

논문 2004-41TC-7-1

IEEE 802.11a WLAN 기반 MIMO-OFDM 시스템에서 ARQ를 이용한 간단한 적응변조 기법

(A Simple AMC Technique using ARQ for a MIMO-OFDM System
based on IEEE 802.11a WLANs)

유 승 연* 김 경 연*, 이 충 용**, 홍 대 식**, 박 현 철***

(Seungyeun Yoo, Kyeongyeon Kim, Chungyong Lee, Daesik Hong, and Hyuncheol Park)

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템에서 별도의 피드백 채널 없이 ARQ(Automatic Repeat Request) 신호를 이용한 적응변조 기법을 제안한다. 제안한 기법은 일정수의 ACK(Acknowledgement)를 수신하면 이전 패킷의 변조단계로부터 변조 단계를 올리고 일정수의 NACK(Non-acknowledgement)를 수신하면 변조단계를 낮춤으로써 최적의 변조율을 추정하는 기술로 간단하고 빠른 수렴 속도를 갖는 장점이 있다. MIMO 시스템 기반의 본 논문에서는 모든 안테나의 전송률을 동일하게 조절하는 SRC(Same Rate Control)기법과 안테나별로 독립적으로 전송률을 조절하는 IRC(Individual Rate Control) 기법을 제안한다. 다양한 모의실험을 통하여 제안한 적응변조 기법들이 변조 방식이 고정된 기법뿐 아니라 기존의 ARQ를 이용하는 적응변조 기법에 비해서도 좋은 전송 효율을 나타냄을 확인하였다.

Abstract

A simple AMC (Adaptive Modulation and Coding) technique using ARQ (Automatic Repeat Request) for a MIMO (Multiple Input Multiple Output) system is proposed which does not require the additional feedback. In addition, the proposed AMC technique is different from the conventional technique in the aspect of considering the MCS (Modulation and Coding Scheme) level from the previous packet. The proposed technique can discard fewer amounts of unsuitable packets than the conventional technique. In the proposed system, not only same rate control method for transmit antennas but also individual rate control method can be applied. The performance of the proposed technique is verified under a MIMO-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system based on WLAN (Wireless Local Area Network), IEEE 802.11a. The results of the computer simulation show that a MIMO system with the proposed technique achieves higher throughput than one with a fixed transmission rate.

Keywords: ARQ, MIMO, AMC, OFDM

I. 서 론

최근 무선 통신 채널을 이용한 멀티미디어 서비스 요

구의 증가로 시스템 용량 증대에 대한 관심이 높아지면서 무선랜(WLAN: Wireless Local Area Network)과 같이 광대역을 효율적으로 사용하는 OFDM 기술과 다중 안테나를 사용하는 MIMO 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 송수신단 모두에 다중 안테나를 이용하는 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템은 채널 용량을 최대 송신 안테나의 개수의 배수만큼 증가시킬 수 있으며, BLAST(Bell-lab LAYered Space Time architecture)와 같은 다중 전송 기술을 이용하여 시스템 용량을 효과적으로 증대시킬 수 있다^[2]. 그러나

* 학생회원, ** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과
(Dept. of Electrical Electronic Engineering, Yonsei University)

*** 정회원, 한국정보통신 대학교 전기전자공학과
(information and Communication University)

※ 본 논문은 한국과학재단의 목적 기초 연구 사업
(R01-2002-000-00153-0)의 지원으로 수행되었음.
접수일자: 2004년1월28일, 수정완료일: 2004년7월7일

광대역에서 MIMO 기술을 사용하는 경우 주파수 선택적 페이딩 현상을 해결하기 위해 복잡한 채널 등화기를 사용해야하는 단점이 있는데 OFDM은 다수의 반송파를 사용함으로써 주파수 선택적 페이딩에서도 채널 등화기를 간단히 구현할 수 있어서 MIMO-OFDM에 관한 연구가 많이 진행되고 있다^[3].

이러한 MIMO-OFDM 시스템에서, 다양한 무선 채널의 변화속에서도 이론적인 전송량을 얻기 위해서는 변조율과 부호화율을 조정하여 시간적으로 변하는 무선 통신 채널에 효과적으로 대응하는 적응변조 기법(AMC: Adaptive Modulation and Coding)에 대한 연구가 필요하다. 그러나 기존의 MIMO 시스템에서의 적응변조 방식들은 채널에 대한 전체 정보 또는 수신 SINR (Signal to Interference and Noise Ratio)에 근거한 연구들로 채널 변화에 따른 별도의 피드백이 필요하고, 수신단에서 SVD(Singular Value Decomposition)를 하거나 SINR 계산 등으로 연산량이 증가하는 단점이 있다. 본 논문에서는 기존 시스템의 변화를 최소화하며 피드백 채널이 없는 시스템에 적용이 가능한 MIMO 적응 변조 방식에 대해 제안한다.

