

論文内容の要旨

(論文題目)

2次元分布情報の検出及び処理を一体化した集積化センサの研究

(氏名)

岩下 貴司

(本文)

現在、我々の生活のあらゆる場面に電子計算機が浸透している。しかしながら、測定器やパーソナルコンピュータのように、明らかにセンサや計算機であることを認識できるものは、氷山の一角に過ぎない。実際には多くの製品にも、大量のセンサと計算機が搭載されているにも関わらず、センシングや情報処理の詳細は隠蔽され、その背後にある通信ネットワークの存在も通常は意識されることがない。システムのカプセル化、機能の抽象化によって、電子計算機は静かに深く普及している。このような高度情報化社会、ユビキタス社会の基盤となるのが、電子システムの小型・低価格化を可能とした集積回路技術である。

当初はリレーや真空管であった電子計算機の構成要素は、やがてトランジスタに置き換えられ、小型・低価格化が進んだ。また、リソグラフィにより多数の素子とそれらを接続する配線を単一のデバイス上に実装する集積回路技術が実用化され、高機能なデジタル計算機が実現可能となった。近年では低消費電力と高速性を兼ね備えた CMOS が主流となり、線幅の微細化により単一のデバイスに集積可能な素子数は数十億個を超えている。このような電子システムの抽象化・小型化・低価格化・高機能化は今後も進行すると考えられる。

近年、情報処理能力の向上により、分布型のセンサから取得した情報を計算機で処理し、特徴量を抽出して機器の自動制御を行う事例が増加している。具体的には、顔認識による拠点監視やパターン認識による製品検査、車線認識による自動走行や移動体検出による衝突回避などが実現されている。一般的に、センサアレイから取得した情報は単一のセンサと比較して膨大となるため、グローバルな通信回線を介した分布情報の転送は非効率的である。よって、センサアレイと計算機を直結し、抽出した特徴量のみを転送するようなモジュールの構築が合理的であると言える。

このような演算機能を有する分布型センサは、単一のセンサでは実現できない多彩な機能を実現できる。これまでは研究レベル、または特注の生産システムや高級車など、限られた場面でしか利用されてこなかったが、今後は既存のシステムが辿った道筋と同様、小型・低価格化やカプセル化が進み、バッテリー容量や実装面積、価格などが制限される用途や、リアルタイム性の要求される用途へと応用が拡大していくと考えられる。具体的には、組み立てロボットや製品検査システムなどの生産ラインでの大量使用、携帯機器の入力インターフェイスやペットロボットなど民生品での新規分野開拓、監視や車載用途における既存品の置き換えなどが期待される。

機器の自動制御に必要なセンサの時空間分解能は、用途によって大きく異なる。本論文では、幅広い分野への応用を目指し、集積回路技術によるセンシングと情報処理の密結合を用いた、時空間分解能の変化にロバストな分布型センサシステムの提案及び実証を行う。具体的には、一般的な方式、すなわちセンシングと情報処理が疎結合した方式の弱点を述べ、これを解決するために、センサ・情報処理の密結合方式とミックスド・シグナルでの超並列演算を提案した。

このアーキテクチャの実証例として、まず、触覚センサ上の圧力分布の検出と AD 変換を同時に実行する回路を提案し、チップを試作して測定をおこなった。さらに、試作結果を参考にして、検出方式を $\Delta \Sigma$ 変調に拡張し、値分解能と消費電力のトレードオフが可能なセンサアレイを提案した。

また、視覚センサと幾何統計量の演算を一体化した画像モーメントセンサを提案し、チップを試作して測定をおこなった。さらに、試作結果を参考にして、分解能の向上とモーメント演算の単一のチップ実行を実現した高機能版画像モーメントセンサを試作し、測定を行なった。最後に、モーメントを利用して効率的に対象の自動抽出を実行するアルゴリズムを提案した。

以上により、 $N \times N$ のセンサアレイにおいて、触覚センサでは $O(N^3)$ の演算を $O(N)$ で、視覚センサでは $O(k^2N^2)$ の演算を $O(k^2 \log N)$ で実行可能であることを実証した。この結果、センシングと情報処理の融合によって、時間分解能・空間分解能・値分解能・消費電力の可変性を確保した、柔軟な分布型スマートセンサが実現可能であることを示した。