自動車の安全運転を可能にするセンシング技術

Sensing Technologies to Support Safe Automated Driving Systems

鈴木　　淳 SUZUKI Jun　　藤崎　昭孝 FUJISAKI Akitaka

先進運転支援システム（ADAS）の実用化とともに，自動車の安全運転を支援するセンシング技術では，性能・コスト面で技術革新が進んでいる。更に，高度な自動運転システムの実現には，既存のカメラやミリ波レーダーに加えて，レーザー光の照射により車両周辺を３次元（3D）の点群情報として取得できるライダー（LiDAR：Light Detection and Ranging）の搭載が不可欠になる。また，センサーデータから多様な対象物を認識するために，高度な画像処理能力を持つ画像認識プロセッサーが求められる。

東芝デバイス&ストレージ（株）は，長距離かつ高解像のライダーを実現するため，高感度受光素子，受光した信号を処理するアナログフロントエンド（AFE），及び測距アルゴリズムを開発し，長距離での小さな物体の検知を可能にした。

更に，当社の画像認識プロセッサー Visconti では，従来の画像処理技術の向上に加え，（株）デンソーと共同で，多様な対象物の認識と検知精度の向上に向けた人工知能技術 DNN-IP（Deep Neural Network-Intellectual Property）の開発に取り組んでいる。

Innovations in automotive sensing technologies to support safe driving have been advancing in terms of both performance and cost as a result of the practical realization of advanced driver assistance systems (ADAS). In order to realize a high-level automated driving system, light detection and ranging (LiDAR), which can provide information on the peripheral conditions of a vehicle as three-dimensional (3D) point clouds obtained by laser beam irradiation, is essential in addition to conventional sensors including cameras and millimeter-wave radars. An advanced image recognition processor is also necessary to detect and analyze a wide variety of objects using the obtained sensor data.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has been developing a photodetector with high sensitivity as well as an analog front-end circuit and distance measurement algorithm to detect small objects at long distances as sensing technologies to realize a long-range and high-resolution LiDAR. We have also been improving the performance of conventional image recognition technologies for our Visconti image recognition processor products. Furthermore, in cooperation with Denso Corporation, we are working on the development of an artificial intelligence technology called deep neural network-intellectual property (DNN-IP) to recognize a wide variety of objects with higher accuracy compared with conventional methods.

1. まえがき

自動車の運転は，周囲の状況を把握する“認識”，認識で得られた情報から次の動作を決める“判断”，そして，決めた動作を実行する“操作”の三つの動作の繰り返しであると言われる。この中でも，自車両周辺の歩行者や他車両などの移動物体，ガードレールや建造物などの静止障害物を把握する認識は運転の安全性に大きな影響を与える。

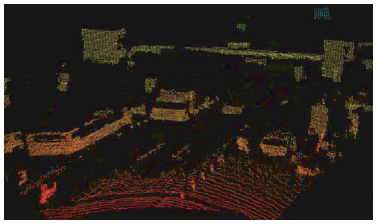
ADASでは，車載センサーは人間による認識の補助として使われるが，自動運転システムでは，認識の全てを車載センサーで実現する必要がある。自動運転システム向けのセンサーとしては，カメラやミリ波レーダーなどの既存車載センサーに加え，新たにライダー（LiDAR：Light Detection and Ranging）が注目されている。ライダーは，自動車の周辺環境情報を3D点群として取得できるので（**図1**），将来の自動運転システムの実現に不可欠な車載センサーと位置付けられている。また，カメラ画像による認識は，東芝デバイス&ストレージ（株）の画像認識プロセッサー Visconti が担っている。

ここでは，まず，自動運転システムに必要とされる車載センサーの特長について説明する。次に，当社のライダー向け半導体製品と，Visconti の技術開発状況について述べる。

