

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560407

研究課題名(和文)非接触インターフェースを実現する動きセンサーLSIの研究

研究課題名(英文)A study of motion sensor LSI to realize non-contact interface

研究代表者

有馬 裕 (ARIMA, Yutaka)

九州工業大学・マイクロ化総合技術センター・教授

研究者番号：10325582

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：視覚センシングによる非接触インターフェース装置を実現する動きセンサーLSIに関する基礎的研究を行った。そのLSIは、二つの時間フレームの画像を保持できる特殊なイメージセンサーと、それらの出力パターンの相関度合いを瞬時に演算できる回路をシングルチップに集積しており、対象物の動きをリアルタイムに検知できる。そのプロトタイプを設計し、実際に試作した。試作したセンサLSIを用いて動き検知機能の基本動作を確認することができた。

研究成果の概要(英文)：We performed a basic study about motion sensor LSI to realize a non-contact interface device by the image sensing. The LSI accumulates the image sensor which can hold the image of two different time frames and the circuit which can operate those correlative degree instantly to a single chip. As a result, the sensor LSI can detect the motion of the object in real time. We designed the prototype and actually produced it experimentally. And we confirmed a basic function of the motion detection using the fabricated LSI.

研究分野：集積回路 センサー LSI

キーワード：電子デバイス・機器 集積回路 センサー 動き 三次元

1. 研究開始当初の背景

現在の電子情報機器における入力操作は、キーボードやマウス、タッチパネルなどの入力装置によって行われている。何れの場合でも手もしくは指を使って入力装置に触れてボタン（クリック）操作することを基本としている。また、スマートフォンやタブレット端末などの携帯型情報機器においては、マウスに代わりタッチパネルが標準装備されており、そのパネルに触れた指の動きによって簡単な操作を行うことができる。しかし、何かを触れて操作するインターフェース手法では、装置が小さく成る程、その入力機能の自由度が制限され、操作性が悪化する問題がある。従来から続くボタン操作を基本とした入力方式では、その操作内容を予め理解する必要があるため、その装置を初めて使うユーザーがストレスを感じるという課題が未だに解決されていない。今後、紙や鉛筆のように誰にでもストレスなく利用できる電子情報機器を実現させるためには、特別な操作手法を習得しなくても誰もが自然に操作できるインターフェース技術を開発する必要がある。

マウスやタッチパネルに続く入力装置としては、視覚情報を利用した非接触インターフェース装置が考えられる。非接触にすることで、機器に不慣れなユーザーでも機器操作に対するストレスを低減させる効果がある。また、機器周辺の視覚情報を基にするので、機器の小型化で制限されてきた操作の自由度を拡大でき、ユーザーの自然な動作・振舞いを検知して自律的に機能させることも可能になる。

視覚情報を利用した非接触インターフェース装置の実現例として、カメラで撮像された画像から予め定義した特定のターゲットパターン（カラーボールや顔、瞳、口など）をパターンマッチング手法等により検知して、その位置情報や形状などを基に操作入力に用いる手法がある。実用化されている技術としてPlayStation Move モーションコントローラなどがある。しかしこれらの手法は、予め検知できる対象パターン（色付き発光球）が定義されており、それ以外の対象物は検知することができない問題がある。また、Xbox360 Kinect センサー（Prime Sensor）は、その距離検知機能を利用して、人体の形状を効率良く抽出し、簡単な人体骨格モデルとのマッチング処理により、大まかな動作を検知することができる。これらは室内ゲーム機における人体アクション入力等の限られた用途に対しては十分な機能を発揮できるものの、様々な状況で利用する非接触インターフェース装置としては、

距離検知用信号を照射する原理によって、利用環境や検知対象物の制限、装置サイズ、消費電力、反応速度、装置コストなど様々な課題があり様々な装置へ応用される程実用的レベルではない。

そこで本研究では、視覚非接触インターフェース装置のコアデバイスとなる「動きセンサーLSI」の技術開発を目指す。特に、対象物を予め特定する必要がなく、また距離検知用信号を照射する必要がなく、視野内のあらゆる物体の動きを複数同時にリアルタイムで検知できる「動きセンサーLSI」の実現可能性を検証する。

