

論 文

FH帶域擴散通信에서의 同期方式의 性能分析

正會員 朴 宣 奎,* 正會員 金 容 徹,** 正會員 韓 榮 烈***

Performance Analysis of Synchronization of the FH Spread Spectrum Systems

Seon Kyo PARK*, Yong Chul KIM** and Young Yeul HAN*** *Regular Members*

要 約 周波數跳躍擴散스펙트럼통신시스템의 同期에 대한 考察과 初期同期過程에서의 同期與否를 判別하는 比較器의 臨界值(threshold)와 檢出確率(detection probability), 誤謬警報確率(false alarm probability)과의 關係를 求하여 同期裝置의 性能分析을 하였다.

ABSTRACT The performance analysis of serial search spread spectrum synchronization system is carried out. To evaluate the synchronization probabilities, two chi-square densities for signal plus noise and noise only are derived. Then Neyman-Pearson scheme is applied to determine the threshold of the synchronization system. The synchronization probability curves are shown as a function of threshold and signal to noise ratios.

1. 序 論

帶域擴散通信方式의 同期裝置의 構成은 送受信兩端의 局部信號를 대략 맞추는 初期同期過程과 精確하게 일치시키는 작용을 하는 同期追跡過程으로 大別되는데 局部信號를 발생시키는 符號의 初期狀態를 豫測해 내는 方法이 同期의 핵심이 된다.

初期同期의 方法으로는 Serial Search方式, Matched Filter方式, Partial Correlation方式등을 들 수 있는데 이 중에서 hardware로 실현하기에 가장 용이하고 기본이 되는 方式이 Serial Search

方式이다^{(1)~(3)}

Serial Search同期回路에서 入力信號는

$$S_R(t) = \sqrt{2P_s} \cos \omega_i t + n(t) \quad (1)$$

여기서 $\omega_i = 2\pi i f_0$, $i = 1, 2, \dots, M$ 이고 f_0 는 기본 주파수이다.

이고 이 때의 同期回路에 있어서의 動作狀態는 局部發振器를 써서 구한 局部信號 $S_0(t)$ 를 入力信號 $S_R(t)$ 에 같은 값이 帶域濾波器를 통과하며 M-Channel을 受信하였을 때 自乘回路의 出力은 M개의 독립된 Rician分布를 하고 있다. 이러한 Serial Search同期回路에서 性能分析을 위하여 同期與否의 確率을 다음과 같이 구하여 본다.

2. 自乘檢出器의 出力分布

Serial Search同期回路에서의 同期與否를 M-Channel受信된 信號와 局部信號와의 Correlation한 Envelope檢出器出力의 積分值로 判정하게 되

**** 漢陽大學校 工科學子通信工學科
Dept. of Electronic Comm.

Eng. Han yang University Seoul, 1331 Korea

** 金星電氣研究所

GOLD STAR Electronics Co., LTD

論文番號 : 85 - 02 (接受 1984. 12. 1)

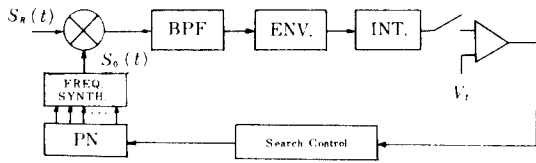


그림 1 Serial search 同期 시스템
Serial search synchronization systems.

는데 이 때 Gaussian 雜音, Jamming 雜音 등이 流入됨에 따라서 同期狀態를 判別하기가 더욱 어렵게 된다^{(4),(5)}.

同期가 이루어진 상태를 H_1 , 이루어지지 않은 상태를 H_0 이라고 하고 Z_1 , Z_0 를 각각의 判定領域이라고 하면 同期狀態로 判定할 檢出確率, False Alarm 確率 등은 Simple Binary 系에서와 같이 구하여진다⁽⁶⁾.