별도의 피드백 없이 기존 ARQ(Automatic Repeat Request)의 ACK / NACK (Acknowledgement / Non-acknowledgement) 정보를 이용한 적응변조 기법이 SISO 시스템들이 기반으로 제안되었다^{[4][5]}. 가장 대표적인 방법은 Falahati의 논문에 제안된 새로운 패킷을 처음 전송할 때 가능한 최고 차수로 변조된 신호를 전송하고 재전송 요구가 있을시 한단계씩 변조 단계를 낮추어 가면서 최적의 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨을 찾는 방식이다. 그러나 이러한 방식은 SNR이 낮은 상황에서는 최적의 MCS 단계를 찾기 위해서 여러 번의 재전송을 해야 하기 때문에 패킷이 제대로 전송되기까지 버려지는 패킷이 많이 존재하게 되어 전송 효율이 감소하는 단점이 있다^[4]. 또한 WaveLAN-II 시스템에 적용된 ARF(Automatic Rate Fallback)도 ARQ를 이용하여 변조율을 조절하는 방식으로 두개의 MCS 레벨에서 변조율을 조절한다. 즉 ARQ는 두 번의 NACK가 수신되면 1Mbps로 열 번의 ACK가 수신되면 2Mbps로 데이터를 전송한다^[5].

따라서 본 논문에서는 MIMO-OFDM 시스템을 기반으로 ARQ를 이용하여 재전송 요구의 유/무로부터 미리 정해진 단계에 따라 이전 단계와 비교하여 변조단계를 상/하향 조정함으로써 별도의 피드백 정보 없이 적응적으로 전송률을 조절하는 적응변조 기법을 제안한

다. 제안된 기술은 기존 기술과는 달리 변조 단계를 높은 차수를 기준으로 결정하지 않고 이전 패킷이 전송된 단계와 비교해 결정하므로 재전송횟수가 적어 더 높은 전송효율을 가진다. 다수의 송신 안테나를 사용하는 MIMO 시스템에 적용하기 위해, 본 논문에서는 간단한 구조를 갖도록 모든 안테나의 전송률을 동일하게 조절하는 시스템과 각 부채널의 변화를 더 잘 반영할 수 있도록 안테나별로 독립적인 전송률을 갖는 시스템을 제안한다.

II. ARQ를 이용하는 기존 적응변조 기법^{[4][5]}

적응변조 방식은 채널 상황에 따라 목표 비트 에러율을 만족시키도록 변조율 혹은 부호화율을 적응적으로 변화시키는 기술로 채널 환경이 안 좋으면 낮은 차수의 변조를 하고, 채널 환경이 좋으면 높은 차수의 변조를 함으로써 데이터 전송률을 증대시키는 기법이다.

기존에 존재하는 패킷 재전송 요구인 ARQ 신호를 이용하여 부가적인 피드백 정보 없이도 적응변조를 가능하게 하는 기법이 SISO 시스템을 기반으로 하여 제안되었다. ARQ를 이용하는 적응변조 기술은 수신 패킷에 존재하는 ACK/NACK 정보만을 이용하므로 별도의 피드백이 필요 없기 때문에 피드백 채널이 없는 시스템에도 적용이 가능하고 MCS 단계를 순차적으로 변화시키기 때문에 SINR의 계산 과정이 필요 없다는 장점이 있다.

1. Falahati 알고리즘^[4]

Falahati의 논문에서 제안한 SISO 시스템 기반의 ARQ를 이용한 적응변조 기술은 다음과 같다. 그림 1은 기존의 기술에서 신호를 전송하기 위한 변조단계를 결정하는 방법으로 처음 신호를 전송할 때는 가능한 최고의 전송률을 갖도록 가장 높은 차수의 변조를 한 후, 신호의 재전송 요구인 NACK가 수신되어 신호를 재전송할 때는 신호가 제대로 전송될 때까지 변조 단계를 미리 정의된 대로 한 단계씩 낮추어가며 변조한다. 이와 같은 과정은 패킷이 제대로 전송될 때까지 반복되며 새로운 패킷을 전송할 때는 다시 가장 높은 차수의 변조를 한다. 이와 같은 방법은 안 좋은 채널 환경에서는 한 패킷을 제대로 전송하기까지 재전송이 여러 번 발생하게 되어 전송 효율이 낮으므로 성능에 제한이 생길 수 있다. 이 때 일반적인 ARQ 외에도 hybrid type-II ARQ를 사용할 수 있는데, 이 방법은 적응적인 오류 정정 기

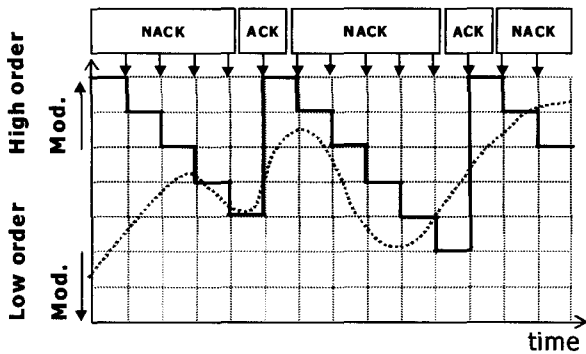


그림 1. Falahati 알고리즘에서 MCS 단계 결정 방법
 Fig. 1. Decision of MCS level in Falahati's algorithm.

