

적응블라인드 등화기술

김주상*, 변윤식**

(*시립 인천대 대학원 전자공학과 석사과정

**시립 인천대 공대 전자공학과 부교수)

1. 머리말

오늘날의 통신 시스템과 통신기능은 아날로그 신호의 디지털화 기술과 반도체 기술의 발달에 의한 집적회로의 고집적화 및 고속화로 더욱 디지털화, 고도화 되고 있으며, 각종 정보 시스템을 종합화한 종합정보통신망(ISDN)으로 발전되고 있다. 최근 디지털통신의 급증과 종합정보통신망(ISDN)을 구축하기 위하여 광대역의 데이터를 고속으로 처리해야만 하는 필요성은 “제한된 대역폭을 가진 채널을 통해 광대역의 데이터를 어떻게 고속으로, 오류 없이 전송 할 수 있을까?”의 문제로 귀착 시킬수 있다.

실제의 경우 전송채널은 제한된 대역폭을 가지고 있으며, 제한된 전송 대역폭으로 인해 펄스의 모양이 퍼지는 경향이 있다. 이러한 펄스의 분산(dispersion)은 근접한 펄스와 겹치는 원인이 되고, 이와 같은 결과는 상호 부호간 간섭(ISI : intersymbol interference)이라 부르는, 한 형태의 왜곡을 일으키게 된다. 따라서 수신기에서 ISI의 영향을 보상하지 않는 한 오류의 발생은 피할 수 없게 된다. 이러한 목적으로 사용되는 장치가 적응 등화기(adaptive equalizer)이다. 일반적으로 적응 등화기는 훈련열을 사용하여 전송채널 환경의 변화에 따라 등화기 탭 계수를 조정하게 된다. 그러나 실제 통신환경에서 훈련열 없이 초기에 등화가 이루어지도록 할 필요가 있다. 따라서 훈련열(train-

ing sequence)없이 수신된 신호만으로 부호간 간섭의 영향을 줄일 수 있는 블라인드등화(blind equalization or self-recovering equalization)기법에 대한 연구가 필요하게 되었다. 현재에도 블라인드등화(blind equalization)기법에 대한 연구는 계속 되고 있으며, 여러 분야에서 적용범위를 찾아 볼 수 있다.

이 글에서는 적응 등화와 블라인드등화기법에 대한 간략한 소개와 블라인드등화 알고리즘에 대한 고찰 그리고 응용분야 및 최근의 연구 방향에 대해 살펴본다.

2. 적응등화(adaptive equalization)

일반적으로 등화기는 전송로의 왜곡(channel distortion)에 의하여 발생하는 부호간간섭(ISI)의 영향을 감소 시켜 송신측에서 보낸 데이터를 오류 없이 복구해 내는 일종의 역필터(inverse filter)를 말하며, 등화기로는 그림 1과 같은 디지털 필터의 일종인 횡단필터(transversal filter)가 널리 사용되고 있다.

그러나 대부분의 실제 경우, 전송채널의 특성은 알려져 있지 않으며, 또한 시간에 따라 변할 수 있다. 예를 들어 전화회선과 같이 복잡한 교환망(switced network)을 통하여 전송이 행하여 지고 있는 경우에서 처럼 새로운 통화 회선과 접촉할 때마다 회선의 전송특성이 변하면 이를 적응적으로 보

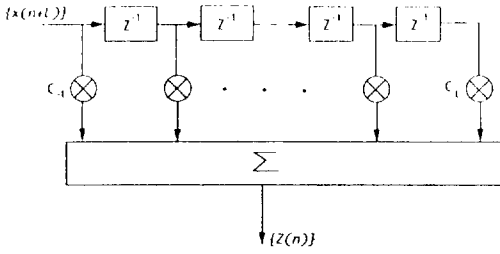


그림 1 횡단필터

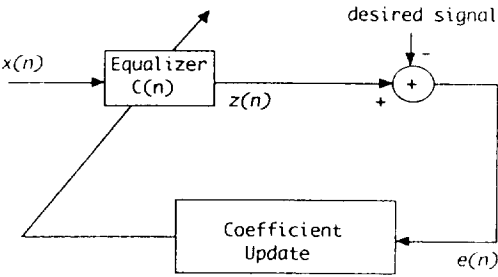


그림 2 간단한 적응 등화기

상할 필요가 있다. 이러한 목적으로 사용되는 장치를 적응 등화기(adaptive equalizer)라 부르며, 이는 변화하는 전송채널의 특성을 추적할 수 있도록 조절이 가능한 탭(tap)을 가지고 있다.

