

## 論文の内容の要旨

論文題目: スマートポジションセンサとその3次元形状計測への応用に関する研究

氏名 根塚 智裕

### 1 研究の背景

集積回路技術の発展とともに、情報の流通形態が、文字情報から、静止画、音声、現在では、動画へと広がっている。近年、3次元情報を取得する技術が多く研究されており、近い将来、3次元情報を含んだ静止画や動画などの情報が広く流通すると考えられる。また、ロボットビジョン、バーチャルリアリティ、計測などの幅広い分野への3次元計測技術の応用が行なわれており、リアルタイムでの3次元計測技術の重要性が高まっている。3次元計測技術の中でもスポット光やシート光などの能動光源を用いた光切断法は、3次元情報の再構成に必要な計算量が少なく、高精度な計測が実現される。この方式では、大量の画像情報が必要であり高速化のための専用回路を持つイメージセンサが提案されているが、画像情報へのアクセスがボトルネックとなり、高解像度の高速3次元計測は実現されていない。

本論文では、センサ面上における画像情報へのアクセスの高速化を実現する手法について論じ、提案したアクセス手法を用いた画像センサの高速なスポット光およびシート光を用いた3次元計測への応用について述べる。4進木構造を持つ画像情報へのアクセスパスを効率的に実現した高速ポジションセンサを提案し、試作したセンサの評価およびスポット光を用いた3次元計測への応用を行なう。また、アレイ構造中の情報への2進木構造を持つ並列のアクセスパスの効率的な実現手法の提案ならびに列並列アクセス機能を持つセンサの行単位の処理時間の高速化手法を提案し、提案手法を用いたセンサの評価およびシート光を用いた3次元計測への応用を行なう。

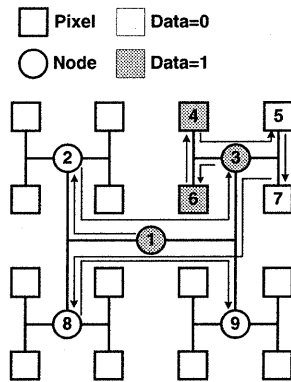


図 1: 4 進木スキャンによる画像の走査手順

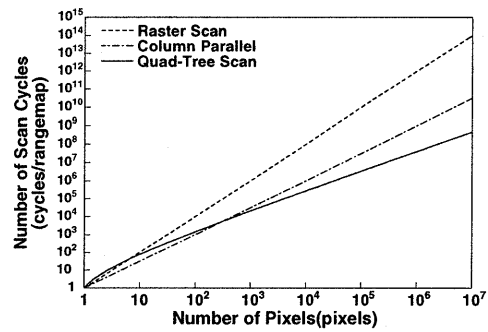


図 2: スポット光を用いた 3 次元計測における画像情報の走査に必要なサイクル数の解像度依存性

## 2 可変ブロックアクセス方式による効率的な 4 進木スキャン機能の実現

スポット光を用いた 3 次元計測における輝点のポジション検出に、4 進木スキャン (図 1) と呼ぶ階層型の画像情報へのアクセスパスを持つ走査方式を用いることを提案し、その評価を行なった。4 進木スキャンを用いることにより、輝点のポジション検出に必要なスキャンのサイクル数および出力データ量が削減されることを示した (図 2)。また、可変ブロックアクセスと呼ぶ画像情報へのアクセス方式を用い、4 進木スキャン機能を効率的に実現したスマートポジションセンサの試作および評価を行なった。試作したセンサを用いた撮像の結果、4 進木スキャンによる輝点の取得に必要なサイクル数が削減されることを確認した。

