

全天候対応の周波数変調連続波ライダ

ステファン・クラウチ

コヒーレント検波と周波数変調により、最小限の光出力による干渉のない距離および速度の測定が可能である。

自動運転車 (Autonomous Vehicle : AV) は、カメラ、レーダ、ライダといったさまざまなセンサに基づいて、安全な走行を実現する。AV技術の展開が成功するかどうかは、コストと安全性のバランスだけでなく、その規模にも依存する。AVライドシェアサービスの規模拡大に伴って、システムコストは低下し、利幅と売上高の増加が見込めるようになる。雨や雪などの環境的な悪条件は、さまざまな重要地域におけるAVの展開を抑制する要因である。そのような条件に対応することが、成長促進の鍵を握る。

米ウェイモ社 (Waymo) が、最初にサービスを提供する都市としてアリゾナ州フェニックスを選んだことは、AVセンサがまだ全天候条件には対応していないことを、控えめながら物語っている。レーダは一貫した動作を示すのに対し、カメラとライダの検出距離は降水量に大きく影響を受ける可能性がある。これらのセンサは、車両のナビゲーションと位置特定の信頼性確保に不可欠である。カメラ技術は、イスラエルのモービルアイ社 (Mobileye) などのベンダーが提供する、先進運転支援システム (Advanced Driver Assistance System : ADAS) において広く採用されているため、カメラ性能の変化については十分に理解されている。一方、悪天候下でのライダ性能に関する文献は、それと比べるとかなり少ない。本稿では、新しい種類の車載ライダセンサの悪天候下での性能について、詳し

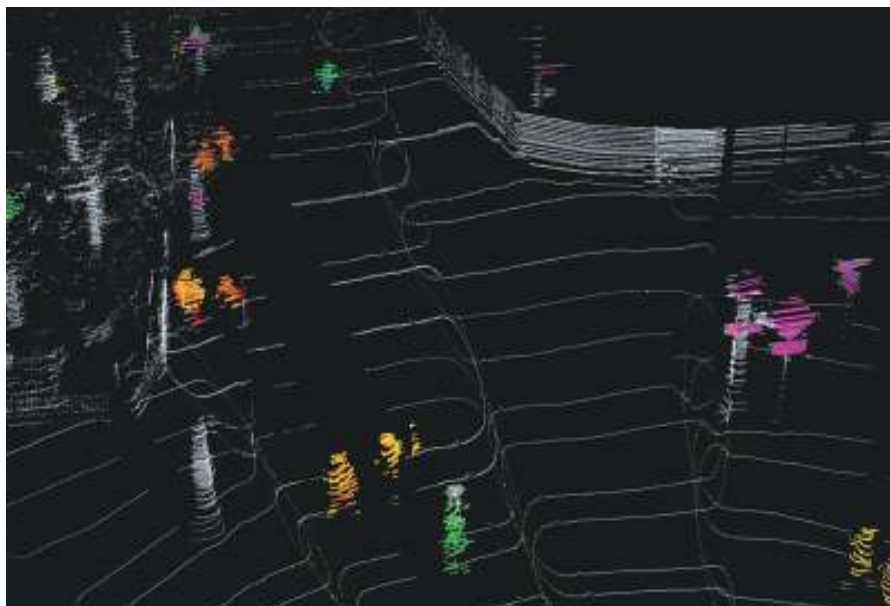


図1 ブラックモア社のFMCWライダのデータの1枚のフレームを、点群の速度データで色付けた。青色と緑色はセンサに近づく方向の動き、赤色と橙色はセンサから離れる方向の動きを示している。白色は静止点で、ピンクは道路標識などの再帰反射材を示している。

