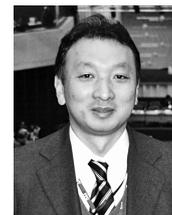


5Gで加速する自動運転

ソフトバンク株式会社 吉野 仁



要約

5Gは従来の能力拡張である拡張モバイルブロードバンド通信（eMBB: enhanced Mobile Broadband）に加えて、超高信頼・低遅延通信（URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communication）や超多数端末接続通信（mMTC: massive Machine Type Communication）を新たな領域としており、高度情報化社会の社会基盤として期待されている。本稿では、まず5Gの基本コンセプトを概説する。次に、5Gのようなセルラー系通信で提供される車車間通信の形態について説明する。次に、自動運転のしくみを概説した後、自動運転における5Gの適用について具体的な利用事例を挙げて説明する。

目次

1. はじめに
2. 5G 移動通信システム
 - (1) 利用シナリオと無線能力
 - (2) セルラー系通信で提供される車車間通信
3. 自動運転のしくみ
 - (1) 認識
 - (2) 認知
 - (3) 判断
 - (4) 制御
4. 自動運転実現への5Gの貢献の可能性
 - (1) ダイナミックマップのダウンロード
 - (2) センサー情報の共有
 - (3) 人工知能の学習
5. おわりに

本稿では、5Gの基本コンセプトについて説明し、5Gの自動運転への適用の可能性について解説する。

2. 5G 移動通信システム

(1) 利用シナリオと無線能力

図1に5G移動通信システムの利用シナリオを示す⁽¹⁾。2020年以降の移動通信の様々な利用シナリオを想定して、通信の立場から分類し、大きく3つの通信分野に大別している。

従来のモバイルブロードバンド通信の拡張である「拡張モバイルブロードバンド通信（eMBB）」、自動運転や産業機器の制御を想定したミッション・クリティカルな「超高信頼・低遅延通信（URLLC）」およびセンサーネットワークやIoT（Internet of Things）端末通信のような多数同時接続を想定した「超多数端末接続（mMTC）」である。実際の利用シナリオではこれら3つの通信要素を組み合わせた通信を用いる。4Gまでの移動通信システムでは、モバイルブロードバンド通信が主な対象であったが、5Gからは新たにURLLCとmMTCが新たな移動通信の領域として加えられた。2020年以降、5G移動通信が社会インフラとして使われることを想定している。

さらに、これらの利用シナリオから5Gに必要な無線能力を特定したものを図2に示す。同図において、内側の六角形の領域が4G、外側の正六角形の領域が5Gの無線能力を表す。主な指標としては、ピークユーザレート、伝送遅延、同時接続数、低消費電

1. はじめに

2020年の商用化に向けて第5世代移動通信システム（5G）の研究開発がおこなわれている。5Gは従来の能力拡張である拡張モバイルブロードバンド通信（eMBB: enhanced Mobile Broadband）に加えて、超高信頼・低遅延通信（URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communication）や超多数端末接続通信（mMTC: massive Machine Type Communication）を新たな領域としており、高度情報化社会の社会基盤として期待されている。特にURLLCとmMTCは新しい市場を開拓できる可能性があり、具体的な5Gの適用事例の確立が急務である。

