

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00227

研究課題名(和文)スーパーピクセルと視差モデルを用いた高密度・高精度な実時間距離画像生成回路の開発

研究課題名(英文) Development of high-density, high-precision real-time distance image generation circuit using superpixel and disparity model

研究代表者

深山 正幸 (Masayuki, Miyama)

金沢大学・電子情報学系・講師

研究者番号：30324106

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はステレオ方式の高密度・高精度な距離画像生成を実時間で行うVLSIプロセッサを開発することである。本研究の学術的な特色・独創的な点は、1)高速かつ高精度なスーパーピクセル分割アルゴリズム、2)スーパーピクセルを用いた領域境界が明瞭で高速な距離画像生成アルゴリズム、3)実時間実行のための距離画像生成プロセッサ・アーキテクチャ、である。研究の結果、HD 60 fpsの距離画像生成を周波数100 MHzで実時間実行するプロセッサの実現見通しを得た。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a VLSI processor which realizes high density and high precision distance image generation from stereo images in real time. The academic features and originality of this research are 1) fast and highly accurate superpixel division algorithm, 2) high speed algorithm to generate range image with clear boundary using superpixels, 3) real-time processor architecture for the algorithm. As a result of the research, we obtained the prospect of realizing a processor that generates distance images with throughput of HD 60 fps at a frequency of 100 MHz.

研究分野：VLSI画像処理

キーワード：スーパーピクセル ステレオマッチング 距離画像 FPGA ASIC

1. 研究開始当初の背景

距離画像とはカメラから撮影対象の物体表面までの距離を画素値とする画像である。距離画像は自動車の安全運転支援、ロボットビジョン、ジェスチャ認識、視覚障害者支援などに応用される。

距離画像の生成には不可視光を用いる方法(不可視光方式)とステレオ画像を用いる方法(ステレオ方式)がある。不可視光方式には、赤外線などの不可視光を測定対象に照射し、反射光の位相のずれから距離を計測する TOF (Time of Flight) 方式と、不可視光の既知幾何学的パターンを測定対象に照射し、撮影したパターンのサイズや歪みから距離と形状を計測するレーザーパターン投映法がある。マイクロソフト社が開発した距離画像センサ Kinect は不可視光方式を採用し、同社はこれを用いてジェスチャ認識を実用化した。しかし、一般に不可視光を用いる方法は反射光(信号)に対して太陽光(雑音)が明るすぎる(大きすぎる)ために屋外で使用する事が困難である。また、照射する不可視光の干渉のため複数センサの同時使用が困難である。

一方、ステレオ方式は、平行化された2台のカメラで同時に撮影された左右画像について、撮影された3次元空間中の物体表面の1点に対応する各画像内の画素の組を見つけ出し、これらの間の視差よりカメラから対象点までの距離を測定する。この処理はコスト計算、視差計算、視差改善の3ステップから成る。高密度化および高精度化のために視差の計算においてペナルティ項であるマッチングコストに正則化項であるマッチング制約を加えたエネルギー最小化による画像全体の最適化を行う方法をグローバル法、行わない方法をローカル法と呼ぶ。ローカル法の問題はテクスチャのない(画素値の変化がない)部分や同じパターンの繰り返し部分においてマッチングが失敗し、低密度になるこ

とである。また、対応点探索のみではオブジェクト境界で誤差が大きくなる。グローバル法は、一般に演算量が大きくソフトウェアによる高解像画像の実時間処理が困難である。

2. 研究の目的

本研究の目的は不可視光方式の距離画像センサの性能に匹敵する可視光ステレオ方式の距離画像生成 VLSI プロセッサを開発することである。密度と精度を同等とした場合のスループット目標を従来比8倍超の HD 720p (1280×720) 60 fps とする。180 nm プロセスの ASIC で実装し、動作周波数を 100 MHz、チップ面積を 5 mm 角とする。スーパーピクセル分割とアフィン動きモデル推定を組み合わせた新規アルゴリズムを採用し、テクスチャの無い箇所やオブジェクト境界で高密度かつ高精度な距離推定を実現する。

3. 研究の方法

上記目的達成のため、各年度に以下のことを行った。平成 27 年度には、1) スーパーピクセル分割アルゴリズムの開発、2) 距離画像生成アルゴリズムの開発、を行った。平成 28 年度には、1) 距離画像生成アルゴリズムの改良、2) 距離画像プロセッサ・アーキテクチャの考案、3) 距離画像プロセッサの FPGA 実装、を行った。平成 29 年度には、距離画像プロセッサの ASIC 実装を行った。

