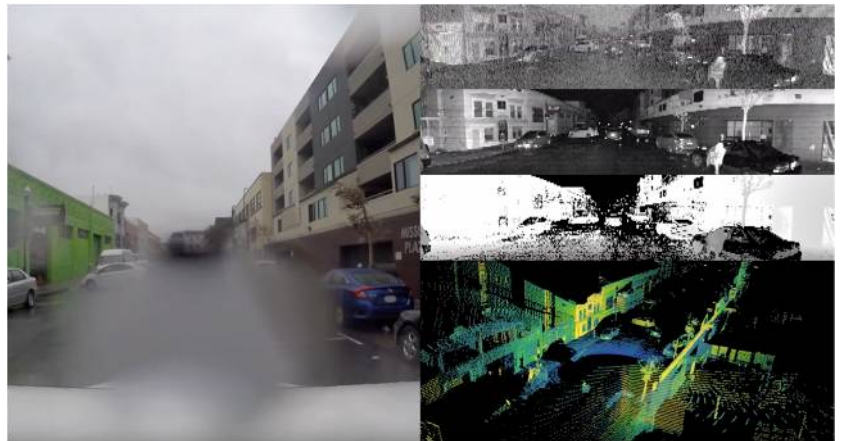


2020 年 2 月 5 日

ライダー vs カメラ：雨天 時の運転

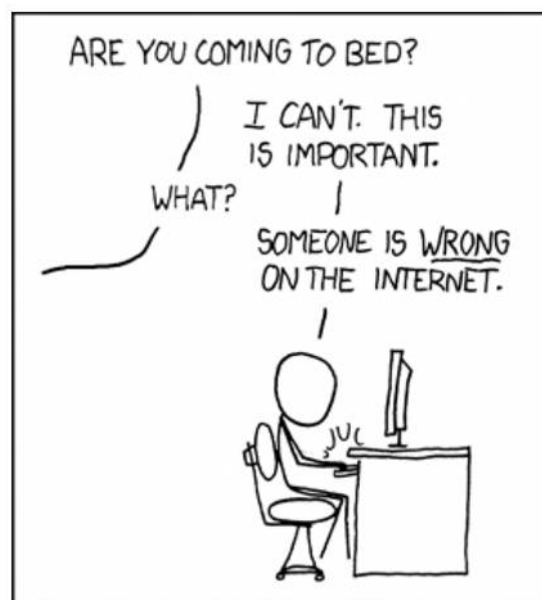
Raffi Mardirosian



過去 12 か月間にわたって、雨の中で如何にライダーが機能しないかに関して多くの議論を見てきました。大部分は、以下のこれらのコメントのように、データの無い推測です。



以下は、これらのツイートを読んでいる私たちです。



Source: <https://xkcd.com/386/>

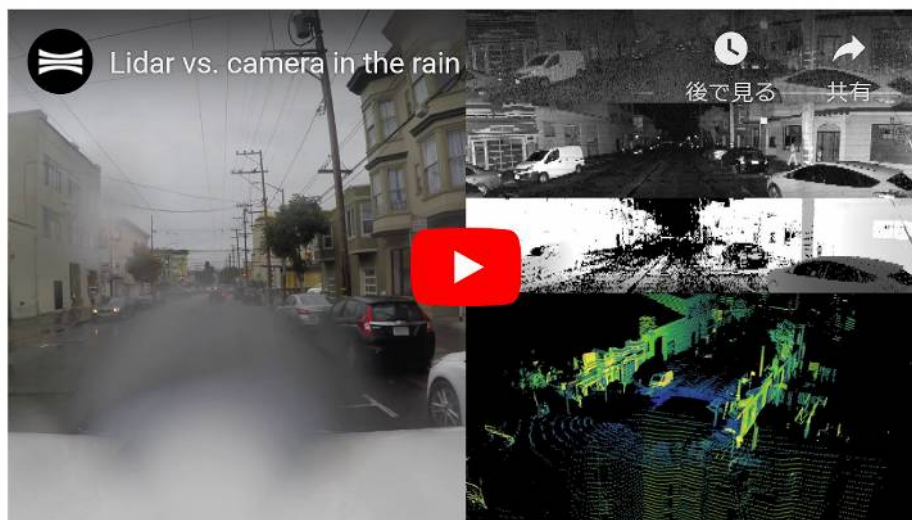
我々は自律走行車両に深く携わってきたので、自律走行スタック（塔）において、ライダーセンサーとカメラの両方が重要な役割を果たすことを知っています。カメラは高解像度を提供し、ライダーセンサーは深さ情報をもたらします。とはいえ、2つのセンサーの内の1つに性能の劣化が起こり得るような、例えば雨のような状況においては、他方のセンサーが知覚システムの代役を務められる必要があります。