일반적으로 적응 시스템은 필터 탭 계수들이 고정되어 있는 시불변(time-invariant)시스템에 비하여 해석과 구현이 복잡하나 self-tuning, self-optimization, self-designing, 그리고 self-repairing 등의 특성이 있어 전송특성이 시간에 따라 변하거나, 알려지지 않을 경우에 효과적으로 사용할 수 있다.

일반적인 적응 등화기는 훈련 모드(training mode)를 가지고 있으며, 이 기간동안 송신단에서는 기지의 훈련열을 전송한다. 전송된 훈련열은 오차(error)신호를 만들기 위하여 원하는 신호(desired signal)로 사용되며, 이 오차신호에 의해 등화기는 탭 계수를 조절하게 된다. 그후 정상적인 데이터 전송이 이루어지게 된다. 간단한 적응 등화기의 예가 그림 2에 나타나있다.

3. 블라인드 디컨버루션(blind deconvolution)의 개념

그림 3은 이산 입·출력신호를 갖는 선형 시 불변

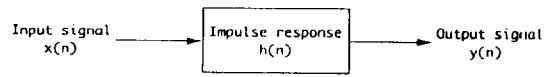


그림 3 선형 시 불변시스템

시스템을 나타낸다. 출력신호 $y(n)$ 은 입력신호 $x(n)$ 과 시스템의 임펄스 응답의 중첩(convolution)으로 다음과 같이 정의 된다.

$$y(n) = h(n) * x(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(n-k)x(n-k)$$

즉, 임의의 시스템의 입력 $x(n)$ 과 임펄스 응답 $h(n)$ 이 주어졌을때, 출력신호 $y(n)$ 을 구한다는 것은 중첩 연산을 계산하는 것에 해당된다. 반면, 디컨버루션(deconvolution)은 시스템의 출력을 이용하여 그 시스템의 임펄스응답 또는 입력신호를 결정하는 문제에 해당된다.

디컨버루션은 시스템의 임펄스응답 또는 입력신호의 이용 가능성 여부에 따라 다음과 같이 나눌 수 있다.

- ① 시스템 인식(system identification): 관측 불가능한 입력신호로부터 미지의 시스템을 추정하거나 알려진 시스템의 모델로부터 관측 불가능한 입력 신호를 추정하는 경우
 - ② 블라인드 디컨버루션(blind deconvolution): 관측 가능한 시스템의 출력으로부터 관측 불가능한 입력 수열을 복원하거나 또는 등가적으로 그 시스템의 역시스템을 구현하는 경우
- 블라인드 디컨버루션을 수행하기 위하여 일반적으로 다음과 같이 입력신호의 통계에 대한 몇가지 가정을 한다.

- ① 입력신호가 Gaussian분포를 갖는 경우 그 입력신호에 대한 정보는 2차통계(second-order statistics)로 제한되며, 수신신호(또는 시스템의 출력)는 그 시스템의 진폭응답(amplitude response)에 관한 정보만 포함하고 있다. 따라서 최소위상(minimum phase)시스템에 대해서는 입력신호의 2차통계만으로 미지의 시스템을 추정할 수 있으나, 실제의 전송채널과 같은 비최소위상(nonminimum phase)시스템에 대해서는 미지의 시스템을 추정하기 위해 그 시스템의 진폭응답에 대한 정보 뿐만 아니라 위상응답(phase response)

에 대한 정보도 필요 하게 된다. 이러한 이유로 입력신호는 반드시 non-Gaussian 분포 이어야 한다.

- ② 입력신호가 non-Gaussian 분포 일때 수신신호로부터 고차통계(higher-order statistics) 정보를 추출함으로써 위상정보를 얻게 되고, 이러한 고차통계 정보를 추출하기 위해서는 수신신호에 대한 비선형 처리가 요구된다.