く解説する。

コヒーレントライダ

ライダ技術は、検出原理に基づいていくつかの種類に分類できる。パルスToF (Time of Flight) センサを含む多くのライダは、反射光パワーを直接検出することによって距離を推定する。コヒーレント検波は、それに代替するライダ手法で、反射電場を測定するものである。受信信号を、局部発振器と一般的に呼ばれる別の光学信号によって光学的に干渉することにより、これを行う。コヒーレントライダは、本能的には干渉計である。送信信号と局部発振器信号の周波数変調によって距離測定を支えるという、現代のレーダー

システムに非常によく似た仕組みが採用されている⁽¹⁾。

コヒーレントライダ、または周波数変調連続波 (Frequency Modulated Continuous Wave : FMCW) ライダは、特に環境センシングの分野において、リモートセンシングツールとして広く活用されている⁽²⁾。米ロッキード・マーティン・コヒーレント・テクノロジーズ社 (Lockheed Martin Coherent Technologies) の「WindTracer」や、三菱電機のライダ製品などは、数十km範囲の風速場を調べて空港の安全性を確保する。コヒーレント検波はこれまでに、それ以外にも幅広い範囲の長距離イメージング要件に対応してきた。より複雑な信号処理が必要であること

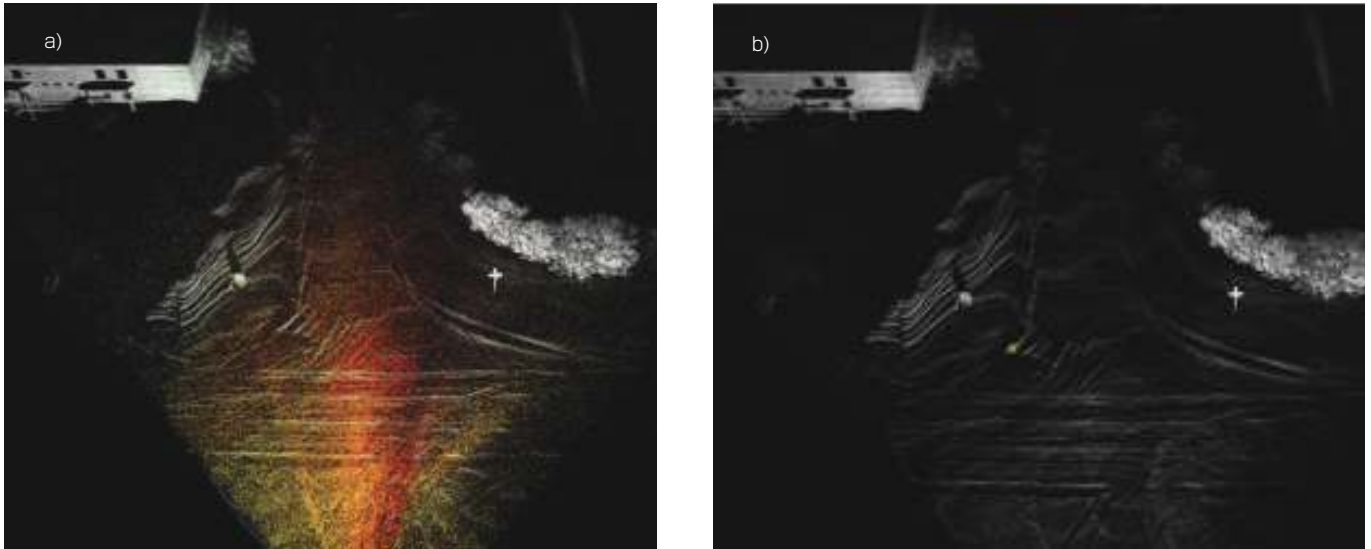


図2 上から見下ろした状態を示す、ブラックモア社ライダーの速度で色付けされたデータ。(a)では、降る雪がセンサ視野内のポリュメトリックノイズとして現れているのに対し、(b)では、速度データを使用して雪が除去されており、道路標識と雪に覆われた路面の精細度が高まっている。

