

# 4S 해상 통신을 위한 채널 추정 알고리즘 비교 연구

최명수\*, 이성로<sup>o</sup>

## Comparison Study of Channel Estimation Algorithm for 4S Maritime Communications

Myeong Soo Choi\*, Seong Ro Lee<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 4S (Ship to Ship, Ship to Shore) 해상통신을 위해 다른 채널 조건 하에서 기존의 채널 추정 기법을 비교하였다. 일반적으로 수신 신호는 다중경로나 부호 간 간섭에 의해 손상을 받게 된다. 시간 변화 다중 페이딩 채널의 추정은 수신기에서 어려운 작업이며, 적절한 채널 추정 필터를 사용함으로써 수신기의 성능을 향상시킬 수 있다. 모의실험은 MATLAB을 사용하여 AWGN (Additive White Gaussian Noise), Rician, Rayleigh 채널에서 채널 추정 알고리즘으로 주로 사용되어지는 LMS (Least Mean Square)와 RLS (Recursive Least-Squares) 알고리즘을 비교 하였다.

**Key Words** : 4S maritime communication, channel estimation algorithm, AWGN channel, Rician channel, Rayleigh channel

### ABSTRACT

In this paper, we compare the existing channel estimation technique for 4S (Ship to Ship, Ship to Shore) maritime communications under AWGN channel model, Rician fading channel model, and Rayleigh fading channel model respectively. In general, the received signal is corrupted by multipath and ISI (Inter Symbol Interference). The estimation of a time-varying multipath fading channel is a difficult task for the receiver. Its performance can be improved if an appropriate channel estimation filter is used. The simulation is performed in MATLAB. In this simulation, we use the popular estimation algorithms, LMS (Least Mean Square) and RLS (Recursive Least-Squares) are compared with respect to AWGN, Rician and Rayleigh channels.

### I. 서 론

채널은 송신기에서 수신기로 데이터나 정보를 전송하는 매체를 말하며, 통신로 또는 전송로라고도 한다. 채널은 자유공간, 광섬유 등의 물리적 매체를 포함한다. 모든 물리적 매체의 특징은 주파수 왜곡, 위상 왜곡, 심볼간 간섭, 열잡음, 수신기의 손상된

신호수신 등과 같은 다양한 방법으로 전송된 신호가 손상을 받게 된다. 채널 추정은 단순히 입력 시퀀스에 대한 물리적 채널의 효과를 특성화하는 과정으로 정의된다. 흔히 오류 최소화 기준이 만족될 때 채널 추정이 잘 이루어 졌다고 할 수 있다. 등화 기술은 음성, 데이터, 비디오 신호를 채널을 통해 전달 할 때 채널을 이상적으로 만드는데 도움이

\* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011-0023364)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0301-13-2005)

◆ 주저자 : 목포대학교 정보산업연구소, mschoi@mokpo.ac.kr, 정희원

◦ 교신저자 : 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mokpo.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2013-01-022, 접수일자 : 2013년 1월 14일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 8일

되며, 오류를 최소화 시킬 수 있다.

무선 채널의 종류는 Free Space, Two-Way Ground, Shadowing Model, AWGN, Rician, Rayleigh, Uniform Error, Multi-State Markov, Chaotic Map 모델 등이 제안되었다. 이들 모델들은 모델링 세밀도 (granularity)에 따라 패킷 손상 여부를 결정하는 패킷 단위 모델과 각 비트들의 오류를 결정하는 비트 단위 모델로 분류된다. 패킷 모델은 TCP와 같은 상위 계층 평가에 사용되며, 비트 모델은 링크 계층 FEC 알고리즘 평가에 사용된다. 또 다른 분류로는 전파가 전송되는 물리적 현상을 수식화하여 오류 여부를 결정하는 방식과 물리적 현상과는 상관없이 측정된 오류 비트들의 분포를 근접한 확률 함수로 표현하는 방식으로 분류될 수 있다. 예로 Free Space와 Rayleigh 모델은 물리적 현상을 모델링하는 방식이다. 이를 세밀도 측면에서 보면 Free Space 모델은 패킷 오류를 결정하는 광대역 페이딩 (Large Scale Fading) 모델이고, Rayleigh 모델은 비트 오류를 결정하는 협대역 페이딩 (Small Scale Fading) 모델이다.

e-Navigation은 선박의 출발항부터 도착항의 부두 접근에 이르는 전 과정의 안전과 보안을 위한 관련 서비스 및 해양환경 보호 증진을 위해 선박과 육상 관련 정보의 수집, 통합, 교환, 표현 및 분석을 융합하고 통일하여 수행하는 체계로 정의할 수 있다<sup>[1]</sup>. 본 논문에서는 다양한 해상정보, 날씨, 항해정보, 해양 GIS 등과 같은 e-Navigation 관련 정보를 전송하는 4S (Ship to Ship, Ship to Shore) 해상 통신에서 채널 추정 알고리즘을 주로 사용되는 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 AWGN, Rician, Rayleigh 채널 모델에서 비교하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 LMS와 RLS 채널 추정 알고리즘에 대해 알아보고, 3장에서는 AWGN, Rician, Rayleigh 채널 모델들에 대한 특징을 알아본다. 4장에서는 모의실험에 사용한 채널 모델을 제시하고 MATLAB을 이용한 모의실험 결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 채널 추정 알고리즘

