

1.3. CWレーザを用いたコニカル走査トラッキング方式の検討

A Discussion of the Conical Scanning Tracking System using a CW Laser

森谷 幸吉
Moriya Kokichi

洲崎 保司
Suzaki Yasuzi

村沢 健吾
Murasawa Kengo

増井 康四郎
Masui Koushiro

八木 建巳
Yagi Takemi

藤本 邦雄
Fujimoto Kunio

防衛庁技術研究本部

橋 篤志

第3研究所

Tachibana Atsushi

The Third Lab,

日立製作所 戸塚工場

R & D Center,

Totsuka Works, Hitachi Ltd.

Defense Agency

1. まえがき

ペンシル形のビームを円錐状に走査して標的の位置を検出し、これを追跡する“コニカル走査レーダ”に指向性の良いレーザビームを用いると精度の高いトラッキングシステムが構成できる。我々はCO₂レーザを用いたコニカル走査方式トラッキングレーダを検討しているがここでは装置設計の基礎となるレーザレーダ方程式と実験で得られた二、三の結果について述べる。

2. 構成

Fig.1 に装置の構成を示す。

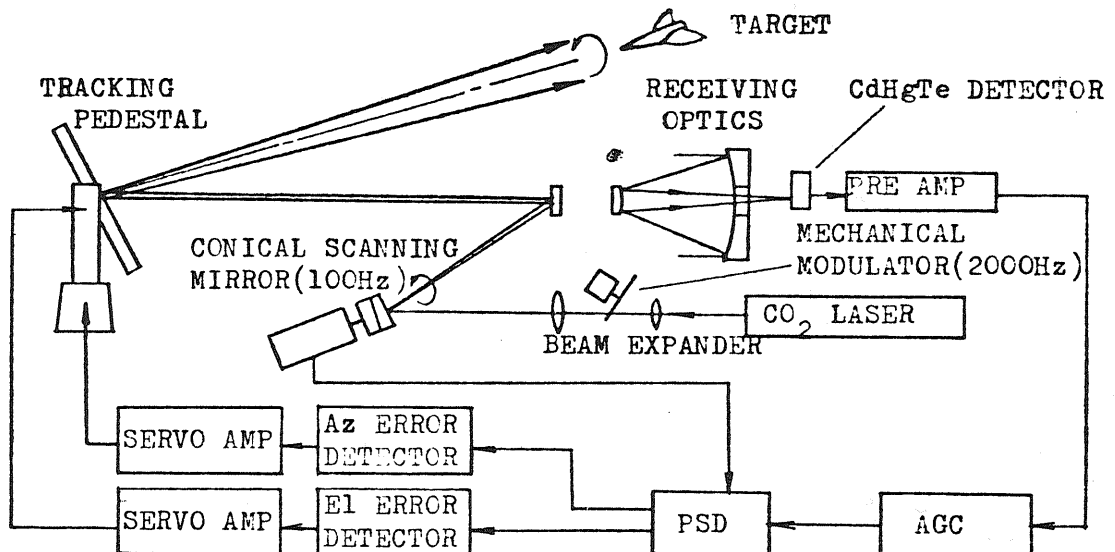


Fig.1 Block diagram of a conical scanning laser radar

3. レーザレーダ方程式

強度分布がガウス形の TEM_{00} モードのレーザを走査ビームとする場合、受信電力 W は次式で与えられる (Fig. 3 参照)

$$W = W_0 \exp \left\{ -8 \left\{ \varepsilon^2 + \theta_k^2 - 2 \varepsilon \theta_k \cos(\omega t - \phi) \right\} \right\} \quad (1)$$

ここに ε , θ_k はビームの拡がり角 θ_k ($1/e^2$ 出力ポイントの拡がり角で定義される全角) で規格化した標的の誤差角 (ε) とコニカル走査のオフセット角 (θ_k) を示す。 ω はコニカル走査の角周波数、 t は時間、 ϕ は標的の位相誤差を表わす。 W_0 は標的が逆反射器、拡散反射体の場合それぞれ次のように与えられる。

$$W_{0,(r)} = \frac{32 P_0 K_t K_r \rho A_s A_r e^{-2\mu R}}{\pi^2 \theta_t^2 \theta_s^2 R^4} \quad (2) \quad \text{ここに } P_0 \text{ はレーザの出力, } K_t \text{ は送信光学系の効率, } K_r \text{ は受信光学系の効率, } \rho, A_s \text{ は標的の反射率と面積, } A_r \text{ は受信鏡の面積, } \theta_s \text{ は } R \text{ 射光の拡がり角, } R \text{ は標的の距離, } \mu \text{ は大気による減衰係数を表わす。}$$

$$W_{0,(d)} = \frac{8 P_0 K_t K_r \rho A_s A_r e^{-2\mu R}}{\pi^2 \theta_t^2 R^4} \quad (3)$$

