

2018年5月11日

ステレオカメラの優位性

ITDLab株式会社

実吉 敬二

Part 1.

LiDARやミリ波レーダー、
単眼カメラと比較した
ステレオカメラの優位性

1. あらゆる距離の物体を検出できる

画面に写っていれば、どのような物体でも、距離精度は別にして、そこまでの距離がわかる。

例えば今使われている車載用のステレオカメラで東京から富士山を撮像したら、1.2kmより遠くにあるということがわかる。これは衝突回避にとって重要な情報である。

ミリ波やLiDARでは富士山を検出できず、単眼カメラでは本物の富士山か近くにある富士山の絵かの区別が付かない。



単眼カメラ



全く同じに写るので、距離はわからない



視差 0 画素 \rightarrow 1.2km 以遠

本物の富士山

ステレオカメラ



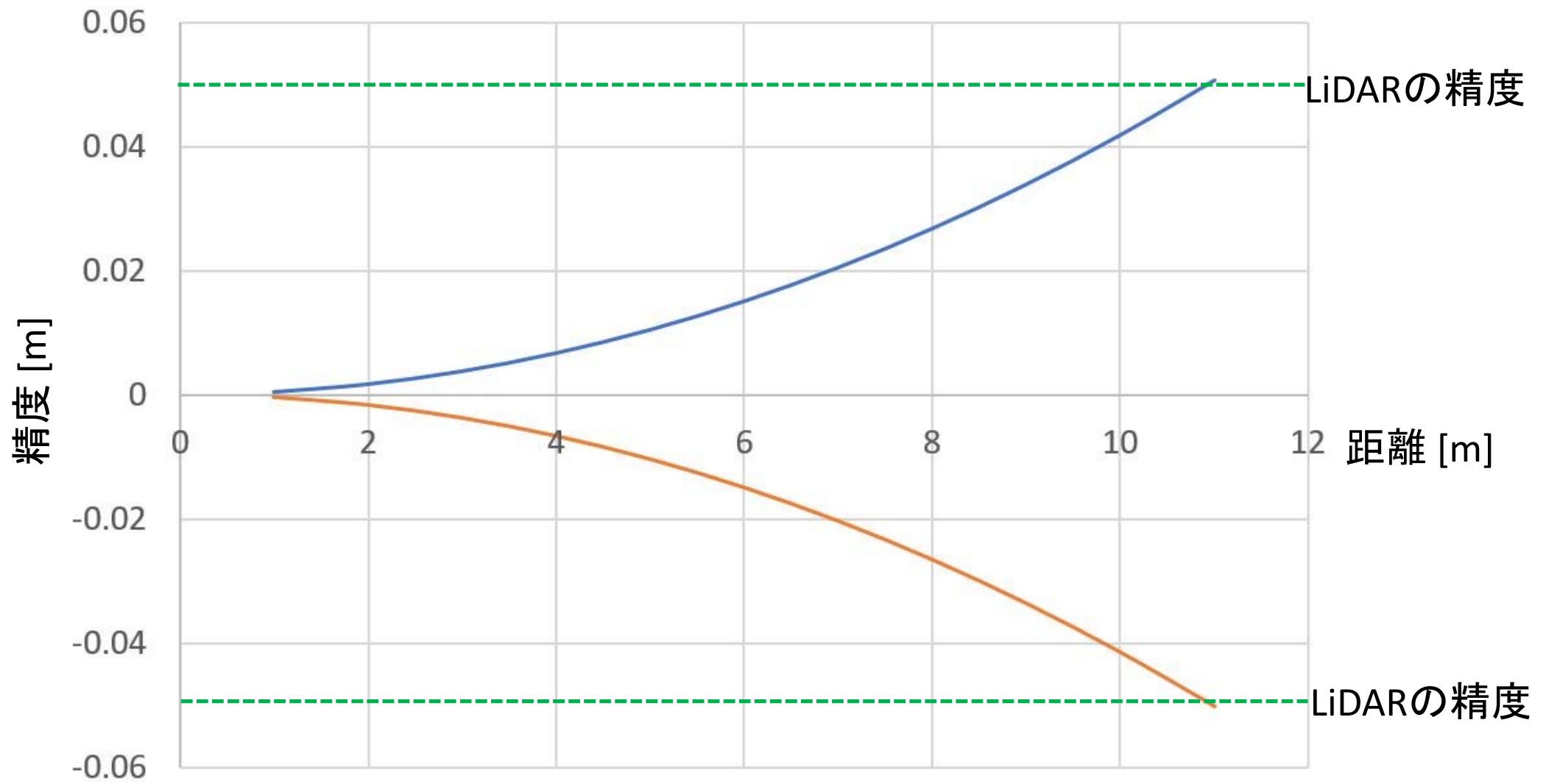
視差 60 画素 \rightarrow 5 m

5m 先の富士山の写真

2. 近いほうで距離精度が高い

LiDARやミリ波レーダーは距離に関わらず測距精度が高く、ステレオカメラの精度は低いと言われる。しかし、ひと昔前の30万画素のステレオカメラでも、10m先での距離精度は $\pm 4\text{cm}$ で、車載用LiDARの $\pm 5\text{cm}$ （IBEO LUX社）に匹敵し、5mでは $\pm 1.5\text{cm}$ になる。

衝突回避ブレーキは物体に近づくほど高い精度が必要で、衝突時間に余裕のある遠方ではそれ程高い精度は必要がない。つまり、LiDARやミリ波レーダーは遠方でオーバースペック、近方で粗い制御しかできないということになる。