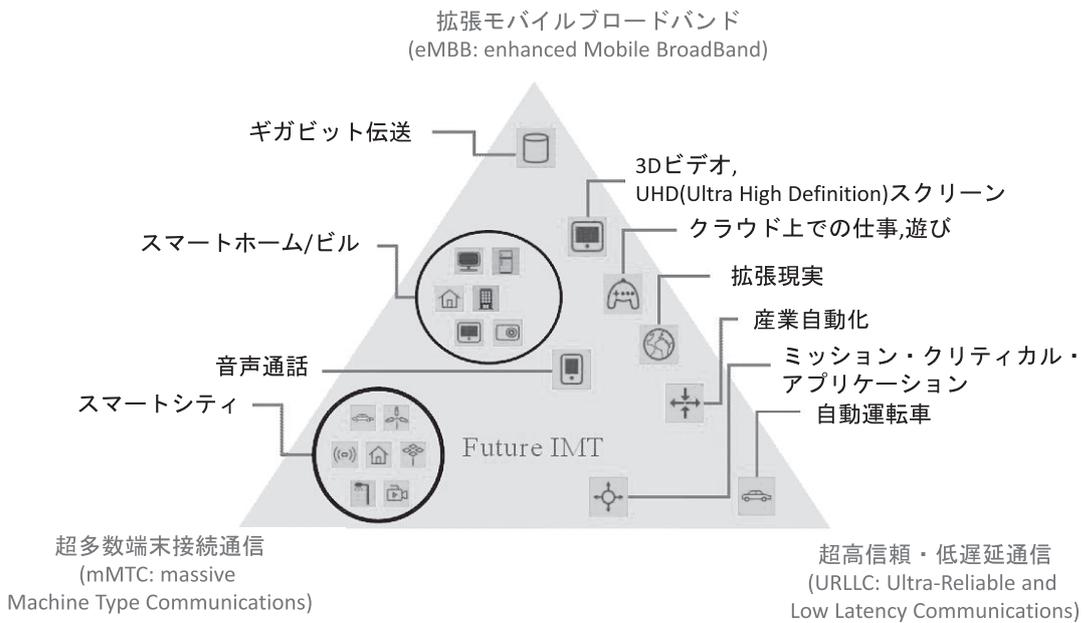


図1 5G 通信システムの利用シナリオ

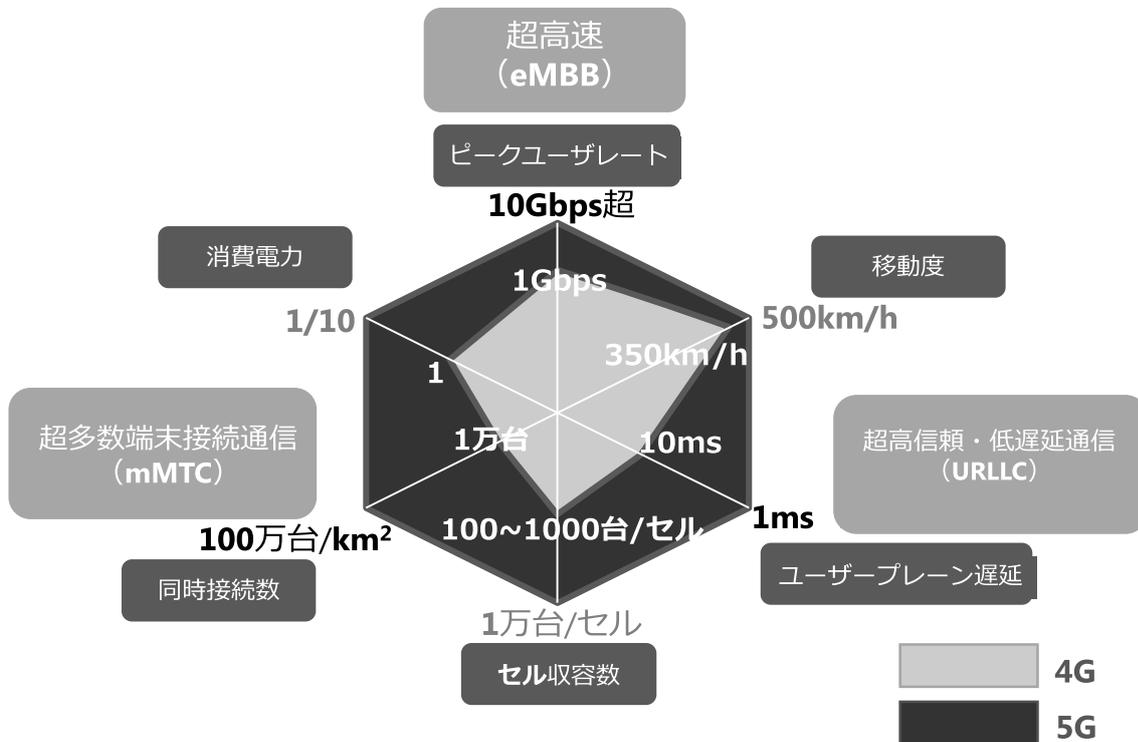


図2 5G の無線能力

力、1セル当たりの端末収容数、移動度などがある。10Gbps以上のピークユーザレートは拡張モバイルブロードバンド (eMBB) のサポートに必要であり、また無線区間1ms以下の遅延およびブロック誤り率 (BLER: Block Error Rate) 10^{-5} 以下を満たす信頼性は、超高信頼・低遅延通信 (URLLC) のサポートに必要となる。さらに超多数端末接続通信 (mMTC) のサポートには、無線端末装置の同時接続数100万台/km²が必要である。mMTCの分野では、無線端末の消費電力を4G比で1/10とすることを目標とし

ている。5Gでは移動度に関しては高速列車での利用を考慮して500km/hにおける通信のサポートを目標としている⁽⁴⁾。これらの無線能力を見ると、5Gは大変、高性能かつ高機能なシステムを目指していると思われるが、実際に応用事例 (ユースケース) では、これらの能力や機能をすべて同時に必要とするケースはほとんどないことがわかる。