2. 研究の目的

様々な機器に視覚非接触インターフェース装置として採用されるためには、対象物を特定しない複数物の動き（ X 、 Y ）を毎秒30フレーム以上で検知・出力し、低コスト化の為にシングルチップで実現できる動きセンサーLSIを実現する必要がある。そこで本研究では、その実現に必要なLSI回路構成を考案して、その機能検証のためのプロトタイプLSIを設計し、実際に試作した動きセンサーLSIを用いて、視野内の複数対象物の動きを同時に検知する性能を評価し、その実用化の可能性を検証する。

従来のイメージセンサーLSIは、人がその画像イメージを見ることを主眼に開発されて来た。今回開発する動きセンサーLSIは、その出力を電子情報機器（機械）が直接受け取り、周辺の物理空間状況の把握や自律制御を可能にする高度な視覚センサーデバイスとなる。つまり、この研究の意義は、様々な機械に対して高度な視覚機能を提供することで、ヒトと機械の親和性を高めることにある。

動きセンサーLSIに基づく視覚非接触インターフェース装置の大幅な低コスト化により実現される新世代の機器は、周辺の状況に応じた自律的制御によって高度な自動化を実現でき、誰にでもストレスなく利用できるバリアフリー化と共に、我々の生活の質や安全を大きく高めることが期待される。

3. 研究の方法

二つの時間フレームの画像を保持・出力できる特殊なイメージセンサーと、それらの出力パターン同士の相関結果を基に検知された対象物の同一性を評価して、それらの動き（変位量： X 、 Y ）を複数対象物同時に検知・出力できる機能をシングルチップに集積する、“動き”センサーLSI

のプロトタイプを設計し、実際に試作する。試作した動きセンサーLSI を用いて様々な環境化で評価実験を行い、その検知性能を検証して、その実用上の問題点や要改良点を抽出する。更に、抽出された課題の解決策を検討し、改良を施した動きセンサーLSI も新たに試作・評価して、当該方式における動きセンサーLSI の実用化に対する有効性を評価する。動きセンサーLSI の試作にはファンドリーのマルチチッププロダクトウエハサービスを利用し、設計・評価に要する膨大な作業には研究補助員を雇用して対応する。

4. 研究成果

動きセンサーLSI を、0.35 μ m CMOS、1層ポリシリコン、4層メタルプロセスで試作した。チップサイズは横10.0mm、縦2.5mmである。そのレイアウトを図1.1にチップ写真を図1.2にそれぞれ示す。

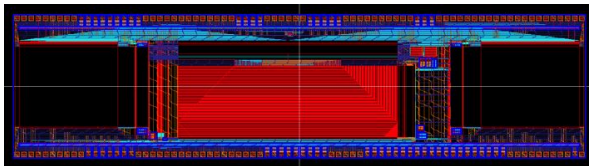


図 1.1. 動きセンサーLSI のレイアウト図

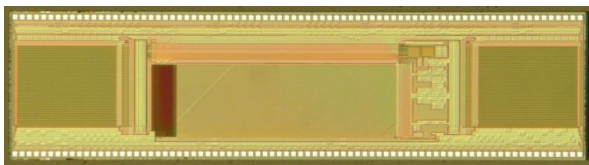


図 1.2. 動きセンサーLSI のチップ写真

試作した動きセンサーLSI の機能回路ブロック図を図2に示す。

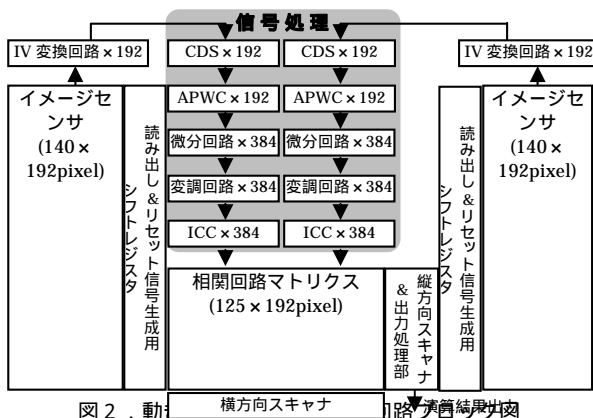


図 2. 動きセンサーLSI の機能回路ブロック図

- IV 変換回路：電流電圧変換回路
- CDS：相関2重サンプリング回路
- APWC：アナログ電圧-パルス幅変換回路
- ICC：無効相関除去回路

この動きセンサーLSIには、画素回路が140x192pixelのイメージセンサが左右に配置されている。画素回路の読み出しとリセット信号を生成するシフトレジスタには