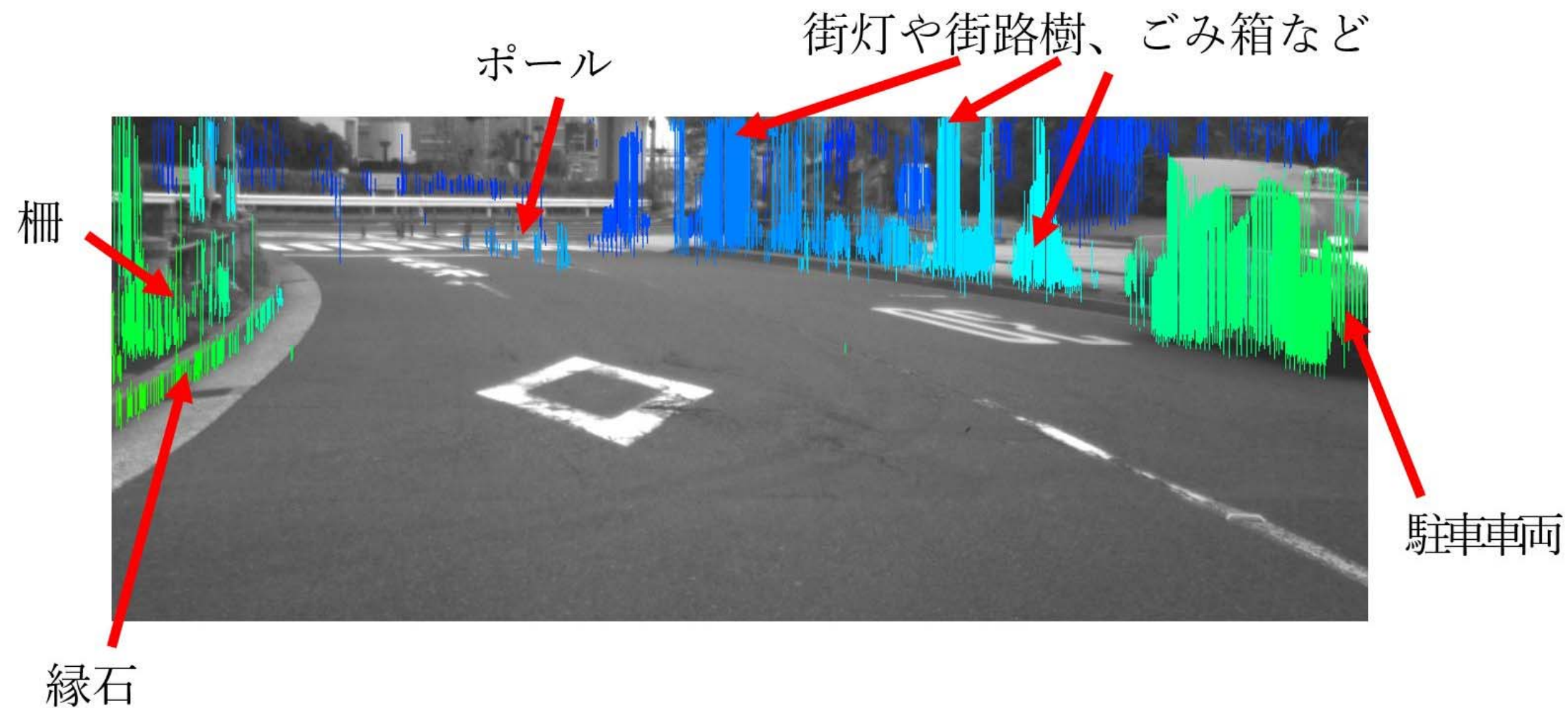
VGAサイズのステレオカメラの測距精度

3. モデルや仮定無しに絶対距離が得られる

これは単眼カメラに対する優位性である。

単眼カメラでも距離の推定はできる。物体のモデルを持っていて、そのモデルに合致する物体を画像から見付ける。そして下端は道路面に接触していると仮定して、推定した水平線の画像中での位置からどのくらい下にあるかを求めて、距離に換算する。

ステレオカメラでは二つの画像から機械的に距離を求めるので、モデルや仮定は入らない。



ステレオカメラはあらゆる立体物を検出できる。

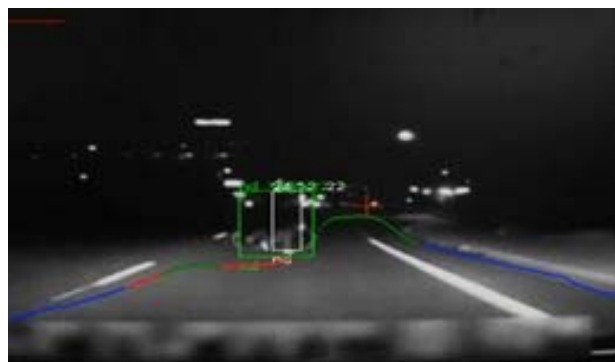
ステレオカメラであればUBERの事故は未然に防げた。



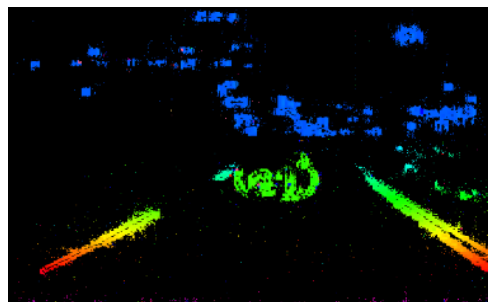
事故発生2.23秒前



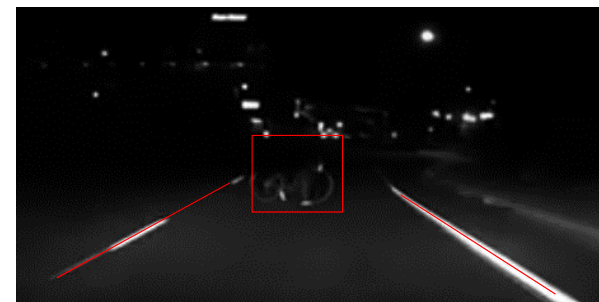
距離28.6m



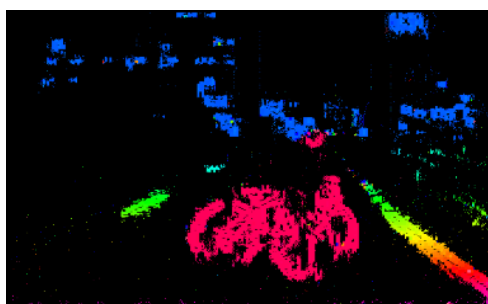
単眼カメラではこの時点で発見



事故発生1.29秒前



距離16.3m



事故発生0.63秒前



距離7.4m

警察発表の画像から作った疑似視差画像

疑似視差画像から認識した結果

4. 物体依存性が小さい

LiDARや**ミリ波レーダー**の場合、反射波を捉えるので反射率の低い物体を検出することが難しくなる。一方、カメラは明暗が変化するところを捉える。例えば反射率の高い物体の前に反射率の低い物体があると明暗が変化するのでその境界が検出され、手前に物体のあることが分かる。

ステレオカメラの場合、境界の三次元位置が分かるので、物体の距離ばかりでなく、大きさや形状もわかる。一方、単眼カメラではモデルがないと、検出した境界が後ろの物体の表面の模様にも見え、物体として抽出することが出来ない。したがって距離もわからない。