그림 1 과 같은 同期回路의 hardware 構成時에는 Envelope 檢出器를 사용하지만, 統計確率의 解釋이 용이하지 않기 때문에 理論上으로는 동일한 작용을 하는 最適受信器인 自乘檢出器로 대체하여 解釋하여 본다.

Correlation 回路에서 同期가 이루어지면 出力信號가 나타나고 未同期狀態일 때는 雜音만 出力된다. 信號와 雜音이 自乘檢出器와 積分器를 통과한 出力이 같을 때

$$q' = \sum_{i=1}^M (A + X_i)^2 \quad (2)$$

와 變換公式를 사용하여 $i=1$ 일 때의 出力 $q_1 = (A + X_1)^2$ 의 Characteristic Function 을 구하면⁽⁶⁾

$$P(q_1) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2 q_1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{q_1 + A^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \cosh\left(\frac{A\sqrt{q_1}}{\sigma^2}\right) \quad (3)$$

이므로

$$C_{q_1}(j\omega) = \exp\left(-\frac{A^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \left(\frac{1}{1 - j2\sigma^2\omega}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \exp\left(\frac{A^2/2\sigma^2}{1 - j2\sigma^2\omega}\right) \quad (4)$$

Random Variable X 가 統計的獨立變數이므로 (2) 式의 q' 의 Characteristic Function 은 다음과 같이 구해진다.

$$C_{q'}(j\omega) = \exp\left(\frac{MA^2}{2\sigma^2}\right) \left(\frac{1}{1 - j2\sigma^2\omega}\right)^{\frac{M}{2}}$$

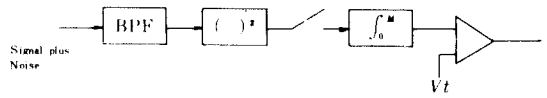


그림 2 M Channel Detector
M channel detector.

$$\cdot \exp\left(\frac{MA^2/2\sigma^2}{1 - j2\sigma^2\omega}\right) \quad (5)$$

그러므로 q' 의 確率密度函數 $P(q')$ 는

$$P(q') = \frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{q'}{\lambda'}\right)^{\frac{M-2}{4}} \cdot \exp\left(-\frac{\lambda' + q'}{2\sigma^2}\right) \cdot I_{\frac{M-2}{2}-1} \left[\left(\frac{\lambda' q'}{\sigma^2}\right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6)$$

여기서

$$q' > 0 \\ \lambda' = MA^2$$

$$I_k(X) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n! \Gamma(n+k+1)} \left(\frac{X}{2}\right)^{2n+k}$$

과 같이 구해진다. 이 Density 를 σ^2 으로 正規化하면

$$P(q) = \frac{1}{2} \left(\frac{q}{\lambda}\right)^{\frac{M-2}{4}} \cdot \exp\left(-\frac{\lambda + q}{2}\right) \cdot I_{\frac{M-2}{2}-1}(\sqrt{\lambda q}) \quad (7)$$

여기서 Noncentral Parameter $\lambda = MA^2/\sigma^2$, $q = q'/\sigma^2$

로서 自由度(degrees of freedom)가 M 인 Noncentral Chi-Square 分布를 갖는다.

M-Channel Detector 에 들어오는 信號成分과 雜音成分이 混재된 入力信號를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_k(t) = \sqrt{2P} \cos(\omega_c t + \theta) + n(t) \quad (8)$$

여기서 P 는 Signal Power 이며 $\omega_c = 2\pi f_0$,

$$n(t) = x(t) \cos \omega_c t - y(t) \sin \omega_c t$$

이다.

