블라인드 채널추정기법(Blind Channel Identification)을 이용한 수중통신 연구

김갑수* · 조아라* · 최영철** · 임용곤**

*과학기술 연합대학원 대학교, 수중음향통신공학과

**한국해양연구원 해양시스템안전연구소

Underwater Acoustic Communication Research using Blind Channel identification

Kap-su Kim* · A-ra Cho* · Young-chol Choi** · Yong-kon Lim**

*Korea University of Science and Technology

**Maritime and Ocean Engineering Research Institute(MOERI)/KORDI

E-mail : enemyinside@naver.com

요 약

수중 채널의 형태와 복잡성으로 인하여 수중통신에서의 신호의 추정은 멀티패스(multipath)의 영향을 많이 받고 시간에 따른 채널의 변화가 심하다. 이러한 환경에서 채널을 추정하고 원 신호를 복원하기 위해서는 긴 훈련신호(training signals)를 자주 보내야만 정확한 신호를 추정할 수 있어 실제 정보를 가지고 있는 신호에 대한 시간에 따른 전송량은 줄어들게 된다. 본 논문에서는 이러한 수신기의 성능저하를 막기 위해 훈련신호를 사용하지 않고 채널을 추정할 수 있는 블라인드 채널추정기법을 수중환경에 적용하였다. 우선 시뮬레이션을 통하여 멀티패스환경에서의 성능을 예상해 보았고 수조 실험을 통하여 검증하였다.

ABSTRACT

Due to the complexity of underwater acoustic channel, signal estimation in underwater acoustic communication field is considerably affected from time-varying multipath fading channels. On this reason, the original signals should have many long training signals to estimate the channel and the purposed signals, and the bit rate of signals having information may have small rate. In order to avoid this loss of efficiency in underwater communication, this paper employed a blind channel identification method which don't use training signals. Simulations have predicted performance of the employed method in multipath environment and an aquatic plant experiment has verified the simulation results.

키워드

Underwater Acoustic Communication, Blind Channel Identification, Multipath Channel, Intersymbol Interference

Ⅰ. 서 론

해수면과 해저면이 경계를 이루고 있는 수중음향 채널에서 반사파에 의한 멀티패스 페이딩(multipath fading)은 수중통신에 있어서 중요한 제한 요소이며 이로 인하여 발생되는 ISI(intersymbol interference) [4]는 빠르고 정확한 수중통신을 방해하는 중요한 이유가 된다. 이러한 ISI의 영향을 줄이기 위해 채널 추정과 등화는 수중통신에 있어서 필수적 요소로 등장한다. 전통적인 채널추정과 등화는 훈련신호를 사용하거나 이미 알고 있는 채널정보를 이용하여

이루어진다. 후자의 방법은 사전 채널정보를 정확하게 알기 어려워 대부분의 통신환경에서 적합하지 않고 훈련신호를 사용하는 방법은 시변 채널에 적합하고 널리 사용되기는 하나 수중환경과 같이 시간에 따라 채널이 자주 변하는 환경에서는 자주 훈련신호를 보냄으로 인하여 정보의 전송량이 줄어들게 되는 단점이 있다. [1] 또한 원칙적으로 훈련신호가 필요 없는 DFE(decision feedback equalization)에서 조차도 심각한 오류의 전파를 막기 위해 주기적으로 훈련신호를 보내는 것이 필요하다. [3]

이와는 다르게 블라인드 채널추정방식은 훈련신호를 사용하지 않고 전송된 신호의 통계량을 바탕으로 채널을 추정하는 방식이다. 이러한 방식은 1975년 Sato로부터 처음 소개되었다. [2]

본 논문에서는 Lang Tong, Guanghan Xu, Tomas Kailath로부터 소개된 2차 통계량을 이용한 채널추정알고리듬 [1]을 수중환경에 적용해 보고 실제 수조 실험을 통하여 적용된 방식의 수중에서의 성능을 검증하여 보았다.

