

고속 이동 통신 시스템을 위한 페이딩 예측기반 송신 전력 제어

정회원 황인관*, 준회원 이상국* 류인범*

A Transmit Power Control based on Fading Channel Prediction for High-speed Mobile Communication Systems

In Kwan Hwang* *Regular Member*,
Sang-Kook Lee*, In-Bum Ryu* *Associated Members*

요약

본 논문에서는 고속 이동성을 갖는 통신 시스템에서 회귀 신경망을 기반으로 한 페이딩 신호 예측 기법을 제안하고, 이를 이용한 송신 전력 제어를 제안하였다. 회귀 신경망의 연산 결과를 해석적으로 도출하여, 신경망 특유의 회로 복잡도 문제를 해결하고, 연산된 채널 예측치를 이용하여 최대비 결합(maximum ratio combining)방식으로 여러 개의 송신 안테나에 대하여 채널 이득을 산출하고, 이 산출된 값으로 송신 안테나 각각에 대한 송신 전력을 제어하였다. 모의 실험 결과 채널 예측 기반 전력 제어를 하지 않은 것에 비해 뛰어난 성능을 나타냄을 보여준다. 기존의 대부분의 연구들이 페이딩 신호에 강인한 수신기술에 대하여 연구를 하였거나 페이딩 신호에 대한 채널 예측도 저속의 이동성에 국한되어진 것에 비하여, 제안된 채널예측 방법은 개회로 전력제어에 적용하는 경우 송신단에서 페이딩의 영향을 제거하여 신호를 송신하기 때문에 수신단에서 여타의 요소기술들을 매우 단순하게 설계하거나 시스템의 복잡도를 획기적으로 개선시킬 수 있는 가능성을 제시하였다.

Key Words : OFDM, MIMO, recurrent neural network, channel prediction.

ABSTRACT

This paper proposes transmit power control techniques with fading channel prediction scheme based on recurrent neural network for high-speed mobile communication systems. The operation result of recurrent neural network which is derived interpretively solves complexity problems of neural network circuit, and channel gain of multiple transmit antenna is derived with maximum ratio combining(MRC) by using the operation result, and this channel gain control transmit power of each antenna. simulation results show that proposed method has a outstanding performance compared to method that is not to be controlled power based on channel prediction. Most of legacy studies are for robust receive technique of fading signals or channel prediction of fading signals limited low-speed mobility, but in open loop power control, proposed channel prediction method decrease system complexity with removal of fading effect in transmitter.

※ 이 논문은 2007학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

(This work was supported by the research grants of the Chungbuk National University in 2007)

* 충북대학교 전자공학과 ({sklee, ryuib, ikhwang}@chungbuk.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-10-434, 접수일자 : 2008년 10월 6일, 최종논문접수일자 : 2008년 11월 27일

I. 서 론

최근의 통신 시스템은 고속 데이터 전송 속도의 요구에 따라 주파수 선택적 다중 경로 페이딩에 강인하고, 주파수 영역 등화기의 설계가 단순한 OFDM(A)가 표준으로 채택되고 있다. 그러나 이동성의 증가는 성능의 열화와 전송 용량의 감소를 유발하게 되고, 특히 150km/h 이상의 이동성을 고려할 경우에는 그 영향이 매우 심각한 것이 현실이다.

일반적으로, 페이딩에 대한 성능을 개선하기 위하여 다양한 주파수 영역 등화기, 송수신 다이버시티 효과를 얻기 위한 다양한 MIMO 기술들이 연구되고 있으나, 고속의 이동성을 갖는 경우에는 채널추정(channel estimation)이 불완전하게 되어 성능개선이 미미하게 된다. 그리하여 OFDMA 기반 시스템의 경우에는 채널예측이 정확하게 될 수 있도록 하기 위하여 pilot 채널의 구조가 매우 복잡하게 된다. 그러나 채널 추정이 정확하여도 deep fading에 빠져 있는 경우에는 잡음의 영향이 증대되어 충분한 성능 개선이 이루어지지 못하게 된다. 또한 채널의 주파수 특성이 불균일하기 때문에, 수신된 CSI를 이용하여 부채널 할당 및 부채널별 전력할당을 효율적으로 하기 위하여 많은 연산량을 감수해야 하는 문제점을 갖게 된다.