채널 추정 알고리즘에 대한 연구를 살펴보면 [2]의 연구에서는 LMS 알고리즘을 사용한 식별 시스템의 예를 통해 적응 필터를 소개하고 있으며, [3]의 연구는 적응 필터 알고리즘의 개념을 논의했다. [4]의 연구는 각도와 하나의 소스와 단일 안테나 어

레이에 의해 수신되는 신호로부터 나오는 다중경로 전파 신호의 상대적 지연에 초점을 맞추고 있다. [5]의 연구는 세미 블라인드 방식으로 알 수 없는 다중경로 채널 임펄스 응답 (CIR, Channel Impulse Response)을 추정하기 위한 파라메트릭 방법을 제안했다. [6]의 연구는 무선 통신 시스템에서 대규모 페이딩 채널을 위해 이산 시간 측정 잡음에 의해 방해받은 데이터에서 샘플 공분산을 기반으로 모델 파라미터를 추정하는 접근방식을 제안하였다.

본 장에서는 여러 채널 추정 알고리즘 가운데 주로 사용되는 LMS (Least Mean Square)와 RLS (Recursive Least Squares) 알고리즘에 대해 비교한다.

### 2.1. LMS 알고리즘

LMS 알고리즘은 최대경사법 (steepest descent)을 사용하여 유도하며 구현이 간단하고 계산량이 적다는 장점과 수렴 속도가 느리다는 단점을 가지고 있다.

잡음이 없는 경우에

$$d(n) = W^H(n)U(n) = \sum W_k^*(n)U_k(n) \quad (1)$$

의 관계를 만족한다고 가정하면, 결과와 원인들이 선형적인 관계를 가진다. 식 (1)에서  $d(n)$ 은 특정 시간  $n$ 의 결과값이다.  $W^H(n)$ 은 각 원인들의 영향 정도를 나타내는  $1 \times M$  행렬로  $W^H(n) = (W_1^*(n) W_2^*(n) \dots W_M^*(n))$ 이고  $W_k^*(n)$ 은  $k$ 번째 원인이 영향을 미치는 정도를 나타내는 값이다.  $U(n)$ 은  $d(n)$ 의 값에 영향을 미치는  $M$ 가지 원인들의 값을 모은  $M \times 1$  행렬로  $U(n) = (W_1^*(n) W_2^*(n) \dots W_M^*(n))$ 이다. 또한,  $U_k(n)$ 은  $d(n)$ 의 값에 영향을 미치는  $k$ 번째 원인의 값이다.

잡음이 포함된  $d(n)$ 과  $U(n)$ 을 알고 있을 때, LMS 알고리즘의 실제 수행은  $n = 1, 2, \dots$ 에서 이루어진다.  $d(n)$ 의 예측값  $y(n)$ 은 식 (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$y(n) = \widehat{W}^H(n)U(n) \quad (2)$$

여기서,  $\widehat{W}^H(n)$ 은  $W^H(n)$ 의 예측값이다. 예측 오차  $e(n)$ 은 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (3)$$

마지막으로 가중치 갱신(weight update) 은 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{W}(n+1) = \hat{W}(n) + \mu U(n)e^*(n) \quad (4)$$

식 (4)에서  $\mu$ 는 상수로 실수값을 가지며,  $\mu$ 가 작아질수록 수렴 속도가 느리지만 수렴 후 에러가 적게 발생한다. 즉, 스텝 크기로 가중치를 갱신하는 간격에 대한 상수값으로 LMS 알고리즘의 특성을 제어한다. 수렴하기 위한  $\mu$ 에 대한 범위는 다음과 같다.

$$1 < \mu < \frac{1}{\lambda_{\max}} \quad (5)$$

여기서,  $\lambda_{\max}$ 는 입력 신호  $U(n)$ 으로 구성된 자기상관 행렬의 최대 고유값 (maximum eigenvalue) 이다<sup>[2]</sup>.

## 2.2. RLS 알고리즘

RLS 알고리즘은 실제 데이터와 계산된 값들의 차이 제곱의 합이 최소가 되도록 선형 모델식의 파라미터를 찾는 것이다. 감쇠요소 (forgetting factor)  $\lambda$ 를 포함한 에러들의 합과 정규화 (regularization) 를 위한 항을 포함하는 비용함수 (cost function)를 사용하여 유도하며 빠른 수렴속도를 갖는다는 장점과 계산량이 많다는 단점을 가지고 있다.

잡음이 없는 경우에 RLS 알고리즘은 식 (1)에서와 같이 LMS 알고리즘과 동일하다. 잡음이 섞인  $d(n)$ 과  $U(n)$ 을 알고 있을 때의 알고리즘 동작은 다음과 같다.

