

広視野ステレオによる近接作業場の3次元計測

喜多伸之

産業技術総合研究所 知能システム研究部門

近接した大きな作業場を確保するには広視野のステレオ計測が有利と考えられる。最近開発した高性能広視野レンズを用いて広視野ステレオ計測の実応用性について検討した。

1. はじめに

半球視野にも及ぶ情報を一枚の画像上に簡便に獲得できる手法として、魚眼レンズなどの高歪み光学系を利用した広視野画像入力の利点が再認識されつつある。しかし、これまでの高歪みレンズは視野の周辺に行くほど光量が減衰するとともに、解像力の低下による像の不鮮明さがあり、周辺領域はおおまかな情報抽出としてしか用いられないことが殆どであった。しかし近年、周辺減光が殆どなく、周辺でも高い解像力を保つ広視野レンズ[1]を利用できるようになり、視野の周辺においても細かい特徴に基づく画像処理が可能となり、応用範囲が格段に拡がると予測される。

一方、ヒューマノイドなどのハンドアイ系をオフィスや家庭に導入して様々な作業を行わせるには、ビジョンセンサに近接した広い作業場を確保することが重要となる。そこで、本論では、広視野画像をステレオ計測に利用することを試みる。

以下、2章では採用したステレオ計測手法について述べ、3章で高性能広視野レンズを用いたステレオ計測の実応用性について実験により検討し、4章でまとめを述べる。

2. ステレオ計測手法

本論の主目的は視野の周辺におけるステレオ計測の可能性の検証であるので、特徴点ベースの手法を実装した。おおまかな処理の流れは、右画像での特徴点抽出、左画像上での探索領域の設定、探索領域内での対応付け、3次元位置の計算、である。以下、各々の処理について述べる。

2.1 右画像での特徴点抽出

Si&Tomasi のオペレータ[2]によりコーナー点を抽出し、さらに誤対応を抑制するために近傍において類似した特徴が存在しないことを条件に抽出する。

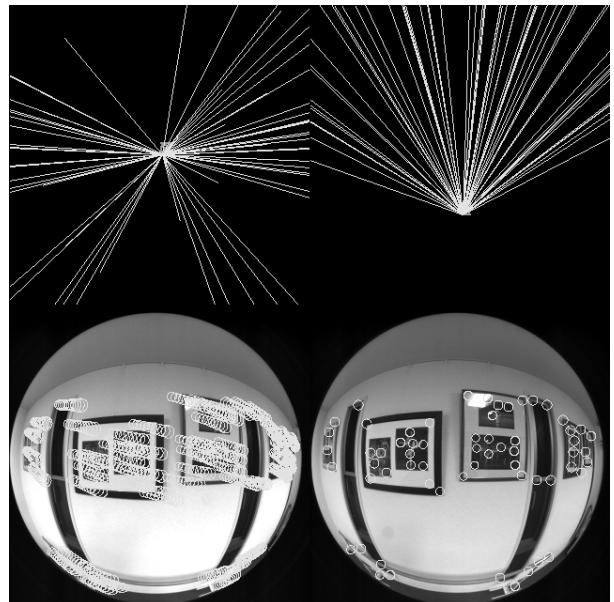


図1 特徴点抽出と探索領域

図1右下に抽出した特徴点を白丸で示した。

2.2 左画像での探索領域の設定

右画像で抽出した特徴点の左画像における対応点をエピポーラ線の近傍で探索する。ここでは歪曲収差を精度良く表すために入射光角と像高の関係を多项式近似せず、点列で記述する方法[3]を採用したので、エピポーラ線も点列となる。実際の応用では奥行き計測範囲を限定できる場合が多いので、その範囲でのみ探索する。図1左下は、視線（図1左上が正面から、右上が真上から視線を見た図）上の奥行き計測範囲にサンプル点を配置し、それらを左画像に投影し、さらに個々に一定の探索領域を与え、それを白丸で表示したものであり、この白丸の列の和領域が各特徴点の探索領域となる。ちなみに図1ではベースライン長 0.12m で奥行き計測範囲を 0.5m から 5m と設定している。