II. 적용된 블라인드 채널 추정 및 등화방법

수중통신에 있어서 다음과 같은 선형모델을 간주하자.

$$x(i) = Hs(i) + n(i) \tag{1}$$

이러한 신호에 대하여 Tong의 방법을 사용하여 추정한 채널 행렬은 다음과 같다. [1]

$$\hat{H} = U_s \Sigma Q \tag{2}$$

$$\because\ Q = \left[y_d\ Ry_d \cdots R^{(d-1)} y_d \right] \tag{3}$$

또는

$$\because\ Q = \left[(R^{\dagger})^{(d-1)} z_d\ (R^{\dagger})^{(d-2)} z_d \cdots z_d \right] \tag{4}$$

채널 등화에는 (5)식의 최소분산등화기(minimum-variance equalizer)가 사용되었다. [1]

$$\hat{s}(i) = \widehat{H}^H (\hat{H}\widehat{H}^H + \hat{\sigma}^2 I)^{-1} x(i) \tag{5}$$

III. 시뮬레이션과 실험 결과

3.1 Matlab 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 한 개의 멀티패스가 있는 환경을 가정하였고 QPSK [4]형식의 송신신호를 사용하였으며 자기상관값(autocorrelation)을 구하기 위해 200개의 샘플을 사용하였다. 전송률은 $500\,symbol/\mathrm{sec}$ 였고 중심주파수는 $25kHz$로 설정하였다. SNR은 (6)식과 같이 정의하였다.

$$SNR = 20\log \frac{\| r(\bullet) \|_2}{\| n(\bullet) \|_2} (dB) \tag{6}$$

그림 1에서는 200개의 샘플을 사용하여 블라인드 채널추정방식으로 추정된 채널의 형태를 보여주고 그림 2는 100개의 추정된 채널의 크기와 실제 채널의 크기를 비교해 보여주고 있다.

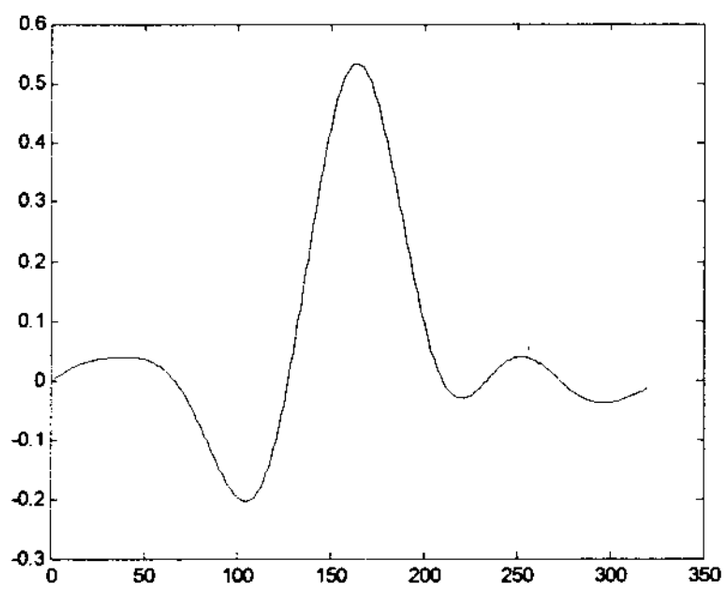

그림 1 SNR 30dB에서 추정된 채널 형태

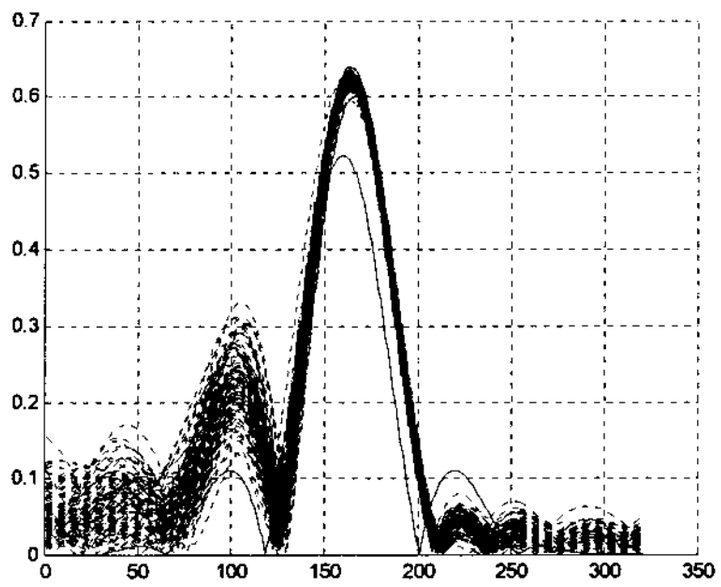

그림 2 SNR 30dB에서 100개의 추정된 채널과 실제 채널의 크기비교(실제 채널 : 실선, 추정된 채널 : 점선)