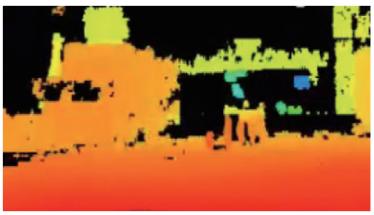
2. 自動運転システムに必要な車載センサー

2.1 自動運転レベルと必要技術

現在，自動運転技術の開発が世界各国で進められている



(a) 3D点群



(b) 距離画像

図1. ライダーで取得できる情報

ライダーは，レーザー光を照射して，自車両と対象物との距離を高精度な3D点群として取得する。

3D point cloud and distance information obtained by LiDAR

が，リードしているのは米国である。米国の運輸省国家道路交通安全局（NHTSA）は，自動運転システムの開発と普及による交通安全の加速を図るべく，ガイドラインを発表している。自動運転レベルの分類を**表1**に示す[1]。

現在，カメラやミリ波レーダーなどを用いて実用化されているレベル2と比較して，レベル3以降は技術や法令の面で大きく異なる。走行環境認識の最終責任は，レベル2までは運転者であるが，レベル3以降はシステム側にある。レベル3以降の自動運転システムを実現する上で，認識性能を向上させるためには，現在のADASとは異なる新しいセンシング技術や制御技術が必要になる。特に重要と考えられているのが，車両の走行位置を高精度に検出する自己位置推定技術と，障害物認識技術である。

自己位置推定技術では，ライダーは自車両の周辺環境を高精度3D点群の情報として取得できるので，車道の中心線や，道路と道路のつながり，横断歩道，停止線，交通標識，看板など様々な情報を格納した高精度3D地図とのマッチングも容易である。障害物認識技術では，ライダーによる自車両と障害物との間の測距の高精度化とともに，車載カメラの画像から自車両周辺の車線や，車両，歩行者，標識などを検出する画像認識プロセッサーの性能向上が重要である。

2.2 自動運転システムに必要な車載センサーの比較

自動運転システムで使われる，代表的な車載センサーの比較を**表2**に示す。

カメラは，物体を識別でき，車両や歩行者などの区別に加え，道路標識や信号機の色の認識も可能である。しかし，夜間，逆光，霧や雨などの悪天候では，人間の目と同じように検出能力が低下する。

これに対し，ミリ波レーダーは電波を利用して検出するため，環境光や天候による影響を受けにくい。しかし，ほかのセンサーに比べて空間分解能が劣るため，物体の識別は困難である。

一方，ソナーは環境光の影響を受けにくいが，測距が近距離に限定される。

ライダーは，高い空間分解能があり，物体だけでなく，フリースペースの検出も可能である。ただし，近赤外線のレーザー光を用いるため，霧や雨などの悪天候時に，ミリ波レーダーに比べて検出性能が低下する。

また，自動運転のレベル2までは単独センサーでも要求を満たせるが，レベル3以降のシステムでは，センサー単独で複雑な環境認識をすることは困難である。このため，複数種類のセンサーを用いて認識性能を向上させる，センサー

表1. 自動運転のレベルの定義

Definition of automated driving levels

レベル	概　要	安全運転に係る監視・対応主体
レベル1（運転支援）	システムが前後・左右のいずれかの車両制御に係る運転操作の一部を実施	運転者
レベル2（部分運転自動化）	システムが前後・左右の両方の車両制御に係る運転操作の一部を実施	運転者
レベル3（条件付き運転自動化）	限定領域内で，システムが全ての運転を実施。システムで運転困難な場合は，運転者が対応	システム（一部，運転者）
レベル4（高度運転自動化）	限定領域内で，システムが全ての運転を実施	システム
レベル5（完全運転自動化）	領域は限定されず，システムが全ての運転を実施	システム

＊高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「官民ITS構想・ロードマップ2017」[1]を基に作成

表2. 車載センサーのトレードオフ

Tradeoff table for automotive sensors

項　目	カメラ	ミリ波レーダー	ソナー	ライダー
測定距離	★★	★★★	★	★★★
空間分解能	★★	★	★	★★★
耐天候性（霧・雨）	★	★★★	★★	★★
夜間性能	★★	★★★	★★★	★★★
物体検出・認識	★★★	★	★	★★

★：可　★★：適　★★★：最適

フュージョン技術が開発されている。

3. ライダー向け半導体製品

3.1 ライダーの原理と構成

ライダーは，パルス状に発光するレーザーを用いて対象物からの反射光を測定し，その反射時間t（発光してから反射光を検出するまでの時間）を用いて対象物までの距離dを算出する技術である（**図2**）。