즉 대부분의 연구가 고속 이동성에 따른 페이딩의 영향을 줄이기보다는 페이딩을 그대로 두고 페이딩에 대한 영향에 강인한 시스템 설계 연구에 대부분 초점이 맞추어져 있다. 그리하여 적용된 요소 기술들이 최적의 성능을 제공하지 못하거나 매우 복잡하거나 단점을 피할 수가 없다.

이에 반하여 IEEE 802.16e와 802.20에서는 TDD 방식에서 수신된 신호로부터 채널 추정을 하고, 추정된 정보로부터 간단하게 시간영역에서 선형적으로 채널예측을 하여 적용하는 개회로 전력제어 방식의 표준을 도입하고 있으나, 고속의 이동성 시스템의 경우에는 효율성이 급격히 저하된다.

이러한 문제점을 개선하기 위한 연구로서 평균 예측자승오차를 최소화하기 위한 선형적인 적응필터 [1-2], 및 페이딩 신호의 실수성분과 허수성분을 독립적으로 예측한 방식[3], weighted least square error를 최소화하기 위한 적응 필터[4], 또는 비선형적 채널예측을 위한 선형필터와 결합된 다계층 신경망(Multi Layer Prediction)[5]과 Modified Elman Neural Network[6]등을 이용하여 채널예측을 하고, 예측된 채널 정보를 이용하여 채널예측 단계를 증

가시키는 long range prediction[1-2,4-6]이 연구되고 있으나, 적응시간의 문제점과 초기의 채널예측 정보에 포함되어 있는 초기오차가 채널예측단계가 증가됨에 따라 누적되는 단점을 갖게 된다. 특히[5]에서는 다계층 신경망의 구조가 다중경로 채널 환경에 물리적인 특성이 반영되지 않은 채 신경망의 구조를 최소화하기 위한 결과를 제시하였고, [6]에서는 제한 회로의 지연 시간을 모두 동일하게 하였기 때문에 최적의 성능을 나타내지 못하거나 long range prediction 경우 신경망의 복잡도 문제를 해결하지 못하고 있다.

전반적으로 채널예측이 갖는 기술적인 중요성이 매우 지대한 것에 비하여, 미흡하고 실질적으로 시스템에 적용된 예도 아직 없을 뿐만 아니라 채널예측에 대한 국제적인 연구도 매우 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 평균자승오차를 최소화하고 채널예측 오차가 누적되는 단점을 극복하기 위하여 적응필터 방식이 아닌 회귀 신경망 구조를 채용하였다. 고속의 병렬연산처리로 실시간 연산이 가능한 장점에 비하여 회로의 복잡도가 증가되는 단점을 극복하기 위하여 회귀 신경망의 연산결과를 해석적으로 산출하였고, 채널의 전력성분 예측의 정확성 개선뿐만 아니라 위성정보까지 예측이 가능토록 하였다. 또한 MISO 하향링크에서 좀 더 정확한 CSI를 가지고 프리코딩을 하여 전송함으로써, 수신기의 구조를 단순화 시킬 뿐 아니라 시스템 성능을 상당히 향상 시킬 수 있도록 하였다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 MISO OFDM-TDD 시스템을 고려하며, 모든 서브채널에서 같은 변조 방식을 사용하고, TDD 시스템에서의 채널의 대칭성에 의해서 상향 링크와 하향 링크에 같은 변조 모드로 운용된다. 기지국은 N개의 다중 안테나를 가지며, 이동국은 하나의 수신 안테나를 가진다. 전력 제어는 편의상 하향 링크에서만 이루어지는 것으로 가정하였다. 그림 1은 OFDM-TDD를 나타낸 그림으로 상향 링크와 하향 링크의 time slot은 같은 수를 가지며, 각 서브 채널 별로 data 심볼이 전송된다. 채널 예측은 각 서브 채널 별로 이루어지고, 하나의 time slot의 채널 변화는 일정하다고 가정한다.