채널추정의 성능을 측정하기 위해 NRMSE(normalized root-mean-square error)를 (7)식과 같이 정의하여 사용하였고 그림 3은 SNR에 따른 NRMSE값을 보여준다. 추정된 채널이 15dB를 넘어서면 포화되어 오차가 느리게 줄어드는 특성을 보여주고 있다.

$$NRMSE = \frac{1}{\| h \|} \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} \| \hat{h} - h \|^2} \quad (7)$$

여기서 M은 몬테카를로 시험(Monte Carlo trial)의 개수이다.

(5)식의 등화기를 사용하여 신호를 추정하였고 그 값을 이용해 SNR에 따른 BER을 그려보았으며 그 결과를 그림 4가 보여주고 있다. BER역시 20dB를 넘어서면서 느리게 증가며 포화되어 가는 모습을 보여주고 있다.

그림 5는 SNR이 30dB에서의 신호의 성상도(constellation)을 보여준다. 더 많은 샘플을 사용하게 된다면 좀 더 좋은 성능을 보일 수 있을 것이다.

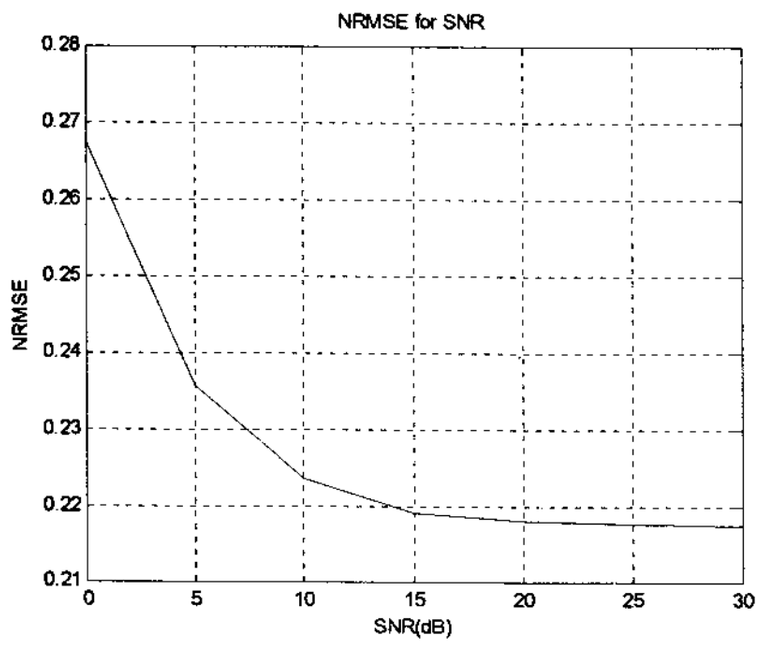

그림 3 SNR에 따른 NRMSE 곡선(200개의 신호와 100회의 몬테카를로 시험)