3D画像が取得可能なライダーは，繰り返し発光するパルスレーザー及び走査機構を用いた走査型ライダーと，高出力の単一パルスレーザー及び2次元受光素子アレイを用いたフラッシュ型ライダーとに大きく分けられる。屋外での長距離の測距には走査型ライダーが有利であり，**図3**にその代表的な構成を示す。

走査型ライダーに使用されるスキャン方式には，機械的回転，MEMS（Micro Electro Mechanical Systems），及びフェーズドアレイなどがある。光源となるパルスレーザーは，900 nm帯近傍のものが使用されることが多い。

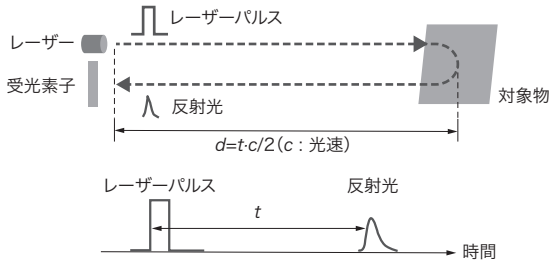
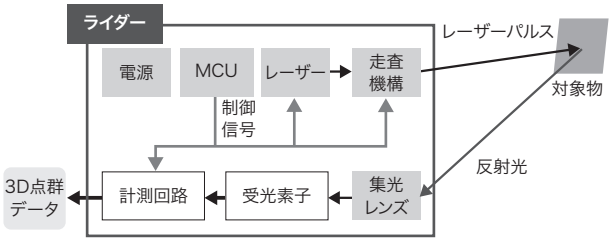


図2. ライダーの原理

対象物にレーザー光を照射し，反射して返ってくるまでの時間を計測するTOF（Time of Flight）方式により，距離を測定する。

Principle of distance measurement using LiDAR



MCU：マイクロコントローラーユニット

図3. 走査型ライダーの構成

主に，走査機構や集光レンズなどの光学系ブロックと，受光素子や計測回路などの電気系ブロックで構成される。

Configuration of scanning LiDAR

3.2 ライダー向け半導体製品の技術開発動向

従来，ライダーは自動運転システムの研究・開発に使われていたが，ようやく量産車に搭載され始めている。ただし，本格普及にはまだ課題があり，性能面では，長距離かつ高解像な測距と，高い測定精度が求められている。したがって，普及帯の自動車に導入されるためには，小型・低コスト化へ向けた検討も必須である。

当社は，このような要求に対して，高感度受光素子，受光素子の信号を処理するAFE，及び測距アルゴリズムの技術開発を行っている。

3.2.1 高感度受光素子SiPM

長距離を測定するには，強い太陽光の存在下で，遠方からの微弱な反射光を検知する必要がある。このとき，対象物からの反射光量は微小であり，高感度受光素子としては，フォトンカウンティングが可能なシリコンフォトマルチプライヤー（SiPM：Silicon Photomultiplier）が有効と考えている（**図4**）。

SiPMは，現在のライダーに広く使われているアバランシェフォトダイオード（APD）やPIN（Positive-Intrinsic-Negative）フォトダイオード（PD）と比較して，高感度，低電圧駆動，小温度変動という特長を持っている（**表3**）。更に，