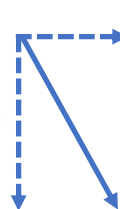


黒い服装の人はLiDARやミリ波レーダーでは、検出しにくい。

5. 横方向の空間分解能が高い

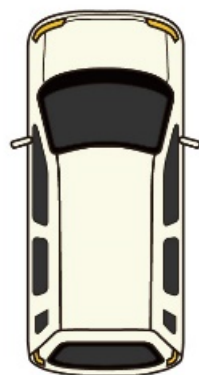
横から飛び出してくる物体の衝突予測には横方向の相対速度が重要である。そのためには物体の境界の動きを検出することが重要である。LiDARやミリ波レーダーは平面までの距離を検出するので、その平面が横に動いても、その動きを検出することはできない。カメラは基本的にパターンを検出するセンサーであるので、物体の境界やその相対速度を容易に検出することができる。

単眼カメラに対してステレオカメラは物体の距離がわかるので、ステレオカメラのみで前後方向を含めたすべての方向の動きを検出できる。



横方向相対速度の検出が重要

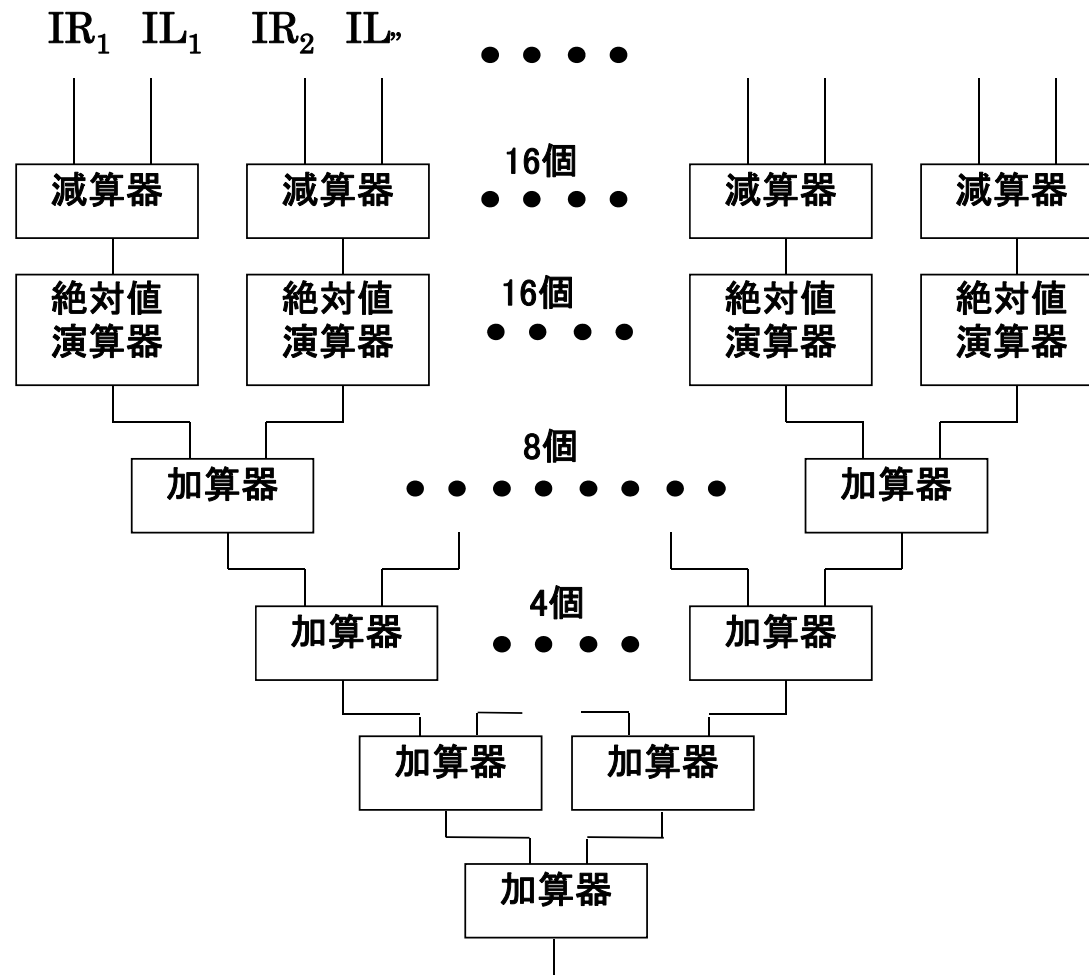
相対速度ベクトル



衝突の危険性は相対速度ベクトルが
こちらに向かっているかで判断する。

6. 処理時間が短い

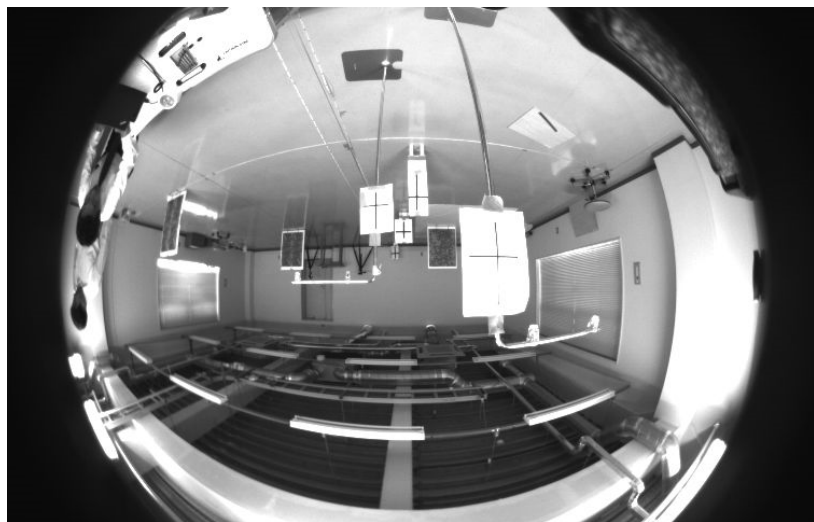
横からの急な飛び出しや急旋回したときの物体追跡に対応するためには短時間で連続的に周囲の状況を把握しなければならない。カメラは100万画素以上の豊富な情報を60fps以上の高速で提供する。ステレオカメラでは、距離を算出する部分の処理を高速化することにより160fpsで距離分布画像を出力することもできている。単眼カメラでは全画面でのモデルとのマッチングが必要で、しかもモデルの種類は増えていく。したがって処理時間は増大する傾向にあり、それを抑えるために処理チップも大きくなっている。