図3に5Gの無線能力の考え方を示す。同図では、ビデオストリーミング、IoTセンサーネットワーク、自動車の自動運転支援の3つの応用事例に必要とされ

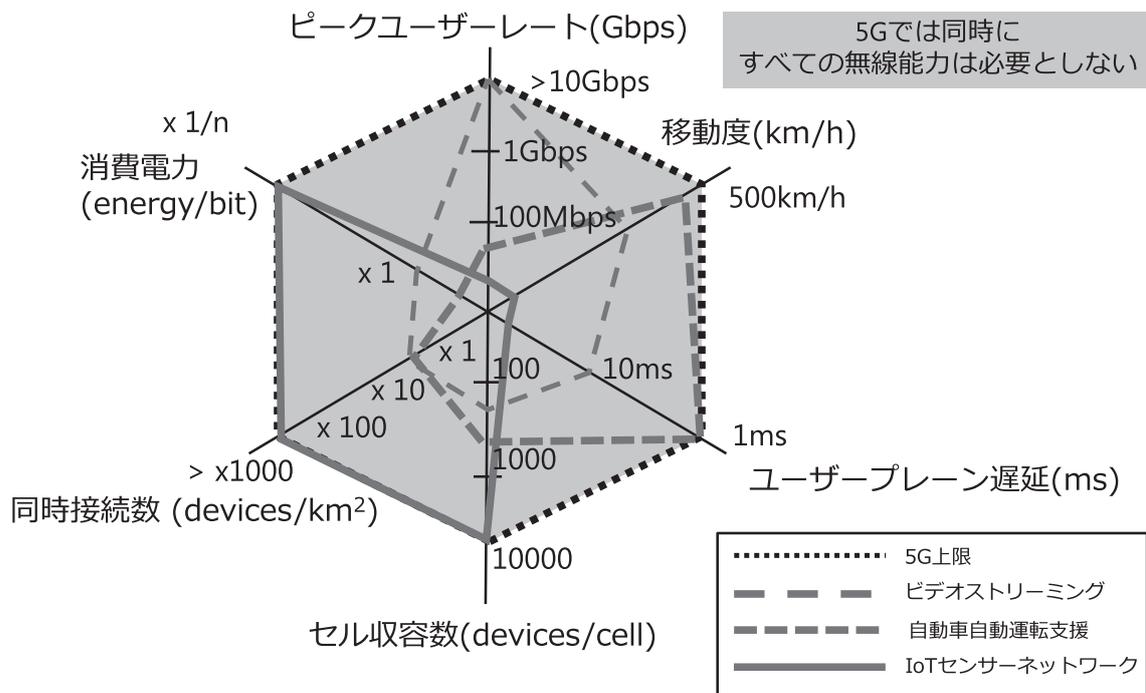


図3 ユースケース毎に必要とされる無線能力

る無線能力の一例をレーダーチャートに示している。ビデオストリーミングのケースではピークユーザーレートや容量について大きな無線能力を必要とするが、ユーザのデータ通信の遅延や省電力はあまり必要としない。一方、IoTセンサーネットワークでは、例えば温度、湿度、振動などの比較的情報量の少ないデータを長期間にわたって通信させる必要がある。例えば、橋梁に設置され老朽化を監視する振動センサーの通信端末は、一旦設置されると、そう簡単に電池を取り換えるわけにはいかないことが多い。そのため、省電力の通信が重要となる。他方、自動車の自動運転支援のための通信では、例えば車両の制御のためのメッセージのやりとりを行う場合、低遅延かつ高信頼な通信が必要となるが、あまり高速なピークユーザーレートは必要としない。このように、応用事例によって通信に要求される無線能力が大きく異なることがわかる。5Gでは応用事例に応じて、必要な無線能力を必要なだけ提供するという柔軟な無線システムを目指している。

このような柔軟な無線システムを実現する上で、無線技術においては、柔軟な無線フレーム構成技術、無線リソースマネージメント技術を、5G実現のための鍵となる技術としている。これらは、それぞれ異なる情報量、要求遅延や通信品質を持つアプリケーションで効率的に通信する上で必要な技術である。

(2) セルラー系通信で提供される車車間通信

図4にセルラー系通信で提供される2つの車車間通信の形態を示す。第1の形態は、通常のセルラー通信と同様に、基地局を介した車車間通信である。無線端末から基地局への上り回線(Uplink)と基地局から無線端末への下り回線(Downlink)からなる。U-Uインタフェースとも呼ばれている。基地局に設置された高性能アンテナや高性能無線機に助けられて比較的安定した通信が確保される。通信は移動通信ネットワーク(コアネットワーク)を介して行われるため、無線区間の伝送遅延に加えて移動通信ネットワーク内での伝送遅延があるが、それでも4Gにおいて数十から百ミリ秒の比較的低い伝送遅延で通信が可能である。5Gになると基地局直下にMEC(Mobile Edge Computing)サーバーを置いて通信を折り返して、十数ミリ秒以下の遅延で通信することも可能となる。

第2の形態は、基地局を介さずに車載無線端末間で直接通信をする形態である。Sidelinkと呼ばれる通信回線である。PC5インタフェースとも呼ばれている。車載無線端末が直接通信するため、割り込み車の有無や通信環境(アンテナ設置場所など)により通信品質が劣化する場合がある。しかしながら、移動通信ネットワークを介さずに無線端末間で直接通信するため、数ミリ秒以下の伝送遅延で通信が可能である。さらに、Sidelinkでは、無線リソース(通信に割り当てる無線周波数帯域幅や時分割のスロット数など)の管理