술로 패킷을 재전송할 때 안좋은 채널 상황에 의한 오류를 방지하기 위한 부가 비트를 추가하여 보내는 전송 방식이다. Hybrid type-II ARQ를 사용하면, 다양한 변조단계와 부호화율의 조합을 사용할 수 있기 때문에 다양한 단계의 전송률을 가질 수 있다. 그러나 hybrid-ARQ를 사용하는 경우에는 ACK/NACK외에도 부호화에 대한 정보가 필요하므로 별도의 피드백 채널이 있어야 한다.

2. ARF^[5]

ARF 알고리즘은 WaveLAN-II에 적용된 기술로써 WaveLAN-II는 IEEE 802.11 규격에 맞는 시스템으로 2.4GHz 대역에서 동작하며 기본적으로 1Mbps와 2Mbps의 비트율을 지원한다. ARF의 개념은 기지국을 중심으로 한 셀 내의 특정 경계를 기준으로 단말기가 경계 밖으로 벗어날 경우 자동적으로 비트율을 낮추고 경계 안으로 들어올 경우 비트율을 올리는 것이다. 이 때 기지국과 단말기의 거리 외에 ARQ정보를 이용할 수 있는데 시스템이 2Mbps로 동작하고 있는 경우 연속된 두 번의 NACK가 수신된 경우 비트율을 1Mbps로 낮추어 전송한다. 1Mbps로 전송하여 ACK가 열번 수신되면 비트율을 다시 2Mbps로 올리고, 다시 NACK가 수신될 경우에는 즉시 비트율을 1Mbps로 낮추어 동작한다.

ARF 알고리즘 역시 SISO 시스템을 기반으로 제안되었으며 단말기와 기지국 사이의 거리를 측정해야하며 사용 가능한 전송 비트율이 많아질 경우 각 영역별로 최적의 전송률을 갖는 거리를 결정하는 것이 어렵다는 단점이 있다. ARF 역시 SISO 시스템을 기반으로 하여 제안되었으며 전송률이 두 단계로 제한되어 있으므로 802.11a와 같이 여러 전송률을 지원하는 시스템에 적용하기 위해서 전송률 단계를 확장하였으며 ACK와 NACK의 수신 횟수에 따른 전송률 단계 결정 방법을 수정

하였다. 또한 MIMO 시스템으로 확장 적용하기 위해 다중 안테나의 전송률 결정 방법에 대한 연구를 진행하였다.

III. 제안한 적응변조 기법

기존의 MIMO 적응변조 시스템은 별도의 CSI(Channel State Information), SINR map, MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨에 근거하여 전송 가능한 데이터 전송률을 확정한다. 그러나 이러한 기법은 다중 안테나 사용에 따른 정보량 증가로 인해 피드백 비트수가 많이 필요하며 송신 안테나의 수 또는 MCS 레벨 수의 증가에 따라 복잡도가 기하급수적으로 증가하는 단점이 있다.

본 논문에서는 2.1절에 제시된 Falahati의 알고리즘을 MIMO시스템에 맞도록 확장하여 별도의 피드백 채널을 사용하지 않으며 송신 안테나의 수 또는 MCS 레벨 수가 증가하더라도 복잡도가 유지되는 MIMO 적응변조 시스템에 대해 연구하였다. 제안한 적응변조 기법에서 수신 패킷의 ACK/NACK에 의해 MCS 단계가 결정되는 과정은 다음과 같다. 수신단에서 수신 심볼 벡터를 복조한 후, 각 패킷별로 CRC를 통해 데이터 비트의 손상을 확인한다. CRC결과 수신 신호의 비트 에러율이 원하는 값을 만족시킬 경우 송신단으로 ACK를, 원하는 비트 에러율을 만족시키지 못할 경우 송신단으로 NACK를 전송한다. 송신단에서는 NACK가 수신되면 재전송 요구가 있는 것이므로 이전에 전송한 패킷을 다시 전송한다. Falahati의 알고리즘은 패킷 재전송시 고정된 최대 전송률 단계로부터 한단계씩 낮추어가며 전송이 가능한 최적 전송률 단계를 찾고 다시 새로운 패킷을 전송할 때에는 최대 전송률 단계로부터 이와 같은 과정을 반복한다. 반면 제안하는 변조기법에서는 전송되는 패킷의 MCS 단계를 이전에 전송한 패킷의 MCS 단계에 대해 적응적으로 변화하도록 결정되어 있다. 이전 패킷에 대해 ACK가 수신되면 이전 패킷에 적용한 MCS 단계를 사용하여도 원하는 비트 에러율을 만족시키는 전송이 가능한 채널 환경이라고 추정하여 MCS 단계를 상향 조정하여 더 높은 전송률을 갖도록 한다. 이전 패킷에 대해 NACK가 수신되었다면 이전 패킷에 적용된 MCS 단계로는 원하는 비트 에러율을 만족시키기 어려운 채널 환경으로 추정하여 MCS 단계를 하향 조정 후 패킷을 재전송한다. MCS 단계를 하향 조정함으로써 전송률은 낮아지지만 안좋은 채널 환경에서

