

コヒーレントレーザレーダ

Coherent Laser Radar

若林 諭

田治米 徹

竹居 敏夫

Satoshi Wakabayashi

Toru Tajime

Toshio Takei

三菱電機株式会社

Mitsubishi Electric Corporation

1. まえがき

CO₂レーザとヘテロダイン検波受信器を組合わせたコヒーレントレーザレーダは遠方の移動物体の速度検出が可能という特長を有する。ここでは現在開発を進めている走査形コヒーレントレーザレーダについて報告する。試作装置の特長は、スポットビームで視野を走査し移動物体の画像及び速度情報が得られることで、以下において装置の概要と設計指針について述べる。

2. 試作装置の構成

試作装置の構成を図1に示す。局発光は送信用CW-CO₂レーザの出力を分割して得ており、物体からの反射光を局発光と重ねHgCdTe検出器でヘテロダイン検波することによって移動物体を検出する。局発光はA/O変調器によって周波数を約40MHzシフトさせ、移動物体の速度の正負を判別できるようにしている。送信レーザ広がり角及び受信瞬時視野はS/Nを上げるためほぼ同一としており、スキャナによって両者共に視野を2次元走査している。

信号処理部は、VCOとミキサによって中間周波数に変換した受信信号を中心周波数の異なる2個のバンドパスフィルタI,IIを用いて検出するという特徴を有しており、フィルタIを通して負の速度に対応するドップラ周波数が、またフィルタIIを通して正の速度に対応するドップラ周波数が検波される。検波出力とスキャナの位置信号をもとに視野内の移動物体の速度分布及び画像をディスプレイ上に表示できる。

3. 設計

3.1 送信レーザ広がり角、受信瞬時視野と

ドウエルタイムの関係

送、受信共に視野を走査する方式のレーザレーダはレーザ光の伝搬時間に起因する送、受信のタイミングずれによってレンジゲート動作を

生じる。S/Nの点からは送信レーザの広がり角 θ_t は受信視野 θ_r と一致していることが望ましいが、ドウエルタイム T_d との関連で距離範囲が制限される。そのため θ_t を θ_r より大きくし、且つ送、受信の方向をオフセットさせる必要がある。いま θ_t/θ_r と T_d 及び検出距離範囲 $R_1 \sim R_2$ との関連を明かにするため、送、受信方向のオフセット角 θ_0 を図2のように表わすと、次の関係式が求まる。

$$R_1 = \frac{1}{2} [\theta_0 + \frac{1}{2}(\theta_t - \theta_r)] \frac{T_d \cdot c}{\theta_r} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} [\theta_0 - \frac{1}{2}(\theta_t - \theta_r)] \frac{T_d \cdot c}{\theta_r} \quad (2)$$

式(1), (2)より次の関係が得られる。

$$\frac{\theta_t}{\theta_r} = 1 + \frac{1}{T_d} \frac{2\Delta R}{c} \quad (3)$$

ただし $\Delta R \equiv R_1 - R_2$ である。式(3)から明かになるように $1/T_d$ と ΔR を共に大きくすると θ_t/θ_r は大きくなり、送信レーザ出力が一定とするとS/Nの低下をきたす。 $T_d, \Delta R$ はS/Nを考慮して決める必要がある。 $1/T_d$ は画素数 N とフレームレート F の積 NF に等しい。図3に θ_t/θ_r と NF の関係を示す。

3.2 バンド幅とNFの関係

ヘテロダイン検波された信号の周波数スペクトルは移動物体の速度に応じて広帯域にわたっている。広帯域の信号を高感度で処理するため

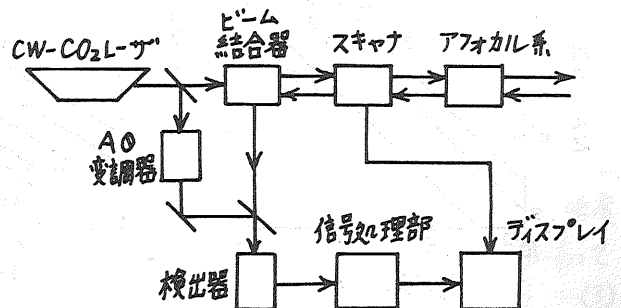


図1 コヒーレントレーザレーダの構成

にはフィルタバンクやスペクトラムアナライザの方式が一般によく用いられる。ここではフィルタのバンド幅 Δf と $N\dot{F}$ との関連を明かにする。いまフィルタの数を n 個、対象とする移動物体の最大ドップラ周波数を $B/2$ とすると次の関係が成り立つ。

$$N\dot{F} \cong \Delta f^2 \frac{n}{B} = \left(\frac{2\Delta v}{\lambda} \right) \frac{n}{B} \quad (4)$$