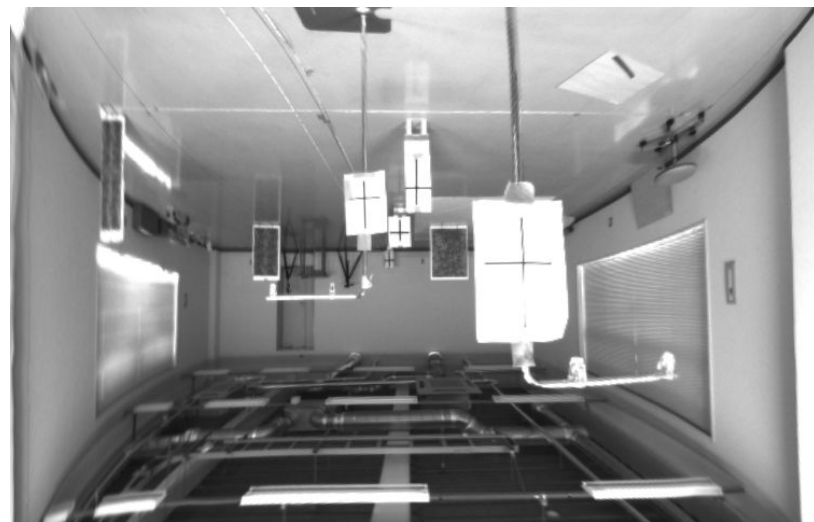
FPGA化したSAD計算回路

7. 視野角が大きい

ミリ波レーダーは大きくスキャンすることが難しく、90度を超える大きな視野角は得にくい。LiDARはミラーを使ったり、本体を回したりことによって180度を超える大きな視野角を得ることができる。ただし機械的に行うので、数十フレーム／秒のような高速スキャンは難しい。単眼カメラは魚眼レンズや全方位ミラーを用いることで容易に視野角を大きくすることができる。ステレオカメラの場合も150度程度までは可能になった。

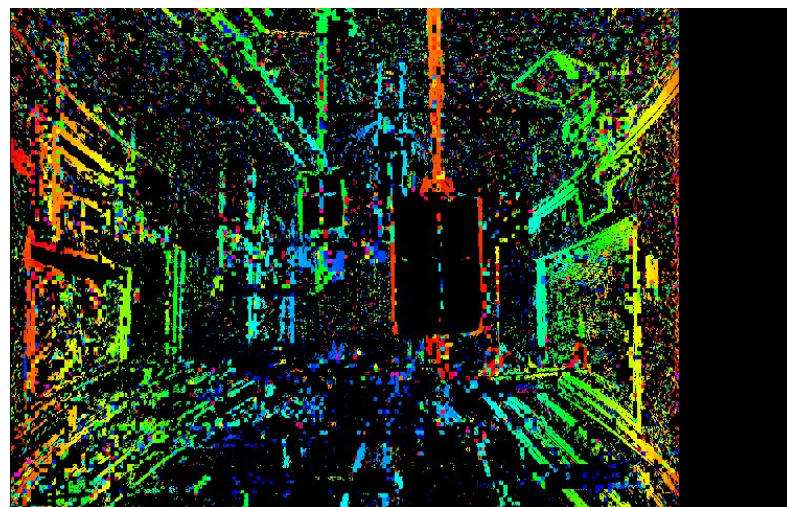


補正前画像



補正後画像

150度の超広角視差画像



8. 白線や黄線が検出できる

白線や黄線のような車線を示す線は、自動車の進路予測や自動運転のガイドとして非常に重要である。しかし、これらはカメラでしか検出できない。

9. 夜間や悪天候への対応能力

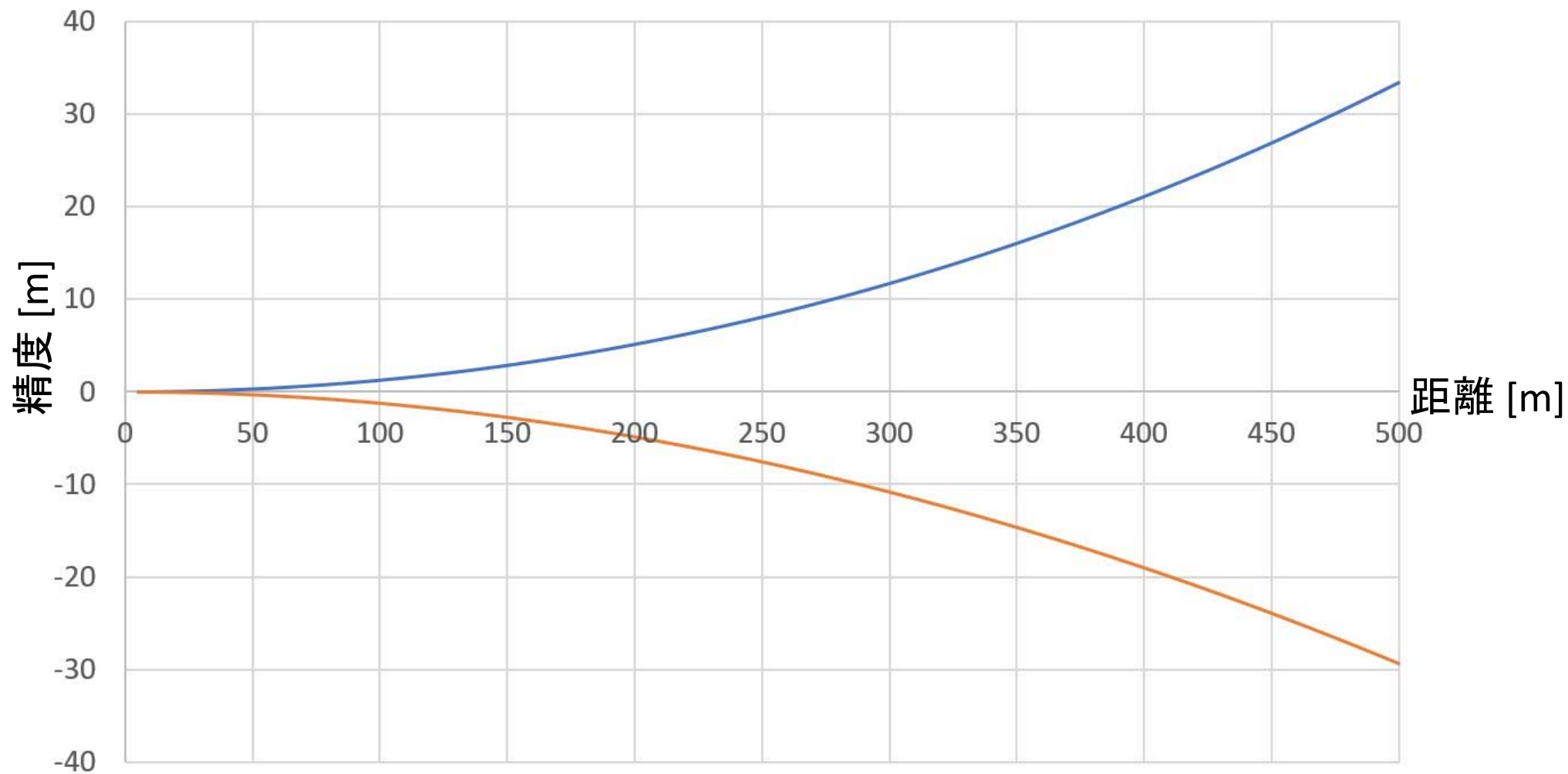
自動運転が、そもそも真暗闇や大雨、大雪、濃霧など人間の運転できない悪環境での運転を狙ったものであるなら、すべてのセンサーが役不足である。しかし現在志向している自動運転は、高速道路など人間の覚醒度が下がるような単純で運転しやすい環境である。その場合にはどのセンサーでも大同小異である。カメラの場合、夜間はヘッドライト、雨や雪ではワイパーがあるので、人間と同様に運転できる。