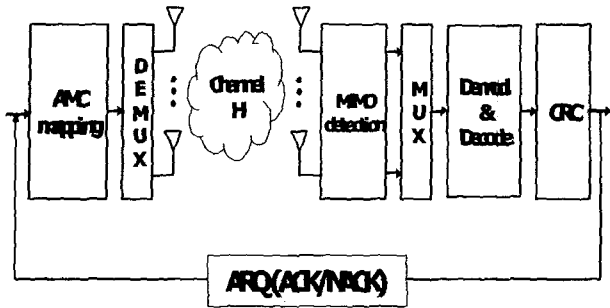


그림 2. SRC 시스템 구조

Fig. 2. SRC system structure.

목표 에러율을 만족시키는 안정적인 전송이 가능하다. MIMO 시스템을 기반으로 한 제안하는 적응변조 기법은 시변 채널에 적응변조를 하되 모든 송신 안테나가 같은 전송률을 갖는 기법(Same Rate Control)과 송신 안테나별로 독립적으로 전송률을 조절하는 기법(Individual Rate Control)으로 나누어 적용할 수 있다.

1. Same Rate Control

SRC(Same rate control)는 모든 송신 안테나가 같은 전송률을 가지는 기법으로 그림 2와 같은 송수신기 구조를 갖는다. 이와 같은 송수신기 구조는 기존의 Falahati의 알고리즘^[4]을 MIMO시스템으로 확장한 것과 같다. 그러나 Falahati의 알고리즘은 전송 MCS 단계를 결정하기 위해 최고의 전송률을 갖는 단계로부터 시작하여 패킷을 재전송할 때 MCS 단계를 한 단계씩 하향 조정하며 최적의 전송 MCS 단계를 찾는다. 반면, 제안한 기법에서는 이전 패킷이 전송된 변조 단계에 대해 적응적으로 전송 MCS 단계를 결정한다. SRC에서는 한 패킷이 모든 송신 안테나로 다중화되어 전송되기 때문에 송신 안테나에는 모두 같은 MCS 단계가 적용된다. 수신단에서는 수신 심볼 벡터를 MIMO 검출과 역다중화 과정을 통해 패킷을 복원하고, 복원된 패킷에 대한 CRC를 통해 에러율을 분석한 후 ACK/NACK를 수신단으로 전송한다. 이와 같은 과정을 통해 구성된 한 패킷에 대한 ARQ를 통해 다음 전송 패킷의 MCS 단계를 결정하게 되며 이 때 역시 모든 송신 안테나에는 같은 MCS 단계가 사용된다.

이와 같은 SRC 방법은 한 패킷을 다수의 안테나를 통해 전송하기 때문에 한 패킷이 전송되는 시간이 줄어들게 되어 채널에 대한 적응 속도가 빨라지게 되며 한 패킷 내에서 부호화를 하기 때문에 한 패킷을 다중 송신 안테나를 통해 전송함으로써 안테나 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 또한 인터리빙등을 적용할 경우 그

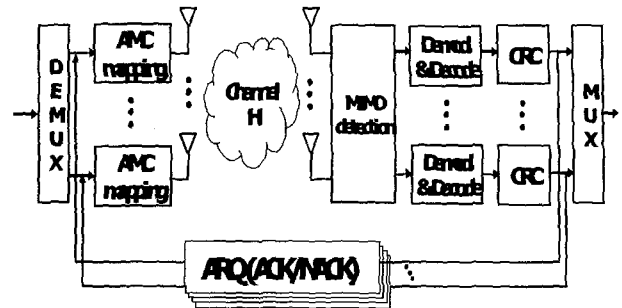


그림 3. IRC 시스템 구조

Fig. 3. IRC system structure.