左右で別のクロックを入力することができる。画素回路の出力は192個並んだIV変換回路に入力され、その後各信号処理部へと入力されていく。信号処理部は、CDS回路、APWC回路、微分回路、変調回路、ICC回路で構成され、左右の画素回路の信号が並列して処理される。信号処理部の出力は125x192のマトリクス状に配置された相関回路に入力され、1ライン毎に左右から入力された情報をピクセル単位で並列的に演算することができる。それぞれの相関回路に保持された相関結果情報は、縦方向と横方向のスキヤナで読み出され、出力処理部を通して演算結果としてLSIから出力される。

動き検知モードでは、イメージセンサ部で左右のイメージセンサ間で時間差のある画像情報を取得し、各画素で電気信号に変換し保持される。次に、長い配線を伝わりCDS (Correlated Double Sampling) 回路に入力され、信号を伝達する過程で発生したノイズの除去を行う。その信号はAPWC (Analog voltage to Pulse Width Converter) 回路に入力され、電圧値をパルス幅へと変換して後段の回路へと出力する。微分回路では隣接するAPWC回路の出力が入力され、隣り合う画素の輝度の変化量を求め空間微分処理を行い、変調回路でその信号のノイズ除去と信号変調を行う。その後、無相関除去回路で空間的特徴が検出されたかどうかを判定し、その有無で後段への出力を区別する。信号処理部を伝達してきた信号は、125x192のマトリクス状に配置された相関回路に入力され、左右の入力のパターンに応じて相関演算が行われ、それぞれの回路に演算結果の相関強度情報が保持される。保持された相関強度情報は、縦横のスキヤナと出力処理部によって全ての相関回路から読み出され、動き検知LSIの外へと出力される。処理2-6は動作モードによって必要な回数だけ繰り返し行われ動き量へと換算されることにより、動き検知を可能とする。

三次元距離検知モードでは、動き検知モードと比較して、イメージセンサ部における動作フローが異なる。3次元距離検知モードでは、イメージセンサ部で同時刻の画像情報を取得する。この時、左右の眼から見える画像のズレ(視差)によって左右のイメージセンサに取得される画像情報は横方向にずれる。信号処理部の動作は動き検知モードと同様に行われるが、相関回路マトリクスに保持される演算結果は視差情報となる。その後、同様のフローで演算結果は動きセンサーLSIの外に出力され、三次元位置情報へと換算されることにより、三次元距離検知をも可能とする。

動き検知機能の評価実験

試作した動きセンサ LSI の動き検知機能の評価実験を行った。この評価実験においては、28 ラインをアナログ出力モードで動作させ、複数物体に対する相関回路マトリクス保持する相関値を PC 上で確認した。各種バイアス電圧は、PixVb=2.2V、Ramp_Vref=2.4V、Ramp_Vsr=2.0V、CDS_Vref=0.3V、ADC_Vref=1.2V とした。動きセンサ LSI の電源電圧は 3.3V である。

この評価実験は、対象物（移動物：黄メガホン、固定物：白棒、茶棒）の位置を変化させた 6 パターンで行った。それぞれの条件を次表にまとめる。

パターン	移動物体	白棒	茶棒
	60cm	なし	なし
	100cm	なし	なし
	60cm	45cm	なし
	80cm	120cm	なし
	70cm	なし	120cm
	80cm	なし	60cm

上表に示す 6 つの実験パターンにおける評価結果を、それぞれ以下にまとめる。まず、この動き検知実験におけるパラメータ調整と動作確認のために、パターン 1、2 の評価実験を行った。パターン 1 の実験風景を図 3.1 に、パターン 2 の実験風景を図 3.2 に、パターン 1 の 28 ラインアナログ出力モードにおける表示結果を図 3.3 に、パターン 2 の 28 ラインアナログ出力モードにおける表示結果を図 3.4 にそれぞれ示す。

