

# CUDA 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

中央大 ○鈴木裕史, 斉藤邦広, 寺林賢司, 梅田和昇

## Speeding up of active-passive stereo measurement method using CUDA

Chuo University Yuji SUZUKI, Kunihiro SAITO, Kenji TERABAYASHI, Kazunori UMEDA

In this paper, the active-passive stereo measurement we already proposed is speeded up using CUDA. 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 is achieved with 42[ms] using CUDA.

### 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分野で利用されており、システムへの応用技術としての利用価値が高い。

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。アクティブ計測は、パッシブ計測に比べて対応点探索が容易で、高速に処理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、パッシブ計測は、計測密度が高く計測領域が広いという利点がある反面、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[2]。しかし、本手法では一枚の距離画像を取得するのに約200[ms]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、一連の処理の中でも特に計算コストの高い処理を複数のスレッドで並列処理を行い、高速に処理することができるNVIDIAが提供するCUDAを用いることで、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トタからなる。

レーザプロジェクトタは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を取り付けて使用している。二台のカメラ間の基線長は80[mm]、カメラ・プロジェクトタ間の基線長は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あることが挙げられる。

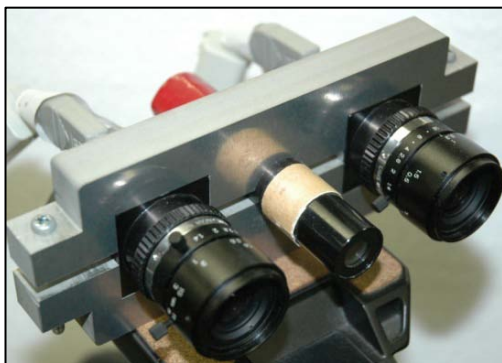
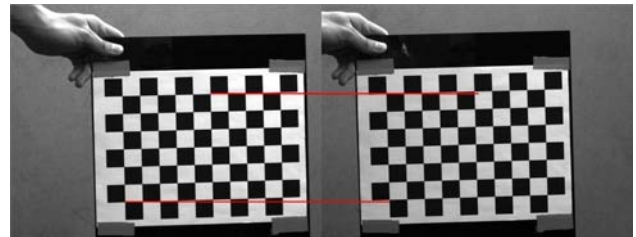


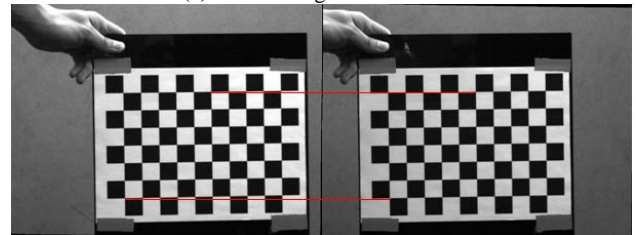
Fig.1 Constructed sensor

### 3. ステレオカメラの歪み補正・平行化処理

高速にパッシブステレオ計測を行うためには、カメラを平行に配置し、ステレオマッチングによる探索領域を一ラインに限定する必要がある。Fig.1に示すような平行ステレオにおいても、左右の画像が高さ方向に大きくなってしまい、ステレオマッチングの処理コストが大きくなってしまふ。そこで、二台のカメラで同時にチェッカーボードのような既知パターンを数枚撮影し、内部パラメータ、外部パラメータを推定することで画像の歪み補正および平行化をすることができる。平行化処理は各ピクセルに平行化後のパラメータをあたえて、画像の変換を行っている。Fig.2(a)ではチェッカーボードの交点の高さがずれているがFig.2(b)では高さが揃っていることがわかる。CPU処理では歪み補正に約70[ms]、平行化処理に約80[ms]かかる処理であるが、各ピクセルを平行して処理することができるGPGPUを用いることで、歪み補正に約0.2[ms]、平行化処理に約0.7[ms]と約150倍の速度で処理することができる。



(a) Before image rectification



(b) After image rectification

Fig.2 Image rectification

### 4. アクティブ・パッシブ統合距離画像計測

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。ここで求ま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)より算出される。

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

$b$ : 基線長[mm]     $f$ : 焦点距離[mm]

$p$ : CCDカメラ1画素の幅[mm/ pixel]

$z$ : 対象までの距離[mm]

本研究では、CUDAのテクスチャメモリの特性を用いることで、スポット光とスポット光の間の視差を滑らかに補間する。この処理はハードウェアの特性を利用しているため、高

速に処理を行うことができる。このようにして、アクティブステレオ計測によって求められた視差を基にパッシブステレオ計測の探索範囲を絞り込み、 $\pm\Delta$ の狭い領域でステレオマッチングを行う。そうすることで、ステレオマッチングの計算時間を短縮すると共に誤対応を軽減することができる。Fig.3にアクティブ・パッシブ計測の概要図を示す。