が、コヒーレントライダーの普及を阻む1つの要因だが、最近になってようやく、商用製品として手の届く価格帯と、自動車に搭載できるパワーバジェットに到達してきている。

AV用のFMCWライダー

自動運転などの一般的な商用用途に対して、コヒーレントライダーが利用され始めたのはまだここ数年のことである。このようなセンサがより主流になるにつれて、いくつかの主要なメリットが顕著になってくる。コヒーレント検波は、高ダイナミックレンジ、高感度、総干渉除去能力という、直接検出型ライダー設計における優先項目だが両立しないことの多い性質を併せ持つ点が、他とは異なる特長である。高いダイナミックレンジは、タイヤなどの暗い物体と、再帰反射性の道路標識などの明るい物体を、検出器のゲインを能動的に調整することなく、センサが確認できるようにするために必要である。高い感度は、大きな光出力を要することなく長距離測定を可能にするために必要で、距離要件を満たしつつ低

コストのチップスケールシステムを実現するために不可欠である。干渉除去は、他のライダーや直射日光が存在する環境で安定した動作を維持するために必要である。直射日光は、直接検出システム用の光学フィルタに対して面倒な問題となる場合が多い。

AVに対するもう1つのメリットが、ドップラー効果に対するコヒーレントライダーの感度である。センサと物体の間の任意の動きが、反射信号にドップ

ラー効果を引き起こす。これを利用して、各距離測定と同時に速度測定を行うことができる(図1)。追加の速度データは、コヒーレントライダーのデータの差別化要素であり、移動物体の切り分け、追跡、識別という、これまではレーダーシステムでしか実行できなかった処理が、直接実行できるようになる。

悪天候下における性能

上述のメリットは、コヒーレントラ



図3 この蒸気はライダーに反射光を返す可能性が高い。蒸気の中での走行が安全かどうかを自動車は判断できるだろうか。

イダの降水時性能に不可欠な要素である。ダイナミックレンジが高ければ、光学窓の外側に水滴が付着した場合でも、センサの動作の信頼性が維持される。感度が高ければ、検出距離に余裕が生まれる。検出距離が豪雨によって影響を受けるのはしかたがないが、その影響が抑えられ、車速を落とせばある程度の検出距離が維持できるようになる。最後に、降雨または降雪環境からの反射は、点群データセットにポリュメトリックノイズを生成することがよくある(図2)。速度データがあれば、降水の区別と除去が容易になる。図2(b)には、このメリットが示されている。シアトルやボストンのように降雨量の多い地域では、このメリットが、研究プロジェクトにとどまるか、実行可能なビジネスプランになるかを分ける可能性がある。

寒さも、見落とされがちだが環境的課題の1つであり、世界のほとんどの地域に存在する気候状態である。温度が低いと、湿気を帯びた自動車の排気ガスや下水の蒸気が、もやのように目に見える状態になる。蒸気は、AVにとって特に対処が難しい物体である(図3)。一般的に硬いエッジや持続的な形状を抛り所とするコンピュータビジョンアルゴリズムは、一定の形を持たず、常に形状を変化させる蒸気の治療に苦戦する。また、蒸気は通常、地表付近で発生するので、小動物や子供と混同される可能性がある。

蒸気は、硬い物質に属さない数少ない物質の1つだが、ライダは一般的に、蒸気からの反射を捉えることができる。AVの基本的な目標が、硬い物質との衝突回避であると仮定すると、この状況を理解することが不可欠であることは明らかである。コヒーレントライダの速度データは、蒸気を認識して、