본 논문에서는 접근 방식을 간단하게 기술하기 위하여, 상향 링크의 관찰된 현재 및 과거 채널 이

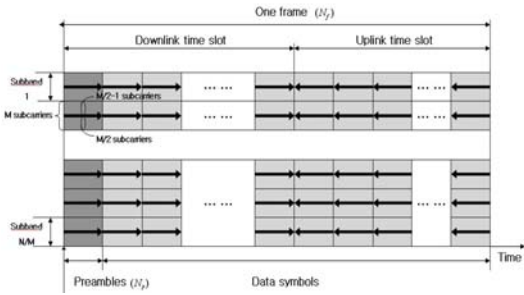


그림 1. OFDM-TDD frame 구성

득벡터 $H_l = \{H_k, H_{k-1}, \dots, H_{k-L}\}$ 로, 미래의 예측해야 할 채널 이득을 $\hat{H}_m = \{H_{k+1}, H_{k+2}, \dots, H_{k+m}\}$ 이라고 하며, 채널 이득 샘플은 OFDM frame 한 주기에 해당한다. 채널 예측에 필요한 채널 예측 계수는 $a_{l,n} = \{l = -L, \dots, M, n = 1, \dots, M\}$ 라고 정의한다. 채널 이득 예측은 복소 채널 값 자체를 예측하여 사용한다.

III. 회귀신경망 기반의 채널 예측

기존 wiener filter 방식은 예측된 채널 값을 재 사용해 다음 채널 값을 예측하는데 사용함으로써, 예측 구간이 길어질수록 MSE가 기하급수적으로 증가하게 된다. 다단예측에 누적되는 예측오차를 최소화하기 위해서 많은 연산이 필요하게 되는데 이를

실시간으로 정확하게 처리하기 위해서는 병렬처리의 장점을 갖는 그림2와 같은 구조의 회귀 신경망을 채용할 수 있게 되며, 그림2의 신경망에서 퀴환회로의 지연시간은, $\tau_m = 2^{m-1} \tau_0, m = 1 \sim M$ 로 한다.

이렇게 설계된 지연시간은 예측단계가 증가되면서 한 예측단계에서 예측채널이득이 산출되면 이를 바탕으로 초기 예측채널이득부터 다시 보다 정확하게 갱신시키게 하며, 초기 예측 채널 정보가 모두 갱신되고, 이를 바탕으로 현재의 예측 채널 이득도 다시 갱신되고 난 후에 비로소 다음 예측 단계에서의 예측 채널 이득을 산출하게 한다.

그리하여 모든 채널 이득간의 상호 자기 상관값들의 조건을 충족적으로 만족시키는 평균 자승 오차를 최소화하는 채널 이득을 예측할 수 있게 된다.

$\{a_{l,n}\}$ 를 \hat{H}_{k+n} 을 예측하기 위한 채널 예측 계수라 하면, 예측 채널 이득 \hat{H}_{k+n} 는 식(1)과 같이 표기할 수가 있게 된다.

$$\hat{H}_{k+n} = a_{-L,n} H_{k-L} + a_{-L+1,n} H_{k-L+1} + \dots + a_{-1,n} H_{k-1} + a_{0,n} H_k + a_{1,n} \hat{H}_{k+1} + \dots + a_{n+m,n} \hat{H}_{k+n+m} \quad (1)$$