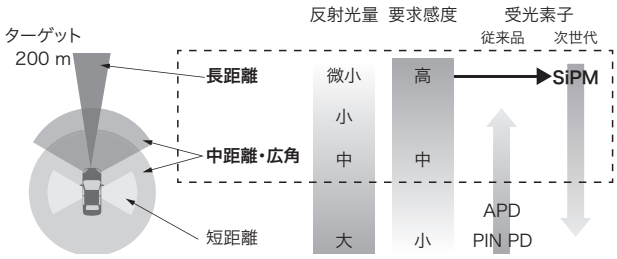


図4. 長距離測距に求められる受光素子

長距離測距の場合は，反射光量が微小なので，高感度受光素子としてSiPMが注目されている。

Requirements for photodetectors to achieve long-range distance measurement

表3. 受光素子の性能比較

Comparison of performance of photodetectors

項　目	PIN PD	APD	SiPM
増倍率	1	10～100	10^5～10^6
動作電圧　（V）	～10	～300	～30
温度変動	小	大	小

当社は，900 nm付近の高感度化を目指して，デバイス構造の最適化などの技術開発を実施している。

3.2.2 AFE

太陽光などの雑音が混ざった信号から必要な信号を取り出すには，ADC（Analog-to-Digital Converter）回路を用いた平均化処理が有効で，主に長距離測定に適用されている。しかし，ADC回路を用いた平均化処理では，短距離を高精度に測定する場合に必要な高速処理が難しいという問題がある。そこで，当社は，短距離用のTDC（Time-to-Digital Converter）回路と，長距離用のADC回路の二つで構成する独自のハイブリッド回路を開発した。ADCを長距離専用にすることで，ADC回路に要求される処理速度の性能を緩和しながら，短距離と長距離の測定を両立した。ADC回路は，独自構造を採用することで，小型・低消費電力になっており，従来に比べて高性能かつコンパクトなライダーシステムが構築できる。

3.2.3 測距アルゴリズム

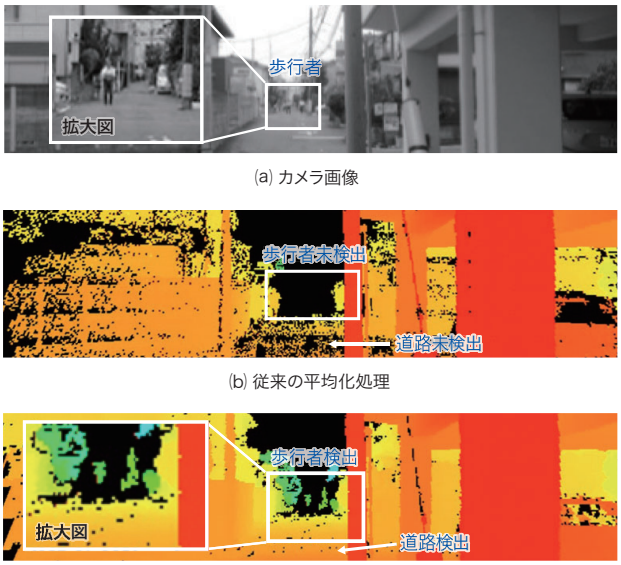
従来の平均化処理では，複数の異なる物体からレーザー光が反射してくる場合，解像度が低下して小さな物体を検知できずに見落とすことがある。これを解決するために，レーザー光を反射した物体が同じものかどうかを判別して，同じ物体だけを選択して平均化処理を行うことで，小さな物体を検知できる高解像測距アルゴリズムSAT（Smart Accumulation Technique）を開発した（**図5**）[2]。

また，ライダーは測定可能な距離に物体がない場合，ノイズに基づいた結果を出力し，誤検出を引き起こす。誤検出の除去のために平均化処理を行うと，その結果に距離のクラスタリングと呼ばれる特有の現象が発生し，遠距離にある測定対象からの正しい検知データも除去してしまうという問題がある。そこで，距離のクラスタリングを解析し，クラスターの大きさと信号の強さから，出力された距離データの確からしさを関係式で表し，関係式に基づいてパラメーターを調節する方法を開発した。これにより，距離のクラスタリングの発生を抑制しながら誤検出を排除するアルゴリズムを確立し，誤検出を低く抑えることに成功した（**図6**）[3]。

4. 画像認識プロセッサー Visconti

Visontiは，車載カメラの映像を画像処理し，自動車周辺の車線や，車両，歩行者，標識などを検出して結果を出力する。また，画像認識に必要な各種処理を行う多数の画像処理アクセラレーターを搭載しており，低消費電力で高度な画像認識処理をリアルタイムで実現できる。

ADASや自動運転システムの実現に向け，次世代のVisontiに搭載する技術を開発している。従来の画像処理技術のブラッシュアップに加え，（株）デンソーと共同で人工知能技術DNN-IP（Deep Neural Network-Intellectual



