

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.3.67>

IIBC 2019-3-9

스텝 크기에 의한 CCA 적응 등화 알고리즘의 성능 평가

A Performance Evaluation of the CCA Adaptive Equalization Algorithm by Step Size

임승각*

Seung-Gag Lim*

요 약 본 논문에서는 통신 채널에서 발생하는 찌그러짐의 영향을 최소화하기 위한 CCA 적응 등화 알고리즘에서 스텝 크기의 변화에 따른 성능을 해석하였다. CCA 알고리즘은 기존의 결정 지향 알고리즘 (DDA : Decision Directed Algorithm)과 축소 신호점 알고리즘 (RCA : Reduced Constellation Algorithm)의 적절한 결합 방식으로 송신 신호의 constant modulus와 결정 장치의 출력 신호를 compact slice 가중치만큼 고려하여 이들의 장점을 얻을 수 있다. 이 과정에서 compact slice 가중치를 고정시킨 후, 적응을 위한 알고리즘의 스텝 크기를 3가지로 변화시킬때의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 시뮬레이션 결과 스텝 크기가 적을수록 수렴 속도는 늦지만 정상 상태 이후의 성능이 개선됨을 확인하였고, 특히 SER 성능에서는 스텝 크기가 적은 경우 robustness함을 알 수 있었다.

Abstract This paper evaluates the performance of CCA (Compact Constellation Algorithm) adaptive equalization algorithm by varying the step size for minimization of the distortion effect in the communication channel. The CCA combines the conventional DDA and RCA algorithm, it uses the constant modulus of the transmission signal and the considering the output of decision device by the power of compact slice weighting value in order to improving the initial convergence characteristics and the equalization noise by misadjustment in the steady state. In this process, the compact slice weight values were fixed, and the performance of CCA adaptive equalization algorithm was evaluated by the varying the three values of step size for adaptation. As a result of computer simulation, it shows that the smaller step size gives slow convergence speed, but gives excellent performance after at steady state. Especially in SER performance, the small step size gives more robustness that large values.

Key Words : CCA, DDA, RCA, residual isi, maximum distortion

I. 서 론

최근 정보 통신 서비스의 고속화, 다양화 추세에 따라 중단 시스템간 디지털 정보의 전송 수요가 증대되지만

중간 전송 매체로는 유선과 무선으로 한정되고 있다. 이들 매체는 대역 제한 특성과 송수신 시스템간의 연결 시 다중 경로 채널 및 페이딩과 같은 장애 요인이 발생되어 고속 전송을 제약하므로 송신 전력의 증가없이 장애 요

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학 전공
접수일자 2019년 3월 29일, 수정완료 2019년 4월 29일
계재확정일자 2019년 6월 7일

