

GPUを用いたアクティブ・パッシブ統合距離画像計測の高速化

○鈴木裕史 寺林賢司 梅田和昇 (中央大)

Speeding up of active-passive stereo measurement method using GPU

*Yuji SUZUKI (Chuo Univ.), Kenji TERABAYASHI (Chuo Univ.),
Kazunori UMEDA (Chuo Univ.)

Abstract— In this paper, the active-passive stereo measurement we already proposed is speeded up using GPU. Active stereo measurement is achieved using a multi-spot projector and a CCD camera. In passive stereo measurement, the disparities obtained by the active stereo is used to restrict the search range of stereo matching, which reduces mis-matching and processing time. Experiments show that range image measurement with 16[ms], which is 40 times faster, is achieved using GPU.

Key Words: range image sensor, active stereo, passive stereo, sensor fusion, GPU

1. 序論

距離画像センサは 3D モデリングをはじめ、ロボットの障害物回避 [1], セキュリティなど様々な目的に使用されており, システムへの応用技術としての利用価値が高い. これまでに開発されてきた距離画像センサは多岐にわたる.

距離画像センサには大別してアクティブ, パッシブの二通りがある. レーザなどを対象に照射する計測手法をアクティブ計測, 照射しない計測をパッシブ計測と呼ぶ [2]. アクティブ計測を行うセンサには, スポット光やスリット光を照射し, 光路のズレを利用する投光法を用いるものや, 対象に照射した光が反射して戻ってくる時間を測定する時間伝播法を用いるものなどがある. パッシブ計測を行うセンサには, 単眼カメラで影やテクスチャから計測するものや, カメラを複数台用いて物体の結像位置の違いから距離を計測するステレオ法を用いるステレオカメラなどがある.

マルチスポット光を用いたアクティブステレオ計測は, パッシブステレオ計測に比べて対応点探索が容易で, 高速に処理でき, 他のアクティブ型のセンサに比べて小型に構築できるという利点がある. しかし, 計測密度はスポット光の数に依存するという欠点を持つ. 一方, ステレオ画像を用いたパッシブステレオ計測は, 計測密度が高いという利点がある. しかし, 一般的に計算コストが高く, テクスチャの乏しい物体を計測する場合には対応点探索が困難であるという欠点を持つ.

これまでに我々は, マルチスポット光を用いたアクティブステレオ計測 [1] とステレオ画像を用いたパッシブステレオ計測とを組み合わせることで高速かつ高密度な距離画像計測手法を提案してきた [3]. 本手法では 512×384 の画像に対して距離画像計測を行うのに約 0.7[s] の処理時間を要する. これは移動ロボットの障害物回避などの応用を考えたとき, 十分な処理速度とは言えない. そこで本研究では, NVIDIA が提供する CUDA を用いることで GPU に高速で処理をさせ [4], アクティブ・パッシブ統合距離画像計測の高速化を目指す.

2. センサの構成

構築したセンサは, Fig.1 に示すように, 平行に取り付けられた二台の CCD カメラと, その中間に配置されたマルチスポット光を投影できるレーザプロジェクタからなる. スポット光を計測対象に照射して CCD カメラでステレオ画像を取得し, アクティブな手法とパッシブな手法との両方で距離を計測する.

レーザプロジェクタは Moritex SNF-519X を使用している. 波長 670[nm], 出力 10[mW] で, 先端に取り付けてある回折格子によって 19×19 の計 361 点のスポット光を投影できる. CCD カメラは Point Grey Research Flea に焦点距離 8[mm] のレンズ TAMRON 219HB を取り付け使用している. 二台のカメラ間の基線長は 80[mm], カメラ・レーザプロジェクタ間の基線長は 40[mm] である. このセンサの特徴の一つとして移動ロボットなどに容易に搭載できるサイズで構築できることが挙げられる.



Fig.1 Constructed range image sensor

3. アクティブ・パッシブ統合計測

計測対象にマルチスポット光を照射し, アクティブステレオ計測を行う [1]. ここで求める距離から, スポット光の結像位置のステレオ画像間での視差 d が式 (1) より計算される.

$$d = \frac{b \cdot f}{p \cdot z} \quad (1)$$

b : 基線長 [mm]
 f : CCD カメラのレンズの焦点距離 [mm]
 p : CCD 一画素の幅 [mm/pixel]
 z : 対象までの距離 [mm]

本研究では、スポット光結像位置の近傍で、視差の値がほぼ等しいとみなす。このようにして、アクティブステレオ計測により求められた視差を基にパッシブステレオ計測の視差の値を絞り込み、 $\pm \Delta$ の狭い領域でステレオマッチングを行う。探索領域の決定法を Fig.2 に示す。Fig.2 では探索領域を実際よりも大きく示すことで見やすくしている。ステレオマッチングの探索領域を狭くすることで計算時間を短縮すると共に、マッチングの誤対応を軽減することができる。