Part 2.

他社のステレオカメラに対する優位性

1. 4Kステレオカメラであること

4Kのリアルタイムステレオカメラはまだ世の中に存在しない。4Kになると、より遠くまで、より広い視野で、立体画像が得られる。例えば視野角を30度にする**と500m先の遠方でも±30m**で計測できる。これだけ遠方での精度がよければ、自動運転でベテランドライバー並みのスムーズで快適な走行ができる。**30m先では±10cmの精度**で、レーザーやミリ波レーダーに匹敵する。**10m先ではわずか±2.5cm**であり、これほどの精度を確保できるセンサーは他に存在しない。**視野角120度**でもBf値は300なので、**半径10mを±4cmの精度**で計測できる。



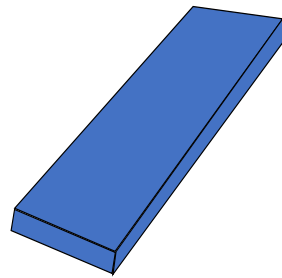
VGAサイズのステレオカメラの測距精度

2. 自己調整機能を持つこと

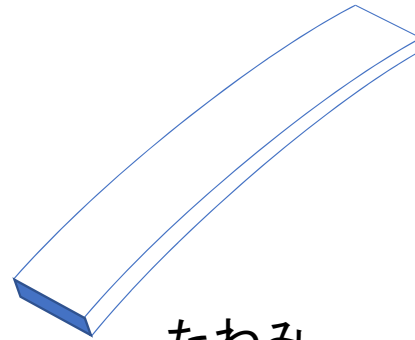
ITD独自のステレオ処理回路の副産物として、他社では真似のできない自動調整機能の技術を保有している。この技術を用いると、**カメラ自身で絶対距離の調整すら出来る**ようになり、一般的な工作精度で取り付けられれば、取り付け時や取り付け後の調整が不要になる。これは他社のステレオカメラのみならず、レーザーやミリ波レーダーでもなし得ない大幅なコスト低減につながる画期的な技術である。

必要な調整

時間の経過に伴って、カメラの相対位置がずれてくる。
その原因は、温度や加工歪み開放によるステータのねじれやたわみがほとんどである。



ねじれ

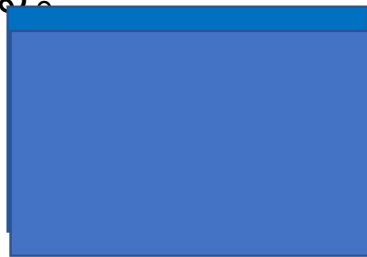


たわみ

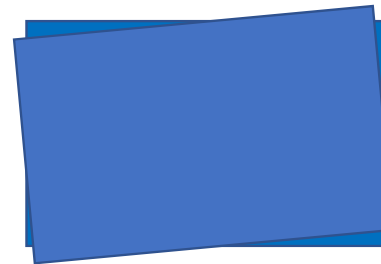
必要な調整

その結果、カメラの微小な回転を生じて、画像に歪みが発生する。

その動きは微小なのであおりは無視でき、画面の上下、左右への並進と光軸回りの回転で修正できる。



ねじれによる上
下方向の並進



曲がりによる回転
あるいは左右方向
への並進

3. 補正校正の精度が高いこと

ステレオカメラは画像のパターンがない部分の視差が得られないことが弱点となっている。そこで現在、他社のステレオカメラはパターンがないところでも視差が得られると言われるSGM (Semi Global Matching) などの高密度視差画像の手法を用いている。

この手法を用いるとききれいな視差画像が得られるが、補正校正が正しく出来ていなくてもよいため、誤った視差が拡散し、信頼性の低い距離分布が得られてしまう。

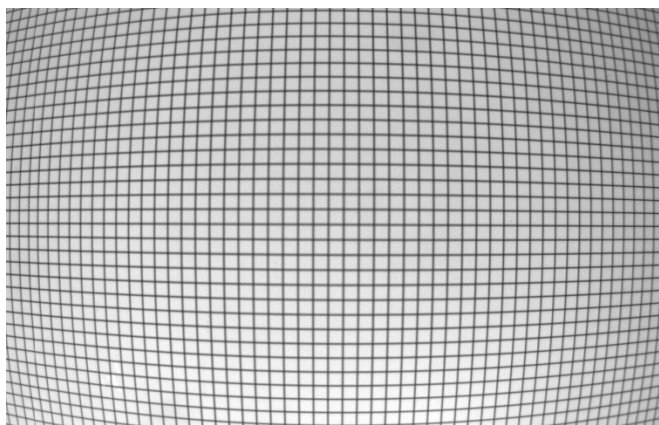
ITDのステレオカメラは、視差の得られない部分は視差データ無しで割り切り、信頼性の高い視差のみ用いる。