이때, $a_{n,n} = 0, n = 1 \sim M + m$ 이고, 자기상관값 $R_l = E\{H_{k+l} H_k^*\}$ 라 정의하면,

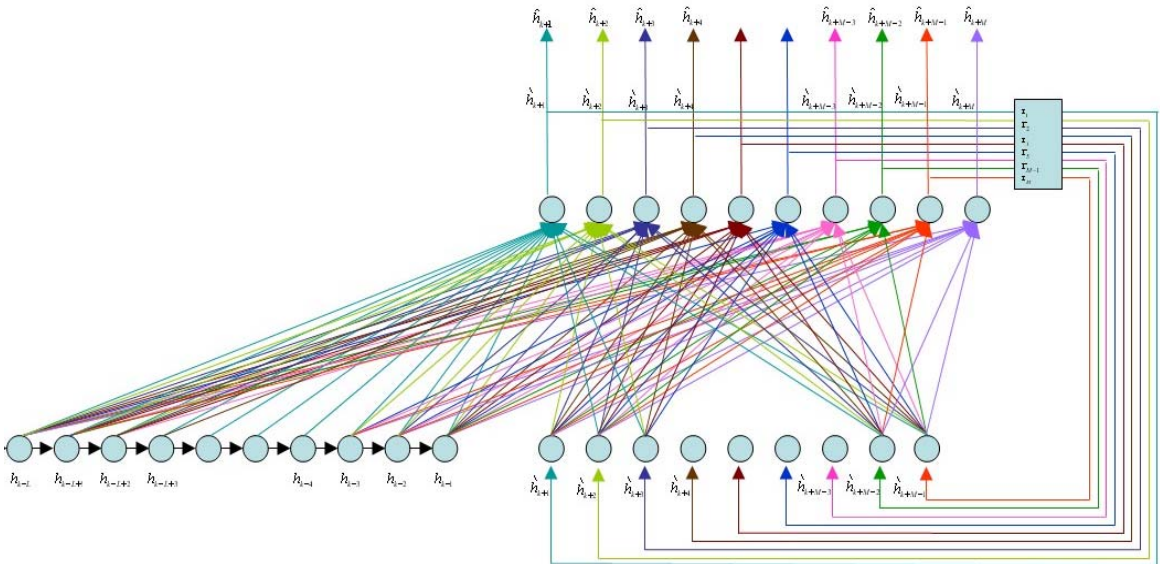


그림 2. 회귀 신경망 기반의 채널 예측기

$$E\{\hat{H}_{k+i}\hat{H}_{k+j}^*\} = E\{H_{k+i}H_{k+j}^*\} = E^*\{\hat{H}_{k+j}H_{k+i}^*\} \\ = E^*\{H_{k+j}H_{k+i}^*\} = R_{j-i}^* = R_{i-j} \quad (2)$$

의 관계가 성립되고, 예측 평균 자승 오차를 최소화 하는 관계식은 식(3)과 같이 정리되며, 이를 변환하면 식(4)과 같이 식(1)에서 정의된 채널 예측 계수를 구할 수 있게 된다.

그리하여 식(1)을 이용하여 수신된 채널 이득 추정치를 이용하여 채널 이득을 신경망이나 적응필터 등을 이용하지 않고서도 간단하게 예측할 수 있게 된다.

상기의 식 (1)~(4)는 수학적으로 이상적인 경우에서의 결과식이라 할 수가 있으나, 실질적인 통신 시스템의 운용 상황에서는 단말의 이동성에 따라, 즉 Doppler frequency에 따른 적절한 탭의 개수 그리고 자기 상관값을 산정함에 있어 채널의 확률적인 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 수신된 채널 이득 추정 샘플 수를 최적화해야 하나 이는 수학적으로

산출하기가 곤란하기 때문에 실험적으로 채널 모델을 산출하여 사용할 수 있게 된다.

IV. 채널 예측 기반의 개회로 송신 안테나별 이득 제어

고속의 이동성에 따라 채널 이득간의 상관성이 떨어짐으로 인하여 채널 예측 오차가 증가되는 현상을 보완하기 위한 방법으로, 상향 링크의 수신 안테나별로 예측된 채널 이득을 여러 개의 송신 안테나에 대하여 최대비 결합(maximum ratio combining) 방식으로 결합 산출하고, 이 산출된 값이 송신 안테나 각각에 대한 송신 채널 이득이 되도록 제어함으로써 최적 성능을 얻을 수가 있게 된다.

그리하여 i 번째 수신 안테나의 예측 채널 이득을 $\{\hat{H}_{k+1,i}, \hat{H}_{k+2,i}, \dots, \hat{H}_{k+M,i}, \dots, \hat{H}_{k+M+m,i}\}$, $i=1 \sim I$ 라고 재정의 하면 i 번째 송신 안테나의 송신 채널 이

