Keywords you should know. 第149回

知っておきたいキーワード

LiDARとその特徴

八尾泰洋†

† NTT 人間情報研究所

"LiDAR and its Characteristics" by Yasuhiro Yao (NTT Human Informatics Laboratories, Yokosuka)

キーワード：LiDAR，ステレオカメラ，ToF，奥行計測，デプスコンプリーション，センサフュージョン

まえがき

本稿では，Light Detection and Ranging（LiDAR）と呼ばれる距離計測のセンサについて紹介をする．特に，LiDARの特徴は長距離での高い精度であるが，その大きな要因が光の飛行時間すなわちTime of Flight（ToF）によって計測をしていることによることを三角測量との比較により説明する．また，LiDARの弱点とそれを克服するためのセンサフュージョン技術の研究について概要を紹介する．

三角測量とToF

現在実現されている距離計測の原理は，大きく三角測量とToFに分けられる．三角測量は観測する場所によって物体の見える位置が変わることに基づいており，人間が右目と左目で立体視をしていることにも使われている．三角測量による距離計測の代表的なものとして，2台のカメラを用いるステレオカメラやプロジェクタとカメラを用いるパターン光投影などがある．ToFではセンサが光を照射し，その光が物体に反射して戻ってくるまでの時間を計測し，その時間と光速に基づき距離を導く．ToFによる距離計測の代表的なものとして，LiDARやToFカメラなどがある．

三角測量の制約

ステレオカメラを例にして三角測量の制約について説明をする．ステレオカメラは二つのカメラを平行に並べて画像を撮影する（図1）．これによって同一の物体を撮影した場合，二つのカメラで像ができる位置が変わり，このずれは物体が近ければ近いほど大きくなる．より具体的には，二つの画像間での像の位置のずれを視差とよび，物体までの距離zは視差dと2台のカメラ間の距離bとカメラの焦点距離fを用いて，$z=bf/d$と表すことができる．ここで，距離が視差と反比例することが三角測量方式の原理的な制約といえる．すなわち，長距離になればなるほど距離の変化に対して視差の変化が小さく距離計測が難しい（図2）．そのため，三角測量に基づくステレオカメラやデプスカメラは短距離で用いられることが多い．なお，天体望遠鏡は三角測量によって天体までの距離を計測しているが，これは地球の公転軌道の直径などを用いてbを非常に大きくしているため可能となる． ☞

映像情報メディア学会誌 Vol. 76, No. 6, pp. 709～712（2022）

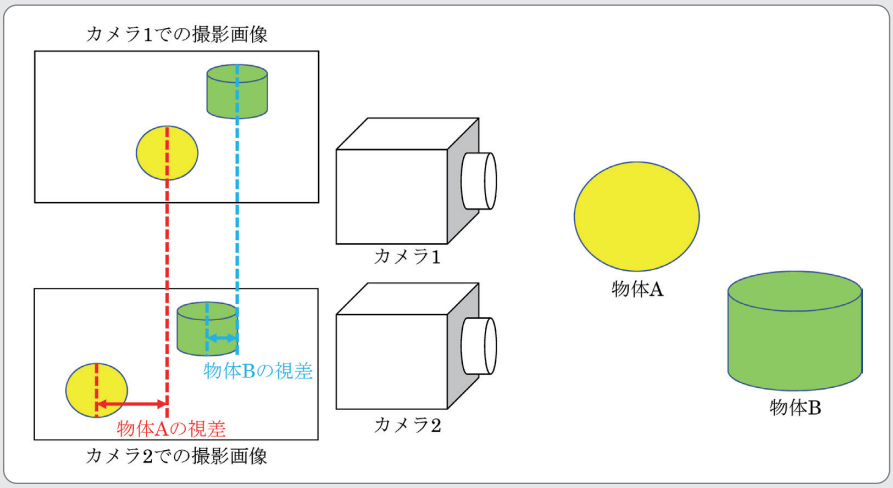

図1　ステレオカメラの模式図
物体Aと物体Bを並行に並んだカメラ1とカメラ2で撮影をすると(Aのほうが Bよりカメラに近い)，カメラ1とカメラ2で撮影した画像における視差（物体像の位置のずれ）はカメラに近いAのほうがBより大きくなる．