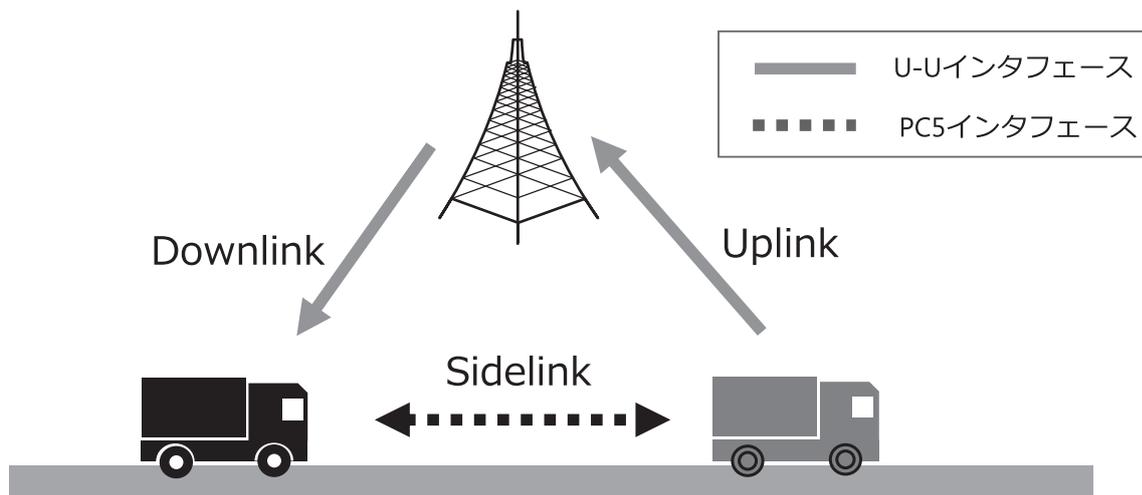


図4 2つの車車間通信

を、(1) 基地局側で行うモードと(2) 無線端末側で自律的に行うモードがある。上記(1)の場合、効率的なリソース管理が可能となり輻輳や混信/干渉の軽減が可能となる。一方、上記(2)の場合、基地局圏外においても通信が可能となる。

従来、セルラー系通信は、基地局を介した上り回線と下り回線であった。当初、自動車の車車間通信も基地局を介して行うことが検討されてきた。近年、セルラー通信の技術仕様を策定する団体3GPP (3rd Generation Partnership Project)において、Sidelinkなどの車向けの通信技術(C-V2X: Cellular Vehicle-to-Everything)の仕様が策定された。まず、4G LTEに準拠したC-V2Xの仕様が3GPP Release 14で策定され、より低遅延・広帯域化した5G NR C-V2Xの仕様がRelease 16として2020年3月に策定される。将来のコネクテッド・カーの市場を視野に入れた新たなセルラー通信の流れである。

3. 自動運転のしくみ

次に、自動運転のしくみを概観し、そして、5Gがどのように生かせるかについて説明する。まず、自動運転の処理プロセスは、認識、認知、判断、制御とされている⁽²⁻⁴⁾。図5に自動運転システムの構成例を示す。

(1) 認識

認識部は、車載カメラ、ミリ波レーダー、Lidar (Light Detection and Ranging) (レーザーレーダーともいう)、超音波センサーなどで構成される。車載カメラは人間が肉眼で見ている画像と同じ画像データを取得し、画像解析により、人、車や障害物を検知す

る。標識などに書かれた文字/数字も認識することができる。ミリ波レーダーは他のセンサーと比較して霧や降雨、降雪、外乱光などの環境条件の影響を受けにくいため広く用いられている。Lidarは、レーザー光を使って物体の検知と測距をおこなうセンサーである。近赤外光のレーザーパルスを発射し、そのパルスが反射して戻るまでに時間を計測し測距を行う。Lidarを中心に全周囲方向にレーザー光パルスを照射することで距離情報を3次元的に取得できる。現在では、100m先の物体を1秒間に100万回以上計測できるため、高解像度の物体検知が可能である⁽⁵⁾。また、基本的にレーダーであるので、標識の記号や文字を読むことはできない。超音波センサーは車両周辺の障害物検知など近距離の物体検出に使用されている。以上のようにセンサーには一長一短があるので、実際にはこれらの複数のセンサーからの情報を統合して使用するセンサーフュージョンが行われている。

(2) 認知

複数のセンサーからの情報をもとに、障害物、信号、標識、走行レーン、他車両、歩行者などの認知を行うのが、センサーフュージョン部である。自車の走行環境を認知する部分であり、ニューラルネットによる深層学習の結果などを利用したAI (Artificial Intelligence) 認知が用いられている。

AIの認知認識力を向上させるためには、様々な走行場面を経験させて学習させる必要がある。そのため、実際に公道を走行しAIに経験を積ませる作業が行われている。

さらに認知部では、信号、標識、走行レーン(路面標示を含む)、道路周辺の建物などの認知された情報

と、3D ダイナミックマップと呼ばれる高精度地図、GNSS（GPS など）の位置情報とから、自車の位置を高精度に推定する。こうして得られた高精度の位置情報と認識物情報や走行状態情報を加味して、自車の走行環境を認知する（地図フュージョン）。その一例としては Occupancy Grid（OG）を作成する方法がある^(6,7)。OG には自車の周囲の状況を数十 cm 単位のグリッドに分割して障害物などの存在確率が書かれている。