RLS 알고리즘의 실제 수행은  $n = 1, 2, \dots$ 에서 이루어진다.

$$\pi(n) = P(n)U(n) \quad (6)$$

$$k(n) = \frac{\pi(n)}{(\lambda + U^H(n)\pi(n))} \quad (7)$$

실제 수행에 있어 식 (2)의  $d(n)$ 의 예측값  $y(n)$ , 식 (3)의 예측 오차  $e(n)$ , 식 (4)의 가중치 갱신 (weight update)은 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘이 동일하다.

$$P(n+1) = \lambda^{-1}P(n) - \lambda^{-1}k(n)U^H(n)P(n) \quad (8)$$

$\delta$ 는 성능을 가장 좋게 만드는 상수값이며, SNR이 높을수록 작은 값을 사용한다. 감쇠요소  $\lambda$ 는 성능을 가장 좋게 만드는 값으로 보통 0에서 1사이의

실수값을 사용한다.  $\lambda = 1$ 일 경우 수치적 불안정성 문제가 발생하기 때문에 보통 1에 가깝지만 1보다 작은 값을 사용한다. 감쇠요소는 새로운 데이터들이 들어오면 처음 들어온 오래된 데이터들을 버리기 위한 요소이다. 감쇠요소는 가중치로 볼 수 있는데 오래될수록 예전에 들어온 데이터들의 가중치를 적게 두고 새로 들어온 데이터에 가중치를 많이 주는 것과 같다. 공분산 행렬  $P(1) = \delta^{-1}I$ 이다. 여기서  $I$ 는  $M \times M$  단위행렬이다<sup>[3]</sup>.

## III. 채널 및 채널 모델

본 논문에서는 4S 해상통신 환경에서 세 가지 채널 즉, AWGN, Rician 페이딩 채널, Rayleigh 페이딩 채널을 고려하였다. 4S 해상통신을 위한 채널 추정은 셀룰러 채널과 비교된다. 다중경로 페이딩은 통신에서 중요한 문제이다. 페이딩 채널에서 신호는 약해지게 된다. 신호전력이 크게 떨어질 때, 높은 비트 에러율(BER)의 상승을 초래하며 채널이 열화되었다고 할 수 있다.

### 3.1. AWGN 채널

AWGN (Additive White Gaussian Noise)는 넓은 주파수 범위라는 특징을 지니는 통계적으로 랜덤 분포하는 백색 잡음 신호를 말한다. 즉, 모든 색의 빛을 합하면 백색이 된다는 색의 원리와 마찬가지로 모든 주파수의 신호가 합해진 상태를 의미하며, 여기에 확률 변수로는 가우시안 형태를 가지고 원래의 신호에 더해진다는 것이다. 자유공간으로 전파되는 전자파는 공간에 항상 존재하는 어떤 잡음을 고려해야 할 경우 사용된다. 페이딩, 주파수 선택성, 간섭, 비선형, 분산은 AWGN 모델의 일부가 아니다. AWGN 모델은 간단한 수학적 모델을 생성한다. 이 수학적 모델은 시스템의 기본 동작에 대한 이해를 돕는데 유용하다<sup>[7]</sup>. 많은 위성파와 우주 통신 링크의 경우 AWGN 모델이 적합하다. 반면에 다중경로, 지형 차단, 간섭 등의 문제로 인해 대부분의 지상파 채널에는 적합하지 못하다. 그러나, 다중경로, 지형 차단, 간섭 등의 연구에서 배경 잡음을 모의실험하는데 사용된다<sup>[7]</sup>. AWGN 채널을 수학식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Q_i \approx N(0, n) \quad S_i = R_i + Q_i \quad (9)$$

AWGN 채널에서 채널용량  $C$ 는

$$C = \frac{1}{2} \log\left(1 + \frac{P}{n}\right) \quad (10)$$

여기서  $P$ 는 최대 채널 전력을 나타낸다.

종합적으로 정리하면 AWGN 채널은 시간영역에서 임펄스 응답을 가지는 시스템에 백색 가우스잡음이 더해진 형태로 모델화할 수 있다<sup>7)</sup>.

### 3.2. Rician Fading 채널

Rician 페이딩 채널은 확률적 모델로 무선채널 환경에서 반사파가 직접파보다 우세한 Rayleigh 분포와는 달리 직접파가 반사파보다 우세한 실내와 같은 환경에 주로 적용할 수 있다. Rician 페이딩 모델은 송신기와 수신기 사이에 시야가 확보될 경우에 적용할 수 있다. Rician 페이딩 채널에서는 LOS (Line of Sight) 신호가 다른 신호보다 더 세다. Rician 페이딩에서 진폭 이득은 Rician 분포에 의한 특징이다<sup>8)</sup>. [9]의 연구에서 LOS 성분을 수식으로 표현하는 것이 복잡하기 때문에 이를 기지국 대 단말과의 관계로 축소하고 상대 이동 개념을 Rician 페이딩 채널에 적용하여 정현파의 합으로 수식 모델을 적용하였다.  $K$ 와  $\Omega$ 는 Rician 페이딩 채널에 사용되는 파라미터이다.  $K$ 는 직접 경로의 전력과 분산된 다른 경로 전력 사이의 비율을 나타내고,  $\Omega$ 는 직접 경로의 전력을 나타낸다. 수신된 신호의 진폭  $R$ 은 라이시안 분포를 따른다<sup>8)</sup>. 이를 수식으로 나타내면 식 (11)과 같다.

