

高出力 2 μ m ドップラーライダーの性能評価

岩井 宏徳¹, 青木 誠¹

¹情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Performance evaluation for high-power 2- μ m Doppler lidar

Hironori IWAI¹, and Makoto AOKI¹

¹National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukuikita, Koganei, Tokyo 184-8795

Abstract: A coherent 2- μ m differential absorption lidar (DIAL) with a Tm: fiber-laser-pumped Ho:YLF laser is currently under development to measure water vapor (H₂O) and Doppler velocity. The performance of the Doppler velocity estimates from the DIAL is described and analyzed using a Monte Carlo simulation for surface-layer measurements with accumulation time of 1 sec and range resolution of 100 m.

Key Words: 2- μ m differential absorption lidar, Doppler velocity estimates

1. はじめに

情報通信研究機構では、より長距離かつ高精度な水蒸気計測実現のために、ツリウムファイバーレーザー励起の Ho:YLF レーザを用いた波長 2 μ m 帯の水蒸気差分吸収ライダー (DIAL) を開発中である。この水蒸気 DIAL はコヒーレント方式であり、高精度にドップラー速度を計測できるドップラーライダーとしても使用可能である。本稿では 2 μ m ドップラーライダーの積分時間 1 秒、レンジ分解能 100m でのドップラー速度推定性能をモンテカルロシミュレーションにより評価した結果を報告する。

2. 性能評価方法

2 μ m ドップラーライダーの主要パラメータを表 1 に示す。水蒸気非吸収波長 (2051.103nm) でのドップラー速度観測を想定したシミュレーションを行った。パルス出力およびパルス幅は室内レーザー実験で得られた結果から想定される数値を用いた。まず、コヒーレントドップラーライダーのライダー方程式から wideband SNR (以下 SNR) の距離依存性を計算した²⁾。そして、モンテカルロシミュレーションによる乱流を考慮したドップラー速度推定の性能評価を行った³⁾。ある値の SNR について、1 パルス、1 レンジゲート (100m 分解能) 毎に受信信号を計算し、FFT により得られるピリオドグラムを 600 回インコヒーレント積分 (時間分解能 1 秒) した。得られたピリオドグラムから最尤推定法によりドップラー速度を推定した⁴⁾。10,000 回のドップラー速度推定を行い、推定値の確率密度分布から正推定の標準偏差 (Standard deviation of good estimates) と誤推定率 (Fraction of bad estimates) を求めた。

Table 1. 2- μ m Doppler lidar specifications.

Parameter	Value
Wavelength	2051.103 nm
Pulse energy	23.1 mJ
Pulse duration	150 ns
PRF	600 Hz
IF frequency	55 MHz
Sampling rate	160 MHz
Bandwidth	40 MHz
Range resolution	100 m

3. 性能評価結果

本稿では、夏季における地表面付近での水平観測を想定したドップラー速度測定のパフォーマンスを示す。気温、気圧、水蒸気量、および各種分子の値は Tropical atmospheric model⁵⁾の高度 0 km での値を用いた。ただし、CO₂濃度は現状に合わせて 410 ppm とした。エアロゾルの消散係数と後方散乱係数、および乱流構造乗数はそれぞれ $\alpha=0.055 \text{ km}^{-1}$, $\beta=6.1 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$, $C_n^2=1.7 \times 10^{-14} / 8.4 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$ (SLC daytime and nighttime model⁶⁾)の値を用いた。

図 1 に積分時間 1 秒、レンジ分解能 100m での SNR の距離依存性を示す。ドップラーライダー近傍では

SNRは約14 dBであり、日中は水平距離約17 km、夜間は約20 kmで-30 dBまで減少する。屈折率変動に起因して発生する乱流の影響が強くなるほどSNRが減少することを示している。