이러한 블라인드 디컨버루션의 개념은 여러 응용 분야에서 다양한 이름을 갖고 적용되었고, 유·무선채널을 통한 데이터 전송시스템에 그 개념을 도입하면서 블라인드등화(blind equalization)의 이름을 갖게 되었다.

4. 블라인드등화와 필요성

블라인드등화의 개념은 처음에 Sato[1]에 의해 제안되었고, 그 후 Godard[2], Treichler와 Agee[3], Benvesite와 Goursat[4], Picci와 Prati[5], Foschini[6], 그리고 Shalvi 와 Weinstein[7]은 그 개념을 더욱 발전시켜왔다. 가장 최근에는 통신 신호들의 cyclostationarity를 이용한 새로운 등화 기법이 Gardner[8], Ding[9], Tong, Xu, Kailath[10]등에 의해 활발히 연구되어 지고 있다.

일반적인 적응등화기는 초기 훈련 기간(initial training period)동안 송신측과 수신측 간에 미리 약속된 훈련열을 전송하여 등화기 출력과 훈련열 사이의 예측 오차를 최소화 하도록 등화기 탭 계수를 적응적으로 갱신하고, 채널에 의한 왜곡이 그리 크지 않은 경우는 수신측 판별기의 출력의 대부분이 송신측에서 보낸 심볼이므로 판별기의 출력을 그대로 적응등화기의 탭 계수 갱신에 사용할 수 있다.

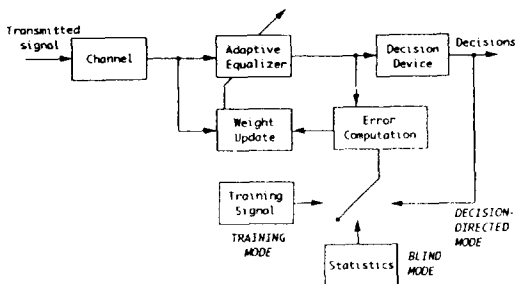


그림 4 블라인드등화를 위한 디지털 통신시스템 구성도

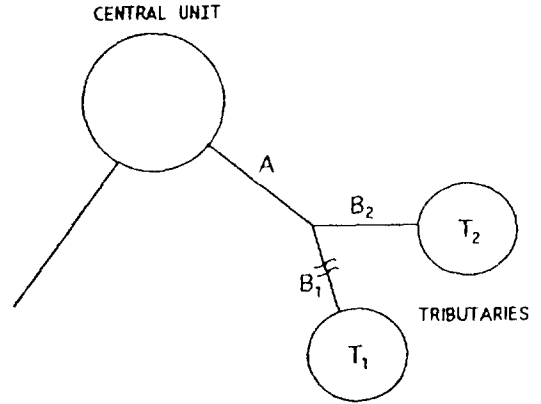


그림 5 일대 다중점 통신망

그러나, 블라인드등화기는 송신측에서 훈련 데이터열을 전송하지 않고, 송신측 데이터의 통계적 성질과 수신신호만으로 적응등화기의 탭 계수를 갱신하는 등화기를 말한다. 따라서 그림 4 에서 블라인드등화기는 적응등화기와는 달리 등화기 출력신호와 전송된 신호 간의 오차를 최소화시키도록 적응등화기 탭 계수를 조절하는 것이 아니고, 등화기 출력신호의 통계치와 전송된 신호의 통계치 사이의 오차를 최소화시키면서 적응등화기의 탭 계수를 갱신하게 된다.

블라인드 등화의 필요성은 특히 라디오나 TV 와 같은 방송, 즉 일대 다중점(point-to-multipoint) 통신 환경에서 두드러지게 나타난다.

그림 5는 한 예로서 두개의 종속국이 하나의 링크(link)를 공유하고 있는 경우의 일대 다중점 통신망이다. point-to-point통신(예, 1:1 modem communication)에서는 채널 변화에 따라 수신측에서의 심볼 오류가 발생하기 시작하면 일단 데이터 전송을 멈추고 약속된 훈련열을 주고 받아 변화된 채널 특성을 보상 할 수 있도록 등화기 탭 계수 조절을 한 후 데이터 송신신을 재개할 수 있다.