그러면 (8) 式의 入力信號에 대한 自乘檢出器出力과 積分器出力은

$$r(t) = [\sqrt{2P} \cos \theta + x(t)]^2 + [\sqrt{2P} \sin \theta + y(t)]^2 \quad (9)$$

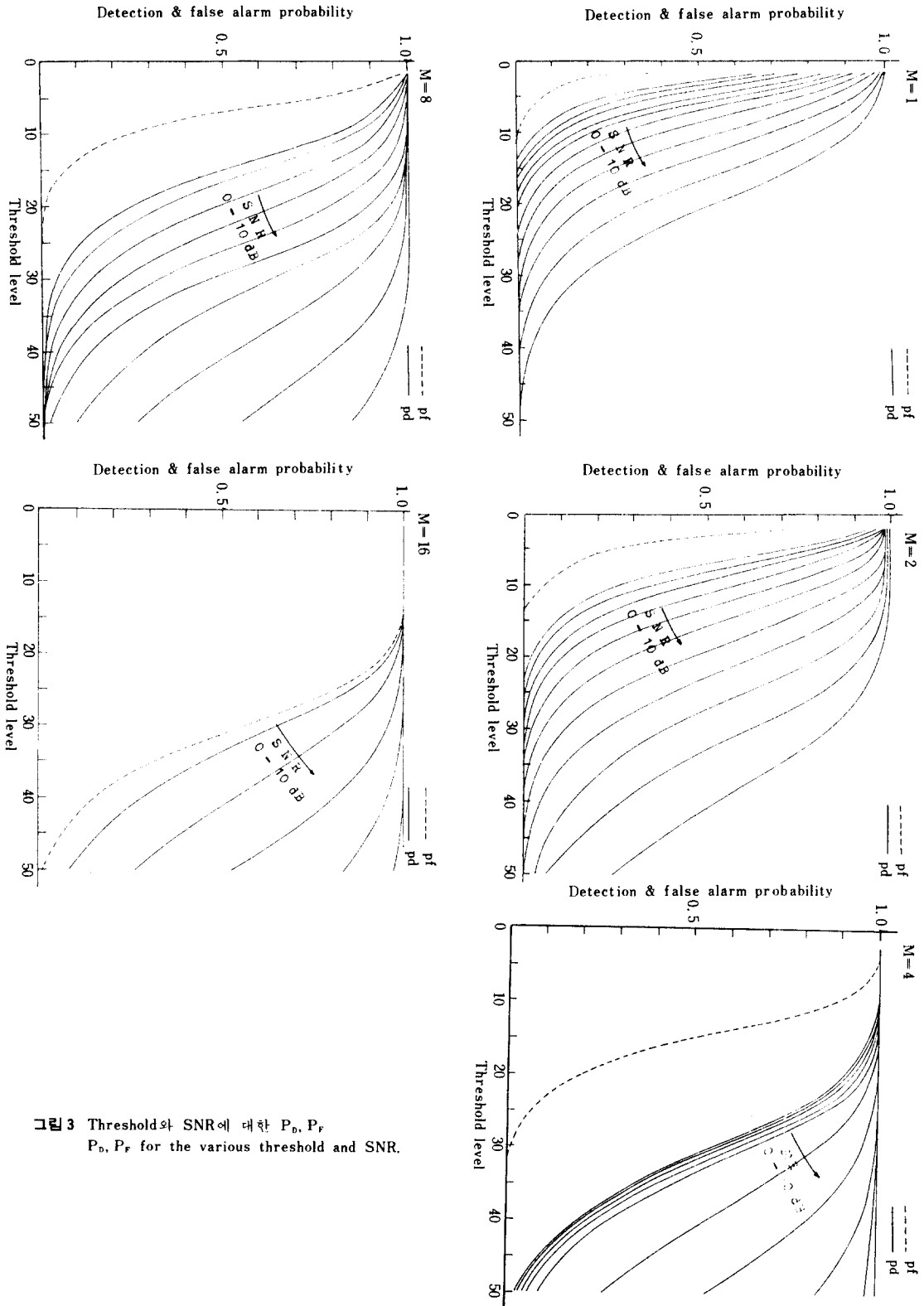


그림 3 Threshold와 SNR에 대한 P_d , P_f
 P_d , P_f for the various threshold and SNR.