（3） 判断

判断部では、自車の運転環境などの認知情報や安全上の制約条件を考慮し、例えば OG をもとに数単位時間先までの障害物の存在確率を予測し、自車の運転経路の安全性を評価し、通るべき運転経路を決める。図 5 の判断部においても（1）運転経路計画と（2）経路候補作成は、先に述べた深層学習（AI）が関与できる部分である。

（4） 制御

判断部で決めた運転経路に従って、ブレーキ、アクセル、ステアリングなどのアクチュエーターを制御する。

4. 自動運転実現への 5G の貢献の可能性

本章では、大容量かつ高信頼低遅延通信が可能となる 5G の自動運転への適用の可能性について述べる。

（1） ダイナミックマップのダウンロード

図 5 に示されるように、自動運転においては外部からの環境情報が必要である。その一つにダイナミックマップと言われる 3 次元高精度地図がある。ダイナミックマップは、高精度な道路地図上に、階層的にさまざまな情報を載せた地図である。まず、（1）静的情報レイヤーとして、道路や建物情報など長期間にわたって変化の起こらない地図情報をもつ。その上に、（2）交通標識や道路工事情報、狭域気象情報など数日から数か月にわたって変化の起こらない情報の準静的情報レイヤーを持つ。さらに、（3）事故情報、渋滞情報、広域気象情報など数時間から数日にわたって変化のない情報を記録する準静的レイヤーをもつ。最後に、（4）ITS 予測情報、周辺車両、歩行者などの数分から数時間にわたる情報を記録するレイヤーをもつ。このように、鮮度の異なるデータからなる地図データは、通信を介して常に更新する必要がある。このような大容量通信は 5G の応用事例になると考えられる。さらに、5G には MEC（Mobile Edge Computing）技術があり、ダイナミックマップのように一定エリアにローカル配信する必要がある場合には有効である。

（2） センサー情報の共有

道路上の交通信号や道路標識、電柱、ガードレールなどの構造物、道路（車線情報を含む）、および道路上の自動車、歩行者、障害物などを認知するためには、多くのセンサーからの情報が必要である。一台の車両に設置されたセンサー群から得られる情報には限りがある。例えば、Lidar は高性能化が進み有望なセ