그러나 일대 다중점 통신에서는 어느 하나의 종속국에서 수신 오류 발생시 많은 종속국들이 하나의 링크를 공유할 수 있으므로 데이터 전송을 중단할 수 없는 상황이 발생된다. 그러므로 이런 상황에서 블라인드등화의 기술은 절대적으로 요구될 것이다.

방송국에서는 방송국과 수신기를 사이의 채널환경이 모두 다르므로 일정한 시간 간격마다 훈련열

을 보내든지, 블라인드등화와 같이 훈련열 없이 수신된 신호만으로 등화를 하는 방법 중에서 선택을 하여야 한다. 전자의 경우 채널 환경이 변화하지 않거나 매우 천천히 변화 한다면 훈련열을 보내는 것이 비효율적이다. 그러나 송신측에서는 수신측의 채널 환경이 변화 하였는지, 혹은 그렇지 않은지를 알 수 없으므로 이와 같은 비효율성을 감수하고 훈련열을 계속 보내 주어야 한다.

블라인드등화의 경우는 송신측에서 훈련열을 전송할 필요가 없으므로 사용하는 전력(power)과 대역폭을 줄일 수 있다. 또한 동기(synchronization)에 따르는 시스템의 부담을 줄일 수 있고 훈련열을 전송할 수 없는 시스템에서도 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

5. 블라인드 등화 알고리즘의 종류와 소개

앞에서 언급한 바와 같이 블라인드등화 알고리즘은 수신 신호의 고차통계 정보를 추출하기 위하여 수신단에서 비선형 변환이 요구된다. 일반적으로

블라인드등화 알고리즘은 비선형 변환의 위치에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① Bussgang 계열 : 비선형 변환이 적응 등화기의 출력에 존재
- ② Polyspectra 계열 : 비선형 변환이 적응 등화기의 입력에 존재
- ③ Probablistic 계열 : 비선형 변환이 등화 필터 내에 존재(즉 nonlinear filter 또는 neural network)

이 글에서는 일반적으로 많이 사용되는 직접 결정(Decision Directed, DD)알고리즘, Sato 알고리즘, Benveniste-Goursat 알고리즘, Godard 알고리즘, 그리고 Stop-and-Go 알고리즘과 같은 Bussgang계열의 알고리즘에 대해 살펴보기로 한다. ②,③에 대한 자세한 내용은 참고문헌[11],[12]의 각각 9장과 20장을 참조하기 바란다. Bussgang계열의 블라인드등화 알고리즘들의 가시화를 위한 등화기 구조, 각 블록의 입 출력 수열들의 정의, 그리고 각 알고리즘들의 소개는 각각 그림 6, 표 1, 표 2에 나타내었다.

표 1 각 블록에 대한 입·출력의 수식화

$u(k) = [u_1(k), \dots, u_N(k)]^T$	equalizer taps
$Y(k) = [Y(k), \dots, Y(k-N+1)]^T$	Input to the equalizer block of data
At iteration(k), $k = 1, 2 \dots$	
$\tilde{X}(k) = u^H(k) Y(k)$	Equalizer output or reconstructed sequence
$d(k) = g^{(k)}[\tilde{X}(k)] = g^{(k)}[u^H(k) Y(k)]$	output of nonlinearity
$e(k) = d(k) - \tilde{X}(k)$	error sequence
$u(k+1) = u(k) + \mu Y(k) e^*(k)$	LMS adaptation

표 2 Bussang계열 블라인드 등화 알고리즘

알고리즘	비선형 변환
Decision Directed(DD)	\tilde{X}
Sato	$r \cdot \text{csgn} [\tilde{X}(k)]$
Benveniste	$\tilde{X} + k_i(\tilde{X}(k) - \tilde{X}(k) + k_i \tilde{X}(k) - \tilde{X}(k) (r \cdot \text{csgn}[\tilde{X}(k)] - \tilde{X}(k)))$
Godard(p=2)	$\frac{\tilde{X}}{ \tilde{X} } \{ X(k) + R_p X(k) ^{p-1} - X(k) ^{2p-1} \}$
Stop and Go	$\tilde{X}(k) + \frac{1}{2} A(\tilde{X}(k) - \tilde{X}(k)) + \frac{1}{2} B(\tilde{X}(k) - \tilde{X}(k))^*$