## 3 4 進木スキャン機能を持つポジションセンサの実現と 3 次元計測への応用

4 進木スキャン機能を有する 3 次元計測向けのポジションセンサの高解像度化および高速化を行なった。画素回路の回路規模を削減するとともに、開口率の向上、信号振幅の低減を行ない、フレームレートの向上を図った。また、高解像度化にともなうスキャンサイクルの低下を抑えるための高速な汎用可変ブロックアドレスデコーダの回路方式を提案し、4 進木スキャンのサイクル時間を削減した。0.6 $\mu\text{m}$  ルールの CMOS プロセスを用いて 4 進木スキャン機能を持つ高速ポジションセンサ (図 3) の試作を行ない、試作したチップを用いた 3 次元計測システムを構築した。回路シミュレーションおよび試作したチップを用いた 3 次元計測により提案手法およびセンサの評価を行ない、提案手法がスポット光を用いた 3 次元計測の高速化に有効であることを示した。

## 4 センサ面上における高速行並列ポジション検出方式とその実現手法の提案

センサ面上において行毎に並列に高速ポジション検出を実現する手法を提案した (図 4)。シート光を用いた 3 次元計測において画像情報の走査に必要なサイクル数の解像度依存性を計算し、提案手法が他手法と比較して、高解像度化にともなうサイクル数の増加が少ないことを確認した。提案した走査手法の従来手法から類推可能な実現方式を検討し、それらの手法では、高解像度化が困難であることを示した。従来手法の問題点の検討の結果から、画素あたりのハードウェア量がセンサの解像度に依存しない効率的な高速行並列ポジション検出方式の