そのため、これらのツイッターのコメントに戻ってみましょう。彼らは問題を提起しています。：雨天のライダーの性能について今まで誰か解説しましたか？実際、雨の中をドライブするライダーデータを見たことがありますか？我々のグーグル検索では、答えは、ほとんど例外なく No です。だから、我々の主張を通す最良の方法は、実際に雨の中をドライブすることと考えました。

先月サンフランシスコで、雨に遭遇した時、カメラとライダーセンサーを対照比較したドライブを記録し、雨がライダーデータに最小限の影響しか与えないこと、そして、雨天のときは、両方のセンサーが知覚システムをより安全に稼働する場面のうちの1つに過ぎないことを証明しました。

我々の証明のため、4K ビデオを記録する GoPro と [OS1 ライダーセンサー](#) を車両の上部に設置して、ほどほどに降り続く雨の中、ドライブに出かけました。

ドライブのビデオをご覧ください。：



そして、もし、生データをご自分で精査したければ、こちらに [2 分のドライブの.bag ファイル](#) があります（クリック前の注意：10GB のファイルです）。

こちらには、データを我々の[可視化ソフト \(visualizer\)](#) で閲覧するための[サンプル設定ファイル](#)もあります。

雨はライダーセンサーよりもカメラに対してより影響を及ぼす

ビデオの中の最初のビューにおいて、右上の3つの画像は、ライダーセンサー（カメラは含まれません）により出力された構造化データのパノラマ画像になります。一番上の画像は、ライダーセンサーにより撮られた周辺光（日光）を表示します。2番目の画像は、強度信号（反射強度、反射してセンサーに戻ってくるレーザー光の強さ）を表示し、3番目の画像は、センサーにより計算された対象物までの距離（レンジ）の画像を表示します。

例えば水滴がライダーセンサー窓についたとしても、水分が強度信号やレンジ画像を遮って曖昧にしていないことが理解いただけているでしょう。周辺光の画像は、雲が出てきて日光量を減らしてしまったため、少し画質が粗いですが、それでも、雨の影響を受けてないことは分かります。



Here's what the lidar sensor looked like at the end of the drive. You can see the water droplets on the sensor window, but they had little to no effect on the sensor data due to the sensor's large aperture.

ドライブ終了直後のライダーの様子です。水滴がセンサー窓に着いていますが、センサーの大口径アパーチャーのためセンサーデータにはわずかな影響、あるいはほとんど影響しません。

大口径光学アパーチャー

OS1 では、窓についた遮蔽物（この場合は水滴）を透過して見通すという独自の機能を与えるものの1つに、センサーの大口径光学アパーチャー（開口部）があり、[デジタルライダーテクノロジー](#)によって実現されます。[以前の投稿](#)で述べたように、大口径アパーチャーであることにより、光線はセンサー窓に付着した遮蔽物の周りを通過することが出来ます。

結果として、水分によりセンサーのレンジはわずかに低減されますが、水分が画像を歪ませるということは全くありません。

大口径アパーチャーを採用することで、センサーが周囲の空気中に雨が降るのを検出することも可能となります。実際には、センサーにより降る雨を、連続した雨の場合を除き、捕捉することは出来ません。これは、ビデオの後半において最も明瞭に見ることが出来ます。

一方、カメラは、雨滴よりもずっと小さいサイズのアパーチャーを持っています。結果として、1 滴の水分が、重要な情報を含み得る視野の大きな部分を遮蔽する可能性があります。この歪みの問題と戦うため、自動車メーカーは[クリーニングという解決策](#)により、カメラレンズ上に水滴や埃が溜まることを解決しています。