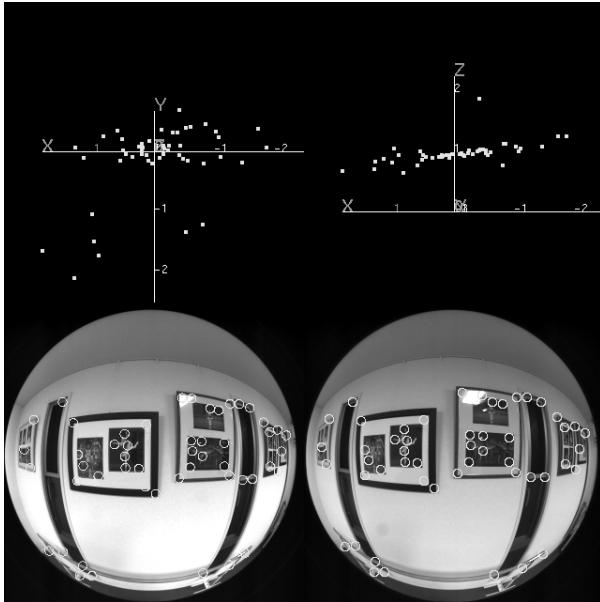


図 2 対応付けと 3 次元位置計算結果

2.3 対応付けと 3 次元位置の計算

探索領域において 11×11 画素のテンプレートにより正規化相関値を計算し、もっとも高かった値が閾値より高ければその位置を対応点とし、閾値より低ければ対応なしとする。対応点が決まれば左画像上でそれに最も近いサンプル点として特徴点の 3 次元位置を決定する。図 2 右下と左下は対応付けられた特徴点を示し、対応付けられた特徴点の 3 次元位置を、ステレオカメラのベースラインの中点を原点、カメラの光軸方向を Z 軸としたときに、真上 (Y 軸方向) から見た図を右上に、正面 (Z 軸マイナス方向) から見た図を左上に示した。

3. 実験

3.1 高性能広視野カメラでのステレオ計測

ニコンと共同開発したレンズ[1]はイメージサークルが大きいので、大判 CCD Kodak KAI-4021 を採用した IEEE1394 カメラ Dage-MTI 社 Excel M によりイメージサークル全体を撮像できるようにした。カメラの機能により ROI を設定し、 4×4 の binning をかけたのち計算機に転送することで、完全半球視野をカバーする 320×320 画素の左右画像を 50msec 程度で転送できる。

上記のステレオカメラのベースラインを 0.12m に設定し、光軸をほぼ平行にして、壁から約 1m の位置でステレオ画像を撮影しステレオ計測を実施した。図 1 右下が右画像において特徴点を抽出した結果である。視野の周辺も含めて全体で良好に抽出できている。図 1 左下は奥行き計測範囲を 0.5m から 5m としたときの、各特徴点のための探索領域を示してい

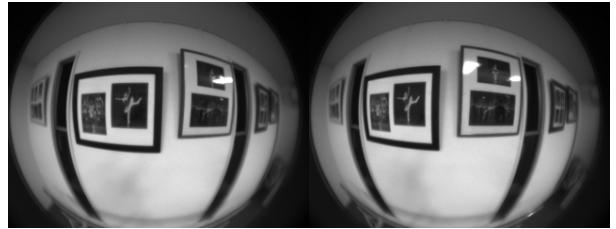


図 3 市販レンズによる入力画像



図 4 高性能広視野レンズによる入力画像

る。図 2 の下段において左右で対応がとれた特徴点を示しているが、対応がとれなかったのは僅かであり、視野の周辺でも良好に対応が得られていることがわかる。本例は下部の数点を除いて殆どの特徴点が同一平面にのっている例であるが、図 2 の上段の 3 次元再構成の図によると、キャリブレーションを十分に行っていないにもかかわらず、計測された 3 次元位置はほぼ平面を構成している。

3.2 市販レンズによるステレオ計測との比較

比較のために視野角 160 度（実際には約 180 度）の市販の魚眼レンズと 1/3inch CCD の IEEE1394 カメラとの組み合わせによるステレオカメラを構成し、3.1 で述べたのとほぼ同じく、ベースラインを 0.12m に設定し、光軸をほぼ平行にして、壁から約 1m の位置でステレオ画像を撮影した（図 3）。図 4 は高性能広視野レンズと Excel M の組み合わせによる入力画像である。どちらも同じ照明条件のもとで、肉眼で観測しつつ最良の画像が得られるようにフォーカス、シャッタースピード、ゲインなどを調整したのち撮影した。

図 4 の画像に対するステレオ計測結果は図 1 と図 2 に示したので、図 3 の画像に対する同様のステレオ計測結果を図 5 と図 6 に示す。

図 1 と図 5 の右下の図の比較から、抽出できた特徴点数がかなり違うことがわかる。視野全体において差が生じた原因は、画像の明瞭度の違いの影響と思われるが、特に視野の周辺で差が大きいのは、市販レンズでは周辺減光が大きいのに対して、高性能広視野レンズでは周辺減光を抑制できている結果が大きく影響していると考えられる。