3. 補正校正の精度が高いこと

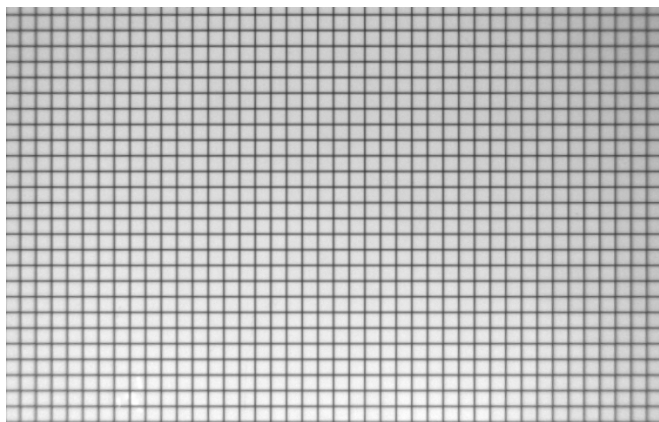
また補正校正法も工夫し、通常では0.2~0.3画素程度のずれが出るところを0.1画素に抑えている。補正校正の精度を上げると当然ながら正しい視差の密度が上がっていく。その結果、SGMなどを用いなくても、十分な密度で精度の高い視差画像という本来あるべき結果が得られている。これは他社が4Kカメラを開発したとしても優位性を確保できる重要な特長である。