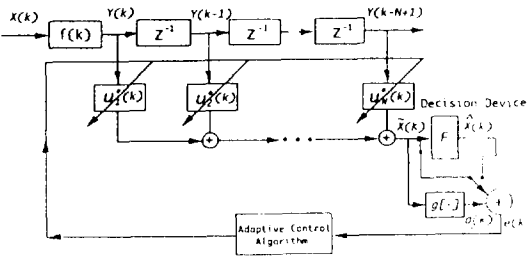


그림 6 선형 적응 블라인드 등화기의 구조

의 필요성을 강조하였다. 다른 일반적인 특성은 이들은 모두 비용함수 자체에 수신신호의 고차통계를 포함하고 있기 때문에 계산량이 많다는 문제점을 안고 있다. 아래 그림 7에서는 Bussgang 계열의 알고리즘 중에서 CMA 알고리즘의 모의 실험 결과 [15]를 나타내었다. 최근 이러한 문제점들을 해결하기 위한 새로운 방식의 접근이 시도 되고 있으며, Godard, Ding, Tong, Xu, Kailath 등에 의해 2차 통계치만을 이용한 새로운 등화기법들이 활발히 연구되어지고 있다. 이들은 과샘플(oversampled)된 통신 신호의 cyclostationarity를 이용하여 제시한 새로운 알고리즘이 기존의 블라인드 알고리즘보다 향상된 수렴성을 보이며, 2차통계치만을 이용하여 등화를 수행하기 때문에 계산량을 줄일수 있음을 보였다

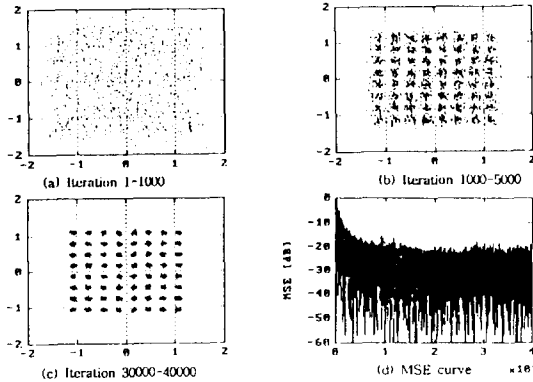


그림 7 반복횟수에 따른 CMA 알고리즘의 모의 실험 결과

6. 블라인드 등화의 응용분야

표 2와 그림 6으로 부터 주목할 만한 사항은 첫째, 비선형 함수의 출력 수열들은 원하는 응답 또는 훈련열의 역할을 한다는 것이다. 둘째, 따라서 위에 소개된 알고리즘들은 LMS 알고리즘의 변형된 형태로 볼수 있으며, 그 알고리즘들의 수렴성은 관측 데이터 $\{Y(k)\}$ 의 자기 상관 행렬의 고유치 분포에 의존 하리라는 것을 예측할 수 있을 것이다.

블라인드 디컨버루션의 응용 분야는 high-speed data transmission, reverberation cancellation, image restoration, 그리고 antenna arrays 등에서 그 응용 범위를 찾아 볼수 있다. 우선 통신 채널을 통한 지금까지 고속의 데이터 전송시스템은 적응 등화기법에 의존해 왔다. 그러한 적응 등화기법에서 송신측은 수신측과 미리 약속된 훈련열을 전송한다. 그때 훈련열은 MSE(mean square error)값을 최소화하도록 선형 횡단필터의 탭 계수를 조정하기 위한 원하는 응답(desired response) 역할을 한다. 필터의 계수를 조정하는데 사용되는 알고리즘은 여러 가지가 있으나, 가장 많이 사용되는 알고리즘은 LMS(least mean square)이다. 일단 훈련과정이 끝나게 되면 적응 등화기는 직접결정 모드(decision-directed mode)로 전환되고, 통신 시스템은 미지의 채널상에서 정상적인 데이터 전송을 하게 된다. 직접결정모드는 적응 등화기가 채널 응답의 통계적 변화를 추정할 수 있게 한다. 그러나, 훈련열을 사용할 수 없는 실제 상황에서 예를 들면 디지털 무선(radio)시스템의 경우 많은 경로를 통해 수신기에 들어오는 전송신호들은 수신신호의 왜곡을 일으키는 원인이 되며, 이러한 다중경로의 존재는 수신된 신호전력의 감쇄를 가져오게 된다. 만약 이러한 상황이 훈련열의 전송시 발생한다