$$f(x) = \frac{2(K+1)x}{\Omega} \exp\left(-K - \frac{(K+1)x^2}{\Omega}\right) I_0\left(2\frac{\sqrt{K(K+1)}}{\Omega}x\right) \quad (11)$$

### 3.3. Rayleigh Fading 채널

Rayleigh 페이딩 채널은 통계 모델이다. Rayleigh 페이딩은 직접파 등이 장애물에 가려져 잘 도달하지 않고, 주로 반사파들이 여러 다중경로에 의해 수신측에 도달하여 합성되게 되는데 이때 신호 강도가 빠르게 요동치며 생기는 페이딩 현상을 말한다. Rayleigh 페이딩은 200kHz 이내의 좁은 대역에서 주로 발생하며, 짧은 기간에 급격한 출렁임을 보이며 무선 통신에 많은 영향을 주게 된다. 또한, 수신된 신호가 주파수 영역에서 흩어지게 되는 도플러 확산 현상의 원인이 되기도 한다<sup>10)</sup>. 송, 수신이 모두 이동 환경에서는 저 안각의 안테나가 사용된다. 따라서 송수신기 모두 로컬 스캐터러 (scatterer)에

의하여 둘러싸여 있기 때문에 이를 로컬 산란 환경이라 한다. 따라서 산란기를 셀룰러 채널에 대하여 이동국 주위에 놓인 것으로 정의하는 단일 링을 이중 링으로 확장할 수 있게 된다. 이중 링 모델<sup>11)</sup>은  $T_x, R_x$  주위에 균일하게 배치된 한 링의 스테터러를 정의하여 등방성 로컬 산란파를 발생시킨다<sup>12)</sup>. 랜덤 변수  $R$ 은 다음과 같은 확률 밀도 함수를 갖는다.

$$P_R(r) = \frac{2r}{\Omega} e^{-r^2/\Omega}, \quad r \geq 0 \quad (12)$$

여기서  $\Omega = E(R^2)$ 이다.

### 3.4. 4S 통신시스템의 채널

e-Navigation은 대형선박을 비롯하여 모든 선박의 안전과 보안을 위한 관련 서비스 및 선박과 육상관련 정보의 조화로운 수집, 통합, 교환, 표현 및 분석을 수행하는 통합적인 해상교통 지원체제로 정의할 수 있다<sup>11)</sup>. 이러한 e-Navigation을 위한 미래 4S 해상 통신 시스템은 해상 향해 안전과 관련한 엄격한 QoS (Quality of Service)를 요구하기 때문에 무선 채널 관리가 필요하다. 4S 채널에서 송신기와 수신기 모두 주위에 산란이 발생할 수 있지만 고정된 기지국에서는 산란으로부터 자유롭다. 통신 거리는 일반적인 이동통신 환경 (1Km 이내)에 비해 4S 해상 통신 거리는 (수m ~ 수십Km)로 훨씬 크다. 일반적인 이동통신에서 송신기나 수신기만 이동을 하지만 4S 해상 통신에서는 두 가지 경우를 생각할 수 있다. 선박대 선박 (Ship to Ship) 통신의 경우 송신기나 수신기 모두 이동할 수 있고, 선박대 육상 (Ship to Shore) 통신의 경우 송신기나 수신기 둘 중 하나만 이동을 하게 된다.

해상 통신시스템은 MF/HF/VHF대역을 사용하는 해상라디오통신과 INMARSAT이나 Orbcomm을 사용하는 위성통신으로 구분되며, 간단한 텍스트, 팩스 또는 음성서비스가 주요 서비스이다. 이러한 해상 통신 방식 중 MF/HF/VHF대역을 사용하는 해상라디오 통신은 연근해를 항해하는 중소형 선박 또는 개인용 레저선박에서 사용되고 있으며, 통신범위가 80Km~300Km 정도로 광범위하지만 가장 큰 제약점은 전송 가능한 데이터 throughput이 64~300Kbps로 매우 낮다는 점이다. 반면 지상의 셀룰라시스템, Wi-Fi, WLAN, WiBro, WiMax를 기반으로 하는 무선통신시스템은 통상 서비스 범위가 수십Km 이내로 국한되는 문제점이 있지만 데이터 throughput은

