同時に、パイプライン処理を実現しつつもソフトウェア作成の労力が大幅に軽減されるという利点も得られる。一方で、効率の良い処理の

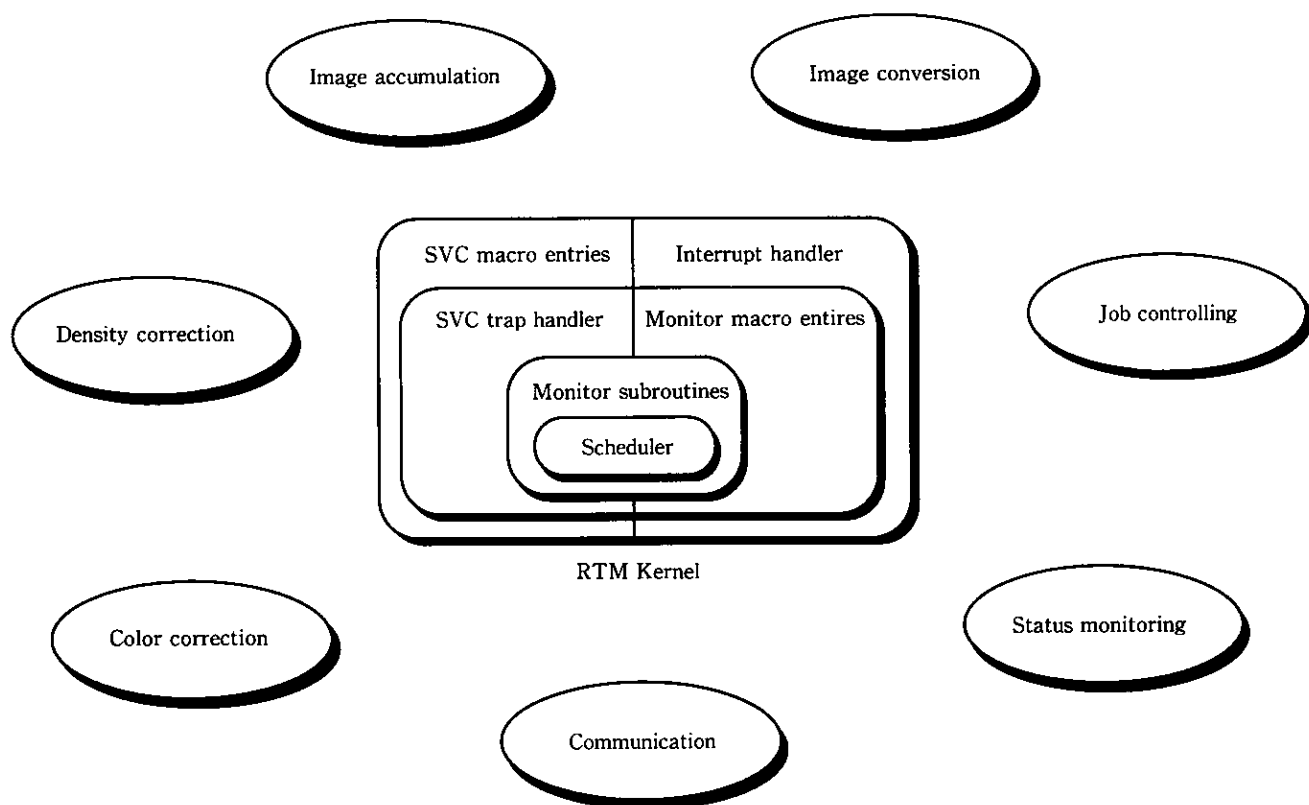


Fig. 8 Hierarchical structure on software of main CPU.

ためにはマルチタスクモニタ内部の管理アルゴリズムが重要となる。7N3-SCANNERではプライオリティベースのFCFSスケジューリングにプリエンティブ・イベントドリブンを組み合わせるという、リアルタイム性を重視した手法を使用した。

すべてのタスクについて処理の重要性に基づいて優先順位（プライオリティ）を付与しておき、次に実行すべきタスクを選択する際にはCPU資源を待っているタスクのうち、優先順位のもっとも高いタスクを選択するようにする。また、同順位のタスクに関しては先着順に処理を行なう。これがプライオリティベースのFCFS（First Come First Serve…先着先処理方式）スケジューリングである。そして処理すべきデータが尽きたなどの理由からある処理が継続不能となった場合には、直ちに待っている次の優先順位のタスクへと処理の切り替えを行なう。逆に、より優先順位の高いタスクが待っていた資源が利用可能となったならば、その時点で即座に順位の低いタ

スクは実行を中絶して、CPUを優先順位の高いタスクに譲り渡すように制御している。これがプリエンティブ・イベントドリブンである。

このようなマルチタスク処理を採用したことによってCPUのアイドルタイムを最小限に抑え、効果的なパイプライン処理を実現する事ができた。

5

まとめ

当社カラーレスキャナとして、初めてチャンネルフリーを実現した7N3-SCANNERのシステムアーキテクチャと高速化のための技術手段について報告した。7N3-SCANNERは機器としての基本的な構成のレベルから高速化を強く意識した設計を行ない、並列処理アーキテクチャを採用することによって10,000プリント／時の処理能力を達成した。現在7N3-SCANNERは大規模ラボのカラープリント生産工程において実用に供されている。