

長時間変調パルスレーザを用いた風観測ライダの研究開発

山菅 大¹, 吉川 栄一^{1,2}, 牛尾 知雄¹, 石井 昌憲³, 青木 誠³, 橋本 和樹²

¹首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

²宇宙航空研究開発機構 (〒181-0015 東京都三鷹市大沢 6-13-1)

³情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Experimental Verification of Doppler Wind Lidar with Long-Duration Modulated Pulse

Hiroshi YAMASUGE¹, Eiichi YOSHIKAWA^{1,2}, Tomoo USHIO¹, Shoken ISHII³, Makoto AOKI³, and Kazuki HASHIMOTO²

¹ Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

² Japan Aerospace eXploration Agency, 6-13-1 Oosawa, Mitaka, Tokyo 181-0015

³ National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukuikitamachi, Koganei, Tokyo 181-0015

Abstract: A new wind lidar which transmits a laser pulse with long duration and frequency modulation is proposed. Received signals are processed by a multi reference matched filter which performs matched filter between the received signal and several reference signals in parallel. In our previous study, performance of the proposed wind lidar is analytically evaluated as the accuracies of wind ranging and velocimetry improve in proportion to square root of pulse duration. In this research, we investigated accuracies of modulated pulse shaping that is one of issues to realize the proposed wind lidar. We developed an experimental system which directly returns generated laser pulses to its receiver. The returned waveform is distorted compared to its ideal waveform. However the result of matched filter processing showed sufficient performances that the mainlobe width was almost maintained, and peak power was reduced very little by -0.3 dB as compared with the ideal waveform.

Key Words: Coherent LIDAR

1. はじめに

近年風観測ライダの技術の進歩及び低価格化によって大きく需要が伸びている。様々な実用目的でライダが利用されるにあたり、より高出力高分解能を有するライダが求められている。これまでは光源や光増幅器の高性能化により、レーザーのピークパワーを大きくすることによって、高出力化が図られてきた。

高出力・高分解能を有する風観測ライダへの新しいアプローチとして、低ピーク電力・長時間変調パルスを用いたライダ方式が提案されている。長時間パルスを送信し、変復調により高出力高分解能を実現する方式は、レーダーでは多く用いられてきた方式である。しかし、ライダにおいてはレーザーの高い周波数のためにドップラーシフトが大きいことが問題となる。受信信号の周波数がドップラーシフトにより大きく変動するために、参照信号との相関が小さくなり Matched Filter¹によるパルス圧縮ができない。そこで想定される相対速度に対応した周波数シフトを施した参照信号を多数用意し、そのそれぞれで matched filter 処理を行う。Matched Filter 処理の結果は受信信号の距離-速度プロファイルを導出する。これまでに理想

的な条件を仮定した解析的な性能評価が行われており、パルス長の平方根に比例して出力が距離分解能を維持したまま増大することが分かっている²。

これまでの検討で提案する風観測ライダの実証にあたっていくつかの課題が想定されている。課題の一つとしてパルス成形精度の問題がある。提案する風観測ライダ方式においては、チャープ方式のような周波数変調は、その特徴的な Ambiguity Function によって、大きな速度誤差をもたらす。そのためランダムな位相変調である 8psk ランダム変調を用いる。位相変調では、位相偏移点において波形が不連続な変化をするが、不連続な波形は、光学機器の応答時間のために正確には再現することができない。本研究では実験により波形の成形精度を確認し、実験で得られた波形が信号処理においてどのような影響を及ぼすのか検証した。

2. 実験装置

パルス成型時の波形成形精度を検証するために生成信号の折り返し信号を検出する実験系を作成した。Fig.1 に作成した実験系の optical setup

を示す.実験系では波長 1550nm の光源を使用する.光源から出たレーザーはカプラーで2つに分岐され,一方は AOM に入力され,もう一方はヘテロダイン検出に用いられる.AOM には AWG によって生成された変調信号が入力されており,AOM を通過する光は位相変調が施される.通常の観測を行う場合ならば変調波を空間に放出し,エアロゾルからの散乱波を得るが,本実験では空間に放出せずに折り返している.この折り返し信号をヘテロダイン検出によって取得する.

