

原題	Simulation of motion induced measurement error for wind measurements using LIDAR on floating platform		
邦題	浮体設置LIDARの、動揺に起因する風速観測誤差のシミュレーション	国籍	独
発表者	Gerrit Wolken-Möhlmann*, Hristo Lilov, Bernhard Lange, Fraunhofer IWES		
キーワード	LIDAR, floating platform		

概要

6 自由度の動揺がある場合の LiDAR 観測の誤差と信頼度をシミュレーションする。次の影響が考えられる。

- ・ プラットフォームの動揺速度によるドップラー効果への影響
- ・ 観測位置の移動
- ・ LIDAR のチルトによる風速ベクトルのレーザービームへの投影

波間に浮かぶブイの動揺計測と独北海 FINO1 洋上プラットフォームからの超音波風速データを使い、観測と影響をシミュレーションする。CW 式とパルス式 LIDAR を比較する。LIDAR データを、浮体位置情報を用いて補正する方法を試してみる。

1. Introduction

LIDAR ではレーザー視線(LoS)方向の風速ベクトルを計測する。空間と時間の中の平均的な計測となる。目的の風速ベクトルは、異なる空間と異なる時間の少なくとも 3 点の LoS を使用する。この平均化プロセスから出てくる結果は、カップ風速計とか超音波風速計とは当然異なる。

LIDAR での観測原理と複雑な動揺の影響をシミュレーションする上で、実測のデータを、CW とパルスという LIDAR 方式に分けて当てはめる必要がある。最初にそれぞれの LIDAR 方式を各種誤差原因についてチルト角の動きも含めて影響を調べ、次に 10 分平均値への誤差を位置および回転の動きの影響を調べる。

2. 動揺が計測に与える影響

LIDAR の動揺による誤差の発生要因。Figure1 の分類とは関係ない。

1. 装置の動揺速度による LoS 速度の誤差
2. 装置のチルトによる LoS 速度と、それに起因する風速のビームベクトルへの投影の変化の誤差
3. 装置の高さとチルトによる観測点の変化の誤差
4. 空間平均プロセスにおける、これらの複合誤差

Figure1

- 1) 固定観測
- 2) 縦方向の位置変化
- 3) チルト変化による回転系
- 4) 観測高度の変化

3. LIDAR

パルス 4 秒間に 4 方向に発射 1 回に 10 高度観測

CW 1 秒間に 50 点に発射×3 周 1 高度観測(cw1H)と順次 6 高度(cw6H)に分類

いずれの方式も LoS 速度を観測するが、それぞれ異なる方法で風速を割り出す。計算方法の違いを排除するため、シミュレーションでは風速算出に一つの行列式を使う。3 以上の不静定連立線型方程式となるため、最適解を最小自乗法から得る。

第 1 の補正方法として装置の動揺を LoS 方向の速度に置き換え、風速から投影される LoS に加える。チルトの影響は行列式のビームベクトルを使って考慮できる。ここで極端な気象条件およびチルトによる観測高度変化への補正は使わない。

4. 入力データ

FINO1 の 2008 年 4 月の 3 日間の風速と波浪データを使用 Figure2。

超音波水平風速 40m,60m,80m 中間は内挿、範囲外は対数法則 10Hz→100Hz にリサンプリング

3 次元ブイ位置 チルト角は側方変位-チルト角線形近似で算出 1.3Hz→100Hz にリサンプリング

波浪条件を2つのチルトモードでシミュレーション

最初の観測1時間(x軸) ~5° 5°~10° 上位10%

-10°/m(case1) 75.4% 21.5% 7.2°

-20°/m(case2) 44.9% 30.5% 14.4°

5. シミュレーション

すべての動揺を考慮して、入力からの時系列分解能10msでシミュレーション。

1. 10msごとのLoS方向のベクトルを計算する。チルト角を入れるとLoSベクトルは回転する。
2. その後チルトありなしの場合の観測点位置を割り出し、10msごとの実測風速から、それぞれの風速ベクトルを算出する。風速ベクトルとチルトあるなしのLoSベクトルから、LoS方向の風速を得る。動揺の速度ベクトルとLoSベクトルから、動揺からの影響を計算する。
3. さまざまなLoS速度(静止・位置動揺・回転動揺・回転と位置動揺)から、各動揺分類とチルトについて風速を計算。

6. 時系列比較

Figure3は最初の20分間のLIDARと波浪条件別の時系列シミュレーション。

一方向のサンプル数が多いパルス式は動揺の影響が大きく、CW式は多方向照射が多いため平均化プロセスの効果が出ている。

位置と回転動揺の影響を平均二乗誤差RMSEを指標に調べる。Table1は80m観測高度におけるRSME比較。比較の対象は固定観測値。

Figure3. 回転の影響が大きい。パルス式に影響が強く出ているのは、スキャン方向の量が少ないため、波の動きに対してローパスフィルターの作用が出ている。

Table1. パルス式はやはり位置動揺よりチルトの影響大。

風速値を補正した場合はいずれも改善が見られる。特にパルス型では1ビームの補正だけではなく、0.5秒の精度で効いてくるためである。

Table1

Fixed	静止状態
Trans	位置動揺
Rot	回転とチルト
Moved	位置と回転動揺
Corr	位置・回転補正風速

7. 10分平均値における動揺の検証

Table2. 一日平均の風速。過大・過小誤差が平滑化され、差がはっきりしない。

Table3. 80m観測高度における10分間平均値の各波浪条件でのRMSE。1高度固定のCW式がベスト。スキャン高度が増えると誤差も増える。

波高が高いcase2の誤差が顕著に出る。いずれの分類でも補正がよく効いている。

8. 結論と今後

パルスとCW方式で差が出ること、動揺の性質により影響が異なることが解明されたが、チルト角の影響が顕著。

有効な補正は装置のチルト変化、すなわちレーザービームの方向に対する補正の効果が大きい。

今後の研究としては平均化時間の延長、ブイや船など、異なる動揺形態を想定した、チルト角の影響の評価。

加えて、装置に動揺のセンサーをつけた場合の評価や、チルト角による観測高度の変化も考慮したい。

9. シミュレーションの制限事項

シミュレーションは動揺を1点の動きとして扱った。固定観測点は3高度に過ぎず、鉛直風速は観測していない。波の動きも実際は複雑。CW式特有の雲補正など観測技術も考慮に入れる必要がある。

以上