에 따른 시간적 다이버시티 효과를 얻을 수 있으며 기존의 MIMO 다중화 구조를 그대로 이용할 수 있기 때문에 구현이 간단하다는 장점을 갖는다. 그러나 SRC는 모든 송신 안테나의 전송률이 같이 조절되므로 각 송신 안테나별로 독립적인 채널 환경을 정확히 반영할 수 없어 최적 전송량의 획득이 어려운 단점이 있다.

2. Individual Rate Control

각 송신 안테나별로 독립적으로 전송률이 조절되는 IRC의 경우, SRC와 마찬가지로 한 패킷을 다중 송신 안테나를 통해 전송한다면 다수의 송신 안테나에 대해 하나의 ARQ 지표만이 존재하므로 모든 송신 안테나의 전송률을 독립적으로 조절할 수 없기 때문에 SRC와는 다른 구조가 필요하다. IRC시스템의 송수신기 구조는 그림 3과 같으며 송신단에서는 하나의 패킷을 하나의 안테나를 통해서만 전송한다. 수신단 역시 각 송신 안테나에서 전송된 패킷별로 신호를 검출하고 ARQ를 구성하여 피드백한다. 이러한 과정을 통해 패킷별 ARQ 신호만으로 각 송신 안테나를 구별할 수 있으며 독립적인 전송률 조절이 가능하다. 이러한 IRC 기법은 각 안테나별 전송률이 독립적으로 조절되기 때문에 각 송수신 안테나 사이의 독립적인 채널 상황을 정확히 반영할 수 있어 전송량이 증대되는 효과를 기대할 수 있다. IRC는 SRC와 비교하여 패킷 길이가 유지되기 때문에 ARQ가 수신되는 빈도가 송신 안테나의 수만큼 줄어드는 특징을 갖는다.

제안한 IRC시스템의 신호모델은 다음과 같다. 전송 안테나의 개수를 N_T 라고 하면 N_T 만큼의 패킷을 각 송신 안테나로 다중화 한 후 안테나별로 독립된 변조 방식을 사용하여 전송 심볼 벡터 \mathbf{b}_i 를 구성한다. 이때 $\mathbf{b}_i = [b_{1i}, b_{2i}, \dots, b_{N_T i}]^T$ 로 b_{ii} 는 i 번째 안테나로 전송되는 패킷의 i 번째 심볼을 의미하며 각 패킷별로 독립

적인 변조방식, 부호화율을 가진다. 이 때 i 번째 수신 심볼 벡터 \mathbf{r}_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{r}_i = \sqrt{\frac{G}{T}} \mathbf{H}_i \mathbf{b}_i + \mathbf{n}_i \quad (1)$$

한 패킷 전체에 대한 식을 행렬 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\mathbf{R} = \sqrt{\frac{G}{T}} \mathbf{H} \mathbf{B} + \mathbf{N} \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{R} = [\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_{N_S}]$, $\mathbf{B} = [\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_{N_S}]$, $\mathbf{N} = [\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2, \dots, \mathbf{n}_{N_S}]$ 이며 N_S 는 각 패킷당 심볼수를 나타낸다.

이와 같은 형태로 패킷이 전송되기 때문에 송수신단의 다중화, 역다중화 블록은 그림 3 와 같이 송신단에서 각 패킷별로 다중화된 후 변조되어야 하며 수신단에서도 마찬가지로 패킷별로 역다중화를 한 후에 심볼을 복조하고 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 해야 한다.

IV. 모의 실험

1. 실험 환경

제한한 적응변조 시스템의 성능 분석을 위해 IEEE 802.11a 시스템을 기반으로 한 MIMO-OFDM 시스템을 구성하였다. 모의 실험에서 사용한 MCS 레벨은 모두 7 단계로 IEEE 802.11a 에서 규정하고 있는 8가지 MCS 레벨중 3/4 부호화율을 갖는 BPSK 변조방식을 제외한 것이다. 그 이유는 BPSK변조는 QPSK변조방식과 같은 오차 확률을 갖기 때문이다. 또한 본 실험에서 심볼 검출을 위한 채널 추정은 완벽한 채널을 알고 있으며 수신단에서 송신단으로 전송되는 ARQ신호는 에러없이 수신된다고 가정하였다. 모의실험에 사용된 OFDM심볼의 파라미터와 채널의 공간간적 파라미터를 하나의 표로 정리하면 표 1 과 같다. 송수신단 모두 4개의 안테나를 사용하였으며 채널은 느린 Rayleigh 페이딩 채널을 사용하였다.

즉 IEEE 802.11a 무선 랜 시스템에 맞추어 5GHz 대역을 사용하며 대역폭은 16.6MHz이라고 가정하면 이동국이 60km/h로 이동하는 경우 $f_d T_s \approx 2 \times 10^{-5}$ 으로 느린 페이딩 환경이 된다^[6]. 또한 본 실험에서는 안테나 간격과 각퍼짐에 따른 채널의 공간 상관도를 고려하였다^[7]. 본 논문에서는 $d/\lambda = 1/2$ 인 환경에서 각퍼짐이

표 1. 실험 환경

Table 1. Simulation environments.

