

F 7 並列組合せ SS 通信方式における受信時 SN 比推定法に関する一考察

滝沢 賢一 植永 和之 佐々木 重信 周杰 菊池 久和
新潟大学工学部電気電子工学科

1. まえがき

無線デジタル通信では、マルチメディアコンテンツの大容量化などともない、高いスループットを提供可能な通信方式が求められている。現在では、スペクトル拡散 (SS) 方式の利用が一つの主流となっており、さらに高速データ伝送が可能な SS 方式として、並列組合せ SS(PC/SS) 方式が提案されている [1]。一方、無線デジタル通信では、受信時の信号対雑音電力比 (SN 比) が推定可能ならば、誤り訂正符号またはダイバーシティの適用により、信頼性の高い通信が実現できる。受信時 SN 比の推定方法としては、Summers らが BPSK 変調における受信信号の統計的な性質を利用した推定方法を提案している [2]。この推定方法は BPSK 変調を一次変調とした直接拡散方式には適用できるが、PC/SS 方式には適用できない。そこで Summers らの方法を一般化した PC/SS 方式における受信時 SN 比推定法が提案されており [3]、計算機シミュレーションから高精度で推定が可能であることが示されている。

本稿では、[3] で提案された受信時 SN 比推定法について、PC/SS 方式におけるパラメータを変えた際の推定精度について考察を行う。

2. 並列組合せ SS (PC/SS) 方式

各ユーザには M 個の直交拡散符号が割り当てられ、この中から r 個を選択し、位相状態を付加して送信する。位相状態の付加を BPSK 変調で行うものとするれば、拡散符号 1 周期で送信可能な情報は次の式で表される。

$$K = \left\lfloor \log_2 \binom{M}{r} \right\rfloor + r \quad (1)$$

ここで、 $\lfloor p \rfloor$ は p 以下で最大の整数を表す。

このように PC/SS 方式における受信側における相関器出力には、信号と雑音を含む r 個の出力と、雑音のみを含む $M - r$ 個の出力とがある。よって、BPSK 変調における Summers らの推定方法は PC/SS 方式には適用できない。

3. PC/SS 方式における受信時 SN 比推定法

システムモデルを図 1 に示す。フェージング振幅 α の確率密度関数は Nakagami- m 分布に従うものと仮定する。また直交拡散符号あたりの電力を E_c 、雑音の分散を σ^2 とすると、推定すべき SNR は $\gamma = E_c/2\sigma^2$ である。同期検波を仮定すると、信号と雑音を含む相関器出力は $C_i = \pm \alpha \sqrt{E_c} + n_n$ 、また雑音のみを含む相関器



図 1. PC/SS システムモデル

出力は $C_n = n_n$ と表せる。ただし、 n_n は平均値 0、分散 σ^2 の AWGN サンプルである。ここで、次の統計量 Z を考える。

$$Z = E \left[\sum_{j=1}^M C_j^2 \right] / E \left[\sum_{j=1}^M |C_j| \right]^2 \quad (2)$$

$E[\cdot]$ は期待値演算を表す。式 (2) へ C_i および C_n を代入し期待値を計算すると [3]、式 (3) が得られる。 $I(m)$ は Nakagami パラメータ m の関数である。

ここで、PC/SS に関するパラメータ M および r は受信側で既知である。また、Nakagami パラメータ m については、既知に近い精度で推定する方法が [4] で提案されており、本稿では受信側で既知であると仮定する。よって Z は受信時 SN 比 γ の関数として与えられ、受信側で Z を得ることで γ を $f^{-1}(Z)$ より推定することが可能になる。しかし $f^{-1}(Z)$ は数値積分を含むこと、また Z は期待値演算を含むことから、簡単かつ実用的な推定方法とはいえない。そこで、以下で与えられる $f^{-1}(Z)$ の多項式近似 $\tilde{\gamma}$ 、および Z の期待値演算を観測シンボル数 N_S に対する平均値演算で置き換えた \hat{Z} を用いる。

$$\tilde{\gamma} = a_0 + a_1 \hat{Z} + a_2 \hat{Z}^2 + a_3 \hat{Z}^3 + a_4 \hat{Z}^4 \quad (4)$$

$$\hat{Z} = \frac{1}{N_S} \sum_{i=1}^{N_S} \sum_{j=1}^M C_{i,j}^2 / \left[\frac{1}{N_S} \sum_{i=1}^{N_S} \sum_{j=1}^M |C_{i,j}| \right]^2 \quad (5)$$

式 (4) の各係数は最小二乗法により決定する。これら二つの近似によって、有限シンボル数の観測から受信時 SN 比を簡単なアルゴリズムで推定できる。ここで注意すべきことは、この推定法における推定誤差は次の二つの要因から生じることである。

- 近似多項式 $\tilde{\gamma}$ と $f^{-1}(Z)$ との誤差
- 平均値演算を用いた \hat{Z} と期待値演算を用いた Z との誤差

