

レーザレーダにおける微弱パルス光の
検知に関する検討

Ultra Low Light Pulse Detection
for Laser Radar

洲崎保司
Yasuzi Suzaki

橘篤志
Atsushi Tachibana

日立製作所
Hitachi Ltd.

1. はじめに

人工衛星や月測距パルスレーザレーダシステムでは微弱な信号を扱うが、最近の動向として単1光電子以下の信号レベルを前提とした測距システムが検討されている^{(1),(2)}。このようなシステムを設計し、検討するには単1光電子レベルの信号検出についてのいっそうの研究が望まれる。著者らは以前よりスレッショルド検知を前提とした測距システムの信号検知の問題を検討している^{(3)~(7)}が、ここでは上記のようなレーザレーダシステムについて従来行なってきた議論の延長として若干の考察を行なったので御報告する。

2. 誤警報確率

単1光電子レベルの信号検知を前提とする測距システムでは、雑音レベルも一般に単1光電子レベルを想定し得るシステム構成が必要である。このことは人工衛星、月測距システムの場合大方可能である。雑音光電子パルスによる誤警報のチャンスを軽減するためにレンジゲート⁽³⁾が一般にかけられるがレンジゲート内の雑音光電子パルスが離散的で単1光電子状であるとき、誤警報確率 P_{FA} は次のように表わされる。

$$P_{FA} = \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{(\bar{n}_n T_t)^k}{k!} \exp(-\bar{n}_p T_t) \left\{ 1 - \left[1 - \sum_{x=N_t}^{\infty} q(x, \bar{n}_n=1) \right]^k \right\} \right] \quad (1)$$

ここに \bar{n}_p は毎秒当り発生する平均雑音光電子数、 T_t はレンジゲートの開から信号パルスが発生するまでの時間、 N_t はスレッショルドレベルを表わす。 $q(x, \bar{n}_n=1)$ は光電子パルスの出力波高分布関数を表わす。

3. 信号検知確率

レーザレーダで標的からの反射信号が微弱な場合、速い繰返しのショットを重ねて確率的に検知する方法がよくとられるが、単1光電子パルスの検知を前提とする測距システムでもこれは基本的な考え方となっている。この場合N回ショットにおける信号検知確率 $P_{S,N}$ は次のように表わされる。

$$P_{S,N} = 1 - \left[\prod_{i=1}^m (1 - p_i) \right]^N \quad (2)$$

ここに $m = \tau_r / t_B$ で、 τ_r は受信波のパルス巾、 t_B は受信器の分解時間を表わす、 p_i は受信パルス波内の*i*番目のレンジセル(巾 t_B)⁽³⁾に発生する光電子パルスの波高値がスレッショルドレベル N_t を越す確率を表わす。検知器に光電子増倍管を使う場合 p_i は近似的にポアソン分布で表わされることが多く次のようになる。

$$p_i = \sum_{x=N_t}^{\infty} \frac{(\bar{n}_i)^x}{x!} \exp(-\bar{n}_i) \quad (3)$$

ここに \bar{n}_i は i 番目のレンジセルに発生する平均光電子の数を表わす。

4. 数値例

式(1)において $q(x, \bar{n}_n=1)$ にポアソン分布を仮定し、単1光電子検知 ($N_t=1 \text{ equiv. p.e.}$) において雑音光電子の数 $\bar{n}_p T_t$ に対する誤警報確率 P_{FA} の関係を計算した結果を図1に示す。

次に単1光電子測距システムの動作特性の基本的特徴を見るために式(2), (3)において $m=5$, \bar{n}_i が $i=1 \sim 5$ で一定な矩形波の受信波を仮定し、 N 回のショットで得られるトータル光電子数が 5 p.e. となる場合について $N_t=1$ および $N_t=2, 3$ の場合の比較計算を式(2)により行った結果を図2に示す。図2でスレッシュホールドレベル N_t が $2, 3$ (equiv. p.e.) の場合には信号の検知確率 $P_{S,N}$ を高いレベルで確保するには1ショット毎に得られる信号において \bar{n}_i が $\sim 1 \text{ p.e.}$ 以上必要なのに対し、 N_t を最低レベルに置く単1光電子検知の場合、1ショット毎の \bar{n}_i が 1 p.e. より十分小さな場合でもショット数でかsekることによって、必要な信号検知確率を得られることが分る。