$$R_{n+L} = a_{-L,n}R_0 + a_{-L+1,n}R_1 + \dots + a_{-1,n}R_{-1+L} + a_{0,n}R_L + a_{1,n}R_{L+1} + \dots + a_{n,n}R_{n+L} + \dots + a_{n+m,n}R_{n+m+L} \\ R_{n+L-1} = a_{-L,n}R_{-1} + a_{-L+1,n}R_0 + \dots + a_{-1,n}R_{-2+L} + a_{0,n}R_{-1+L} + a_{1,n}R_L + \dots + a_{n,n}R_{n+L-1} + \dots + a_{n+m,n}R_{n+m+L-1} \\ \vdots \\ R_{n+1} = a_{-L,n}R_{-L+1} + a_{-L+1,n}R_{-L+2} + \dots + a_{-1,n}R_0 + a_{0,n}R_1 + a_{1,n}R_2 + \dots + a_{n,n}R_{n+1} + \dots + a_{n+m,n}R_{n+m+1} \\ R_n = a_{-L,n}R_{-L} + a_{-L+1,n}R_{-L+1} + \dots + a_{-1,n}R_{-1} + a_{0,n}R_0 + a_{1,n}R_1 + \dots + a_{n,n}R_n + \dots + a_{n+m,n}R_{n+m} \\ R_{n-1} = a_{-L,n}R_{-L-1} + a_{-L+1,n}R_{-L} + \dots + a_{-1,n}R_{-2} + a_{0,n}R_{-1} + a_{1,n}R_0 + \dots + a_{n,n}R_{n-1} + \dots + a_{n+m,n}R_{n+m-1} \\ \vdots \\ R_{n-M} = a_{-L,n}R_{-L-n} + a_{-L+1,n}R_{-L-n+1} + \dots + a_{-1,n}R_{-1-n} + a_{0,n}R_{-n} + a_{1,n}R_{-n+1} + \dots + a_{n,n}R_0 + \dots + a_{n+m,n}R_m \\ \vdots \\ R_{n-n-m} = a_{-L,n}R_{-L-n-m} + a_{-L+1,n}R_{-L-n-m+1} + \dots + a_{-1,n}R_{-1-n-m} + a_{0,n}R_{-n-m} + a_{1,n}R_{-n-m+1} + \dots + a_{n,n}R_{-m} + \dots + a_{n+m,n}R_0 \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} a_{-L,n} \\ a_{-L+1,n} \\ \vdots \\ a_{-1,n} \\ a_{0,n} \\ a_{1,n} \\ \vdots \\ a_{n,n} \\ \vdots \\ a_{n+m,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 & R_1 & \dots & R_{-1+L} & R_L & R_{L+1} & \dots & R_{n+L} & \dots & R_{n+m+L} \\ R_{-1} & R_0 & \dots & R_{-2+L} & R_{-1+L} & R_L & \dots & R_{n+L-1} & \dots & R_{n+m+L-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{-L+1} & R_{-L+2} & \dots & R_0 & R_1 & R_2 & \dots & R_{n+1} & \dots & R_{n+m+1} \\ R_{-L} & R_{-L+1} & \dots & R_{-1} & R_0 & R_1 & \dots & R_n & \dots & R_{n+m} \\ R_{-L-1} & R_{-L} & \dots & R_{-2} & R_{-1} & R_0 & \dots & R_{n-1} & \dots & R_{n+m-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{-L-n} & R_{-L-n+1} & \dots & R_{-1-n} & R_{-n} & R_{-n+1} & \dots & R_0 & \dots & R_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{-L-n-m} & R_{-L-n-m+1} & \dots & R_{-1-n-m} & R_{-n-m} & R_{-n-m+1} & \dots & R_{-m} & \dots & R_0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} R_{n+L} \\ R_{n+L-1} \\ \vdots \\ R_{n+1} \\ R_n \\ R_{n-1} \\ \vdots \\ R_{n-n} \\ \vdots \\ R_{n-n-m} \end{bmatrix} \quad (4)$$

득이 식(5)와 같이 되도록 제어 한다.

$$\bar{H}_{k+n,j} = \frac{\hat{H}_{k+n,i}^*}{\sum_{i=1}^l |H_{k+n,i}|^2}, \quad n=1 \sim M+m \quad (5)$$