露光時間の短縮（シャッター速度の高速化）

露光時間は雨天で、ライダーセンサーとカメラのパフォーマンスに影響を及ぼす、もう 1 つの重要な差別化因子になります。人間の目とカメラは両方とも、1000 分の 1 秒のオーダーで測定される長い露光時間を必要とし、そのため、流れ落ちる水滴は画像上で大きな筋のように見え、雨は実際よりも濃く見えます。ライダーセンサーは、100 万分の 1 のオーダーの超高速露光のため、雨は計測中に、実質的にその場所に止まってしまっており、複数のピクセルに亘って筋のように検出される可能性は低くなります。



Fast shutter speed



Slow shutter speed

画像著作権：Beck Impressions

デジタルリターンプロセス

最後に、我々のデジタルライダーセンサーが（レーザーパルス）のリターンを処理する基本原理においては、雨のような遮蔽物を特定の範囲において見通せるという特長があります。

我々のセンサーは、“レンジゲート型画像装置”です。カメラのようにピクセルの方向から返って来る全ての光を積算するのではなく、我々のセンサーは、フォトン（光子）を一連の“レンジゲート”（言い換えれば、我々はフォトンの時系列を作ります）群に積算します。

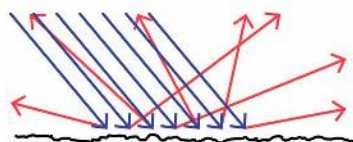
その時系列から、センサーの各ピクセルの最も強い信号のリターンのみを選択します。これにより、雨滴や濡れたセンサー窓の反射のようなレンジ外で発生する信号さえ除去することが出来ます。

それに反して、カメラは空気中の雨とその背後にある堅固なオブジェクトを区別する能力がありません。全ての光は各ピクセルに対して1つの値に積算され、マルチ信号リターンという概念はありません。OS1 は、雨滴からの信号リターンを無視し、例えばビルディングからのより強度の高い信号を選び出します。カメラでは、雨滴からの信号を無視する代わりに、雨滴の背後のビルディングからの信号に雨滴の信号を足し合わせて、1つの積算した信号リターンとします。これらの足し合わされたリターンが歪みとして現れます。

アパーチャーサイズとシャッター速度に起因して、ライダーセンサーは、カメラに較べて極めて小さな画像の歪みしか生じさせません。そうは言うものの、ライダーセンサーも完全に影響を受けない訳ではありません。—— 濡れたコンディションでは、濡れた路面の反射光が、カメラとライダーセンサーの両方に対して難題を突き付けます。

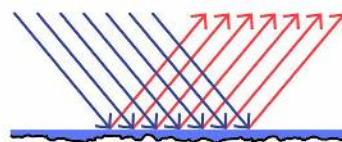
水は路面を反射面に変える

濡れた路面では、水は反射鏡の鏡面のようなサーフェスに変えてしまい、乾いたコンディションとは極めて異なるパターンで光を反射します。この反射は、両方のセンサーに対して難問を突き付けます。カメラに対しては、紛らわしい乱反射を生じ、ライダーセンサーに対しては、そのレンジを低減してしまいます。乾いた路面では、路面の粗いアスファルト舗装が光を拡散し、送ったレーザー光が全方向に反射されます。しかし、濡れた路面では、水は路面を完璧なまでに鏡面反射面に変えてしまい、鏡が光の一部を鏡のように反射してしまいます。