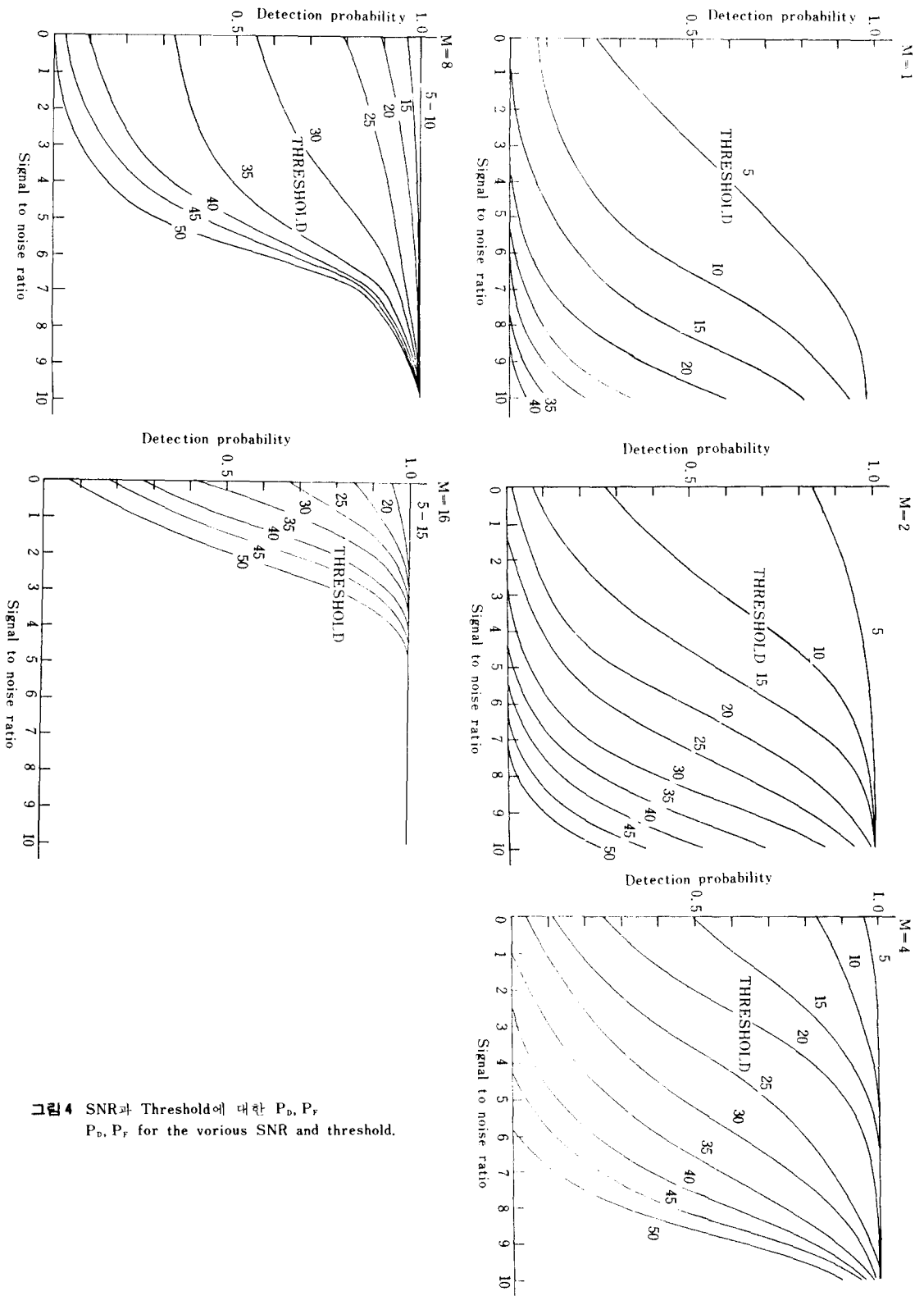


그림 4 SNR과 Threshold에 대한 P_D , P_F
 P_D , P_F for the various SNR and threshold.