補正校正の特徴

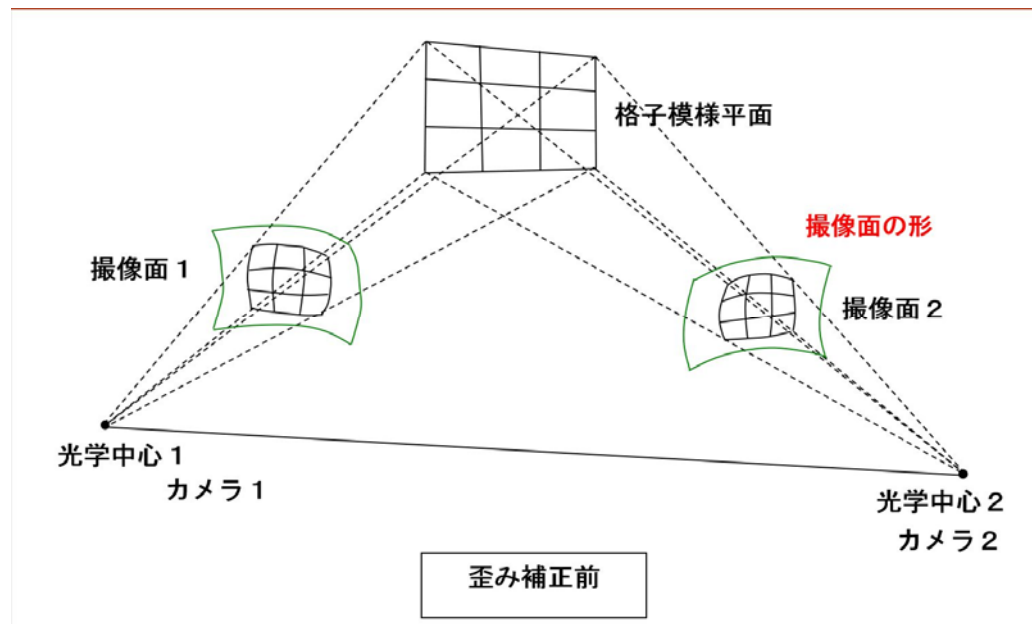
補正前



補正後



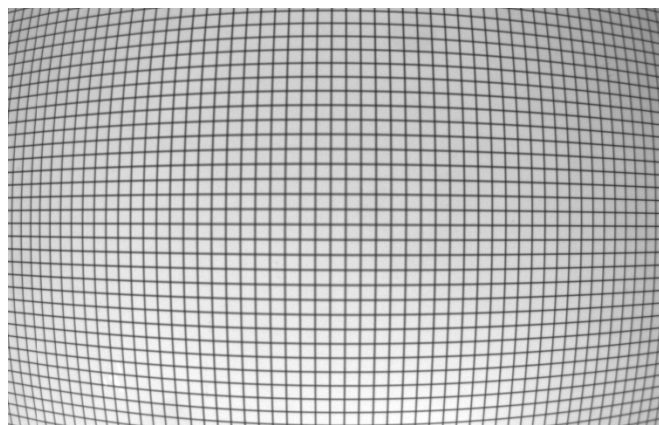
格子模様を使う



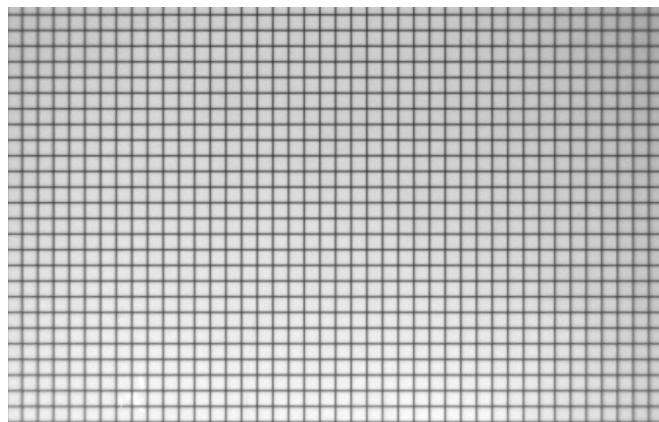
左右画像を同時に補正する

補正校正の特徴

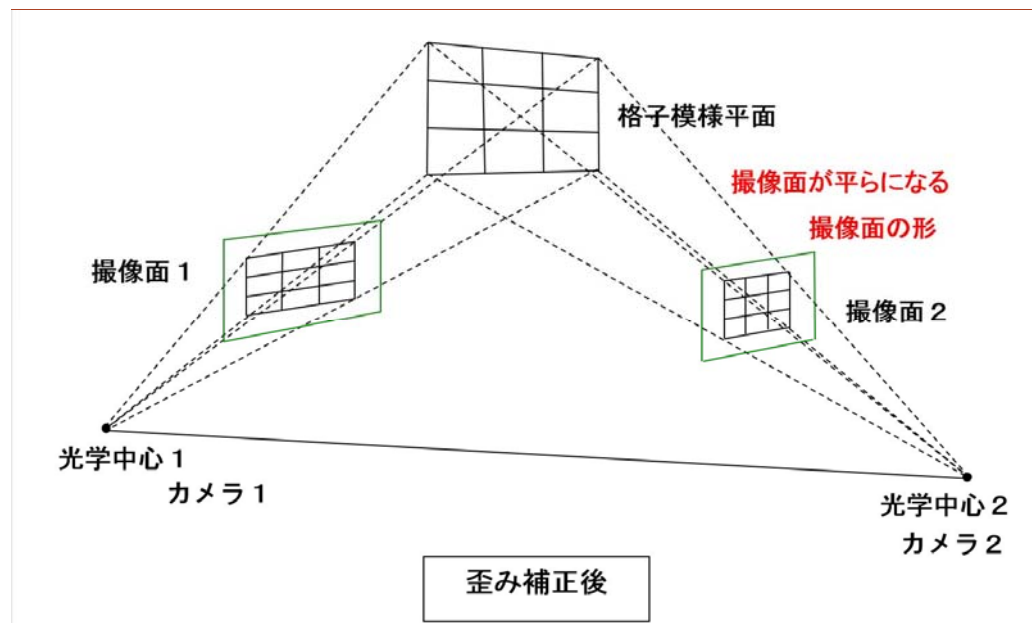
補正前



補正後



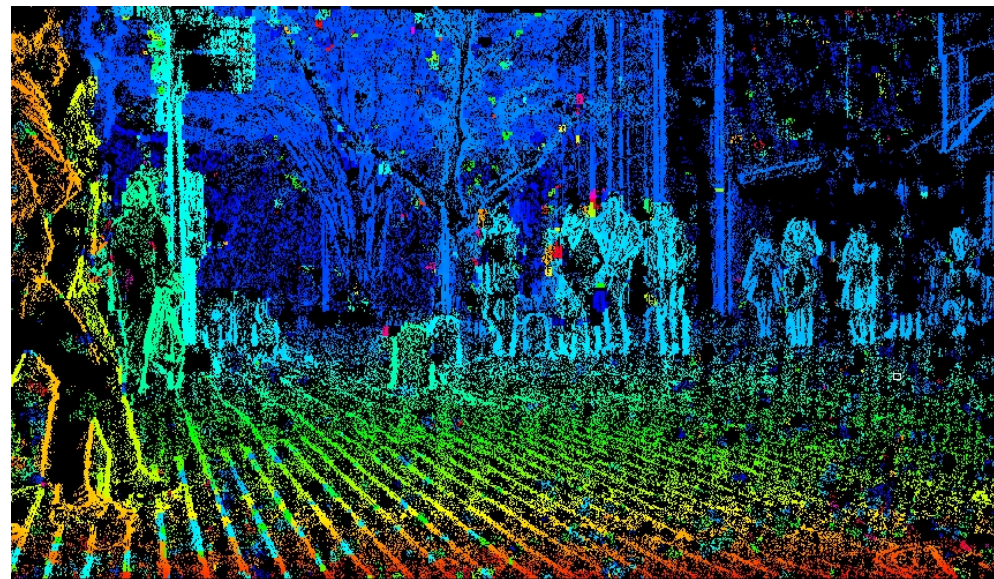
格子模様を使う



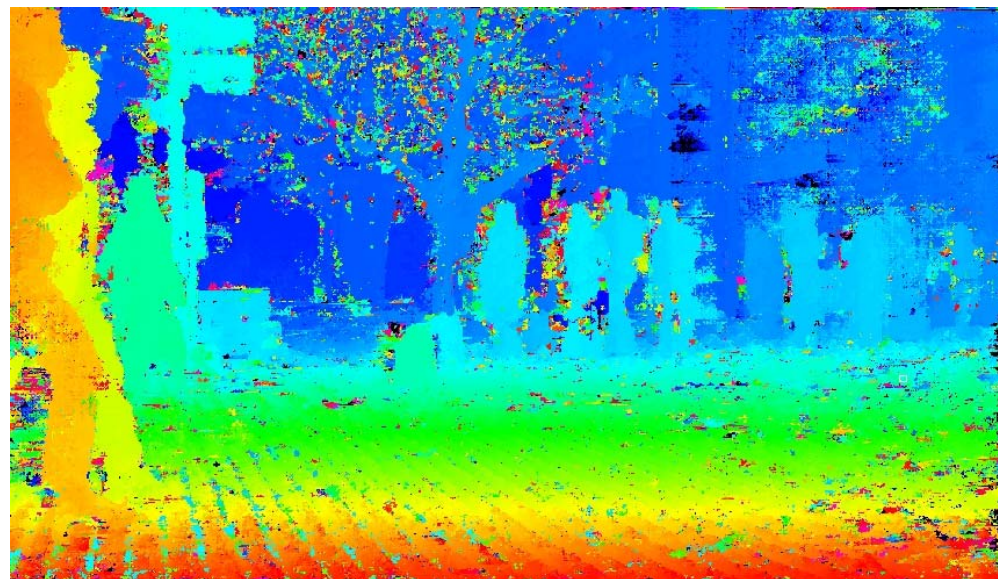
左右画像を同時に補正する

校正に必要な7パラメーターのうち、
5パラメーターが決まる。
残りは光軸回りの同値回転と上下
の並進のみとなる。

SADのみによる視差画像



SGMによる高密度視差画像



領域を侵食し合って、空がなくなったり、物体が太ったり、つながったり、無意味な視差が生じたり、背景に侵食されて物体が消えることもある。

4. 処理が速いこと