DRY ROADS DIFFUSE INCIDENT LIGHT

乾いた路面は入射光を散乱する



WET ROADS HAVE WATER FILLING CREVICES, RESULTING IN SPECULAR REFLECTION AND A GLARE

濡れた路面は水分の満たされた間隙があり、鏡面反射とグレアを発生させる。

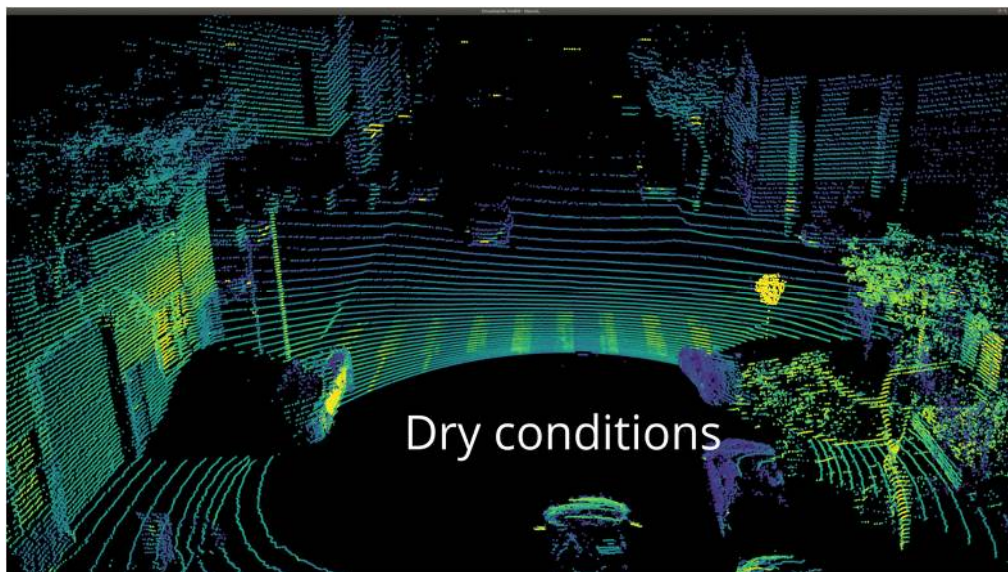
カメラにとっては、路面に現れる反射が問題となり、紛らわしいオブジェクトの鏡像を作り出します。下の画像では、車のヘッドライトが路面に反射しているのが見て取れるでしょう。オブジェクト認識ソフトウェア付きのカメラにとっては、これは、潜在的にシステムを混乱させます。システムは、第二の車が現れたかもしれない、あるいは、車が実際よりも接近しているかもしれないと考える可能性があります。

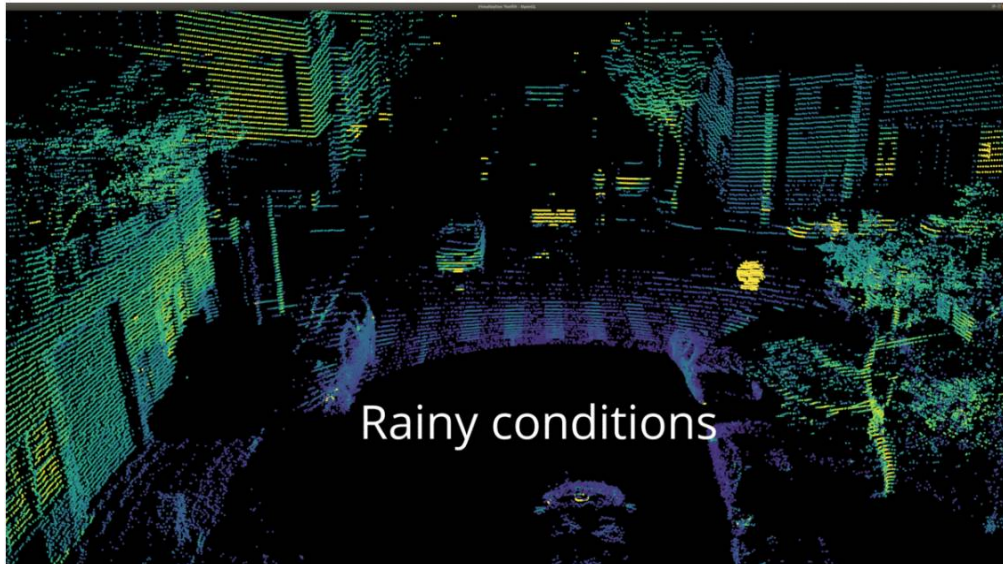


雨天時の車のヘッドライト反射

ライダーセンサーにとって不利な影響は、センサーのレンジが路面によって低減されるということです。ライダーセンサーにより発射されたレーザー光の一部が路面の水分により反射され、センサーから離れて行ってしまいます。これは、センサーが長いレンジでは路面を見づらくなるということを意味します。そうは言うものの、センサーのレンジは、他の全てのオブジェクトには影響を受けません（車、ビルディング、樹木など）。