パッシブステレオ計測には、SSD(Sum of Squared Difference)をステレオマッチングに用いる。パッシブステレオ計測の処理時間の大半を占めるSSDの計算をGPGPUで処理することで計算の高速化を行っている。

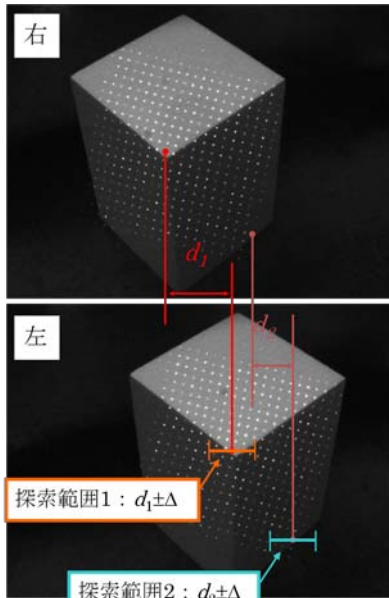


Fig.3 Method of assigning search range

5. 処理時間計測実験

アクティブ・パッシブ統合距離画像計測を用いて処理時間の計測実験を行った。センサを垂直な壁に向けて計測を行い、各処理の100フレーム分の処理時間を計測した。画像サイズは1024x768、ステレオマッチングのテンプレートサイズは15x15とし、アクティブステレオ計測により得られた視差 $\pm 5$ の範囲でステレオマッチングを行った。ここで、画像の処理領域はスポット光が照射されている領域内に限定している。計測に用いたPCはDELL steio540, CPU Intel Core2 Quad 2.66GHz, メモリ4GBを用いた。また、GPUにはNVIDIA GeForce GTX 285を用いた。

実験により得られた各処理の処理時間をTable 1に示す。処理時間は100フレームの平均値を記載している。また、一般的な対象物の計測例をFig.4に示す。

処理時間の計測結果から歪み補正と平行化処理をGPGPUで処理することで全体の処理時間が1/4以下となった。しかし、移動ロボットへの応用を考えたとき30[fps]の処理速度が必要であると考えている。そのため、処理時間の中で時間の掛かっている部分を検証し、さらなる高速化が必要となる。

Fig.4 (b)を見ると、物体と物体との境界が計測されてしまっていることがわかる。本来この部分はオクルージョンが発生しているため計測できない領域なのだが、テクスチャメモリにより補間された視差の影響で計測されてしまっている。この点は、今後改善しなくてはならない。

6. 結論

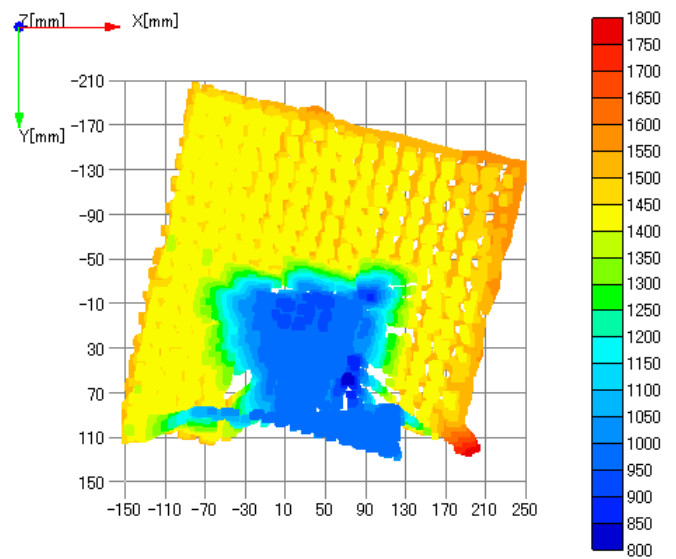
CUDAを用いることでアクティブ・パッシブ計測の高速化を行った。GPGPUで平行化処理を行うことで処理時間を大幅に短縮することができ、約23[fps]で距離画像の取得が可能であることを示した。今後は、計測精度の向上を目指す。

Table 1 Processing time of each process

	Processing of CPU [ms]	Processing of GPU [ms]
Distortion correcting	70.9	0.2
Rectification	80.6	0.7
All process	193.4	41.9



(a) Experimental scene



(b) Range image of (a)

Fig.4 Measurement result of a pot and a plane

参考文献

[1] Kazunori UMEMA: "A Compact Range Image Sensor Suitable for Robots", Proc.2004 Conf. on Robotics and Automation, pp.3167-3172, 2004.4.  
 [2] 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・パッシブ統合距離画像センサの高性能化", 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.