부반송파의 개수	64
보호구간의 샘플갯수	16
패킷당 OFDM 심볼수	12
채널 모델	Rayleigh fading
속도	60km/h($f_d T_s \approx 2 \times 10^{-5}$)
송수신 안테나 개수	4 × 4
인접 안테나 사이의 거리	1/2
각퍼짐(Angular spread)	45도, 90도
MIMO 검출 알고리즘	VBLAST

90도와 45도인 환경에 대해 실험하였다.

2. 최적의 MCS 단계 결정을 위한 고려사항

ACK/NACK를 이용하여 MCS 단계를 결정할 때, 바로 이전 한 패킷만의 정보가 아닌 다수 패킷의 정보를 이용할 경우, 추가적인 성능 향상을 기대할 수 있다. 이전 패킷을 계속 관찰하여 연속된 N_{ACK} 만큼의 ACK가 수신되면 MCS단계를 한 단계 상향 조정하고, N_{ACK} 만큼의 NACK가 수신되면 한 단계 하향 조정하는 방식으로 일반화하여 적용할 수 있다. 이 때 N_{ACK} 와 N_{ACK} 는 채널 환경, 또는 변조 단계에 따라 결정할 수 있다.

SRC와 IRC 모두 MCS 단계를 결정할 때 바로 이전 한 패킷만의 정보가 아닌 다수의 패킷 정보를 이용할 경우 성능향상을 기대할 수 있고 이때 채널의 변화정도와 MCS 단계에 대한 고려가 필요하다. 무선 통신 채널은 시변하는 특성을 가지며 채널 계수는 시간적인 상관관계를 가지며 변화한다. 페이딩은 시간적인 상관관계를 가지기 때문에 채널 계수의 절대값은 그 이전 샘플에 대한 값과 어느정도 비슷한 값을 가지게 되리라는 것을 유추할 수 있다. 따라서 한 패킷이 제대로 수신되었다고 해서 바로 그 다음패킷의 변조 단계를 올릴 경우, 원하는 에러율을 만족 시키지 못하고 패킷을 재전송하게 될 가능성이 크다. 이와 같은 이유로 제한한 적응변조 시스템의 성능을 분석하기 위해서는 채널의 변화 양상을 고려한 실험 시나리오의 수립이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 송신단에서 특정한 변조단계로 변조한 후 전송한 패킷이 목표 비트 에러율을 만족시키지 못해 수신단에서 송신단으로 NACK를 전송한다면, 송신단에서는 채널이 페이딩이 심해지고 있는 상황이라고 가정하여 ACK가 전송된 경우에도 다음 패킷에 대한 변조 단계를 제한한다. 한번의 NACK가 전송된 이후 다수의 N_{ACK} 패킷에 대해 ACK가 전송된 경우에

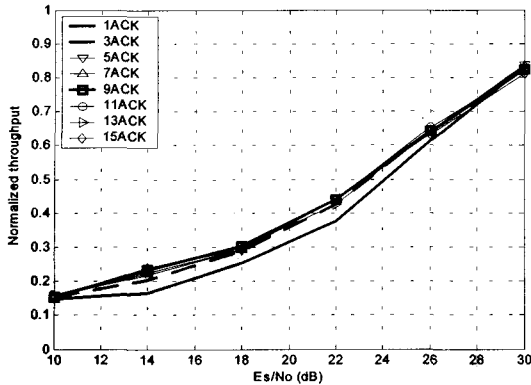


그림 4. SRC 시스템의 N_{ACK} 에 따른 정규화 수율

Fig. 4. Normalized throughput according to N_{ACK} in the SRC system.

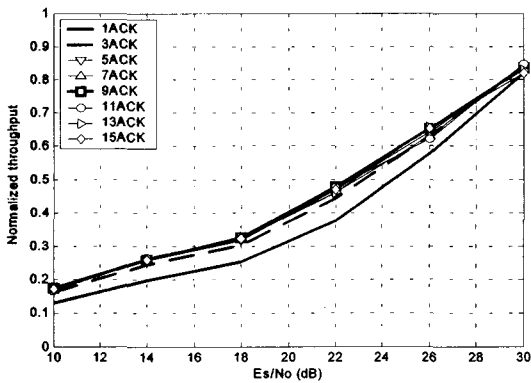


그림 5. IRC 시스템의 N_{ACK} 에 따른 정규화 수율

Fig. 5. Normalized throughput according to N_{ACK} in the IRC system.

한해 변조 단계를 상향 조정한다. 이때 N_{ACK} 는 채널환경에 따라 결정될 수 있으며 실험적으로 모의 실험환경에 적합한 가장 최적의 N_{ACK} 를 선택한다.