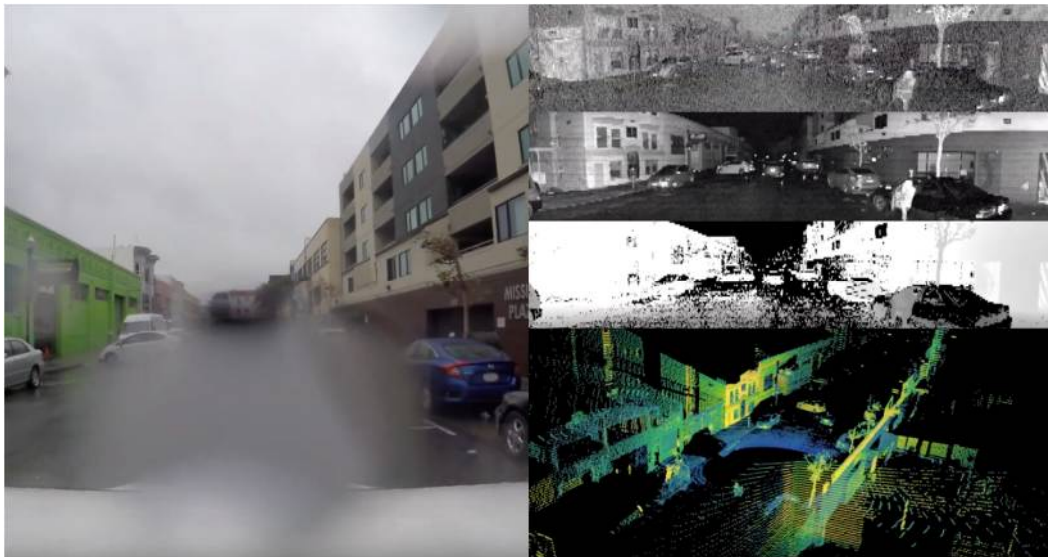
この効果は、以下の gif ファイルで確認することが出来ます。この gif ファイルでは、雨の日と乾燥した日のコンディションを比較したものです。雨でもビルディングの視界はほとんど変化がありませんが、路面のレンジは、雨天時は、道路の鏡面反射のため減少しています。





すべてのライダーが同一に作られる訳ではない

雨天での Ouster センサーの強力な性能は必ずしも、全てのライダーセンサーと同じ、ということではありません。弊社のセンサーは、商業的な展開に伴う乱用や予期せぬ条件 —— 嵐の風雨を抜けて、水中に漬かり、[自動車洗浄](#)、パワーウォッシャー、[自動車規格の衝撃、振動](#)を受けて、 —— にも耐久するように設計されています。



ここでは、カメラとライダーのデータを比較対象で載せています。
右上からライダーセンサーの環境光（日光）、ライダー強度、レンジ画像

市販のライダーテクノロジーの中では、既存のアナログスピンライダーセンサーや MEMS ライダーセンサーは、小口径アパーチャーのため、雨に対して、もっと強く対応する傾向に

あります。ここで実証したカメラのように従来のセンサーでは、小さな雨滴でも、そのアウトプットが歪んでしまうことになります。さらに、従来のアナログライダーやMEMSユニットで、IP67以上に格付けされるものはありませんし（弊社のセンサーは、全てIP68からIP69K標準に格付けされています）、また、自動車部品衝撃振動試験規格をクリアするものもありません。起伏の激しい道や濡れた道路状態では未達となってしまうがちです。

多様性がカギ

今回の雨の実証では、異なる環境条件がセンサーのパフォーマンスに対して、いかに不均等な影響を与えるかに焦点を当ててきました。カメラをバッシングしたり、いかなる意味でも不要だと暗示したりするものではありません。カメラは、ライダーやレーダーによるデータと組み合わせて、極めて重要なデータを提供し、自律走行車両の知覚スタック（搭）を強化します。

しかし、雨天時、カメラの性能がライダーの性能よりも劣化してしまいます。このような状況では、多様なセンサーを装備しておくことが、知覚性能の誤差の影響を低減につながります。センサーの多様性は、自律走行車両を安全にし、遍在化（ユビキタス）していくうえで必用不可欠です。

今後、弊社センサーの過酷な条件下の映像動画にご注目ください。