그러면 총 l 개의 기지국 송신 안테나로부터 단말의 한 개 수신 안테나에 수신되는 채널 이득은 식(6)

$$\sum_{i=1}^l \bar{H}_{k+n,i} H_{k+n,i} = \sum_{i=1}^l \frac{\hat{H}_{k+n,i}^*}{\sum_{j=1}^l |H_{k+n,j}|^2} H_{k+n,i}, \quad n=1 \sim M+m \quad (6)$$

이 되어 수신 채널 이득이 거의 1에 가까운 값이 되어 고속의 이동성에 따른 페이딩의 영향이 제거 되는 효과를 갖게 되어 수신 성능이 획기적으로 개선되며, 채널에 미치는 페이딩의 영향이 배제되기 때문에 수신기의 설계가 단순화될 수 있는 매우 커다란 장점을 갖게 된다. 또한 기지국에서는 수신 안테나에서 추정된 채널 이득을 식(7)과 같이 최대비 결합을 하여 최적의 성능을 간단히 얻을 수 있게 된다.

$$\sum_{i=1}^l \frac{H_{k+n}^*}{\sum_{l=1}^l |H_{k+n,l}|^2} H_{k+n,j}, \quad n=-N \sim 0 \quad (7)$$

V. 모의실험 결과

제안한 채널 예측 방법의 성능을 평가하기 위해 간단하게 IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템 규격을

가진 OFDM-TDD 시스템에서 수신 스트림 5ms, 송신 스트림 5ms를 가정하여 5ms 동안의 채널 이득을 예측 평가하였다. 채널 모델은 표1의 IEEE 802.11 TGn에서 정의한 channel model F를 준용하되, 다중 경로 채널 이득 및 지연 시간은 그대로 활용하였다. 각 경로마다 단말에 입사각이 서로 상이함을 고려하여 채널 이득이 큰 다중 경로에 보다 큰 도플러 주파수를 가정하였고, 각각 최대 도플러 주파수 50Hz, 100Hz, 200Hz에 대해서 신호를 발생시켜 사용하였다. mobile speed는 캐리어 주파수 2.3GHz, 입사각이 45도인 경우에 값을 나타낸다.

모의실험 결과 각각의 도플러 주파수에 따른 MSE가 도플러 주파수가 높아질수록 예측 오차가 커지는 것을 확인 할 수 있었다. 그림 3~5는 최대 도플러 주파수가 50Hz, 100Hz, 그리고 200Hz일때 MSE를 나타낸 것으로, 예측기의 tap 개수와 상관값 산정을 위한 샘플수에 따른 예측 오차 변화를 확인할 수 있다. 50Hz인 경우 예측이 매우 정확하게 이루어진다. 상관값 계산 샘플 수에 상관없이 기존의 예측 기법에 비해 모두 좋은 예측 성능을 가지며, 상관값 샘플수 증가에 따라 채널의 통계적인 특성을 정확하게 알 수 있기 때문에, 예측 오차가 감소 현상을 보인다. 모의실험 결과 샘플수 400개정도에서 최적의 예측 성능을 보임을 확인하였다. 100Hz 역시 마찬가지로 경향을 보이며, 비교적 낮은 도플러의 경우 예측기 tap 수가 10-10(앞의 10은 과거 샘플의 예측 계수의 개수, 뒤의 10은 미래 샘플의 예측 계수의 개수를 나타낸다.)으로 했을 경우 최적의 성능을 나타낸다.

표 1. simulation channel model

	Delay	Power(dB)	Doppler(1)	Doppler(2)	Doppler(3)
			mobile speed: 45km/h	mobile speed: 90km/h	mobile speed: 180km/h
1path	0ns	-3.3dB	50Hz	100Hz	200Hz
2path	50ns	-1.8dB	35Hz	80Hz	160Hz
3path	180ns	-5.7dB	20Hz	60Hz	120Hz
4path	330ns	-8.8dB	10Hz	40Hz	80Hz
5path	600ns	-12.9dB	7Hz	20Hz	40Hz
6path	1050ns	-16.3dB	5Hz	10Hz	20Hz