그림 4와 그림 5는 각각 송신 안테나가 모두 같은 전송률을 갖는 제안한 시스템과 안테나별로 독립적인 전송률을 갖는 제안한 시스템의 normalized throughput을 E_s/N_o 에 대해 관찰한 결과이다. 두 기법 모두 한번의 ACK에 대해 전송률을 높이는 것 보다는 여러 번의 ACK가 수신되었을 때 전송률을 높이는 방식이 좋은 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 수신 ACK 수를 증가시키기에 따라 성능 개선 폭은 점차 줄어들게 된다. E_s/N_o 가 20dB인 경우에 대해 안테나별 전송률을 같게 고정시킨 경우는 최대 0.06, 안테나별로 다른 전송률을 갖는 경우는 최대 0.1 가량의 성능 개선이 있다. 실험 결과를 보면 세번 이상의 ACK가 수신되었을 때 전송률을 조절할 경우 거의 비슷한 성능을 나타내며 그 중 두 기법 모두에서 좋은 성능을 나타내는 아홉 번의 ACK에 대해 전송률 단계를 올리는 실험 시나리오를

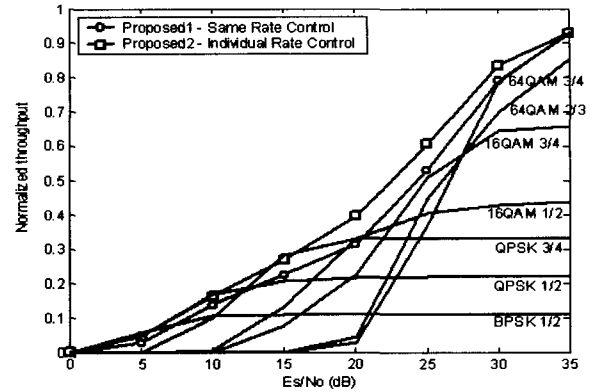


그림 6. SNR에 따른 제안한 시스템의 정규화 수율

Fig. 6. Normalized throughput vs. SNR in SRC system.

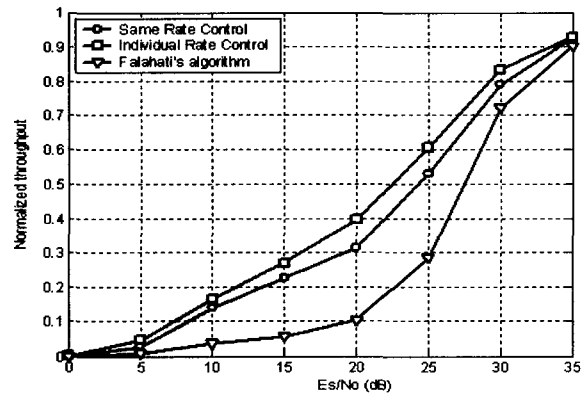


그림 7. Falahati의 적응 변조 방식과 제안한 시스템의 정규화 수율

Fig. 7. Normalized throughput in the Falahati's system and the proposed system.

채택하여 사용하였다.

3. 실험 결과

그림 6은 제안한 기법과 전송률이 고정된 기존 시스템의 성능을 비교한 그림이다. 전송률이 고정된 기존 시스템은 채널의 시변 특성을 반영하지 못하기 때문에 E_s/N_o 가 낮은 환경에서는 BPSK나 QPSK와 같이 낮은 전송률을 갖는 변조 방식이, 그리고 E_s/N_o 이 높은 환경에서는 16QAM이나 64QAM과 같이 높은 전송률을 갖는 변조 방식이 적합하게 된다. 그림 6을 보면 전송률이 고정된 시스템의 경우 각 E_s/N_o 단계에 따라 가장 높은 전송률을 보장하는 변조 방식이 다르게 나타나며 시스템 자체의 성능 제한에 의해 특정값 이상의 전송률을 가지지 못하게 됨을 확인할 수 있다. 그러나 제안한 기법에서는 각 채널의 시변 특성을 반영하여 적합한 변조 단계를 선택하므로 각 E_s/N_o 단계에서 가장 좋은 변조 방식의 전송률을 따라가고 있음을 확인할 수

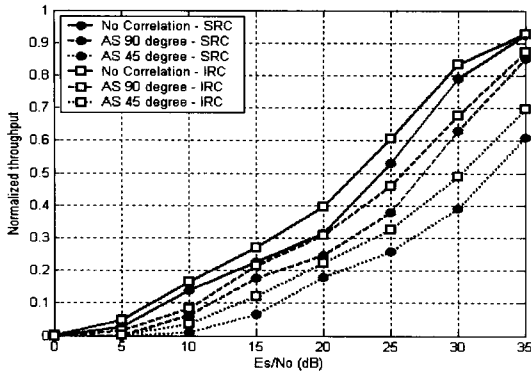


그림 8. 공간 상관 채널 환경에서 정규화 수율
Fig. 8. Normalized throughput under correlated channel.