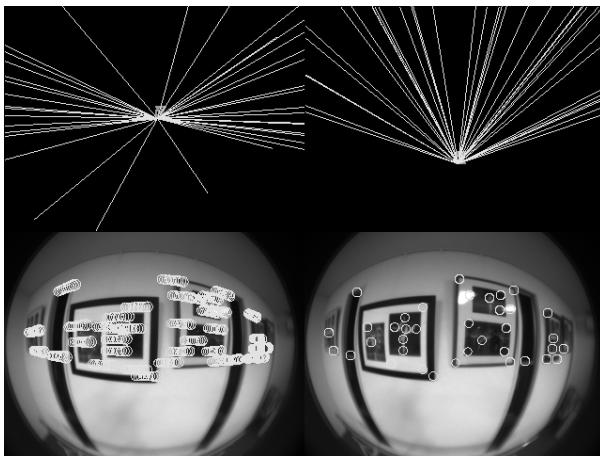


図 5 特徴点抽出と探索領域

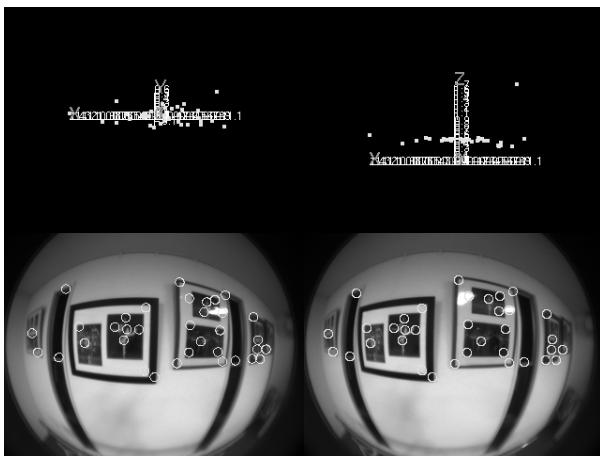


図 6 対応付けと 3 次元位置計算結果

図 6 から、抽出できた特徴点に対しては対応付け、3 次元再構成とともに同等の結果が得られていることがわかる。

3.3 近接作業場のステレオ計測

新聞を把持して読む作業を例に検討する。図 7 のように両手で新聞を広げて記事を読む姿勢において、両眼とほぼ同じ位置にステレオカメラを設置して画像を撮影した(図 8)。ステレオカメラから計測対象である新聞までの距離はほぼ 0.3 から 0.4m 程度であり、真上から見たときにステレオベースラインの中心と右把持点と左把持点がなす角度は 150 度程度である。したがって両手把持した新聞全体の形状を計測するには視野 150 度以上の範囲でステレオ計測が実現される必要がある。

図 8 の左右画像を入力として、2 章で説明した手法において、特徴点を抽出した結果を図 9 右に(注：右下に斜めに伸びた楕円はプログラムのバグによるものと思われる)、奥行き計測範囲を 0.2m から 5m に設定して探索領域を求めた結果を図 9 左に示す。