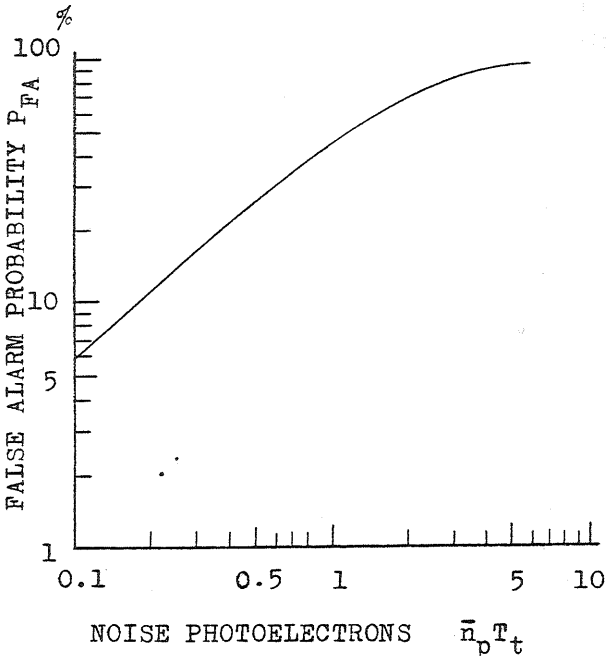


図-1 単1光電子検知における誤警報確率 P_{FA} と雑音光電子数 $\bar{n}_p T_t$ の関係

5. むすび

単1光電子パルスの検知を前提とする測距システムの主なねらいは高性能化と装置の小型化にあるが、この成否は微弱光の検知処理技術にあるといえる。中でも単1光電子パルスの性質などについて検知器の特性と合わせて、きめの細かい検討が特に重要と考えるものである。

文献

- (1) E. C. Silverberg 他, Laser Workshop, p 333 Lagonissi, May 23~27, 1978
- (2) C. O. Alley 他 "Experimental Range Measurements at the Single Photoelectron Level to the GEOS-A and BE-C Satellite",
- (3) 洲崎, 橋 信学論(B), 55-B,10,p569, 昭47
- (4) 洲崎, 橋 信学論(C), 55-C,11,p609, 昭48
- (5) 洲崎, 橋 信学論(C), 60-C,11,p736, 昭52
- (6) 洲崎, 橋 第6回レーザーダシンポジウム予稿集p1,1979
- (7) 洲崎, 橋 信学論(C) 63-C,8,p500,昭55

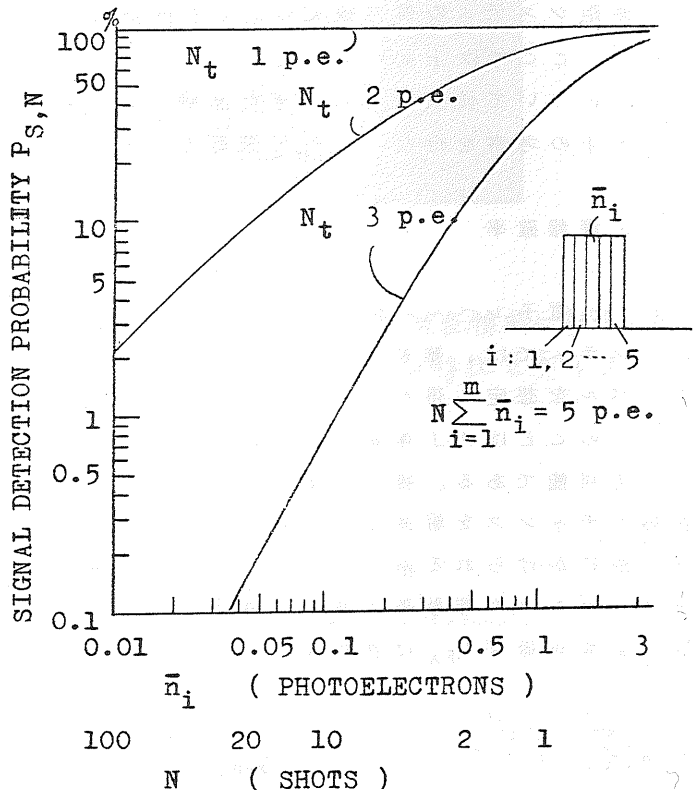


図-2 信号検知確率 $P_{S,N}$ の計算例 (繰返しショット効果のスレッシュホールド依存性)