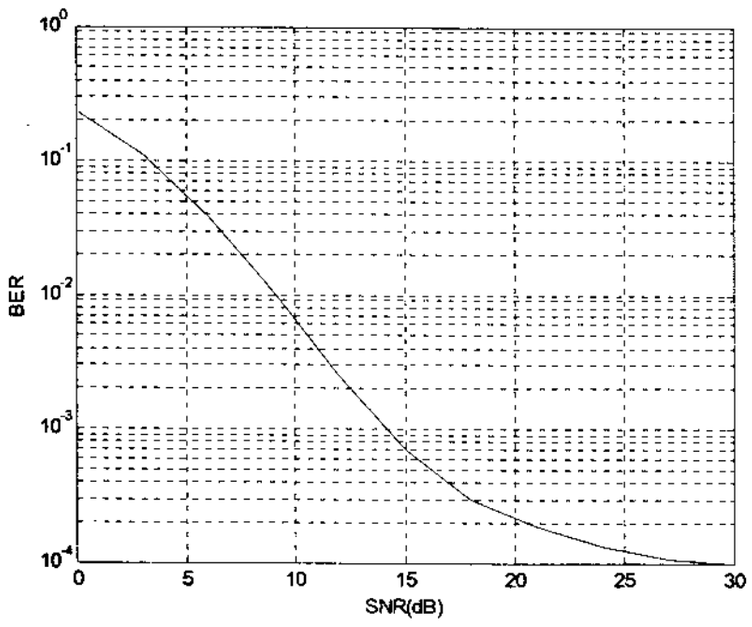

그림 4 SNR에 따른 BER 곡선

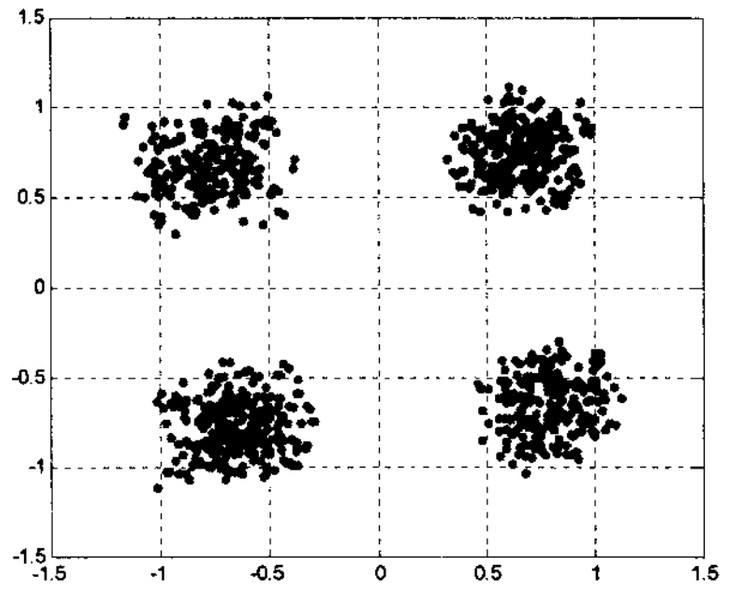

그림 5 1000개의 신호를 사용하고 SNR이 30dB일때의 QPSK신호의 성상도

3.2 수조실험 결과

본 실험은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소가 보유하고 있는 무향수조에서 실험을 진행하였다. 시뮬레이션과 동일하게 QPSK방식으로 신호를 전송하였고 그에 따른 추정된 채널과 성상도를 보고 이 방식의 적용의 타당성을 검증하여 보았다. 그림 6과 그림 7은 추정된 채널 행렬과 채널을 보여주고 있고 그림 8은 500개의 신호를 사용하여 그려진 QPSK신호의 성상도를 보여주고 있다.