ここで Δv は速度分解能、 $B/n \geq N\dot{F}$ である。式(4)の関係を図4に示す。 n を大きくすれば Δf を小さくでき S/N 的には有利であるが、信号処理系の規模が大きくなり n の選択は両者を勘案して決める必要がある。

3.3 装置諸元

比較的小出力のレーザを用い、5km程度迄の移動物体を検出できるような装置を開発するため、以上の考察を基に装置諸元を表1のように設計した。

| レーザ | 直線偏光CW-CO ₂ レーザ |
|-------------------|-----------------------------|
| レーザ出力 P_0 | 3W |
| 検出器 | PV形HgCdTe(量子効率 $\eta=0.2$) |
| 画素数 N | 7630(128×60) |
| フレームレート \dot{F} | 1 sec ⁻¹ |
| 速度検出範囲 | ±(1.4~118)km/hr |
| 速度分解能 Δv | 4.2 km/hr |
| 使用距離範囲 | 0~5 km |

D_0, K_0 は受信光学系開口径と効率、 ρ は物体の反射率、 α は減衰係数である。表1の諸元及び $D_0=7\text{cm}$ 、 $K_0=0.4$ 、 $\rho=0.1$ 、 $\theta_t/\theta_r=1.256$ (使用距離範囲を0~5kmとし、図3より求めた)としたときの S/N と距離 R の関係を図5に示す。検出に $S/N=50$ が必要とすると $\alpha=0.4\text{km}^{-1}$ ($\lambda=10.6\mu\text{m}$ 、気温26°C、相対湿度80%に相当)という比較的大気伝搬条件の悪いときでも、 $R=3\text{km}$ にある移動物体を検出できることがわかる。

4. 設計性能

試作装置の設計性能を述べる。コヒーレントレーザレーダにおける S/N は次式で与えられる。

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{power}} = \frac{\eta K_0 \rho D_0^2 P_0}{4h\nu \Delta f} \cdot \frac{e^{-2\alpha R}}{R^2} \cdot \left(\frac{\theta_r}{\theta_t} \right)^2 \quad (5)$$

走査視野

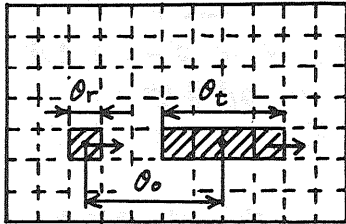


図2 走査形レーザレーダ送受信視野の関係

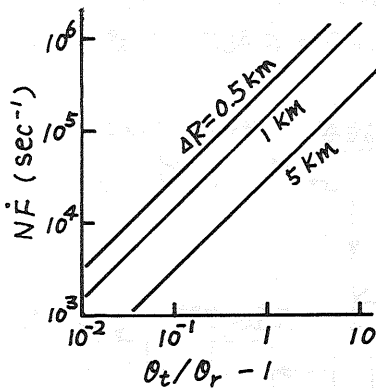


図3 $N\dot{F}$ と送受信視野

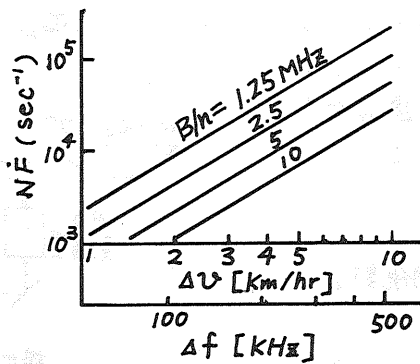


図4 $N\dot{F}$ とバンド幅、速度分解能

5. むすび

移動物体の検出を目的とした走査形コヒーレントレーザレーダに関して開発中の装置の概要と設計性能について述べた。3W程度の比較的小出力のレーザで3~5kmの距離にある移動物体の検出が期待できることを示した。

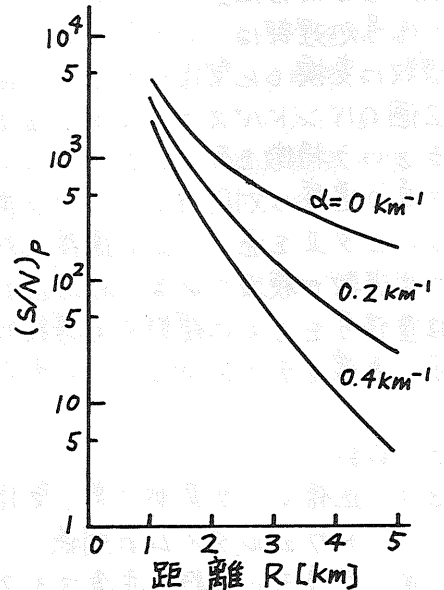


図5 S/N と距離