Received: 29 March, 2019 / Revised: 29 April, 2019 /
Accepted: 7 June, 2019

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

Dept. of Information and Communication, Kongju National
University, Korea

인을 극복하기 위한 정합 필터 및 등화기, 효율적인 오류 검출 및 정정 기술, 다이버시티와 같은 페이딩 완화 기술 등이 사용된다^{[1][6]}. 특히 이동 통신과 같이 무선 주파수를 사용하는 채널인 경우 언제, 어디서나, 자유롭게 다양한 정보원을 수용할 수 있는 장점이 있지만 제한된 대역폭 내에서 다량의 정보를 수용하기 위하여 multi level의 신호 방식 채용 필요 및 이를 전송할 때 다중 경로 환경에서 복수개의 신호가 수신기에 도달하여 발생하는 시간 퍼짐(dispersion)에 의한 부호간 isi는 통신 시스템의 성능을 크게 결정한다. 송신 전력의 증가없이 이를 최소화시킬 수 있는 기술적 대안으로 등화기를 들 수 있다. 등화기는 특정한 응답을 갖는 디지털 필터를 말하며, 응답이 통신 채널의 역특성에 근사하게 된다. 이를 위하여 고정 등화기와 적응 등화기로 대별되며, 전자의 경우 주로 채널의 변화가 미미한 유선 채널에서 사용되며 후자의 경우 채널의 변화가 심한 무선 채널에서 사용된다. 특히 후자의 경우 채널의 임펄스 응답 특성을 알기 위해서는 송수신국간 상호 약정된 training sequence를 통신 개시과 통신 중에 일정 시간 간격으로 이를 반복하는 trained 방식과 sequence없이 수신되는 신호에서 이를 얻어낼 수 있는 blind 방식의 2 가지로 대별된다^[3]. 최근에는 blind 방식이 널리 사용되고 있지만 trained 방식에 비해 성능이 열화되므로 이를 해결하기 위하여 DDA (Decision Directed Algorithm), RCA (Reduced Constellation Algorithm) 및 CCA (Compact Constellation Algorithm)등을 들 수 있다^{[3][5]}. 이들 알고리즘 중에서 DDA는 constant multi level modulus 신호에 대해서는 초기의 수렴 여부가 불확실하지만, 일단 수렴 상태에 들어가면 매우 안정적으로 동작하므로 다른 방식들과 조합하여 사용되는 보조 방식으로 사용되고 있다. RCA는 축소 신호점 개념을 이용하는 방식으로 수렴 특성은 DDA보다 개선되지만 정상 상태에서 misadjustment에 의한 등화 잡음이 크다는 단점을 갖는다^[4]. 논문에서 고려되는 CCA (Compact Constellation Algorithm)은 DDA와 RCA 알고리즘의 장점을 살릴 수 있도록 제안된 방식을 말한다. CCA에서는 CMA, MMA등에서 사용되는 송신 신호의 dispersion constant에 결정 장치의 출력 신호 (Sliced Output)를 compact slice 가중치만큼 고려하도록 비용 함수가 구성되어 있다. 본 논문에서는 이와같은 CCA 적응 등화 알고리즘에서 compact slice 가중치를 고정한 후, 적응 등화를 위한 스텝 크기를 0.002, 0.001, 0.0005의 3가지로 변화시킬 때 등화 알고리즘 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 평가

를 위한 성능 지수로는 등화기 출력 신호, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE 및 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER (Symbol Error Rate)을 사용한다. 2 장에서는 적응 등화기를 적용한 기저 대역 통신 시스템의 모델을 설명한 후 3 장에서는 CCA 알고리즘에 대해 설명한 후 4 장에서는 시뮬레이션 과정 및 결과를 제시한 후 5 장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 기저 대역 시스템 모델

그림 1은 적응 등화기를 사용하는 기저 대역 통신 시스템의 기능적 모델을 나타내며, 여기서 주파수 스펙트럼의 천이를 나타내는 과정은 이상적으로 가정하였다. 송신 측에서는 high level QAM과 같은 constant modulus를 갖는 신호 I_k 를 송신하면 대역 제한과 찌그러짐에 의한 부호간 isi를 발생시키는 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하면서 일정한 크기의 가우시안 잡음 n_k 가 부가되어 수신된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 채널에 의해 발생하는 부호간 isi를 보상하여 z_k 를 얻게 된다. 이 출력 신호는 결정 장치 (Decision Device)를 통과하면서 송신 신호 s_k 의 추정치인 \hat{I}_k 를 얻게 된다. 여기서 $I_k \approx \hat{I}_k$ 가 되기 위한 등화기의 응답 f_k 는 채널의 응답 h_k 와 시간 영역에서 임펄스 신호 δ_k 가 되어야 하며, 이를 위해 출력 신호 z_k 또는 결정 장치의 출력 \hat{I}_k 를 이용하여 CCA 적응 등화 알고리즘을 매 순간 실행시키면서 등화기의 계수 f_k 를 변화시키게 된다.