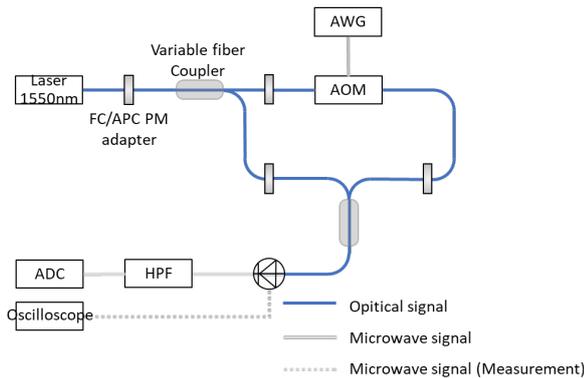


Fig.1 Experimental Setup

3. 結果

Fig.2 に示す折り返し信号の波形を見ると,位相偏移の周辺で理想波形からの変化が生じている.実験波形で位相偏移に要する時間は 0.12 usec であり,AOM のスペックでは立ち上がり時間は 0.1 usec であるので,波形変化は主に AOM の立ち上がり時間のためであることが分かる.

Fig.3 に示す理想波形と実験波形のスペクトルを比較すると,実験波形でサイドローブが低くなっている.ここでもう一度実験波形を見ると位相偏移点での波形の変形により位相偏移毎に窓関数をかけたかのような形になっており,このためにサイドローブが低くなったと考えられる.

Fig.4 に理想波形と実験波形を用いて信号処理をした距離-速度プロファイルを示す.実験波形を用いた信号処理の結果,理想波形と同様に粒子を検出できた.信号処理の結果を理想波形と比較して,メインローブ幅はほぼ変わりなく,ピーク値は -0.3dB 程度の変化であった.

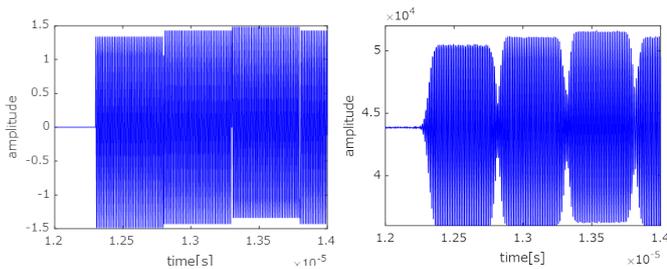


Fig.2 Ideal waveform (left) and experimental waveform (right)

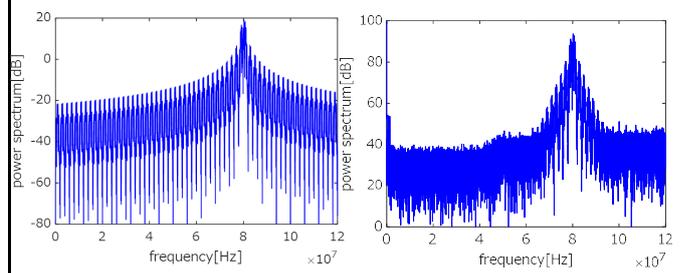


Fig.3 Spectrum of ideal waveform (left) and experimental waveform (right)

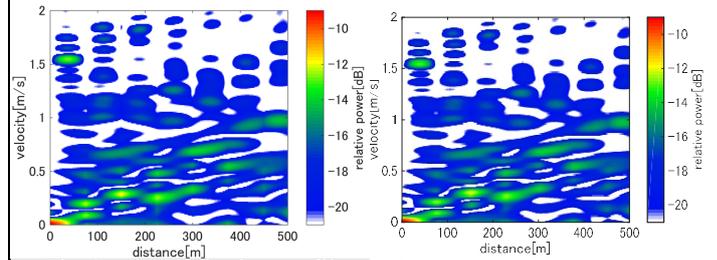


Fig.4 range-velocity profile of ideal waveform (left) and experimental waveform (right)

4. まとめと今後の課題

本研究では,提案する新しい信号処理手法を用いたライダーで検証すべき課題の一つである波形の成形精度について実験的に検証した.提案手法では位相変調を用いるため変調波の波形に不連続点が存在し,不連続な波形は機械的に正確に波形を生成することができないという課題があった.波形の成形精度を検証するため,変調信号を折り返し検出する実験系を作成した.実験の結果,折り返し信号では不連続点において理想波形と比べて波形の変化が確認された.しかし,信号処理の結果,理想波形と比べてメインローブ幅はほぼ変化せず,ピークパワーは -0.3dB とパワー低減が非常に小さいことが分かった.以上から波形の成形精度の影響は実用上問題とならないレベルである.

今後はレーザーを空間に放出し散乱波を観測する実験を行い,提案するライダーシステムの実証を進めていく.

参考文献

- 1) Merrill I Skolnik: Radar Handbook Third Edition, Chapter 8: Pulse compression radar, McGraw-Hill Education, 2008
- 2) Eiichi Yoshikawa, Tomoo Ushio: Wind ranging and velocimetry with low peak power and long-duration modulated laser, Optics Express, Vol 25, No.8, 2017