パッシブステレオ計測では SSD (Sum of Squared Difference) をマッチングに用いる。計測時間の大半を占める SSD の計算を GPU で処理することで計測の高速化を図る。

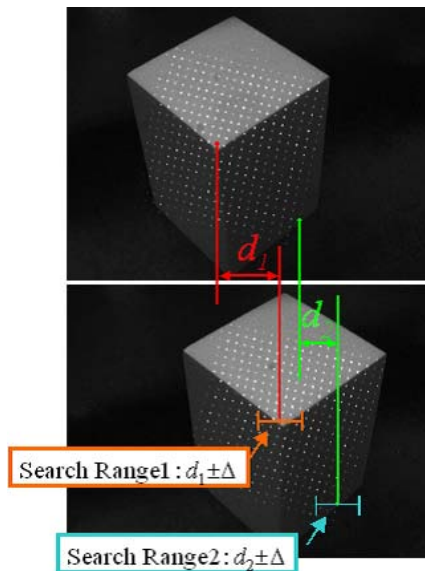


Fig.2 Method of assigning search range

4. 計測実験

提案手法を用いて計測実験を行った。テクスチャ付きの平板を 900[mm] から 1800[mm] まで 100[mm] 間隔で遠ざけていき、各距離での平均値、標準偏差、処理時間をそれぞれ計測した。実験風景を Fig.3 に示す。画像サイズは 1024×768、テンプレートサイズは 31×31 とし、アクティブ計測によって得られた視差 ± 15 の範囲でステレオマッチングを行った。画像の処理領域はスポット光が照射されている領域に限定した。CPU での処理は画像サイズ 512×384、テンプレートサイズ 16×16、マッチング範囲を ± 15 の範囲で行った。GPU と CPU とでテンプレートサイズが違うのは、CPU では処理が遅すぎるためである。計測手法の比較のため、GPU での処理のみアクティブステレオ計測、パッシブステレオ計測でも同様の実験を行った。PC は DELL studio540、CPU Intel Core2 Quad 2.66GHz、メモリ 4GB を用いた。また、GPU には NVIDIA の GeForce GTX285

を用いた。

実験により得られた計測距離と標準偏差の関係を Fig.4 に示す。また、一例として距離 1000[mm] の距離画像を Fig.5 ~ Fig.7、計測値を Table1 にそれぞれ示す。計測値は画像中央の 300×300 画素を用いて計算している。

GPU を用いることで CPU で処理したときに比べて格段に処理速度が向上していることがわかる。画像サイズが 4 倍もあるのにも関わらず、アクティブ・パッシブ統合計測の計測時間は約 40 分の 1 の 16[ms] で従来研究と比較して非常に短くなっている。これは移動ロボットに搭載して用いるなどの用途にも十分な速度だと言える。

計測精度を CPU を用いて処理を行ったもの [3] と比較すると、平均値の誤差が大きくなっている。これはキャリブレーションが不十分であるなどの理由が考えられる。しかしながら、標準偏差は変わらないので、性能をほとんど落とすことなく高速な距離計測が行えていると言える。テンプレートサイズに関しては、処理速度に影響はなく精度が向上していることがわかる。また、計測距離と標準偏差の関係をみると、アクティブステレオ計測とアクティブ・パッシブ統合計測はほぼ同等であると言える。

参考として、立体物に対して距離計測を行った実験結果を Fig.8 に示す。キャリブレーションが不十分なためノイズが乗っているものの、妥当な距離画像計測を実現できている。

5. 結論

GPU を用いてアクティブ・パッシブ統合計測を行うことで、距離画像計測の高速化を行った。CPU での処理と比較して約 40 分の 1 の 16[ms] と、非常に高速に距離計測が行えることを示した。今後の展望として、アクティブステレオ計測から得られる視差の補間方法の改善、移動ロボットへの応用が考えられる。

Table 1 Comparison of GPU and CPU

	CPU[3]	GPU	
Temp. [pixel]	15×15	15×15	31×31
Ave. [mm]	1004.7	963.1	967.9
SD [mm]	8.3	23.3	8.3
Min [mm]	983.1	873	924.2
Max[mm]	1028.4	1041.2	1008.6
Time [ms]	700	16	16

- [1] Kazunori Umeda: "A Compact Range Image Sensor Suitable for Robots", Proc.2004 Conf. on Robotics and Automation, pp.3167-3172, 2004.4
- [2] 井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測, 昭晃堂, 1990.11.
- [3] 松木優介, 梅田和昇: "マルチスポット光とステレオカメラを用いたアクティブ・パッシブ統合距離センサの高性能化", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集, 2P1-G12, 2008.6.
- [4] 額田彰, 尾形泰彦, 遠藤敏夫, 松岡聡: "CUDA 環境における高性能 3 次元 FFT", 情報処理学会論文誌コンピュータリングシステム, Vol.1, No.2(ACS 23), pp.231-239, 2008.8.