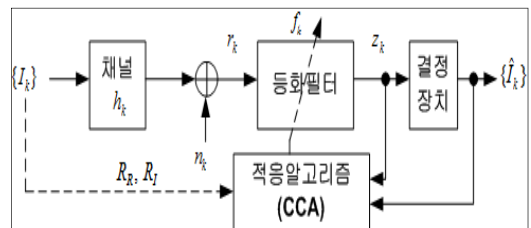


그림 1. 통신 시스템의 기능 모델
Fig. 1. Function Model of Communication System

2. CCA 등화 알고리즘

CCA는 RCA의 등화 잡음의 원인이 되는 오차항의 분산값을 줄이기 위하여 등장하였다. 이를 위하여 독립적인 통계 심볼을 송신 심볼의 constellation에 각각 할당하는데, 통계 심볼은 실제 송신 심볼의 subset은 아니다. multi level의 수가 증가할수록 등화 잡음의 감소는 현저해지며, 통계 심볼은 dispersion constant R_R, R_I 및 결정 장치의 출력 \hat{I}_k 에 의해 결정되어진다. 그림 1의 기저 대역 통신 시스템 모델에서 송신 신호를 I_k , 채널에서 부가되는 잡음을 n_k , 등화기 입력 신호를 r_k , 등화기의 필터 계수를 f_k , 등화기 출력 신호를 z_k 라고 하자. 등화기 필터의 차수를 N 이라고 하면 필터 계수 벡터와 등화기 입력 벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_k &= [f_{0k} \ f_{1k} \ f_{2k} \ \dots \ f_{(N-1)k}] \\ R_k &= [r_k \ r_{k-1} \ r_{k-2} \ \dots \ r_{(k-N+1)}] \end{aligned} \quad (1)$$

이를 이용하면 등화기의 출력 신호는 다음과 같다.

$$z_k = F_k^T R_k \quad (2)$$

그림 1의 CCA 등화기 구조에서 결정 장치 출력을 이용한 통계 심볼 $R_R \hat{I}_{R,k}^D \cdot \text{sgn}(z_{R,k})$ 와 $R_I \hat{I}_{I,k}^D \cdot \text{sgn}(z_{I,k})$ 를 구하는데, 여기서 D 는 0 과 1 사이의 상수를 나타내는 compact slice 가중치이다. CCA에서 통계 심볼은 RCA의 $(R_R, R_I), (R_R, -R_I), (-R_R, R_I)$ 와 $(-R_R, -R_I)$ 의 4개로 축소시키는 것이 아니라 원래의 심볼 개수를 유지하면서 이들을 일정한 modulus 범위 내에서 compact 시키므로 CCA의 이름이 사용된다. CCA의 비용 함수 J_{CCA} 와 탭 계수 갱신식을 다음의 식 (3)에 나타내었다.

$$J_{CCA} = E[(z_{R,k} - R_R \hat{I}_{R,k}^D \cdot \text{sgn}(z_{R,k}))^2 + (z_{I,k} - R_I \hat{I}_{I,k}^D \cdot \text{sgn}(z_{I,k}))^2] \quad (3)$$

$$F_{k+1} = F_k + \mu [(R_R \hat{I}_{R,k}^D \cdot \text{sgn}(z_{R,k}) - z_{R,k}) + j (R_I \hat{I}_{I,k}^D \cdot \text{sgn}(z_{I,k}) - z_{I,k})] R^*(k)$$

여기서 μ 는 적응을 위한 스텝의 크기를 나타내며, 이와 같이 결정 장치의 출력을 탭 계수 갱신식에 반영하므로서 등화기 출력 z_k 가 가장 인접한 심볼로부터 얼마나 차이가 나는지의 정보로 이용할 수 있으므로 정상 상태에서 탭 계수의 misadjustment 에 의한 등화

잡음을 경감시킬 수 있다. CCA의 경우 주어진 가중치 D 의 값을 이용하여 modulus는 다음과 같이 계산되어진다.

$$R_R = \frac{E[I_R]^2}{E[I_R]^{(1+D)}}, \quad R_I = \frac{E[I_I]^2}{E[I_I]^{(1+D)}} \quad (4)$$

D 의 값을 어떻게 설정하느냐에 따라 CCA를 DDA와 RCA로 설정할 수 있다. $D=1$ 의 경우 CCA의 탭 갱신은 DDA의 갱신식이 되며, $D=0$ 의 경우 CCA의 탭 갱신은 RCA의 갱신식이 된다. 어느 갱신식이 되느냐에 따라 DDA 또는 RCA의 장점을 살릴 수 있게 된다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션