フレームバッファを設けないことはもちろん、FPGAの特性を生かして並列パイプライン処理を徹底的に進め、世界最高速のステレオカメラを実現している。

SADの高精度化に徹し、高密度視差画像にするための処理を入れていないことも大きく貢献している。補正校正回路も独自の回路を開発し、他社に比べ小型化している。

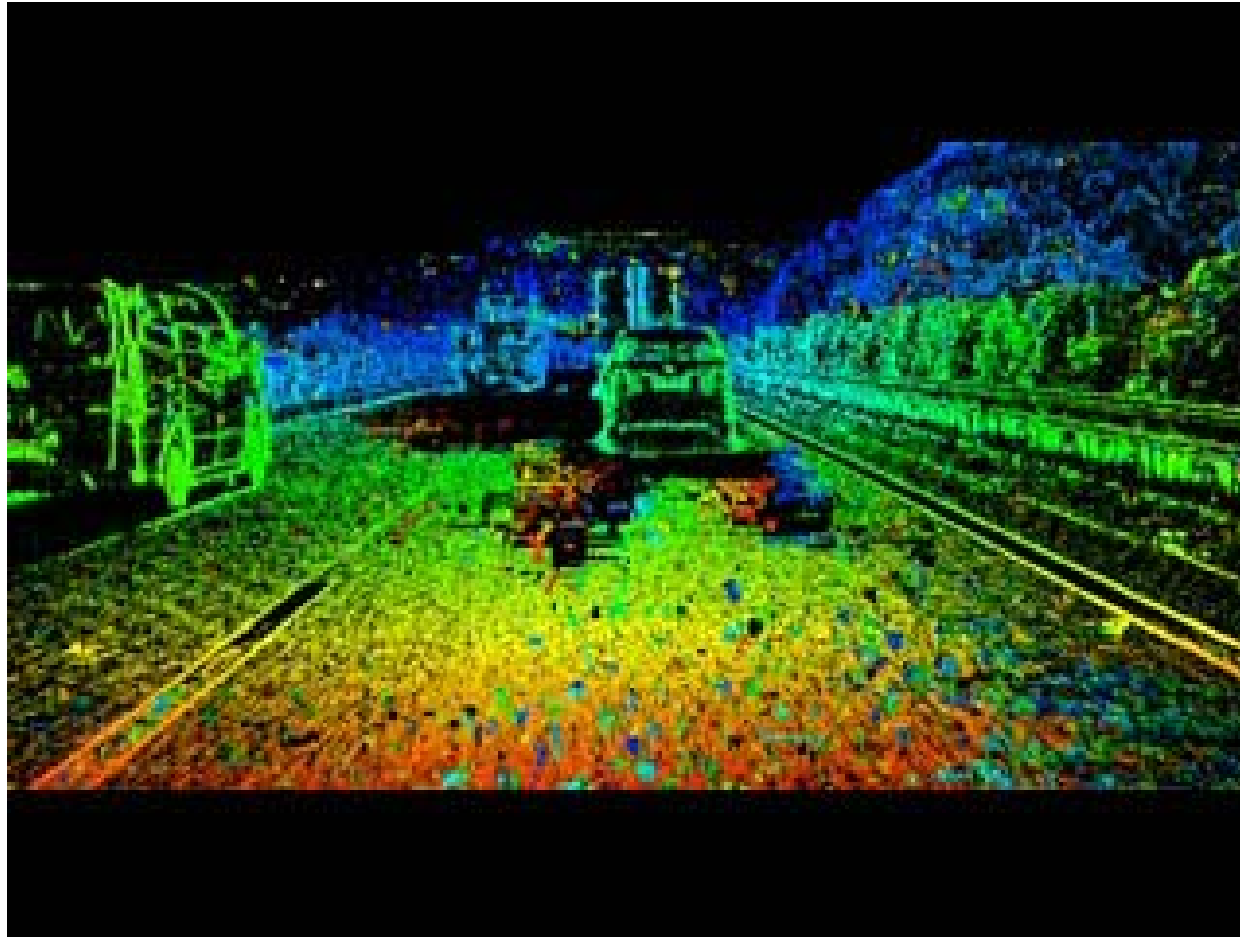
さらに立体物や白線の検出までFPGAに取り込んでいる。このように処理をすべてFPGA化しているので、コンパクトで軽く低コストであること。バージョンアップも容易であることが特長の一つとなっている。

リアルタイムでの立体物検出

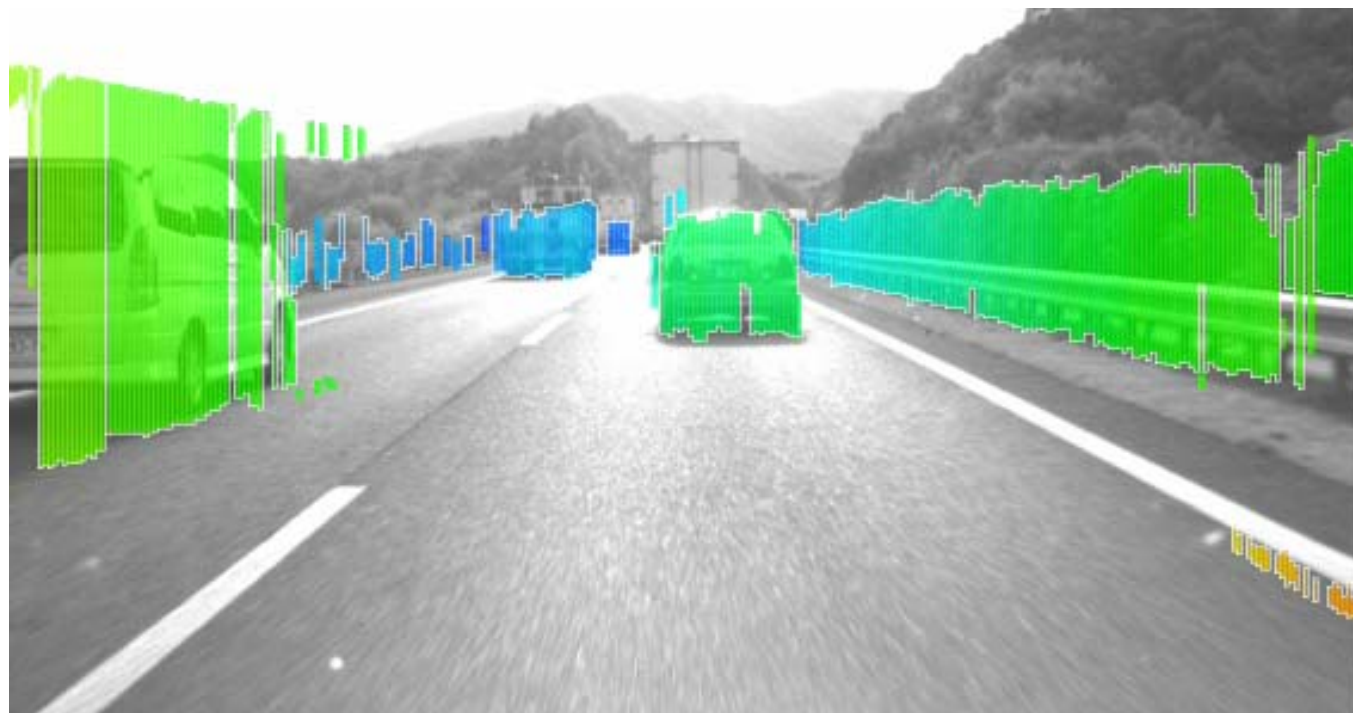


Original Image

リアルタイムでの立体物検出



リアルタイムでの立体物検出



Solids Detection

5. 立体物の形状が明瞭な視差画像が得られる。

精度を損ねる補間を行わないことに加え、元画像の輝度情報を用いることで、上下左右の空間分解能が高い、エッジの明瞭な、したがって立体物の形状が明確にわかる立体画像が得られている。これもITD独自の手法である。