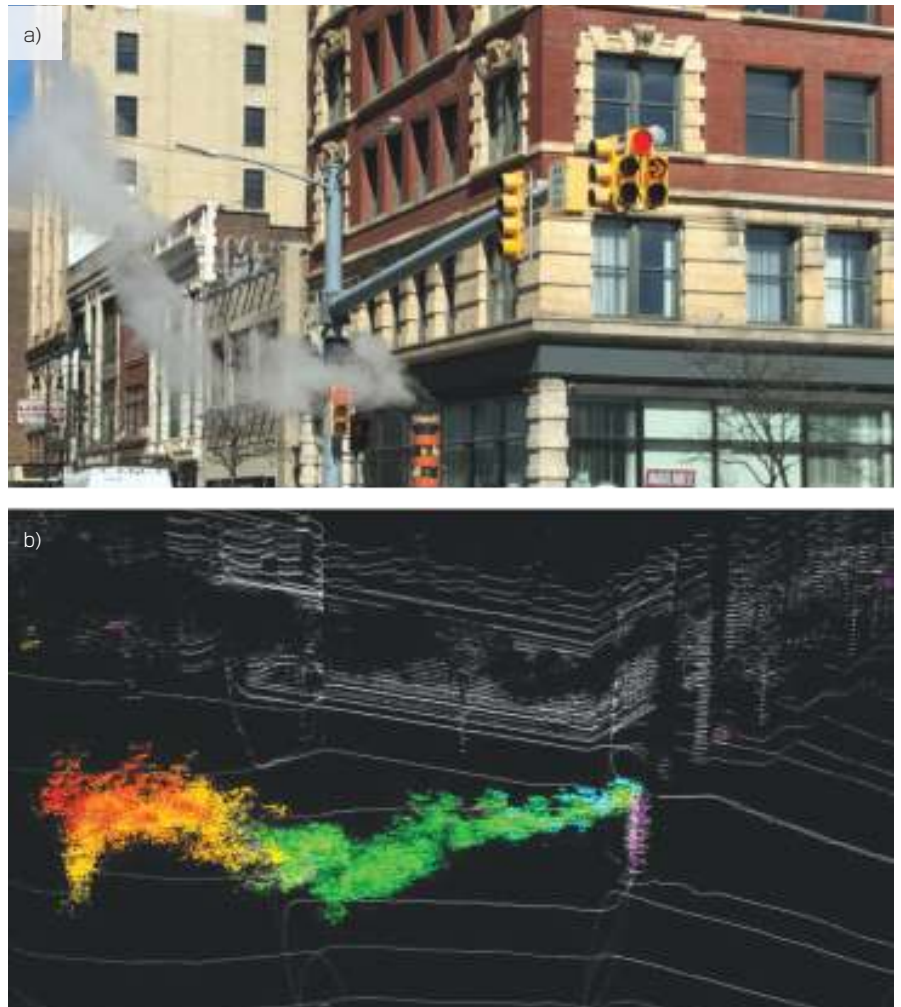


図4 デトロイトのダウンタウン地区にある下水通気口の上の煙突の写真(a)と、同じ場所を捉えたブラックモア社ライダの速度色付け画像(b)。蒸気の動きがはっきりと捉えられている。

より大きな確信の下に走行するための追加情報を、AVに提供する(図4)。

AVが主流へと移行するにつれて、それを成功させるには、あらゆるメリットを活用することが必要になる。それには、温暖で乾燥した環境で主に開発された技術を、より広い環境条件に適応させることが含まれる。それによ

って、AVライドシェアのビジネスモデルを展開する企業は、さらに多くの地域に参入できるようになる。AV開発者が、雨、雪、あるいは単なる寒い朝などの環境における知覚を高めるための、さらなるツールを欲していたちようど良いタイミングで、コヒーレントライダが現れたといえよう。

参考文献

- (1) S. Crouch and Z. W. Barber, Opt. Express (201); <http://bit.ly/LidarRef1>.
- (2) R. G. Frehlich and M. J. Kavaya, Appl. Opt. (1991); <http://bit.ly/LidarRef2>.

著者紹介

ステファン・クラウチ(Stephen Crouch)は、米ブラックモア・センサーズ・アンド・アナリティクス社(Blackmore Sensors and Analytic)の最高技術責任者。
e-mail: crouch@blackmoreinc.com URL: <https://blackmoreinc.com>