図2に最尤推定法により推定されたドップラー速度の正推定の標準偏差と誤推定率のSNR依存性を示す。SNRが-25dB以下では、乱流（エネルギー散逸率 $\epsilon=0.014 / 0.032 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ ）の強さに依存せず、誤推定率はほぼ0である。しかし、乱流が強くなるほど正推定の標準偏差が大きくなり、ドップラー速度推定精度が悪化することを示している。誤推定率0.1以下となるSNRの範囲を有意なドップラー速度推定範囲とすると、SNRの下限は-28~-32 dBであり、図1から最大観測距離は約16~21 kmである。

4. まとめ

モンテカルロシミュレーションにより、開発中の $2\mu\text{m}$ ドップラーライダーの想定されるドップラー速度推定性能を示した。積分時間1秒、レンジ分解能100mで地表面付近での観測を実施した場合、最大観測距離は約16~21 kmと見積もられる。現在、実際の大气中でドップラー速度計測を行うシステムを構築中であり、講演では観測結果との比較を示す予定である。

参考文献

- 1) Mizutani, K., et al., 2018, Opt. Lett., **43**, 202-205.
- 2) Frehlich, R. and Kavaya, M., 1991, Appl. Opt., **30**, 5325-5352.
- 3) Frehlich, R., 1997, J. Atmos. Ocean. Technol., **14**, 54-75.
- 4) Iwai, H., et al., 2013, J. Atmos. Ocean. Technol., **30**, 429-449.
- 5) Anderson, G., et al., 1986, AFGL-TR-86-0110, 954.
- 6) Good, R. E., et al., 1988, Proc. SPIE, **0928**, 165-186.

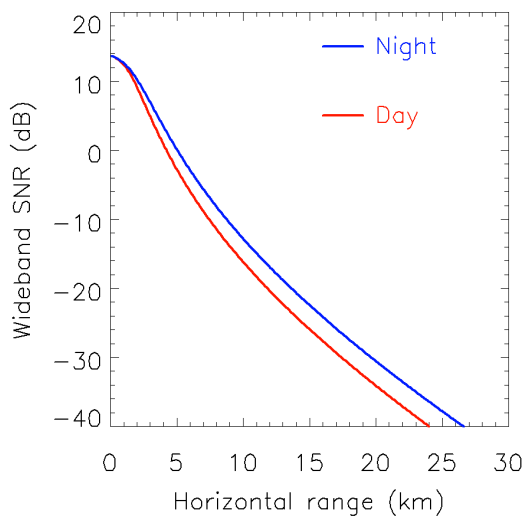


Fig. 1. Wideband SNR as a function of horizontal range using a range resolution of 100 m for SLC daytime (red) and nighttime (blue) refractive index structure model.

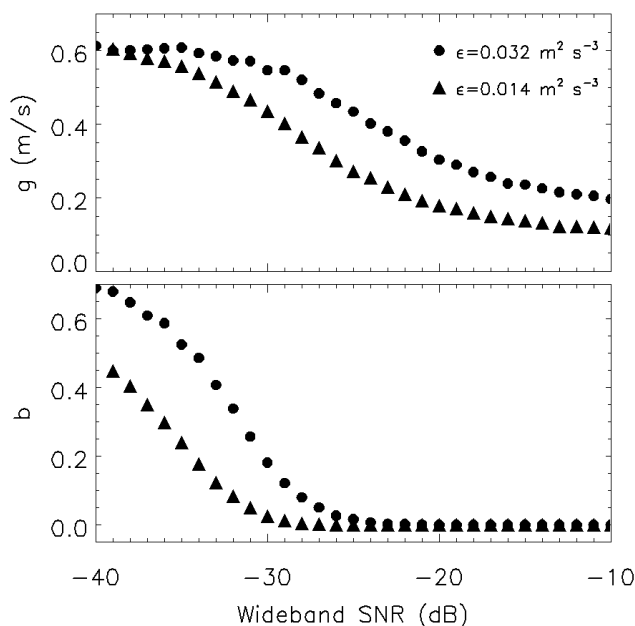


Fig. 2. The standard deviation g of the good estimates for Doppler velocity and the fraction b of bad estimates as a function of wideband SNR with accumulation time of 1 sec and range resolution of 100 m.