$$q_s = \sum_{i=1}^M \left(\frac{\sqrt{2p} \cos \theta}{\sigma} + \frac{x_i}{\sigma} \right)^2 + \sum_{i=1}^M \left(\frac{\sqrt{2p} \sin \theta}{\sigma} + \frac{y_i}{\sigma} \right)^2 \quad (10)$$

으로 q_s 는 Noncentral Parameter가

$$\lambda = \frac{2MP}{\sigma^2} \quad (11)$$

와 같고 自由度가 $2M$ 인 Noncentral Chi-Square Density를 가지므로 식(7)~(11)에 의해서 q_s 의 確率密度函數는 다음과 같이 구하여진다.

$$P(q_s) = \frac{1}{2} \left(\frac{q_s}{\lambda} \right)^{\frac{M-1}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{\lambda+q_s}{2}\right) \cdot I_{M-1}(\sqrt{\lambda q_s}) \quad (12)$$

여기서 $q_s \geq 0$, $I_k(X)$ 는 1st kind Modified Bessel Function이며 $\lambda = 2MP/\sigma^2$ 이다.

다음으로 同期가 이루어지지 않은 상태 즉 H_0 가 Detector에 入力되었을 경우에는 信號成分은 존재하지 않고 雜音만 존재하므로 독립된 Gaussian Variable의 自乘檢出器出力

$$S = \sum_{i=1}^M x_i^2 \quad (13)$$

의 確率密度函數를 구하기 위하여 $y = x_i^2$ 의 密度函數와 特性函數를 먼저 구하면

$$P(y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2 y} \right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{y}{2\sigma^2}\right) \quad (14)$$

$$C_y(j\omega) = (1 - j2\omega)^{-\frac{1}{2}} \quad (15)$$

그러므로 S 에 대해서 구하면

$$C_s(j\omega) = (1 - j2\omega)^{-\frac{M}{2}} \quad (16)$$

$$P(S) = \frac{1}{2^{\frac{M}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{M}{2}\right)} \cdot S^{\frac{M}{2}-1} \cdot \exp\left(-\frac{S}{2}\right) \quad (17)$$

여기서 $S' = S/\sigma^2$ 이다.

그런데 (8)에서와 같이 雜音成分이

$$n(t) = x(t) \cos \omega_c t - y(t) \sin \omega_c t$$

이므로 雜音만의 自乘檢出器出力은

$$q_n(t) = \sum_{i=1}^M (x_i^2 + y_i^2) \quad (18)$$

$$p_{q_n}(t) = \frac{1}{2^M \cdot \Gamma(M)} \cdot q_n^{M-1} \cdot \exp\left(-\frac{q_n}{2}\right) \quad (19)$$

와 같이 自由度가 $2M$ 인 Central Chi-Square Density分布를 이룬다.

3. Detection & False Alarm 確率

正規化된 threshold level을 L 이라면 (12), (19)식을 이용하여 同期回路의 Detection 確率, False Alarm 確率을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_D = p\{q_s > L\} = \int_L^\infty \frac{1}{2} \left(\frac{q_s}{\lambda} \right)^{\frac{M-1}{2}} \exp\left(-\frac{q_s+\lambda}{2}\right) \cdot I_{M-1}(\sqrt{\lambda q_s}) \cdot dq_s = Q_M(\sqrt{\lambda}, \sqrt{L}) \quad (20)$$

여기서 Marcum의 Generalized Q Function,

$$Q_M(\alpha, \beta) = \int_\beta^\infty Z \cdot \left(\frac{Z}{\alpha} \right) \cdot \exp\left(-\frac{Z^2 + \alpha^2}{2}\right) \cdot I_{M-1}(\alpha Z) dZ \text{이다}^{(6), (10)}$$

$$P_F = p\{q_n \geq L\} = 1 - \int_0^L \frac{q_n^{M-1}}{2^M \cdot \Gamma(M)} \exp\left(-\frac{q_n}{2}\right) \cdot dq_n \quad (21)$$

(20)과 (21)의 P_D, P_F 로 同期裝置의 性能을 분석하기 위하여 $M=1, 2, 4, 8, 16$ 일 때 각 SNR에 대한 threshold와 P_D, P_F 의 관계를 Computer를 이용하여 계산해 다음과 같은 圖表로 나타내었다.