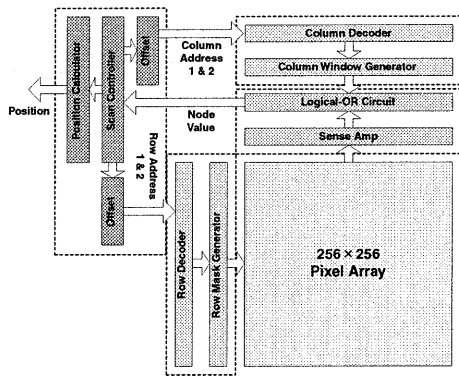


図 3: 4 進木スキャン機能を持つ高速ポジションセンサの構成

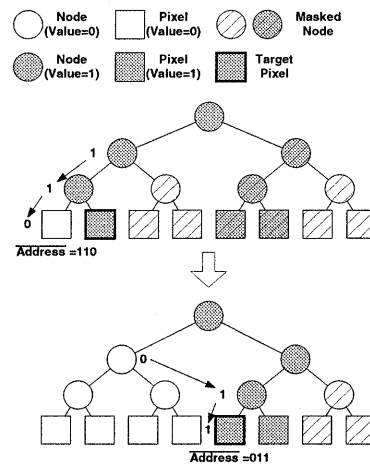


図 4: 行並列 2 進木スキャンの走査手順

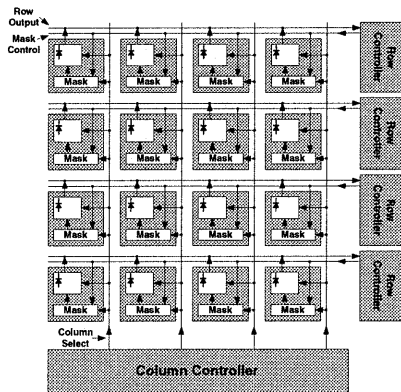


図 5: マスクレジスタを用いた行並列 2 進木スキャンの効率的な実現

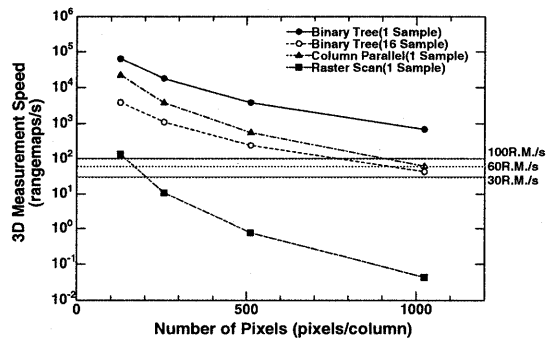


図 6: 各走査方式のシート光を用いた 3 次元計測速度の解像度依存性

実現方式を提案した (図 5)。提案手法を用いた具体的な走査手順を示し、提案手法により特別なデコードを用いずに輝点の座標を取得できることを示した。

## 5 行並列 2 進木スキャン機能を持つ高速ポジションセンサの実現と 3 次元計測への応用

第 4 章で示した高速行並列ポジション検出方式の具体的な回路方式を示し、0.35um ルールの CMOS プロセスを用いてポジションセンサの試作を行なった。試作したチップを用いた 3 次元計測システムを構築し、3 次元計測およびセンサのポジション計測精度の評価を行なった。また、回路シミュレーションによる提案手法およびその他の手法の 3 次元計測速度の解像度依存性の評価を行なった (図 6)。評価の結果から、提案手法では、高解像度においても複数回のサンプリングによるサブピクセルレベルポジション検出を用いた高精度な動画レベルでの 3 次元計測が可能であることを示し、提案されている他手法と比較して高速な 3 次元計測を実現できることを示した。

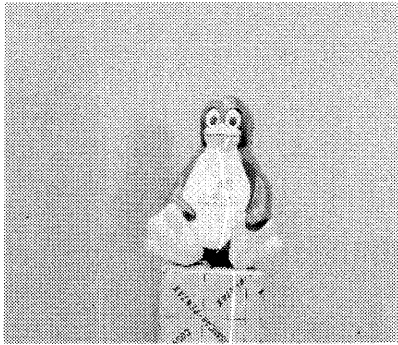


図 7: 試作したセンサによるシート光を投射した計測対象の撮像結果 (256 階調)

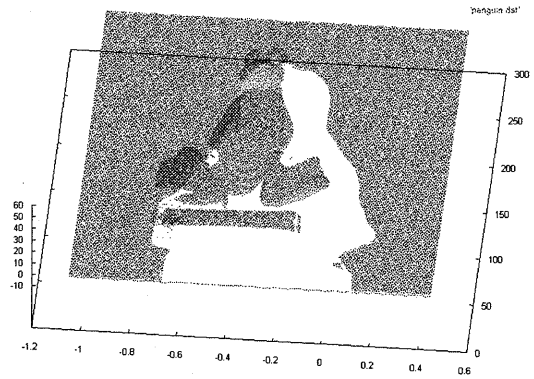


図 8: 試作したセンサを用いた 3 次元計測の結果

## 6 列並列アクセス機能を持つ高速ポジションセンサの実現と 3 次元計測への応用

列並列アクセスによる画像情報の読みだしにより高解像度の動画レベルでの 3 次元計測を実現する高速ポジションセンサを提案した。列並列アクセスの高速化を行なうための高速読みだしが可能でかつ回路規模が小さい画素の回路方式を提案した。また、画素アレイ 1 行あたりの信号処理の高速化を実現する小型かつ高速なプライオリティ決定およびプライオリティエンコード機能を持つ回路を提案した。提案した回路を用いた列並列アクセス機能を持つ高速ポジションセンサを  $0.6\mu$  ルールの CMOS プロセスを用いて試作した。試作したチップを用いた 3 次元計測システムを構築し、3 次元計測およびセンサのポジション計測精度の測定を行なった (図 7,8)。また、回路シミュレーションにより、提案手法およびその他の手法の 3 次元計測速度の解像度依存性の評価を行なった。評価の結果から、提案手法は高解像度における動画レベルの高速な 3 次元計測を効率的なハードウェア量で実現できることを示した。

## 7 結論

本論文では、

1. 可変ブロックアクセス方式による効率的な 4 進木スキャン機能の実現
2. 4 進木スキャン機能を持つ高速ポジションセンサの実現と 3 次元計測への応用
3. 画像センサ面上における高速行並列ポジション検出方式およびその実現手法の提案
4. 行並列 2 進木スキャン機能を持つ高速ポジションセンサの実現と 3 次元計測への応用
5. 列並列アクセス機能を持つ高速ポジションセンサの実現と 3 次元計測への応用

が行われた。

これらの成果は、今後の高機能撮像素子およびアレイ型集積回路の設計、3 次元計測システムの構築において、撮像および情報の走査の高速化、高速な 3 次元計測の実現に貢献するものであると考える。