Fig.3 Experimental scene (plane)

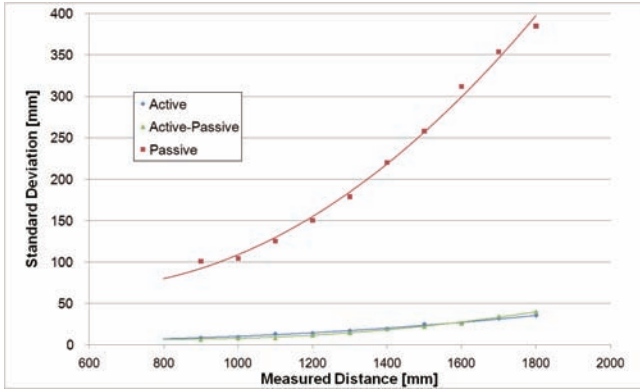


Fig.4 Relation of standard deviation and measured distance

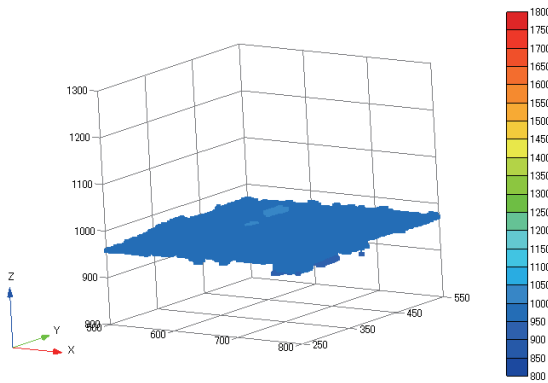


Fig.5 Measurement results of active-passive method

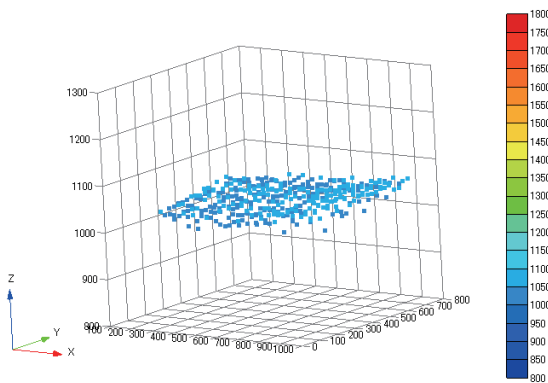


Fig.6 Measurement results of active method

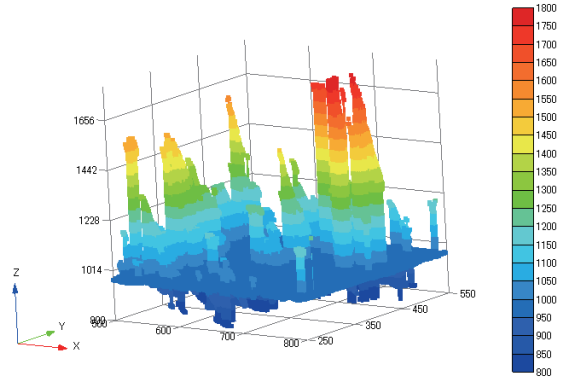
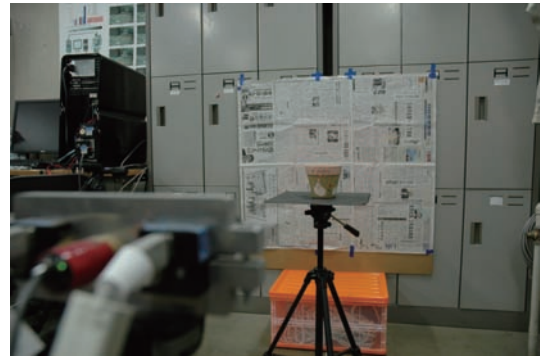
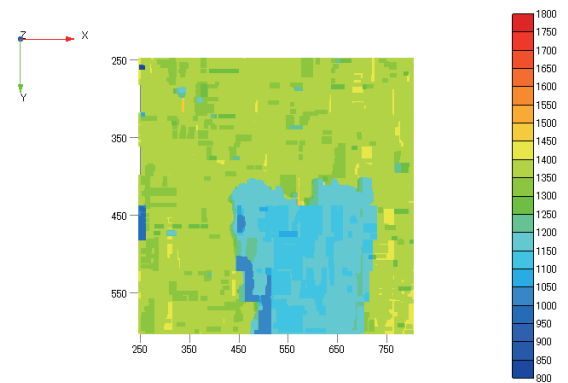


Fig.7 Measurement results of passive method



(a) Experimental scene



(b) Range image of (a)

Fig.8 Measurement result of a pot and a plane