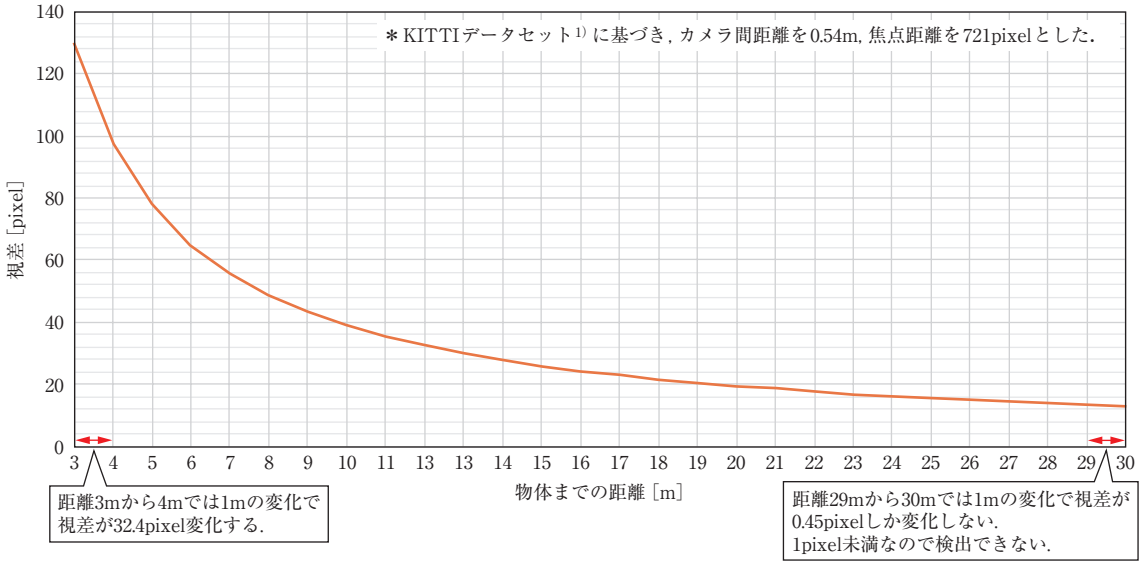

図2　ステレオカメラの距離と視差との関係
近距離では距離の小さな変化で視差が大きく変化するので視差による距離計測が可能であるが，長距離では距離が変化しても視差が変わらなくなる．視差が画素サイズ未満になるような場合，視差によって距離計測をすることが不可能といえる．

ToFの特徴とLiDAR

LiDARはToFを利用した距離計測をするセンサである．ToF方式ではセンサが照射した光が反射して戻ってくるまでの時間から距離を計測する．視差を用いないので，三角測量のように長距離でも精度が低下しにくい．LiDARはToF方式であることに加えて長距離まで到達するレーザ光を利用することで長距離での計測を実現している．すなわち，さまざまな方向に走査しながらレーザを一定の間隔で照射している（図3）．LiDARの弱点として，レーザを照射した方向についてしか計測が得られないので，計測結果が離散的であり密度が疎であるということがある（図4）．ToFを利用する他のセンサとしてToFカメラがある．ToFカメラはレーザ光ではなく幅をもつ照明光を使う（図5）．ToFカメラの場合，照明光の範囲内であれば反射を観測できるので，計測結果は密になる．ただし，照明光はレーザ光のように長距離まで到達しないので，一般にToFカメラの計測可能距離はLiDARよりも短い．

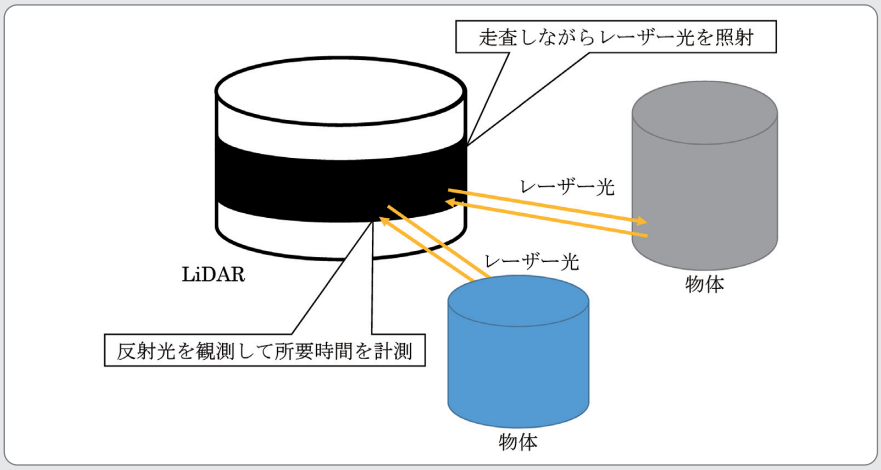

図3　LiDARの模式図
LiDARはセンサが発したレーザ光の反射を観測し，その飛行時間（ToF）から距離を導出する．レーザ光を走査しながら照射することでさまざまな方向について距離計測を行う．ToFと遠方まで到達するレーザ光という二つの要素によって長距離に適した距離計測を行う．