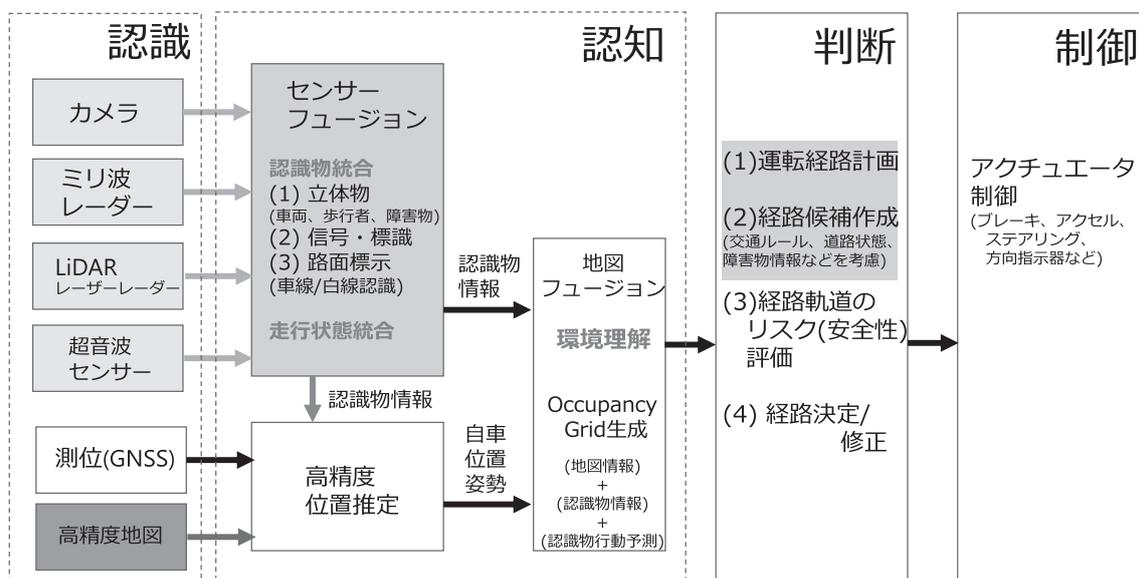


図 5 自動運転システムの構成例

ンサーであるが、レーザーパルスを照射してその反射波で測距を行うため、Lidarの位置からみて道路上の自動車などの物陰については情報が得られない。もし、道路を走行する複数の車両が個々に集めたデータを共有できれば、道路環境の認識の精度向上に役立つ。カメラから得られる画像情報も同様である。しかし、Lidarやカメラ、ミリ波レーダーからの情報は膨大である。そこで、これらのセンサー情報を5G通信を用いて共有することが考えられる。共有方法としては、車車間直接通信で直近の車両間でリアルタイムに共有する場合と、MECサーバー上にアップロードし情報の鮮度に応じて処理を行い、近くを通る車両に配信する場合が考えられる。いずれも大容量低遅延通信をサポートする5Gの有用な応用事例と考えられる。

(3) 人工知能の学習

センサー情報による認知認識には深層学習を基にしたAI技術が用いられている。認知認識力を向上させるためには、発生しうる運転操作、天候など様々な場面で、学習データを取得しニューラルネットワークのトレーニングをする必要がある。データを収集するテスト車両がカメラ、Lidar、ミリ波レーダーなどを複数台搭載していることを考えるとかなりのデータ量になると思われる。Deep Neural Network (DNN) を用いた画像認識は、歩行者などの高い検出率を持つ。DNNの事例では車載チップでデータの前処理が行われ、そのデータを車外のデータセンターに送り、データセンターのスーパーコンピュータで学習させ、認知ソフトのパラメータの最適化を図る。そして、パラメータは車載チップにダウンロードされる。テスト車で既にかなりの学習をさせているが、個々の自動車に対処すべき新たな状況を発見した場合、そのデータをデータセンターに送り、そのデータを基に最適な対処法を再学習し、その結果を最新のパラメータファイル

として個々の自動車にダウンロードする必要がある。認知認識率向上のための大量のデータによる学習作業は、実用化後も絶え間なく必要と思われる。このための大量のデータのやり取りも5Gの応用事例と考えられる。

5. おわりに

本稿では、まず5Gの基本コンセプトについて解説した。次に、現在の自動運転技術の概要を述べた。そして、自動運転への5Gの貢献の可能性について事例を交えて議論した。本稿が自動運転への5Gの応用についての理解に役立ては幸いである。

(参考文献)

- (1) ITU-R, IMT Vision -Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond”, Recommendation ITU-R M.2083, ITU-R, Sept. 2015.
- (2) 保坂 明夫, 青木 啓二, 津川 定之, 自動運転-システム構成と要素技術-, 森北出版, 東京, 2015.
- (3) 児島 隆生, 長田 健一, 伊藤 弘朗, 堀田 勇樹, 広津 鉄平, 小野 豪一, “自動運転の高度化を支える知能化技術,” 日立評論, pp.52-56, Vol.99, No.5, Oct. 2018.
- (4) 菅沼 直樹, “金沢大学における自律型自動運転車の開発の実例,” 情報処理学会研究報告, pp.1-4, Vol.2014-CVIM-192 No.3, May, 2014.
- (5) 渡辺 孝弘, 塚本 明利, “画像センサーとLiDARによるセンシング融合技術を用いた現場管理ソリューション,” OKIテクニカルレビュー pp.14-17, Vol.84, No.2, Feb. 2017.
- (6) Alberto Elfes, “Using occupancy grids for mobile robot perception and navigation,” IEEE Computer, vol.22, No.6, pp.46-58, June, 1989.
- (7) 馬路 徹, “人の眼を超える認識力と熟練運転車をしのぐ判断力,” 連載講座 自動車技術者のためのAI入門 第1回自動運転と深層学習, 日経 Automotive, pp.78-81, Feb. 2018.

(原稿受領 2020.2.14)