前者の誤差は定常的な誤差として与えられるのに対して、後者の誤差は観測シンボル数 N_S を増やすことにより削減することができる [3]。また、PC/SS パラメータによって式 (3) は変わることから、同一の観測シンボル

$$Z = \frac{r \cdot 2\gamma + M}{\left[r \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{m}{m+\gamma} \right)^m + r \cdot \sqrt{\frac{2\gamma}{m}} \frac{\Gamma(m+1/2)}{\Gamma(m)} \left(1 - \frac{2\Gamma(m)}{\pi} \right) + (M-r) \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right]^2} = f(M, r, m, \gamma) \quad (3)$$

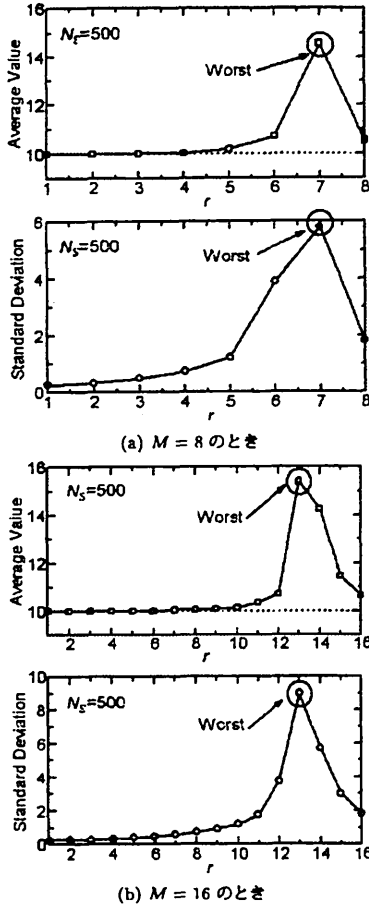


図2. PC/SS パラメータを変えた際の受信時 SN 比推定精度 N_S に対しても、PC/SS パラメータによって推定誤差が変わることが考えられる。

4. PC/SS パラメータと推定精度に関する考察

PC/SS パラメータを変えた際の推定精度を図2に示す。推定精度は推定結果の平均値 $E[\hat{\gamma}]$ および標準偏差 $SD[\hat{\gamma}]$ で評価を行う。PC/SS パラメータは、 M を8と16とした場合について r を1から M まで変えた。Nakagami パラメータ m は1、観測シンボル数 N_S は500とし、ビットあたりのSN比 γ_b は10dBとした。 γ_b と γ とは、 $\gamma_b = \frac{\gamma}{r}$ の関係がある。図2より、PC/SS パラメータによって推定精度が大きく変わり、特に $M=8$ では $r=7$ で、 $M=16$ では $r=13$ をピークにして推定精度が劣化することがわかった。

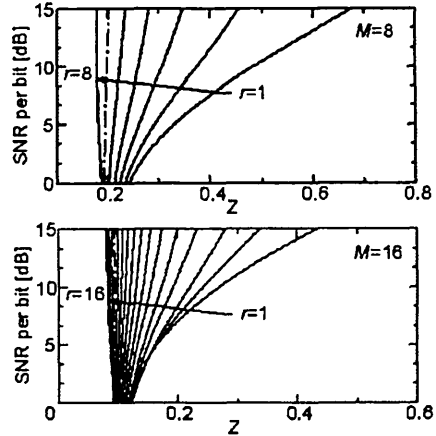


図3. PC/SS パラメータを変えた際の $f^{-1}(Z)$

r の変化に対する $f^{-1}(Z)$ を図3に示す。図より $f^{-1}(Z)$ の傾きが大きくなるほど、推定精度が劣化することがわかる。傾きが最大となるのは $M=8$ の場合は $r=7$ 、 $M=16$ の場合は $r=13$ であり、計算機シミュレーションの結果と一致する。これは傾きが大きくなることにより、 \hat{Z} の分散による推定結果 $\hat{\gamma}$ の分散が大きくなることによる。推定精度を向上させるためには、 \hat{Z} の分散を減少させる、すなわち観測サンプル数 N_S を増やすことが必要となる。

5. まとめ

本稿では [3] で提案された受信時 SN 比推定法において、PC/SS 方式のパラメータである M および r を変えた際の推定精度について考察を行った。計算機シミュレーションの結果、 $f^{-1}(Z)$ の傾きが大きくなることにより、 \hat{Z} の分散が $\hat{\gamma}$ に大きな誤差をもたらすことがわかった。

謝辞

本研究の一部は電気通信普及財団の補助を受けて行った。記して謝意を表す。

参考文献

[1] S. Sasaki et al., "Performance of parallel combinatory spread spectrum communication systems," *Proc. IEEE PIMRC'91*, London, pp.204-208, Sept. 1991.
 [2] T. A. Summers et al., "SNR mismatch and online estimation in turbo decoding," *IEEE Trans. Commun.*, vol.46, no.4, pp.421-423, April 1998.
 [3] K. Takizawa et al., "Online SNR estimation for parallel combinatorial SS systems in Nakagami fading channels," accepted to *IEEE Globecom'02*, Taipei, Nov. 2002.
 [4] A. Abidi et al., "Performance comparison of three different estimator for the Nakagami m parameter using Monte Carlo simulations," *IEEE Commun. Lett.*, vol.4, no.4, pp.119-121, April 2000.