일반적으로 Bussang 계열의 알고리즘의 가장 일반적인 특성은 비용함수(cost function)의 볼록함(convexity)이 없는 이유로 원하지 않는 국부최소점(local minima)이 존재한다는 것이다[13]. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Godard[2]는 국부최소점의 존재로 인해 발생하는 문제를 무한한 차수(order)를 갖는 CMA 등화기에 대해서 간단한 초기화로서 해결할 수 있음을 보였다. 또한 Foschini [6]는 무한한 차수의 등화기가 항상 좋은 수렴성을 갖음을 보였다.

그러나, 실제로 구현 가능한 유한한 차수의 등화기의 수렴성에 대한 해석은 Ding[14]에 의해 이루어졌고, 좋은 수렴성을 갖기 위해서는 초기화 방법

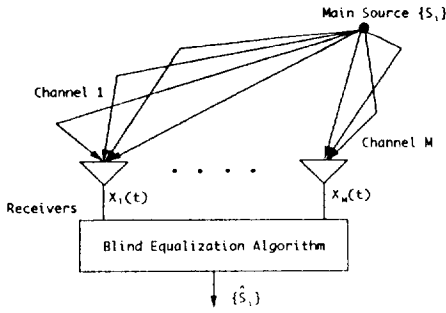


그림 8 Antenna array를 이용한 블라인드등화기

면 적응 등화기는 제대로 탭 계수를 조정하지 못할 것이다. 그러므로 이러한 상황에서 훈련열로 초기 등화를 수행하지 않는 블라인드 등화의 필요성은 증가되고 있다. 그러나, TDMA를 사용하고 있는 디지털 이동 통신 시스템에서는 훈련모드에서 블라인드모드로 전환할 수 있는 dual mode를 사용하는 것이 유리하다. 그리고 전화와 같은 유선 시스템에서 발생하는 누화(crosstalk)의 영향은 적응 반향제거기를 통해 제거될 수 있다. 누화를 발생시키는 원래의 음성신호는 관측 불가능하고, 채널 또한 알려지지 않은 상황을 고려하여 블라인드등화의 개념으로 생각할 수 있다. image restoration의 경우도 같은 맥락에서 생각할 수 있다. 사진 촬영시 초점이 제대로 맞지 않았거나, 촬영 대상물이 움직이는 상태에 있거나, 또는 카메라와 같은 전자장치의 불완전성으로 인해 사진이 선명하지 못하고 흐릿해지는 현상(blurring effects)의 발생시 원래의 영상은 시스템의 입력으로 생각할 수 있고, 시스템의 출력은 blurring effects를 나타내는 사진으로 생각할 수 있다. 따라서 blurring effects로 흐릿해진 영상으로 부터 원래의 영상을 복원해내는 문제로 전환 가능하다. 마지막으로, 최근 Tong, Xu, Kailath[16]는 수신단에서 antenna array를 이용하여 블라인드등화를 수행하는 연구를 하고 있으며, 수신단에서 단일 receiver가 사용되었을때 2차 통계로 채널을 확인할 수 없었던 것을 antenna array를 이용하여 그 채널이 확인할 수 있음을 보이고 있다.