S/N を議論する場合の受信電力の評価は $\varepsilon = 0$ 、すなわち標的がコニカル走査軸上にあるときで考えるのが妥当であろう。これを W_{00} とすれば、次式で表わされる。

$$W_{00} = W_0 \exp(-8 \theta_k^2) \quad (4)$$

Fig. 2 は $P_0 = 50W$, $K_t = 0.65$, $K_r = 0.54$

$A_r = 600 \text{ cm}^2$, $\theta_t = 1 \text{ mrad}$, $\theta_s = 1 \text{ mrad}$

* $\theta_k = 0.25$ として、標的が逆反射器の場合と拡散反射体の場合の W_{00} の計算例を示す。

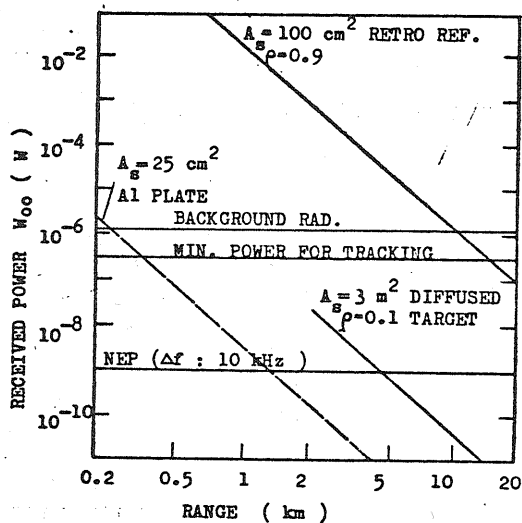


Fig. 2 Received power vs. range

4. コニカル走査方式の原理とその特性

標的が走査軸の近くにある場合、すなわち $\varepsilon \ll 1$ の場合、式 (1) は近似として次式のように表わされる。

$$W = W_{00} \{ 1 + 16 \theta_k^* \varepsilon (\cos \omega t \cos \phi + \sin \omega t \sin \phi) \} \quad (5)$$

ここで $\varepsilon \cos \phi$, $\varepsilon \sin \phi$ は Fig 3 に示すように Az 誤差 ε_x , El 誤差 ε_y に対応する。コニカル走査方式の原理はこの $\varepsilon \cos \phi$, $\varepsilon \sin \phi$ を検出して、これに相当する制御電圧をトラッキングペディスタルに帰還して、標的の誤差 ε_x , ε_y を 0 にせしめるようにサーボ系を動かすものである。Fig 4 は W を $(\omega t - \phi)$ の関数としてシュミレートした例を示す。トラッキングに必要な情報は位相誤差 ϕ であるが変調波の振巾はループゲインに影響するので、サーボ系の安定さや精度を左右する要因となる。Fig 4 で明らかなように標的が走査軸に引込まれる ($\varepsilon \rightarrow 0$) にもなって変調波の振巾は小さくなる。したがって受信電力が微弱で、雑音が重畳する場合、走査軸近傍でトラッキングが不安定になり精度が悪くなる。このような領域をできる限り狭くするためには走査軸近傍で変調波の振巾ができるだけ大きくなるようにすることが望ましい。変調波の振巾 G は $\cos(\omega t - \phi)$ が ± 1 のときの W 値の差で与えられ、次式のようになる。

$$G = W_0 [\exp \{ -8 (\varepsilon - \theta_k^*)^2 \} - \exp \{ -8 (\varepsilon + \theta_k^*)^2 \}] \quad (6)$$

この式より振巾 G が最大値をとる条件が求まり、 $\varepsilon \ll 1$ の場合 $\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} = 0$ と置いて導かれ、 $\theta_k^* = 0.25$ (7) となる。