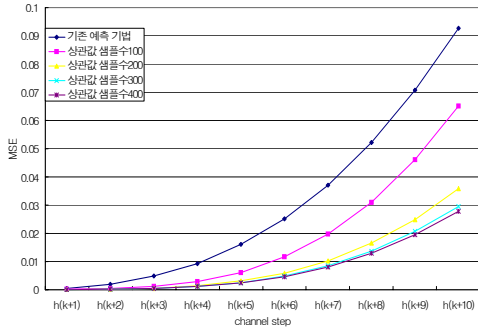


그림 3. 도플러 주파수 50Hz인 채널에서 상관값 산정에 사용한 샘플 수에 따른 채널 예측 오차

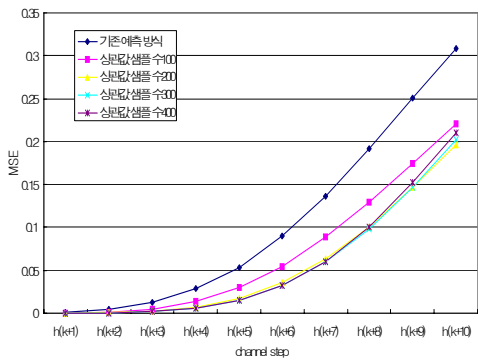


그림 4. 도플러 주파수 100Hz인 채널에서 상관값 산정에 사용한 샘플 수에 따른 채널 예측 오차

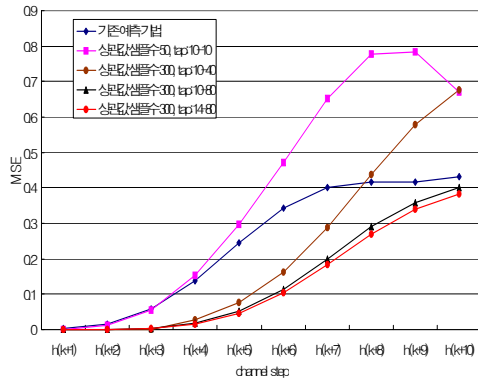


그림 5. 도플러 주파수 200Hz인 채널에서 상관값 산정에 사용한 샘플 수에 따른 채널 예측 오차

그림 6~8은 각각의 최대 도플러 주파수에 따른 BER 성능을 나타낸 것이다. 50Hz인 경우 기존 예측 기법에 비해 5dB 이상의 성능 개선을 보이며, 도플러 주파수가 높아짐에 따라 성능이 열화 되지만, 기존 예측 기법에 비해서는 우수한 것을 볼 수 있다.

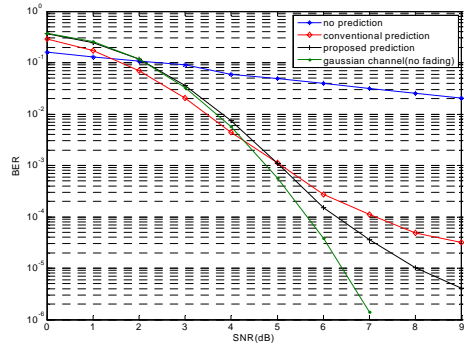


그림 6. 4TX-1RX, 최대 도플러 주파수 50Hz

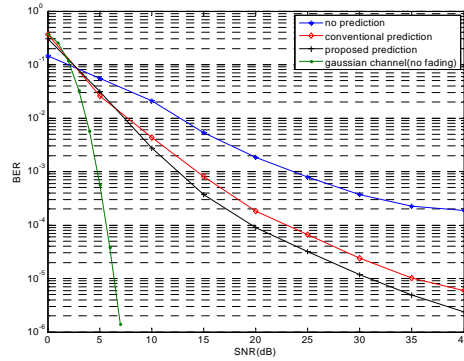


그림 7. 4TX-1RX, 최대 도플러 주파수 100Hz

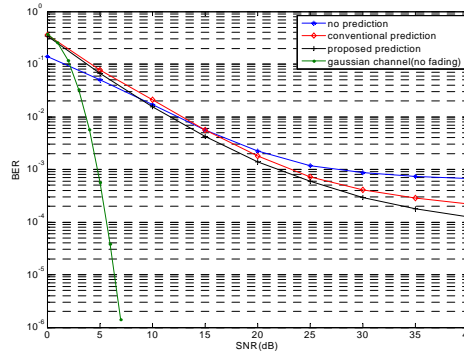


그림 8. 4TX-1RX, 최대 도플러 주파수 200Hz

VI. 결 론

본 논문에서는 고속 이동성을 갖는 통신 시스템의 개화로 송신 전력 제어를 위하여 회귀 신경망 기반의 페이딩 신호 예측 기법을 제안하였다. 적용된 회귀 신경망의 연산 결과를 도출하여 신경망 특유의 회로 복잡도 문제를 해결하고, 예측 결과는 전력 제어뿐만 아니라 위상 성분도 제어가 가능함을