7. 맺음말

디지털 방식의 송·수신시스템에 있어서 여러가

지 왜곡을 제거할 수 있는 신호처리기술은 절대적으로 요구되어지고 있다. 특히 차세대 통신망인 광대역 종합정보통신망(B-ISDN)의 실현을 위해 이러한 요구는 더욱 증폭되어 진다. 디지털 통신 기술의 이론적인 연구가 시작된지는 오래되었지만, 높은 신뢰도를 갖고 많은양의 정보를 고속으로 전송할 수 있는 시스템의 개발은 아직 광대역 종합정보통신망의 구축을 위한 요구조건을 충족시키지는 못하고 있는 실정이다. 여기서는 채널 왜곡에 의한 ISI를 훈련열 없이 줄여 주어 송신된 신호를 복구해 나아가는 신호 처리 방법을 소개하였다. 이러한 블라인드 등화기법은 아직까지 수렴성과 계산량의 측면에서 문제점을 내재하고 있으나, 이러한 문제점을 해결하기 위한 끊임없는 연구가 이루어지고 있고, 최근에는 cyclostationarity를 이용한 새로운 등화 기법에 대한 연구가 진행되고 있다. 채널의 변화가 심한 무선채널을 통한 이동 통신, TV 방송 시스템 그리고 훈련신호열을 보낼수 없는 일대다점 통신망등에서 이러한 기법의 요구는 점차 높아지리라 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Sato, "A method of self-recovering equalization for multilevel amplitude-modulation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, pp. 679-682, June. 1975.
- [2] D. N. Godard, "self-recovering equalization and carrier tracking in two dimensional data communication systems", IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, pp. 1867-1875, Nov. 1980
- [3] J. R. Treichler and B. G. Agee, "A New approach to multipaths correction of constant modulus signals", IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing, vol. Assp-31, pp. 459-472, Apr. 1983.
- [4] A. Benveniste and M. Goursat, "Blind equalizer", IEEE Trans. Commun., vol. COM-32, pp. 871-883, Aug. 1984
- [5] G. Picci and G. Prati, "Blind equalization and carrier recovery using a stop-and-go

- decision directed algorithm", IEEE Trans. Commun., vol. COM-35, pp. 877-887, Sept. 1987.
- [6] G. J. Foschini, "Equalizing without altering or detecting data", Bell Syst. Tech. J., vol. 64, pp. 1885-1911, Oct. 1985.
- [7] O. Shalvi and E. Weinstein, "New criteria for blind deconvolution of non-mimimum phase systems(channels)", IEEE Inform. Theory, vol. 36, no. 2, pp. 312-320, Mar. 1990.
- [8] W. A. Gardner . "Exploitation of redundancy in cyclostationary signals," IEEE signal processing Magazine , pp. 814-836 , April. 1991.
- [9] Y. Li and Z. Ding , "Blind channel identification based on second-order cyclostationary statistics," in Proc. IEEE ICASSP'93, (Minneapolis, MN), Apr. 1993, pp. 81-84.
- [10] L. Tong , G.Xu and T. Kailath. "A new approach to blind identification and equalization of multipaths channels," Proc. 25st Asilomar conf. signals, systems and computers Nov 1991.
- [11] C. L. Nikias and A. P. Petropouou, "High-order spectra analysis", Ch. 9, Prentice-hall(1993)
- [12] S. Haykin, "Adaptive Filter Theory" , Ch. 20, 2nd Ed., Prentice-Hall.(1991)
- [13] C. R. Johnson, Jr., "admissibility in blind adaptive channel equalization", IEEE Contr. sys. Mag., vol. 11, pp. 3-15, Jan. 1991.
- [14] Z. Ding and C. R. Johnson, Jr., "On the nonvanishing stability of undesirable equilibria for FIR Godard blind equalization", IEEE Trans. Signal Proc., vol. 41, pp. 1940-1944, May. 1993.
- [15] 정길호, "다중 채널에서의 적응 블라인드 stop-and-go 알고리즘에 관한 연구", 석사 학위 논문, 시립 인천대(1993)
- [16] L. Tong, G. xu, and T. kailath, "Fast blind equalization of multipath channels via antenna arrays", in Proc. ICASSP'92, pp. IV272-IV275, Minneapolis, MN, April 1993.
- [17] 강윤석, "디지털 ATV를 위한 결합 자력 등화 및 반송과 복원에 관한 연구", 석사 학위 논문, 포항 공대(1993)
- [18] 전경훈, 임형수, "디지털 HDTV 전송시스템에서의 신호처리기술" 신호처리기술 특집, 제 20권 제 10호 pp94-102, 대한전자공학회 (1993. 10)



김주상(金周相)

1966년 10월 28일생. 1992년 인천대 공대 전자공학과 졸업. 현재 인천대 대학원 전자공학과 석사과정.



변윤식(邊潤植)

1955년 12월 16일생. 1978년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 졸업(석사). 1985년 동 대학원 졸업(공학). 1990년 미국 Stanford대학 전자공학과 객원연구원. 현재 인천대 공대 전자공학과 부교수.