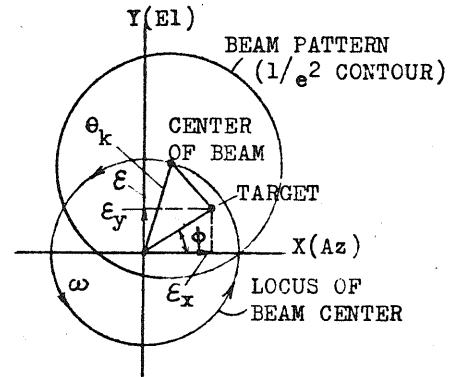


Fig.3 Error in conical scanning

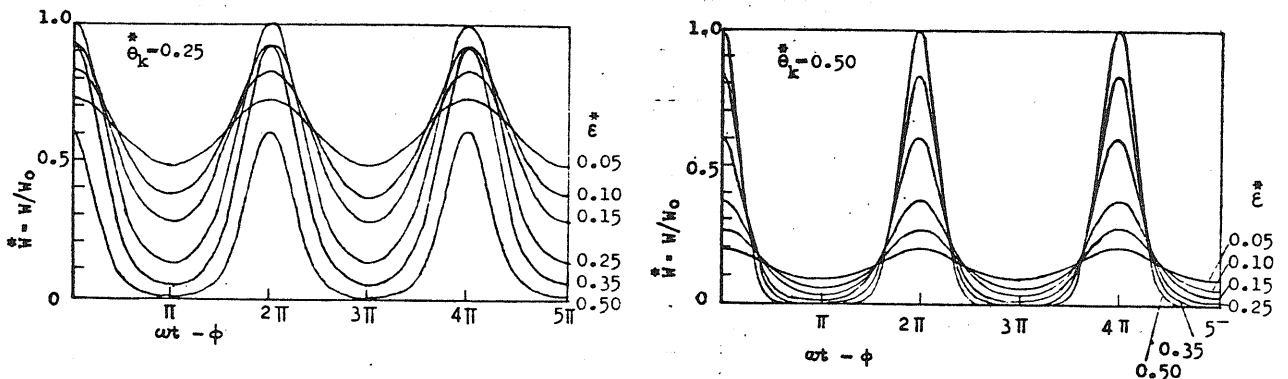


Fig.4 Modulated signals by conical scanning

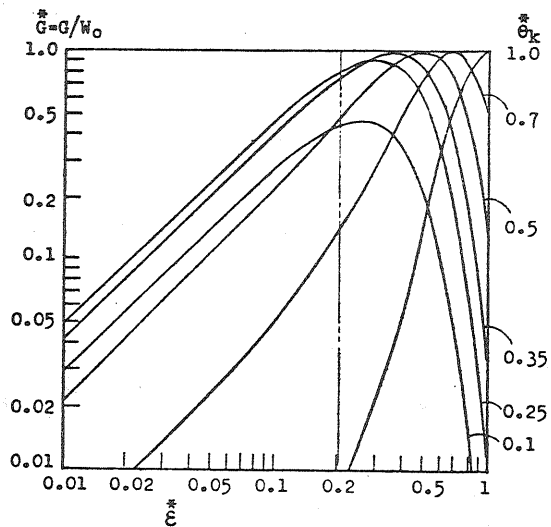
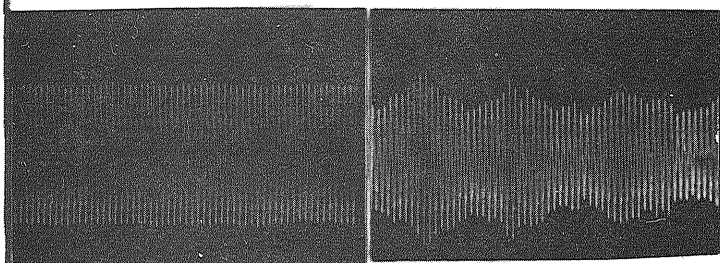


Fig. 5 Amplitude of modulated signals vs. error

Fig 5はこの条件の成立つ範囲を示したもので ϵ が 0.2 より小さい場合であることが分る。製作した装置では θ_k は任意に設定できるようにしてある。Fig 6 は距離 200m に置いた標的からの受信波形を示す。図 7 は誤差角 ϵ に対する誤差信号電圧の状況を示す。近距離の標的に対してはほぼ期待通りの結果が得られており、安定なトラッキング方式として使える見通しを得た。



$\epsilon = 0$ $\epsilon = 0.5 \text{ mrad (Az)}$
 $5 \text{ ms/div (H)}, 2 \text{ V/div (V)}$
 $\theta_k^* = 0.15 (\theta_k = 0.15 \text{ mrad}, \theta_t = 1 \text{ mrad})$
 $R = 200 \text{ m}$
 $P_0 = 50 \text{ W}$
 TARGET = Al Plate, $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$
 DETECTOR = Cd Hg Te, $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$

Fig. 6 Wave form of modulated signals

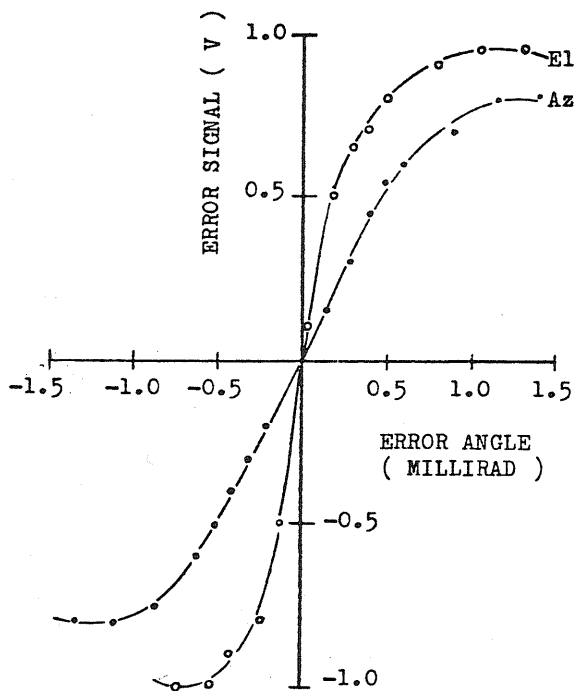


Fig. 7 Error signals for conical scanning

5. むすび

レーザを用いた自動追尾レーダにコニカル走査方式を用いて、その実用的見通しを得たが、標的が遠距離、低空にある場合、大気のゆらぎや減衰の影響が受信能力、トラッキング精度にどのように関与するか明らかにすることが今後の研究課題である。