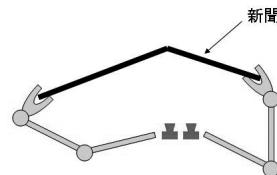


図 7 近接作業場のステレオ計測



図 8 近接作業場の入力画像

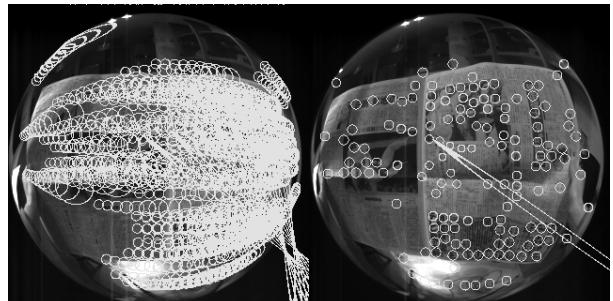


図 9 特徴点抽出と探索領域

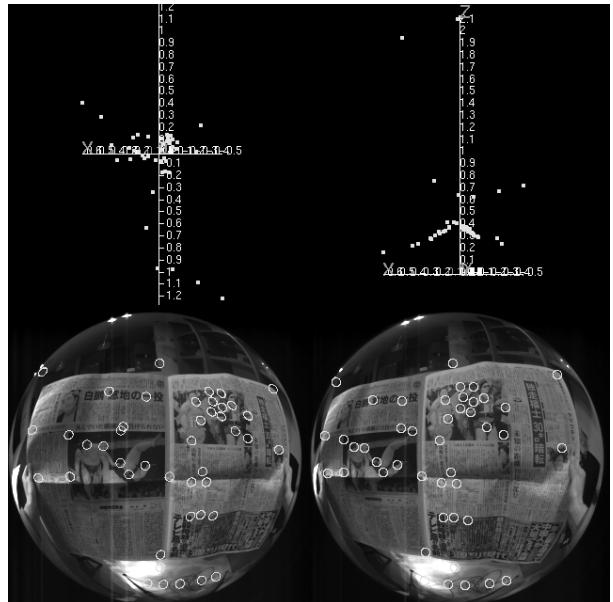


図 10 対応付けと 3 次元位置計算結果

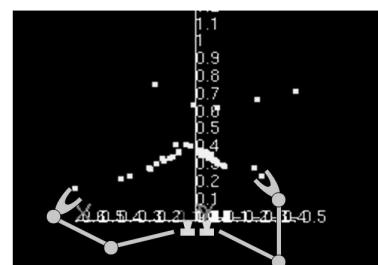


図 11 近接場の 3 次元位置計測結果

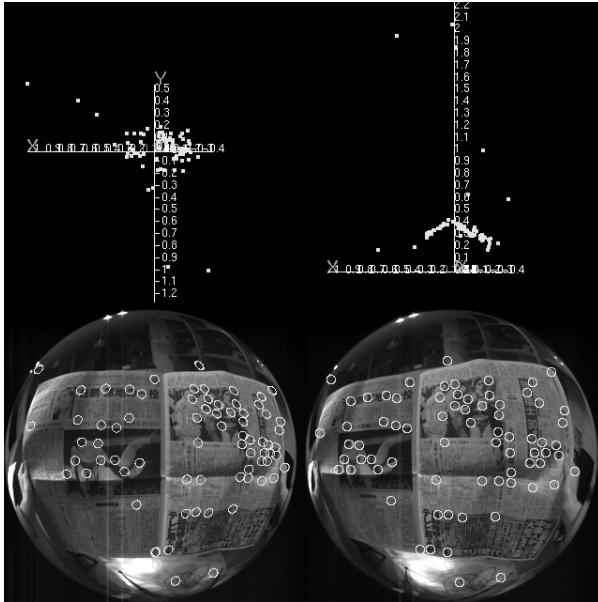


図 12 変形予測による対応付け結果



図 13 特徴点の変形予測

さらに、図 10 に対応付けと 3 次元位置計測の結果を示した。視野の周辺まで特徴点の抽出および対応付けが行えており、新聞全体の形状が再現できている。3 次元計測結果に図 7 を重畠してみると、図 11 のように新聞が中央で折れ曲がっている様子が把握でき、また、視野の下方で計測された特徴点からは、少し前方の足元の 3 次元情報が得られていることがわかる。ただし、図 9 で示した特徴点に対して、対応付けがとれた特徴点は約 3 分の 1 に減少している。主な原因是、右画像で抽出した特徴点の画像が、左画像では見る方向が変わることで変形することと、かつ、画像上で観測される位置が変わるために歪曲収差による変形度合いが変わるためと考えられる。

そこで、右画像で抽出した特徴点はすべて、ほぼ右カメラの視点から 0.3m の距離にあり、法線方向が視線方向と一致する平面であると仮定して、左カメラから見たときの画像をホモグラフィにより予測し [4] 、その予測形状をテンプレートとして対応付けを行ってみた結果を図 12 に示す。約半数の特徴点が対応付けられた。図 13 は変形を予測したことで対応付けが可能となった右上方の特徴点について、左から、右画像における近傍の画像、特徴点のもとの画像、特徴点の変形後の予測画像、左画像における近傍の画像を示す。この特徴点はほぼ先に述べた仮定を満足していたので左画像にて実際に観測される形

状をうまく予測できた例である。ただし、その近傍では同様に予測のための仮定を満たしていると思われるものの、予測後も対応付けが行えていない特徴点が存在するので、対応付けがうまくいかない原因は変形以外にも存在しそうである。

4. まとめ

高性能広視野レンズの利用により、特徴点ベースのステレオ計測手法が視野の全体において良好に機能し、その結果近接の大きな作業場が確保できることを実験により確認した。

今後は計算効率を向上させ、実時間での近接作業場におけるステレオ計測を実現させ、ヒューマノイドによる衣類ハンドリングなどに応用したい。

参考文献

- [1] 若宮、千賀、伊三木、山村、潮、喜多：高性能中心窓レンズの開発、ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2005), 2005.
- [2] J. Shi and C. Tomasi: Good features to track, Computer Vision and Pattern Recognition, 1994.
- [3] 喜多、千賀、若宮、山村、潮:超広角光学系の投影曲線の精密測定、ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2005) (2005).
- [4] N. Molton, A. J. Davison and I. Reid: Locally Planar Patch Features for Real-Time Structure from Motion, BMVC 2004.