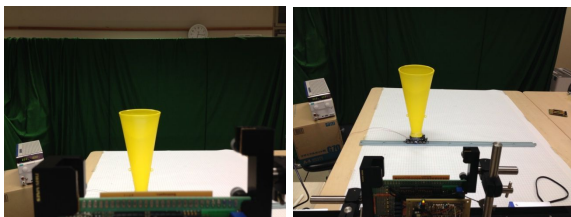


図 3.1：パターン 1 実験風景

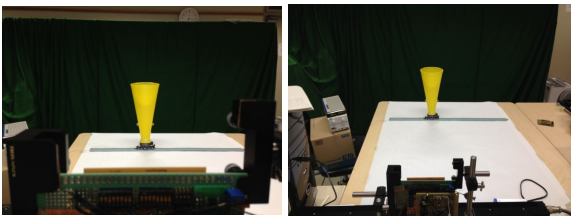


図 3.2：パターン 2 実験風景

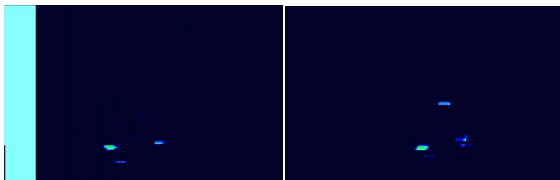


図 3.3：パターン 1 28 ラインアナログ出力(左図：右から左 右図：左から右)

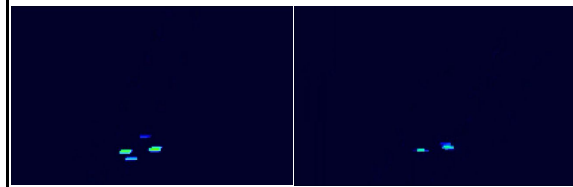


図 3.4：パターン 2 28 ラインアナログ出力(左図：右から左 右図：左から右)

次に、複数物体に対する動き検知機能の確認のために、パターン 3 ~ 6 における評価実験を行った。パターン 3 について、実験風景を図 4.1 に、28 ラインアナログ出力モードにおける表示結果を図 4.2 に示す。

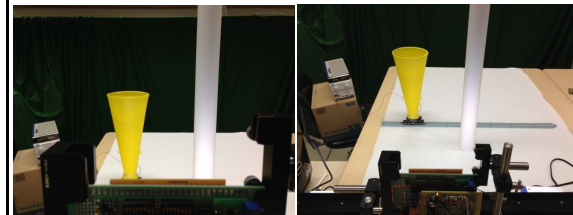


図 4.1：パターン 3 実験風景



図 4.2：パターン 3 28 ラインアナログ出力(左図：右から左 右図：左から右)

黄枠で囲まれた部分が固定された白棒の相関値、赤枠が移動物の相関値を表している部分である。図から複数の物体のエッジを捉えており、移動方向に応じて上下に相関値が移動していることが確認できた。しかし、青枠の部分で擬似相関（類似した信号同士の間）が表れているのが確認できた。擬似相関が表れている位置から、対象物のエッジの部分と同じ物体として捉えられているのではないかと考えられる。その原因としては、変調パラメータの設定においてエッジ部分が強調されすぎる調整になっていると考えられる。今後、異なる各種パラメータの値を調整しながら、適切な状態（3次元距離検知機能の場合、中心に相関ラインが現れるような状態）を見つけていく必要があると思われる。

次に、パターン 4 について、実験風景を図 5.1 に、28 ラインアナログ出力モードにおける表示結果を図 5.2 に示す。

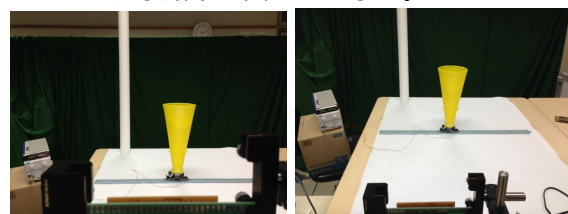


図 5.1：パターン 4 実験風景

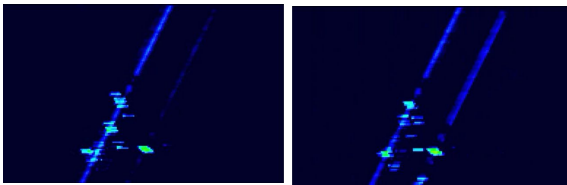


図 5.2 : パターン 28 ラインアナログ出力(左図 : 右から左 右図 : 左から右)