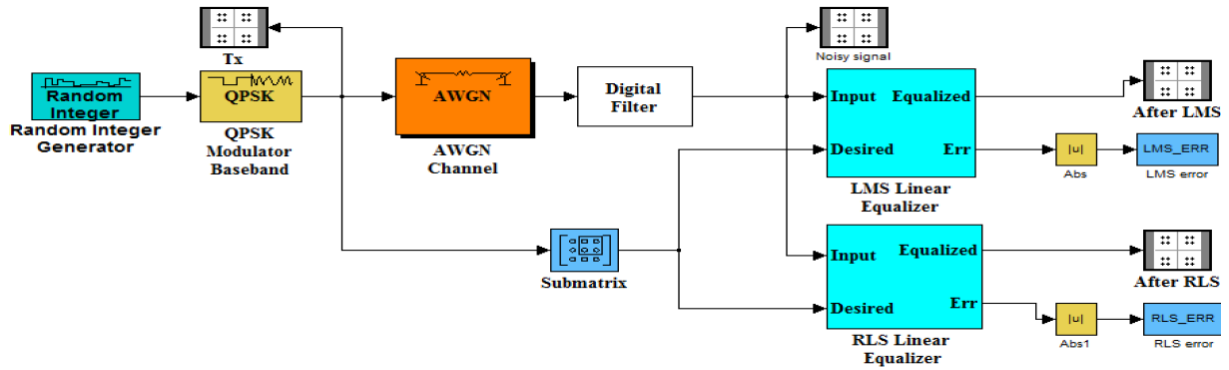


그림 1. AWGN 채널 모델의 블록도  
Fig. 1. Block diagram AWGN Channel Model

2Mbps까지 가능한 장점이 있다<sup>13)</sup>.

#### IV. 모의실험 및 실험 결과

본 논문에서 LMS와 RLS 알고리즘을 적용한 적응필터의 실험 결과를 보면 RLS 알고리즘을 적용한 적응필터가 적은 에러를 보이고 있음을 알 수 있다. 모의실험에서 입력신호로 사용한 랜덤 신호는 QPSK 변조를 거친 신호를 사용하였고, 그림 2의 (a)에 입력신호의 정상도를 보이고 있다. 이 입력신호는 채널을 통해 보내지며, 실험에 사용된 채널은 AWGN 채널, Rician 페이딩 채널, Rayleigh 페이딩 채널이다.

##### 4.1. AWGN 채널

본 모의실험에 사용된 AWGN 채널 모델은 다중경로나 에코가 전송 신호에 영향을 주지 않는 4S 해상통신 채널을 말한다. 그림 1은 AWGN 채널 모델의 블록도를 보이고 있다. AWGN 채널에서 일부 잡음은 수신측에 수신된 신호에 추가된다. 수신된 신호의 산포도는 그림 2의 (b)에 보이고 있다. 수신된 신호는 희망신호와 비교하고, 희망신호에 대해 등화(equalize)를 수행한다. 이 과정은 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 적용한 적응 필터에 의해 수행되는데, LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 적용한 등화를 수행한 수신 신호의 산포도를 그림 2의 (c)와 (d)에서 각각 보이고 있다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 RLS 알고리즘을 적용한 등화기의 출력신호가 LMS 알고리즘을 적용한 등화기의 출력신호보다 등화에 적은 시간이 소요됨을 알 수 있다.

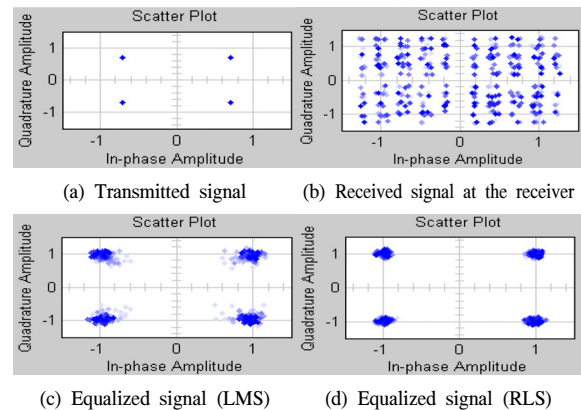


그림 2. AWGN 채널에서 모의실험 결과  
Fig. 2. Simulation results in AWGN channel model

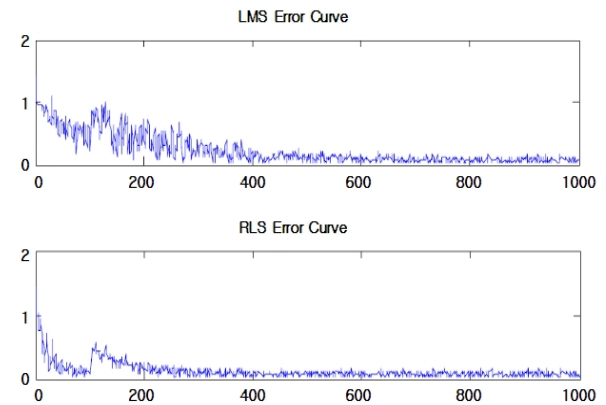


그림 3. AWGN 채널에서 LMS와 RLS 등화기의 에러곡선 비교  
Fig. 3. Simulated error curve comparison of LMS and RLS equalizer in AWGN channel

그림 3은 AWGN 채널에서 LMS와 RLS 등화기의 에러곡선을 비교한 것이며, 그림에서 보는바와 같이 RLS 에러 곡선이 LMS 에러 곡선보다 빠르게 감소하는 것을 볼 수 있다.