CCA 적응 등화 알고리즘에서 compact slice 가중치 D 를 0.5로 고정시킨 후, 알고리즘의 스텝 크기인 μ 가 등화 성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 신호대 잡음비를 20dB, 적응 스텝 크기 μ 는 0.002, 0.001, 0.0005이며 등화기의 적응 필터 차수는 15차 FIR로 설정하였고, 송신 신호로는 16-QAM을 이용하였다. 이 신호는 통신 채널을 통과시킨 후 원하는 신호대 잡음비를 갖는 잡음 n_k 를 부가한 후 수신 신호 r_k 을 얻었다. 그림 2는 송신 신호와 수신 신호를 나타낸 것으로 수신 신호에는 마름모 모양으로 위상 회전이 발생되며 진폭 크기가 변동해짐을 알 수 있으며, 그림 3은 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 나타내고, 표 1은 그림 2의 수신된 신호를 발생시키는 음성 대역급 채널의 임펄스 응답 h_k 를 나타낸 것이다.

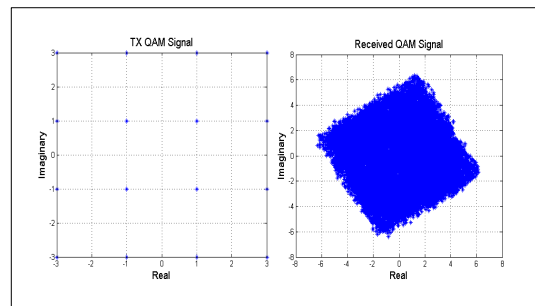


그림 2. 송신과 수신 신호 성상도
 Fig. 2. TX and RX Signal Constellation



그림 3. 신호 처리 흐름도
Fig. 3. Signal Processing Flowdiagram

표 1. 채널의 임펄스 응답 계수
Table 1. Impulse Response Coefficient of Channel

h(1)	-0.005-j0.004	h(2)	0.009+j0.03
h(3)	-0.024-j0.104	h(4)	0.854+j0.52
h(5)	-0.218+j0.273	h(6)	0.049-j0.074
h(7)	-0.016+j0.02		

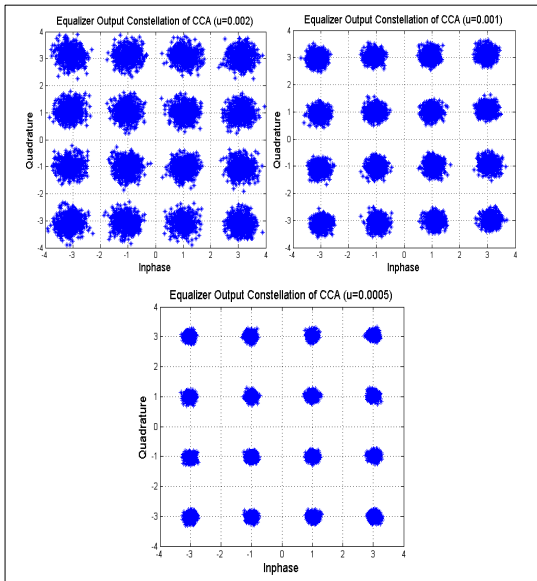


그림 4. 등화기 출력 신호
Fig. 4. Equalizer output signal

이상과 같은 시뮬레이션 환경을 통하여 수신된 QAM 신호를 CCA 적응 등화기의 입력에 인가하면서 적응 등화 성능을 평가하였다. 그림 4는 3가지의 스텝 크기에 따른 적응 등화기의 출력 신호 성상도를 나타낸 것이다. 출력 성상도에서 각 신호점의 크기는 적고, 신호점간의 거리는 멀수록 우월한 성능이 되는데, 이와 같은 관점에서는 스텝 크기가 적을수록 우월함을 알 수 있다.

그림 5에서 그림 7까지는 CCA 적응 등화기의 내부 성능을 나타내는 잔류 ISI, MD (Maximum Distortion) 와 MSE 성능을 나타낸 것이며 이들을 식(5)에 정의하였다.