(a) カメラ画像

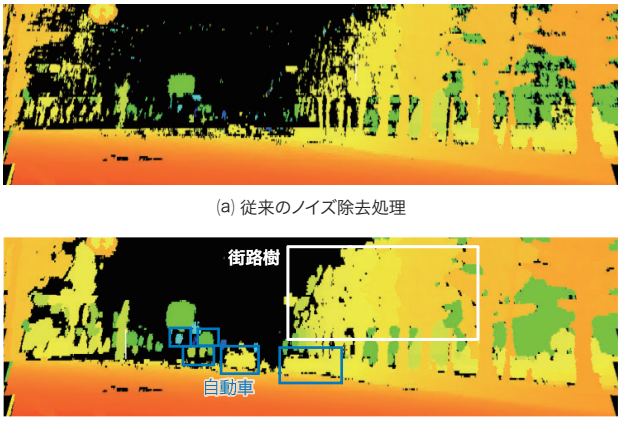
(b) 従来の平均化処理

(c) 開発したSAT処理

図5. 従来技術と開発したSAT技術との比較

従来の平均化処理では検出できない歩行者や道路が，開発したSAT処理では検出可能である。

Comparison of processing results obtained by conventional method and newly developed smart accumulation technique (SAT)



(a) 従来のノイズ除去処理

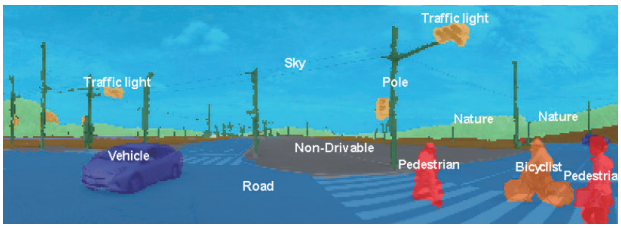
(b) 開発したノイズ除去処理

図6. 従来技術と開発したノイズ除去技術との比較

従来のノイズ除去処理に比べ，開発したノイズ除去処理は，対象物を過度に除去することなく検出できる。

Comparison of noise suppression results obtained by conventional and newly developed methods

(a) 実写の画像



(b) DNN-IPを用いて対象物を判別した画像

画像提供：(株)デンソー

図7. DNN-IPを用いた画像認識の例

DNN-IPを用いることで，多様な対象物の認識ができ，検知精度も向上する。

Example of recognition result obtained by DNN-IP

Property）の開発に取り組んでおり，多様な対象物の認識性能や，検知精度の飛躍的な向上を実現する（**図7**）[4]。

5. あとがき

ADASや自動運転システムに必要なセンシング技術として，ライダー向け半導体製品と，画像認識プロセッサーの技術開発について述べた。

今後も，これらの技術をはじめとした自動運転システム分野の研究開発を加速し，より安全な道路交通の実現に貢献する車載用半導体製品を提供していく。

文　献

(1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議．官民ITS構想・ロードマップ2017．首相官邸，2017，70p.

(2) Yoshioka, K. et al. "A 20ch TDC/ADC hybrid SoC for 240×96-pixel 10%-reflection <0.125%-precision 200m-range imaging LiDAR with smart accumulation technique". 2018 IEEE International Solid - State Circuits Conference (ISSCC) Dig. Tech. Papers. San Francisco, CA, 2018-02, IEEE. 2018, p.92–94.

(3) Tanabe, K. et al. "Data selection and de-noising based on reliability for long-range and high-pixel resolution LiDAR". Proc. 2018 IEEE Symposium on Low-Power and High-Speed Chips and Systems (COOL CHIPS), Yokohama, 2018-04, IEEE. 2018, p.1–3.

(4) デンソー，東芝．“デンソーと東芝，次世代の画像認識システム向け人工知能技術（Deep Neural Network-IP）の共同開発に合意 高度運転支援，自動運転の実現に向け技術開発を加速”．ニュースリリース．<http://www.toshiba.co.jp/about/press/2016_10/pr_j1701.htm>，（参照 2018-06-29）．

鈴木　淳　SUZUKI Jun
東芝デバイス&ストレージ（株）
ミックスドシグナル IC 事業部
アナログ開発第二部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.

藤崎　昭孝　FUJISAKI Akitaka
東芝デバイス&ストレージ（株）
ミックスドシグナル IC 事業部
システム LSI マーケティングセンター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.