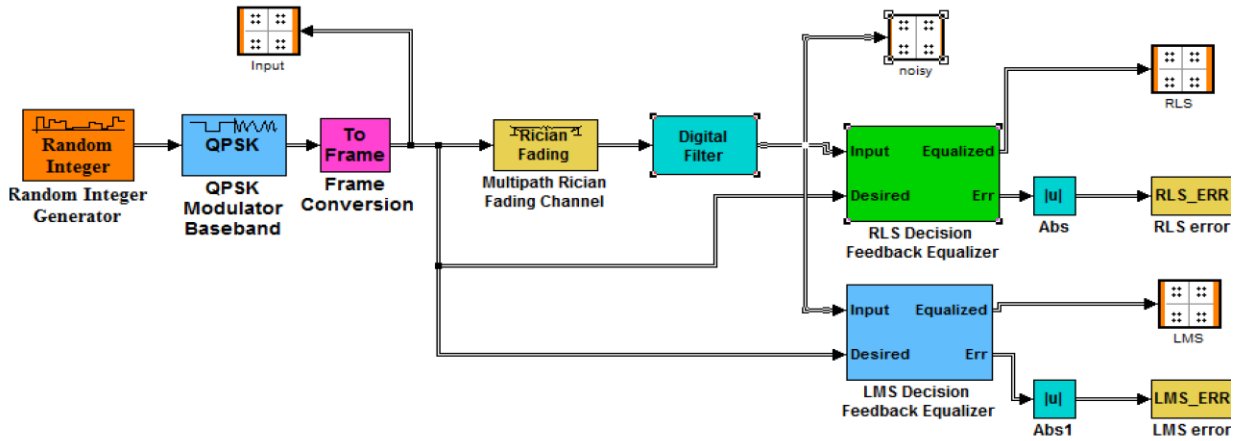


그림 4. Rician 페이딩 채널 모델의 블록도  
Fig. 4. Block diagram Rician Fading Channel Model

### 4.2. Rician 페이딩 채널

본 모의실험에 사용된 Rician 페이딩 채널 모델에서 전송 신호는 다중경로에 의해 영향을 받는다. Rician 페이딩은 한 경로의 신호가 다른 경로의 신호보다 훨씬 강한 경우 발생한다. 이 경로의 신호는 가시거리 (Line of Sight) 신호라고 한다. Rician 페이딩에서 진폭 이득은 정규분포의 특징을 가지고 있다. 그림 4는 모의실험에 사용된 Rician 페이딩 채널 모델의 블록도를 보이고 있다.

그림 5의 (b)는 (a)의 입력신호에 대한 수신기에서의 잡음신호를 보이고 있다. (c)와 (d)는 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 적용한 등화를 수행한 수신 신호의 산포도를 보이고 있다.

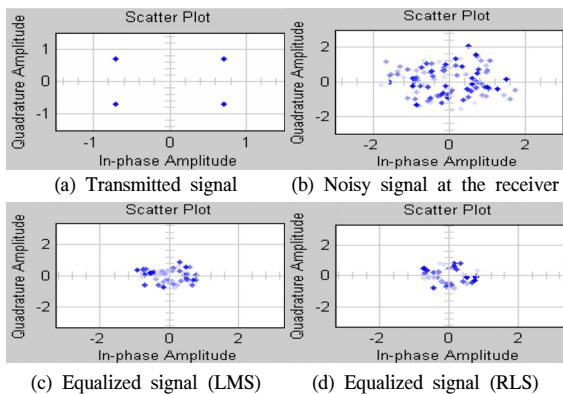


그림 5. Rician 페이딩 채널에서 모의실험 결과  
Fig. 5. Simulation results in Rician fading channel model

그림 6은 Rician 페이딩 채널에서 LMS와 RLS 등화기의 에러곡선을 비교한 결과를 보이고 있다. 이 결과를 통해 Rician 페이딩 채널에서 RLS 알고리즘을 적용한 등화기가 오류를 줄이는데 더 효율적이라는 것을 보여주고 있다.

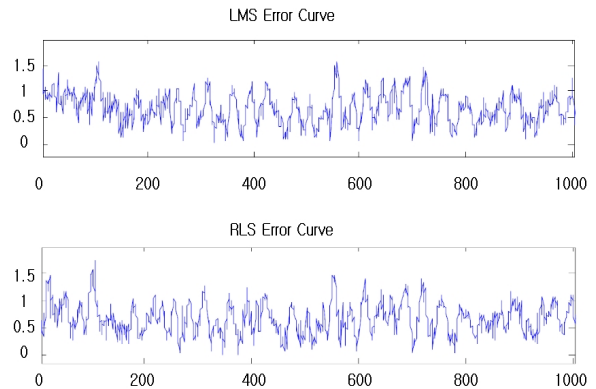


그림 6. Rician 페이딩 채널에서 LMS와 RLS 등화기의 에러곡선 비교  
Fig. 6 Simulated error curve comparison of LMS and RLS equalizer in Rician fading channel

### 4.3. Rayleigh 페이딩 채널

본 모의실험에 사용된 Rayleigh 페이딩 채널 모델은 그림 7과 같다. Rayleigh 페이딩은 수신기에서 다중경로에 의한 많은 신호들이 수신됨으로써 발생한다. 4S 해상통신 환경에서 이동하는 수신기는 많은 신호들을 수신하게 된다.