잔류 ISI는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 가 완전 보상이 될 때 시간 영역에서는 임펄스 신호가 된다. 그러나 완전 보상은 불가능케 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타낸다. MD는 잔류 ISI 전력 성분의 평방근을 취한 전압 성분을 나타낸 것이다. MSE는 결정 장치의 입력과 출력간 차이 성분의 제곱을 취한 자승 오차를 나타낸 것이다. 이들 성능 곡선에서 초기의 수렴 과정을 통하여 대략 400회 정도의 반복 과정을 거쳐 정상 상태에 도달함을 알 수 있다. 공통적으로 수렴 과정의 속도를 나타내는 수렴 속도에서는 스텝 크기가 크면 빨라짐을 알 수 있으며, 정상 상태 이후의 잔여량에서는 스텝 크기가 적을수록 양호해짐을 알 수 있다.

$$\text{잔류 ISI}_{dB} = 10 * \log_{10} \frac{\sum |h_k \infty f_k|^2 - |h_k \infty f_{k_{max}}|^2}{|h_k \infty f_{k_{max}}|^2}$$

(5)

$$\text{최대찌그러짐} = \frac{\sum |h_k \infty f_k| - |h_k \infty f_{k_{max}}|}{|h_k \infty f_{k_{max}}|}$$

$$\text{MSE} = [\hat{I}_k - z_k]^2$$

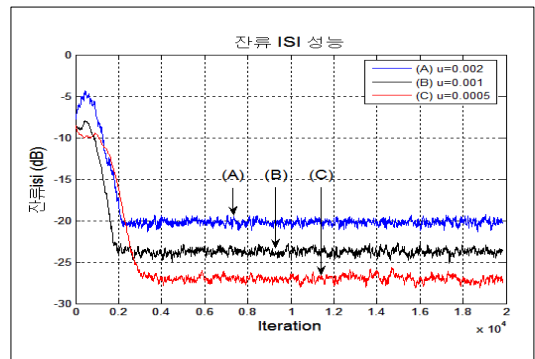


그림 5. 잔류 isi 성능

Fig. 5. Residual isi Performance

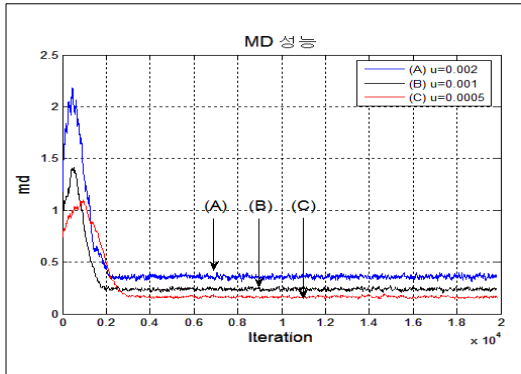


그림 6. 최대 찌그러짐 성능
 Fig. 6. Maximum Distortion Performance

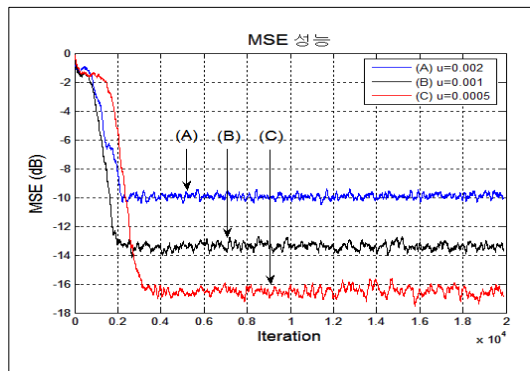


그림 7. MSE 성능
 Fig. 7. MSE Performance

이들의 내부 성능 지수 3가지를 반영하여 실제 적응 등화기의 출력 신호 정상도인 그림 4에 나타내었으며, 신호점들의 직경과 신호점간 거리가 멀어질수록 성능 우월도를 나타낸다. 마지막 성능 평가 지수로서 채널의 신호대 잡음 전력비에 따른 심볼 오류율 (SER : Symbol Error Rate)을 그림 8에 나타내었다. 신호대 잡음비는 0~12dB 까지 3dB 단위로 변화시키면서 심볼 오류율을 계산하였으며 20만회의 신호를 송신한 후 이를 복원하도록 하였다. SER 성능의 평가 결과 동일한 신호대 잡음비에서도 스텝 크기가 적을수록 오류 성능이 우월함을 확인하였으며, 이는 신호대 잡음비가 15dB 이상 높아질수록 오류 성능이 더욱 우월하여 등화 이득이 개선됨을 확인하였다.