4. 研究成果

平成 27 年度の 1) では、既存の高速かつ高精度な SEEDS というスーパーピクセル分割アルゴリズムを基に、ラベルマップと領域属性によるパイプライン処理に適した領域および画素集合の表現法を考案した。スーパーピクセルの平均画素値を用いた類似度評価により、分割精度を維持したまま、演算量とメモリ使用量を大幅に削減した。

平成 27 年度の 2) では、スーパーピクセルの中心でブロックマッチングを行って初期視差推定を行い、隣接するスーパーピクセ

ルの色の類似度を重みとした視差のフィルタリングを行う、高効率で高精度な距離画像生成アルゴリズムを考案した。

平成 28 年度の 1) では、スーパーピクセルの中心ではなく、スーパーピクセル内の全画素について画素単位のマッチング結果を集計する方法を考案した。さらに、クロスチェックの代わりに自画像のみを用いるオクルージョン検出を導入した。オクルージョン検出は対応点の等しい複数の画素について、それらの評価値（画素値の差分絶対値）を比較し、オクルージョンによる誤対応を無くす。これにより左右双方向の画素マッチングが不要となり、演算量が大幅に削減される。

平成 28 年度の 2) では、スーパーピクセル分割回路のパイプライン・アーキテクチャを考案した。図 1 に示す回路は外部メモリからラスタスキャン順に連続的に領域境界の画素を読み出し、評価関数を計算し、所属領域を決定し、登録更新する。このときパイプラインが停止しないよう、左画素のラベリン

グ結果を注目画素のエネルギー計算にフォワーディングする機構を導入している。さらに複数反復処理を 1 パスで実行するバンドパイプラインを導入した。図 2 に示すとおりバンドとは画像の帯であり、これを処理単位とする。ブロック図を図 3 に示す。4 つの回路で 4 回の繰り返し処理を 1 パスで行っている。

平成 28 年度の 3) では、実装用 FPGA ボードとして、Intel FPGA Arria 10 1150GX を搭載し、PCIe Gen3 x8 Host Interface で PC に接続する、Nallatech 385A を導入した。専用プロセッサを OpenCL 言語で記述し、OpenCL SDK を用いて FPGA に実装した。FPGA ボードとホスト PC を接続するホストプログラムを開発し、距離画像生成システムを構築した。実験の結果、450 × 375 の画像に対する本システムのスループットは 310 fps であった。これより解像度が HD 720p のスループットは 56.7 fps となり、目標がほぼ達成された。