그림 8의 (b)는 전송신호 (a)에 대해 수신기에 수신된 신호의 산포도를 보여주고 있다. (c)와 (d)는 LMS와 RLS 알고리즘을 적용한 등화된 산포도를 보이고 있다. AWGN 채널 모델과 Rician 페이딩 채널 모델의 경우와 같이 RLS 알고리즘을 적용한 등화기가 잡음 신호를 등화시키는데 LMS 알고리즘을 적용한 등화기보다 적은 시간이 걸림을 확인할 수 있다.

그림 9는 Rayleigh 페이딩 채널에서 LMS와 RLS 등화기의 에러곡선을 비교한 결과를 보이고

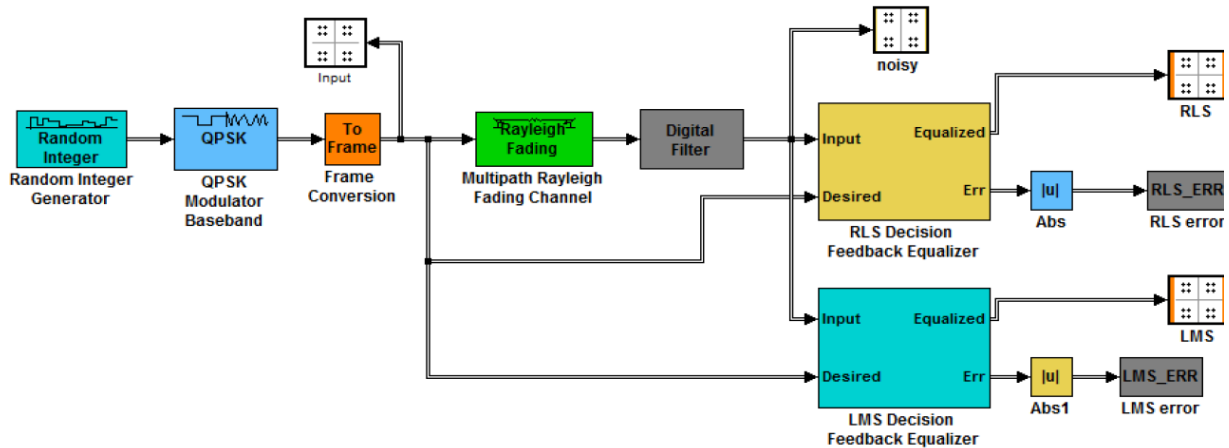


그림 7. Rayleigh 페이딩 채널 모델의 블록도  
Fig. 7. Block diagram Rayleigh Fading Channel Model

있다.

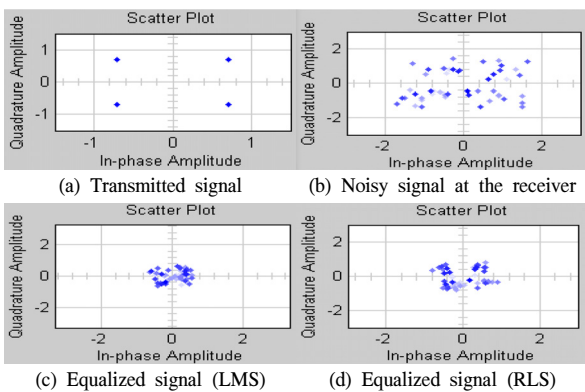


그림 8. Rayleigh 페이딩 채널에서 모의실험 결과  
Fig. 8. Simulation results in Rayleigh fading channel model

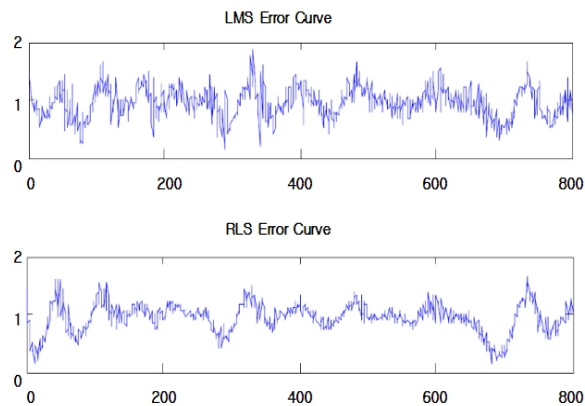


그림 9. Rayleigh 페이딩 채널에서 LMS와 RLS 등화기의 에러곡선 비교  
Fig. 9. Simulated error curve comparison of LMS and RLS equalizer in Rayleigh fading channel

그림 9에서 보는바와 같이 신호의 페이딩으로 인해 Rayleigh 페이딩 채널 모델의 오류 값은 AWGN 채널 모델보다 더 많다.

표 1. 각 채널 모델별 평균 오차와 표준편차 비교  
Table 1. Comparison of mean error and standard deviation in each channel model

Channel Model	Mean Error		Standard Deviation	
	LMS	RLS	LMS	RLS
AWGN Channel	0.2247	0.1213	0.2375	0.1332
Rician Fading Channel	0.8245	0.8278	0.7764	0.7811
Rayleigh Fading Channel	0.9457	0.9259	0.2547	0.2486

표 1은 모의실험을 통해 AWGN 채널, Rician 페이딩 채널, Rayleigh 페이딩 채널에서 LMS와 RLS의 평균 오차와 표준 편차를 비교한 것이다.