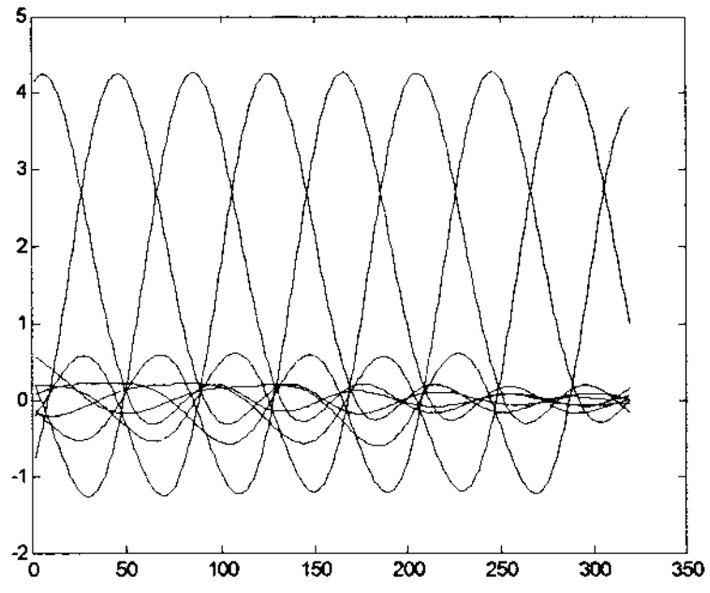

그림 6 수조실험에서 블라인드 방식으로 추정된 채널 행렬

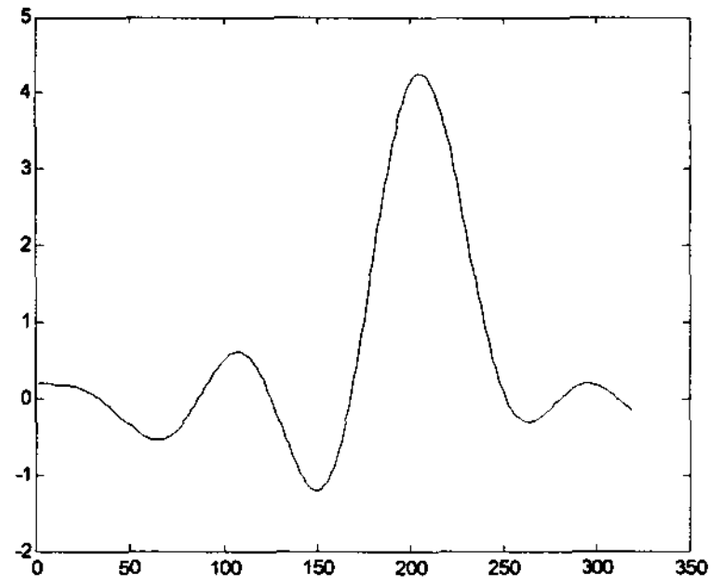

그림 7 수조실험에서 추정된 채널의 형태

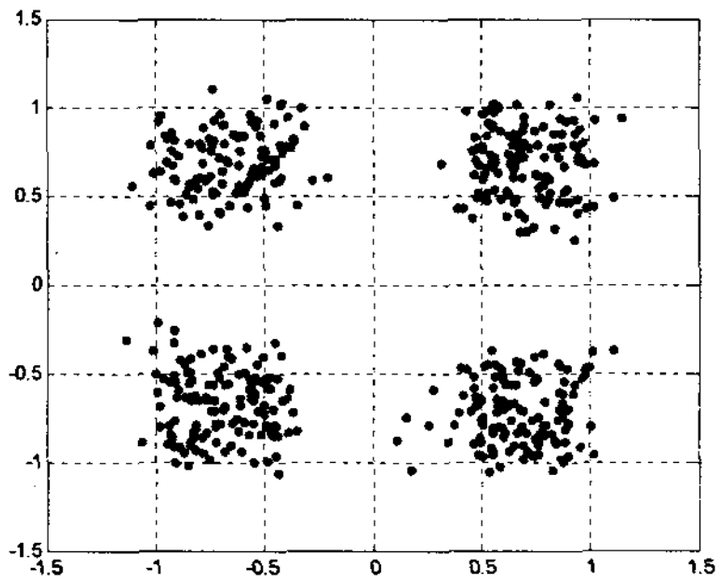

그림 8 수조실험에서 500개의 신호를 사용한 QPSK신호의 성상도

3.3 결과에 대한 고찰과 비교

시뮬레이션결과에서는 SNR이 10~15dB사이에서 BER이 10^{-3}의 값이 나오는 것으로 확인되었다. 마지막의 신호처리 과정에서 통계적인 성질을 사용한다면 이러한 값은 더 좋아질 것으로 예상된다.

시뮬레이션에서 필요한 특이값(singular value)[5]들 중에 작은 값을 갖는 특이값을 제외하고 처리를 하였더니 더욱 좋은 결과가 나오게 되었고 실제 수조실험에서도 특이값을 동일하게 줄여서 채널을 추정하였을 때 더 좋은 결과가 나오는 것을 확인할 수 있었다. 알고리듬은 2차 통계량을 이용하고 있기 때문에 채널행렬을 형성하는데 있어서 전달되는 추정에러는 필할 수가 없다. 다만 샘플의 개수를 늘림으로서 이러한 추정에러를 줄일 수는 있을 것이다. 이러한 이유로 작은 특이값을 재거했을 경우 그로 인해 생기는 추정에러를 줄일 수 있어서 더 좋은 성능을 보이는 것으로 예상된다.

시뮬레이션에서는 한 개의 멀티패스를 가정하였지만 수조실험에 있어서는 시뮬레이션에서 가정한 것보다 더 많은 멀티패스가 있었다. 앞으로 좀 더 향상된 시뮬레이션을 제작하기 위해서 이러한 멀티패스의 영향을 잘 고려해 프로그램에 적용시켜야 할 것이다.