パターン は、パターン から対象物の前後と位置を変更した。移動物が遠くなることで検出精度は落ちたが、基本的な動作に関してはパターン と同様であった。

次に、パターン について、実験風景を図 6.1 に、28 ラインアナログ出力モードにおける表示結果を図 6.2 に、パターン について、実験風景を図 6.3 に、28 ラインアナログ出力モードにおける表示結果を図 6.4 に示す。

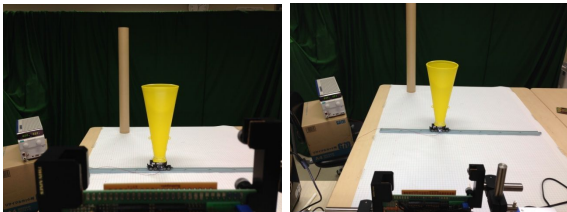


図 6.1 : パターン 実験風景

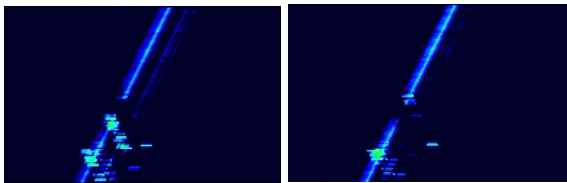


図 6.2 : パターン 28 ラインアナログ出力(左図 : 右から左 右図 : 左から右)

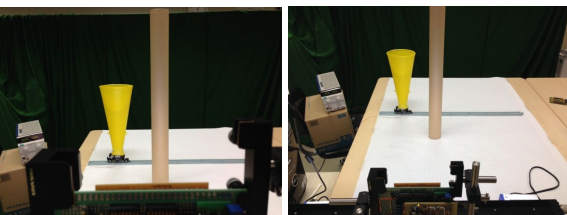


図 6.3 : パターン 実験風景

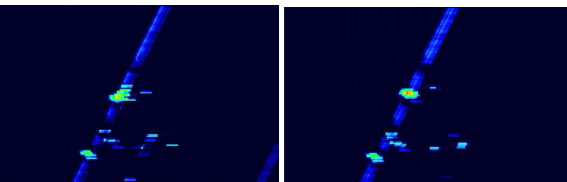


図 6.4 : パターン 28 ラインアナログ出力(左図 : 右から左 右図 : 左から右)

パターン 、 は、パターン から対象物の色と位置を変更した。基本的な動作に関しては、パターン 、 と同様であった。

動き検知機能におけるアドレス出力モードに関しては、現状のパラメータ設定ではうまく動作させることができなかった。原因としては、アドレス出力のコンパレー

タ回路に与える V_{ref} 電圧が適正な値ではないことが考えられる。現状のパラメータ設定で必要な V_{ref} 電圧は 1.0V ~ 1.1V 程度であるが、今回の V_{ref} 電圧を生成する DAC 回路では、レイアウト設計のミス等から必要な電圧値の指定ができないことが分かった。

本研究で試作した動きセンサ LSI を用いて横方向動き検知機能の基本動作を確認することができた。横方向動きに関して、61.2cm/s で等速直線運動を行う対象物に対して、対象物との距離 60.0cm、80.0cm、100.0cm おいて、横方向動き検知機能の基本動作確認を行うことができた。

しかし、試作した動きセンサー LSI においては、信号相関性能を高めるための、輝度変化の無いもの同士の相関を無効にする回路 (ICC) の機能の一部に不具合があり、強い相関力所の明確な抽出処理が出来なかった。また、相関信号の S/N を向上させるための画素輝度変換パルス信号変調回路においても、その変調程度が不十分であることも分かった。そこで、アドレス出力モードを実現するための適切な V_{ref} 電圧を発生する ADC 回路も含め、今回明らかになった不具合力所の改良を施した動きセンサー LSI を設計し直して、改めて試作を行った。(その機能評価は継続中)

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

有馬 裕 (ARIMA, Yutaka)

九州工業大学・マイクロ化総合技術センター・教授

研究者番号 : 10325582