### V. 결 론

본 논문에서는 4S 해상통신을 위한 AWGN, Rician 페이딩 채널, Rayleigh 페이딩 채널에서 LMS와 RLS 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다. IV장에서의 모의실험 결과는 RLS가 채널 추정 알고리즘으로 사용되었을 경우 LMS와 비교하여 수신된 신호가 빠르게 등화됨을 보여주고 있다. 이러한 사실을 통해 RLS의 표준편차가 LMS와 비교하여 보다 작음을 알 수 있다. 이러한 비교 연구를 통해 RLS 알고리즘은 LMS 알고리즘보다 적은 오류를 생성하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고, AWGN 채널은 작은 양의 에러 값을 만든다는 것을 확인할 수 있었다. AWGN 채널에서 Rician 페이딩 채널과 Rayleigh 페이딩 채널로 변경하면 에러값이 증가하는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 사실을 바탕으로 본 논문에서 비교한 알고리즘을 실제 환경에 적용하였을 경우 RLS 알고리즘보다 LMS 알고리즘을 구현하는 것이 수학적 계산이 간단하기

때문에 시스템을 구성하는데 더 쉽다는 것을 확인할 수 있었다. 현재 기존의 알고리즘을 개선하는 채널 추정 알고리즘에 대한 많은 연구가 진행 중이다. 향후 연구로는 실측기반 해상채널 환경에서 개선된 채널 추정 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

### References

[1] J. M. Kim and W. S. Shim, "Technology Standardization Trends of e-Navigation," *Telecommun. Technol. Assoc., (TTA)*, vol. 126, no. 1, pp. 38-44, Nov. 2009.

[2] D. L. Jones, S. Appadwedula., M. Berry, M. Haun, D. Moussa, and D. Sachs, *Adaptive Filtering: LMS Algorithm* [Online], available: <http://cnx.rice.edu/content/m10481/2.13/>.

[3] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 4<sup>th</sup>Ed., PrenticeHall, 2009.

[4] M. C. Vanderveen, A. J. van der Veen, and A. Paulraj, "Estimation of multipath parameters in wireless communications," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 46, no. 3, pp. 682-690, Mar. 1998.

[5] A. R. Athanasios, B. Kostas, M. Alexandra and P. Jacques, "Efficient semi-blind estimation of multipath channel parameters via a delay decoupling optimization approach," *Signal Process.*, vol. 85, no. 12, pp. 2394-2411, Dec. 2005.

[6] M. Mossberg, E. K. Larsson, and E. Mossberg, "Long-term fading channel estimation from sample covariances," *Automatica*, vol. 45, no. 5, pp. 1126-1133, May 2009.

[7] Wikipedia. *Additive white Gaussian noise* [Online], available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Additive\\_white\\_Gaussian\\_noise](http://en.wikipedia.org/wiki/Additive_white_Gaussian_noise).

[8] Wikipedia. *Rician fading* [Online], available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Rician\\_fading](http://en.wikipedia.org/wiki/Rician_fading).

[9] L. Wang and Y. H. Cheng, "A statistical mobile to mobile Rician fading channel model," *IEEE Veh. Technol. Conf. (IEEE VTC 2005)*, pp. 63-67, Stockholm, Wweden, May 2005.

[10] Wikipedia. *Rayleigh fading* [Online],

available:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh\\_fading](http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_fading).

[11] C. S. Patel, G. L. Stuber, and T. G. Pratt, "Simulation of Rayleigh faded mobile to mobile communication channels," *IEEE Veh. Technol. Conf. (IEEE VTC 2003)*, vol. , no. 1, pp. 163-167, Orlando, USA, Oct. 2003.

[12] G. J. Nam, "Modelling of Rayleigh and Rician Mobile Fading Channel," *J. Inst. Electron. Eng. Korea (IEEK)*, vol. 44, no. 4, pp. 41-47, Dec. 2007.

[13] M. S. Lim, K. S. Kim, Y. Lee and S. R. Lee, "Dynamic Spectrum Allocation Algorithm for Maritime communications using Spectrum Sharing and Priority," *Korean Inst. Commun. Inform. Sci. J. (KICS)*, vol. 35, no. 7, pp. 1001-1008, July 2010.

#### 최 명 수 (Myeong Soo Choi)



2000년 2월 목포대학교 전자공학과 공학사

2002년 2월 목포대학교 전자공학과 공학석사

2009년 2월 목포대학교 전자공학과 공학박사

2009년 3월 목포대학교 해양

텔레매틱스기술개발센터 박사후연구원

2009년 12월~현재 목포대학교 정보산업연구소 연구원

<관심분야> 디지털통신시스템, USN, 배열신호처리, 임베디드시스템

#### 이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 고려대학교 전자공학과 공학사

1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사

1996년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사

1997년 9월~현재 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템