그림 9는 카작 시퀀스(cazac sequence)와 카작 시퀀스를 가지고 있는 받은 신호간의 상관함수(correlation function)를 통해 실제 실험한 수조의 멀티패스환경을 보여주고 있다.

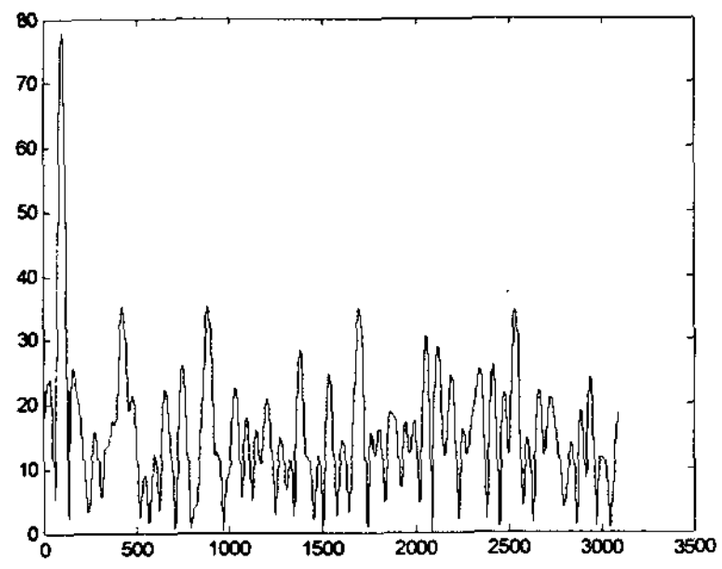

그림 9 실험한 수조의 멀티패스환경

Ⅳ. 결 론

블라인드 채널추정방법은 수중에서와 같이 멀티패스가 많고 시변채널을 형성하고 있는 환경에서 적합한 신호추정방식이다. 본 논문에서는 이러한 방식의 알고리듬이 수중환경에서 어떻게 작동하는지에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 예측해 보고 수조 실험을 통하여 결과를 검증해 보았다.

앞으로는 수조실험에서와 같은 비슷한 환경에서 블라인드 채널추정방법이 어떠한 성능을 나타내는지 시뮬레이션을 해보기 위해 pn-코드를 이용하여 수조의 채널의 상태를 검사하고 이를 시뮬레이션에 적용시킬 것이다. 또한 특이값의 개수와 관찰구간의 길이, 샘플의 개수, 과샘플률(over-sampling rate)등을 조절해 보며 가장 최적의 파라미터(parameter)들을 찾아 좀 더 낮은 SNR을 가지는 환경에서도 빠르고 좋은 성능을 가지도록 프로그램을 개선해 볼 계획이다. 그리고 성능의 다양한 검증을 위해 같은 형태의 시뮬레이션과 실험을 BPSK방식에도 적용해 보고 그 성능을 시험해 보고 QPSK방식과의 차이를 확인해 볼 계획이다.

마지막으로는 실해역 실험을 시행함으로써 적용된 방식이 실제 환경에서 잘 작동하는 지와 사용가능성을 최종 검증해 보고 수조실험으로는 검증하기 어려운 시변채널에서의 성능 실험을 통하여 최적의 파라미터들을 찾고 문제점들을 보완해 갈 계획이다.

후 기

본 연구결과는 한국해양연구원의 기본연구사업인 "수중 3차원 퓨전영상 생성, 탐지 및 전송기술개발(NRL)" 과제에서 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] L. Tong, G. Xu and T. Kailath, "Blind identification and equalization based on second-order statistics : a time domain approach," IEEE Trans. Inform. Theory., vol. 40 no. 2, pp. 340-349, March 1994

[2] Y. Sato, "A Method of self-recovering equalization for multilevel amplitude modulation, " IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, pp. 679-682, June 1975

[3] E. Eleftheriou and D. D. Falconer, "Adaptive equalization techniques for HF channels," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. Sac-5, pp. 238-247, Feb. 1987

[4] J. G. Proakis, "Digital communication," McGraw-Hill, 4th edition, 2001.

[5] G. W. stewart, "Introduction to matrix computations," Academic Press, INC, first edition, 1973.