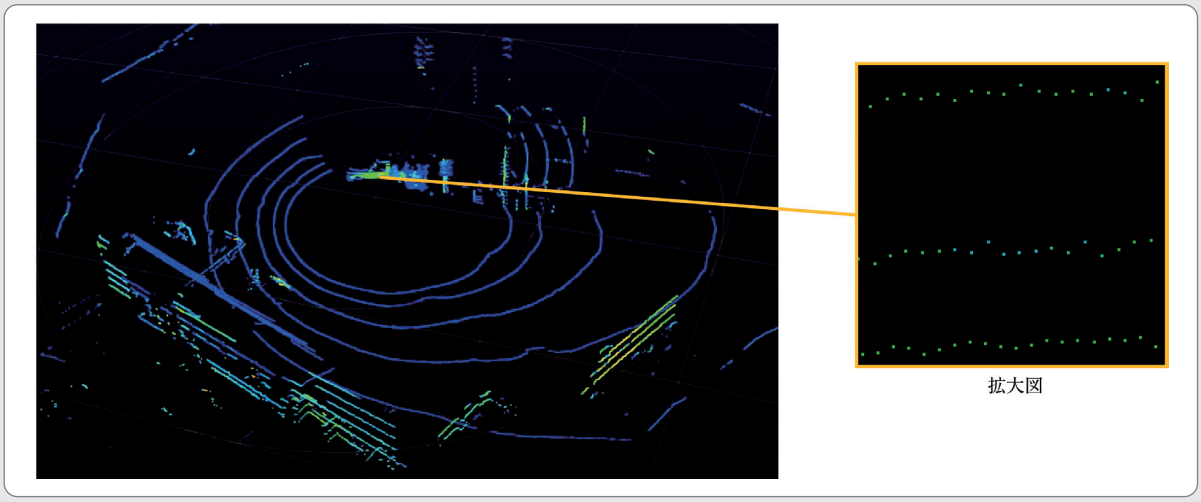

図4　LiDARで計測した3次元点群の例（点の色はレーザ光の反射強度を示している）
計測密度は機器に依存するがレーザ光を照射した方向しか計測を得られないので計測結果は離散的で疎になる．

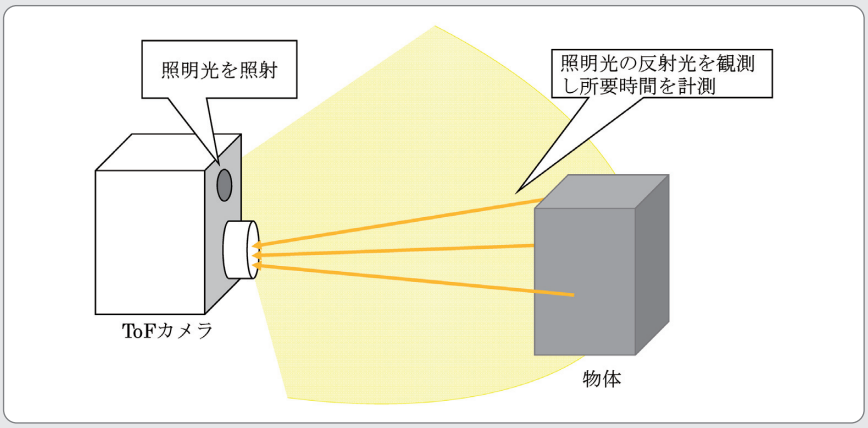

図5　ToFカメラの模式図
ToFカメラは周囲に照明光を照射し，その反射光を観測し光の飛行時間（ToF）を計測する．照明光が当たる範囲であればToFが計測できるので，密な距離計測ができる．ただし，照明光はレーザ光のように遠方に到達しないので，LiDARより近距離での計測に適する．

デプスコンプリーション

LiDARの弱点の一つが疎な計測であることを説明した．その克服のために，疎な3次点群を他のセンサの計測情報などを用いて高密度化するデプスコンプリーションという技術が研究されており，コンピュータビジョンの著名なデータセットであるKITTI[1]でもベンチマークが設けられている．特に，カメラ画像を手掛かりとして高密度化する手法は活発に研究されている[2)3)]．カメラはレンズを通してセンサに入光する光を記録する装置なので撮影した画像は密である．この密な情報を頼りに疎なLiDARの奥行情報を高密度化する．

むすび

自動運転などのアプリケーションによる需要の高まりにより，LiDARは今後ますます普及するセンサとなると考えられる．LiDARの進化とともに，カメラ画像など他のセンサと統合して処理を行うセンサフュージョンの技術についてもより研究が進んでいくであろう．そのような分野の研究者として大事なことは，センサが進化しても廃れない問題に取り組んでいるかということを常に考えながら，研究課題を選定していくことだと感じる．

（2022年7月28日受付）

参　考　文　献

1）Geiger, Andreas, P. Lenz and R. Urtasun: "Are we ready for autonomous driving? The kitti vision benchmark suite", 2012 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. IEEE (2012)
2）Yao, Yasuhiro, et al.: "Discontinuous and smooth depth completion with binary anisotropic diffusion tensor", IEEE Robotics and Automation Letters 5.4, 5128-5135 (2020)
3）Yao, Yasuhiro, et al.: "Non-Learning Stereo-Aided Depth Completion Under Mis-Projection via Selective Stereo Matching", IEEE Access 9, 136674-136686 (2021)

八尾　泰洋（やお　やすひろ）
2007年東京大学卒業．2010年，同大学修士課程修了．同年，NTTに入社し，現在，同主任研究員．入社以降，コンピュータビジョン，センサフュージョン技術の研究開発および事業化推進などに従事．工学修士．