4. 結 論

그림 3 과 4 의 計算結果에서 보는 바와 같이 threshold의 값에 따라 P_D 와 P_F 의 차가 큰 부분을 찾아 V_r 를 택하면 Optimum한 값을 찾을 수 있다.

出力結果에서 같은 Sampling數에서는 SNR이 커질수록 threshold는 P_D 보다 P_F 에 더 큰 영향을 받고 sampling數가 커질수록 즉 局部符號長이 커지면 그 레벨을 결정하기가 매우 용이해진다는 것을 확인할 수 있다.

本研究은 金星電氣研究所의 研究費補助로 이루어진 것임.

參 考 文 獻

- (1) J. K. Holmes and C. C. Chen, "Acquisition time performance of PN spread spectrum systems," IEEE Trans. Commun., vol. Com-25, Aug. 1977.

- (2) C. A. Putman, S. S. Rappaport and D. L. Schilling, "A comparison of schemes for coarse acquisition of frequency-hopped spread spectrum signals," IEEE Trans. Commun., vol. Com-31, no. 2, Feb. 1983.
- (3) R. C. Dixon, Spread Spectrum Systems John Wiley & Sons, 1976.
- (4) Walter R. Braun, "Performance analysis for the expanding search PN acquisition algorithm," IEEE Trans. Commun., vol. Com-30, no. 2, March 1982.
- (5) Aaron Weinberg, "Generalized analysis for the evaluation of search strategy effects on PN acquisition performance," IEEE Trans. Commun., vol. Com-31, no. 1, Jan. 1983.
- (6) Anthony D. Whalen, Detection of Signals in Noise, Academic press, 1971.
- (7) C. A. Putman, S. S. Rappaport and D. L. Schilling, "Tracking of frequency-hopped spread-spectrum signals in adverse environments," IEEE Trans. Commun., vol. Com-31, no. 8, Aug. 1983.
- (8) P. M. Hopkins, "A unified analysis of pseudo noise synchronization by envelope correlation," IEEE Trans. Commun., vol. Com-25, no. 8, Aug. 1977.
- (9) R. L. Pickholtz, D. L. Schilling and L. B. Milstein, "Theory of spread spectrum communications-A tutorial," IEEE Trans. Commun., vol. Com-30, May 1982.
- (10) Harry L. Van Trees, Detection, Estimation, and Modulation Theory-Part I, John Wiley & Sons, 1968
- (11) Don J. Torrieri, Principles of Military Communication Systems, Artech House, INC, 1981.
- (12) S. S. Rappaport and D. L. Schilling, "A two-level coarse code acquisition scheme for spread spectrum radio," IEEE Trans. Commun., vol. Com-28, no. 9, Sep. 1980.



朴 宣 奎 (Seon Kyoo PARK) 正會員
 1960年1月22日生
 1983年2月: 漢陽大學校工科學電子通信工學科卒業
 1985年2月: 漢陽大學校大學院電子通信工學科卒業(工學碩士)



金 容 徹 (Yong Cheol KIM) 正會員
 1958년 10월 1 일생
 1977年3月~1981年2月: 서울대학교 전자공학과 학사
 1981年3月~1983年2月: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 석사
 1983年3月~現在: 삼성전기 연구소 2부



韓 榮 烈 (Young Yeul HAN) 正會員
 1938年6月10日生
 1960年2月: 서울大學校電子工學科卒業
 1976年5月: 미미주리大學校(工學碩士)
 1979年5月: 미미주리大學校(工學博士)
 1961年8月~64年8月: 西獨Siemens社 社員
 1969年8月~70年9月: KAIST 社員
 1980年1月~80年9月: ADD 社員

現在: 漢陽大學校電子通信工學科副教授, 本學會理事
 Sigma Xi, IEEE 正會員