平成 29 年度の ASIC の試作には東京大学 VDEC 提供のローム 180 nm 試作サービスを利

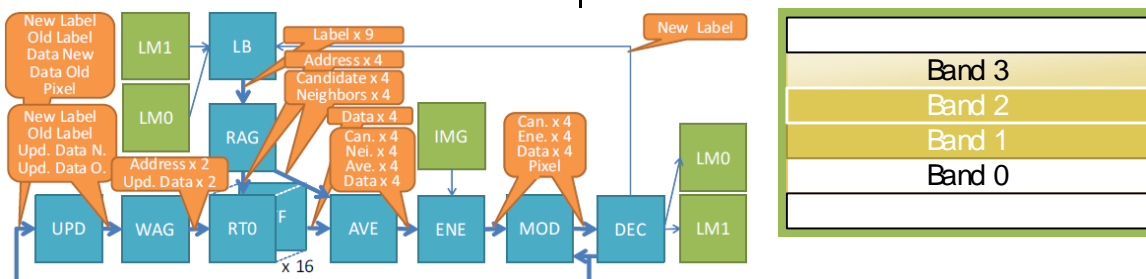


図 1 スーパーピクセル分割回路

図 2 バンドパイプライン

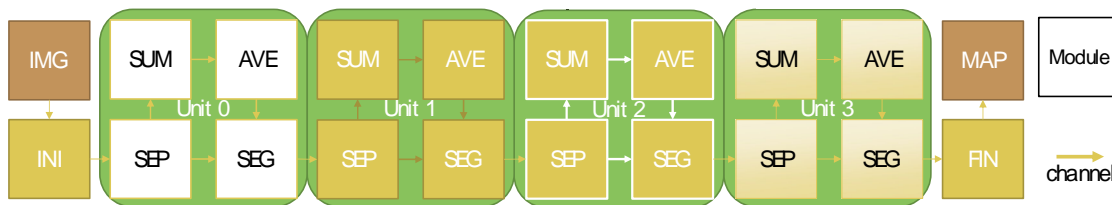


図 3 バンドパイプライン・スーパーピクセル分割回路

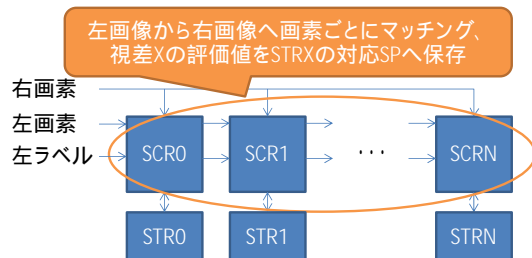


図 4 ピクセルマッチング回路

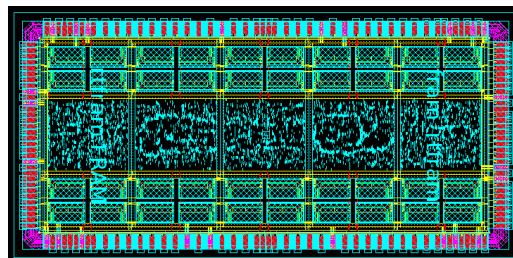


図 5 レイアウト図

用し、設計には LSI 設計用 CAD を使用した。本回路は左右 2 枚の画像を入力しスーパーピクセル単位で視差を推定する。左右画素値の差分絶対値による視差の評価値を画素単位で求め、スーパーピクセル単位で集計する。図 4 のブロック図に示すとおり、画素単位の最大視差と同数のプロセッシングエレメント(PE)を配置し、一つの左画素に対する全ての視差の評価値を同時に求め、右画素を PE 間でシリアル転送することで、左画素をラストスキャン順に連続処理する。1 個の PE に 1 個の評価値記憶用メモリを接続し、処理対象の左画素の属するスーパーピクセルに対応するメモリ要素に保存された評価値を更新する。全画素のマッチング終了後、スーパーピクセル単位で最良(最小)の評価値を持つ視差を求める。本回路のレイアウト図を図 5 に示す。本回路は 100MHz で動作し、スループットは HD(1280×720 画素)解像度で 54 fps、最大視差は 39 である。ゲート数は 2 入力 NAND 換算で約 11 万、SRAM 容量は 163,840 ビット(16 ビット×256 ワード×40 個)である。試作後、LSI テスタで正常動作を確認した。

本研究の学術的な特色・独創的な点は、1) 高速かつ高精度なスーパーピクセル分割アルゴリズム、2) スーパーピクセルを用いた領域境界が明瞭で高速な距離画像生成アルゴリズム、3) 実時間実行のための距離画像生成プロセッサ・アーキテクチャ、である。

本研究の結果、HD 60 fps の距離画像生成を動作周波数 100 MHz で実時間実行するプロセッサの実現見通しを得た。距離画像センサの高速化と低コスト化と適用範囲の拡大は、コンピュータビジョンへの応用を加速し、関連する学術および産業の発展に貢献すると考えられる。

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 1 件)

Masayuki MIYAMA, "FPGA Accelerator for Super-pixel Segmentation Featuring Clear Detail and Short Boundary," IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol.5, No.2, pp.83-91, (2017.12), <https://www.iieej.org/fpga-accelerator-for-super-pixel-segmentation-featuring-clear-detail-and-short-boundary/>, 査読有.

[学会発表](計 2 件)

Masayuki Miyama, "Fast Stereo Matching with Super-pixels Using One-way Check and Score Filter," the 7th IEEE International Conference on Control Systems, Computing and Engineering, Penang Malaysia, (2017.11), 10.1109 / ICCSCE . 2017 . 8284419, 査読有.

Masayuki Miyama, "FAST SUPER-PIXEL SEGMENTATION WITH CLEAR DETAIL AND SHORT BOUNDARY", Proceeding of the 5th IIEEJ International Workshop on Image Electronics and Visual Computing, Da Nang, Vietnam, (2017.02), 査読有.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

深山 正幸（MIYAMA, Masayuki ）

金沢大学・理工研究域 電子情報学系・講師

研究者番号：30324106

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()