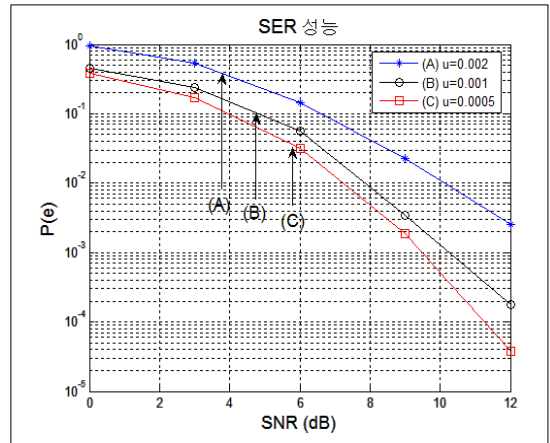


그림 8. SER 성능
 Fig. 8. SER Performance

V. 결론

논문에서는 부호간 간섭이 존재하는 통신 채널에서 수신기에 사용되는 CCA 적응 등화 알고리즘에서 스텝 크기의 변화에 따른 성능 변화를 평가하였다. CCA는 DDA와 RCA의 결합 알고리즘으로 이들 간의 적절한 가중치인 0.5를 적용하였다. 이를 위하여 16-QAM을 송신 신호로 사용하였으며 스텝 크기를 0.002, 0.001, 0.0005로 변화시키면서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 정상 상태에 도달하는 수렴 속도에서는 스텝 크기가 클수록 유리하지만, 정상 상태 이후의 성능치인 잔여량에서는 수렴 속도가 적을수록 유리함을 잔류 ISI, MD, MSE 성능 및 SER 성능 곡선에서 알 수 있었다.

특히 SER 성능의 경우 스텝 크기가 적을수록 잡음에 대한 강인성이 개선되어짐이 확인되어 통신 채널에서 잡음 지배적인 환경에서 스텝을 적게 설정함으로써 이를 극복할 수 있음을 알 수 있다.

References

- [1] W.A.Sethares, G.A.Rey, C.R.Johnson, "Approach to Blind Equalization of Signal with Multile Modulus", IEEE Proc. ICASSP, pp.972~975, Apr. 1989.
doi : 10.1109/ICASSP.1989.266592
- [2] Shafayat Abrar, "Compact Constellation Algorithm for Blind Equalization of QAM Signals", International Networking & Communication Conf. 2004,

pp.170~174, 2004.

doi : 10.1109/INCC.2004.1366599

- [3] J.T.Yuan, K.D.Tsai, "Analysis of the Multimodulus Blind Equalization Algorithm in QAM Communication Systems", IEEE Trans. on Com., Vol. 53, No.9, pp.1427~1431, September 2005.
doi : 10.1109/TCOMM.2005.8584467
- [4] S.Abrar, "A Family of Reduced-Constellation Algorithms for blind equalization of Square-QAM Signals", 17th Int. Con. on Microelectronics 2005, pp.296~300, 2005. doi : 10.1109/ICM.2005.1590088
- [5] S.G.Lim, "The Performance Analysis of CCA Adaptive Equalization Algorithm for 16-QAM Signal", Jour. of I.I.B.C., Vol. 13, No.1, pp.27~34, Feb. 2013.
- [6] E.Biglieri, A.Gersho, R.D.Gitlin, T.L.Lim, "Adaptive cancellation of nonlinear intersymbol interference for voiceband data transmission", IEEE J. Selected Area Com., vol.SAC-2, pp.765~777, Sept. 1984.
doi : 10.1109/ICC.1988.13696
- [7] D.Zhimin, Z.Sheng, W.Peng, W.Weiling, "Novel variable step size constant modulus algorithms for blind multiuser detection", IEEE VTS 54th vehicular technology conf., VTC2001 Fall, Oct 7-11, Vol.2, pp.673~677, 2003. doi : 10.1109/VTC.2001.956855
- [8] Z.Xiong, L.Linsheng, Z.Dongfeng, D.Zengshou, "A New Adaptive Step-Size Blind Equalization Algorithm based on Autocorrelation of Error Signal", 7th Int. Conf. on Signal Processing, Vol. 2, pp.1719~1722, 2004.
doi : 10.1109/ICOSP.2004.1441666

저 자 소 개

임 승 각(정회원)



- 1983년 숭실대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1997년 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 현재 공주대학교 정보통신공

학부 교수.

- 주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신