입증하였다. 또한 예측 결과를 최대비 결합 방식으로 송신 안테나별 채널 이득을 제어함으로써 성능 향상과 수신기의 구조를 단순화 시킬 수 있는 가능성을 제시하였다. 모의 실험을 통해 채널 예측 기반 전력 제어를 하지 않은 것에 비해 뛰어난 성능을 나타내고, 제안된 채널 예측 기법은 기존 방식의 예측 방법에 비해 성능 향상이 있음을 확인할 수 있었다. 또한 도플러 주파수가 증가하여도 예측기의 tap 개수와 자기 상관값을 산정함에 있어 채널의 확률적인 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 수신된 채널 이득 샘플 수를 최적화 시켜주어 도플러 증가에 따른 예측 오차를 줄일 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Guewen Yu, Hongyuan Wang, and Donghui Sheng, "Advanced K-step Forward Prediction Algorithm in Wireless Channel", *IEEE Trans. commun.*, vol.1, pp.277-281, June 2004.

[2] Po-Hao Chang, Yi-Cheng Hor, and Jun-Ren Chen, "Novel Predictive Power Control in a CDMA Mobile Radio System", *Proceeding of VTC 2000*, Vol.3, pp.1950-1954, May 2000.

[3] J. M. A. Tanskanen, A. Huang, and I. O. Hartimo, "Predictive Power Estimators in CDMA Closed Loop Power Controls", *Proceeding of VTC '98*, Vol.2, pp.1091-1095, May 1998.

[4] D. N. Kyatanavar, R. S. Patil, M. S. Patil, and R. G. Zope, "WLS Channel Prediction for Power Control in DS-CDMA Cellular Communication Systems", *IEEE WCSN*, Vol.1, pp.95-97, Dec. 2007.

[5] X. M. GAo, X. G. GAo, J. M. A. Tanskanen, and S. J. Ovaska, "Power prediction in mobile communication Systems using Optimal Neural Network", *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol.8, No.6, pp.1446-145, Nov. 1997.

[6] X. G. Gao, "A Temporal Difference Method-based Prediction Schemes Applied to Fading Power signals", *IEEE Neural Network Proceedings*, Vol.3, pp.1954-1959, May 1998.

[7] Ian C.Wong, A. Forenza, and R. W. Heath, "Long Range Channel Prediction for Adaptive OFDM systems", *IEEE signals, systems and computers*, Vol.1, pp.732-736, Nov. 2004.

[8] Changkee Min, Namseok Chang, Jongsub Cha, and Joonhyuk Kang, "MIMO-OFDM Downlink Channel Prediction for IEEE802.16e Systems Using Kalman Filter", *IEEE wireless commun.*, Vol.11, No.15, pp.942-946, Mar. 2007.

황 인 관 (In Kwan Hwang)

정회원



1979년 2월 아주대학교 전자공학과 졸업
 1990년 6월 Polytechnic University, E.E, Dep 박사
 1997년 3월 한국전자통신연구원 위성망 연구실장 책임연구원
 1997년 3월~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

<관심분야> WiBro, UWB, Cognitive Radio

이 상 국 (Sang-Kook Lee)

준회원



2007년 2월 충북대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 졸업
 2007년 3월 충북대학교 대학원 전파공학과 재학
 <관심분야> Cognitive Radio, OFDM, MIMO

류 인 범 (In-Bum Ryu)

준회원

2008년 2월 충북대학교 전기전자컴퓨터 공학부 졸업
 2008년 3월 충북대학교 대학원 전파공학과 재학
 <관심분야> Cognitive Radio, OFDM, WCDMA