있다. 또한 안테나별로 다른 전송률을 갖는 방식 (IRC: Individual Rate Control)이 같은 전송률을 갖는 방식 (SRC: Same Rate Control)에 비해 좋은 성능을 나타내는데 이것은 IRC 방식이 각 안테나마다의 시변 채널 특성을 더 잘 반영할 수 있기 때문으로 생각할 수 있다.

그림 7은 2.2절의 Falahati의 알고리즘을 MIMO로 확장한 시스템의 전송률과 제안한 시스템과 전송률을 비교한 결과이다. Falahati의 방법은 최대의 전송률을 갖는 단계로부터 차례로 단계를 낮추어가며 채널 상황에 적합한 변조 단계를 찾아가는 방식이므로 채널이 갑자기 변하는 경우 재전송률이 높고 최적의 변조 단계를 찾기 위해 버려지는 패킷이 많다. 특히 E_s/N_o 이 안좋은 상황에서는 낮은 차수의 변조를 하여 안정적인 전송을 하는 방식이 더 적합하므로 그러한 현상은 E_s/N_o 이 낮은 환경에서 더 확연히 드러나게 된다. 반면에 제안한 기법은 고정된 단계가 아니라 이전 채널에 적합한 단계에 대해 적응적으로 변조단계를 찾는 방식이므로 Falahati의 알고리즘에 비해 채널 변화에 따른 변조 단계의 변화가 적어 throughput에서 SRC의 경우 최대 3배, IRC의 경우 최대 4배 가량의 이득이 있음을 보여준다.

무선 채널 환경에서 각 전송 채널 사이에 공간적 상관도가 존재하는 경우 그렇지 않은 경우에 비해 채널 전송 용량이 제한되게 된다^[7]. 그림 8은 공간적 상관도가 없는 경우와 공간 상관도가 존재하는 경우의 시스템 성능을 비교한 그림으로 공간적 상관도가 존재하는 경우는 신호가 안테나에 수신되는 입사각의 각퍼짐이 각각 90°와 45°인 경우이다. 이 때 인접안테나 사이의 간격은 1/2로 고정하였으며 신호 입사각은 0°인 경우에 대해 실험하였다. 좁은 각도 범위에서 신호가 수신될 때 공간 상관도가 더 크므로 공간 상관도가 없는 경우가

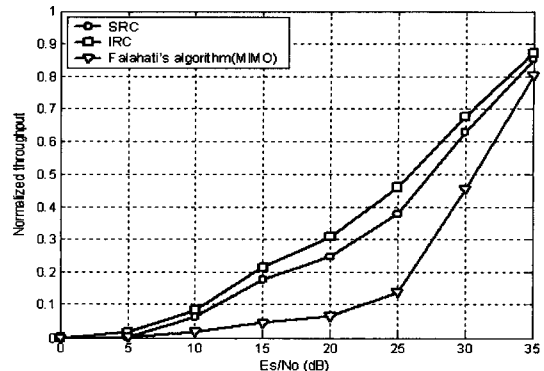


그림 9. 공간 상관 채널 환경에서 기법별 normalized throughput(AS=90°)
Fig. 9. Normalized throughput of each method under spatially correlated channel(AS=90°).

가장 높은 전송률을 가지며 각퍼짐이 45°인 경우 공간 상관도에 의한 성능 제한으로 전송률이 가장 낮음을 그림 9에서 확인할 수 있다.

그림 9는 각퍼짐이 90도로 공간적인 상관도가 존재하는 채널에서 각 기법별 전송률을 비교한 그림으로 그림 7과 마찬가지로 안테나별로 독립적인 전송율을 갖는 기법이 가장 높은 전송률을 나타내며 Falahati의 알고리즘의 경우 낮은 E_s/N_o 환경에서 높은 전송률을 사용함에 따라 에러율을 만족시키지 못해 버려지는 패킷에 의해 전송률이 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 ARQ신호의 ACK/NACK를 이용하여 피드백 채널이 없는 시스템에도 적용이 가능한 MIMO 시스템에 적합한 적응변조 기법을 제안한다. 제안한 기법에서는 SISO에서 ARQ신호를 이용한 적응 변조기법의 비효율성을 극복하기 위해서 고정된 초기 전송률 단계가 아닌 이전 패킷의 최적 전송률 단계로부터 현재 채널 상황에 대한 최적의 전송률 단계를 결정한다. 이와 같은 방법은 안테나마다 같은 전송률을 갖는 시스템과 안테나마다 독립적인 전송률을 갖는 시스템 모두에 적용이 가능하다.

제안한 기법의 성능 분석을 위해서 IEEE 802.11a OFDM 시스템을 MIMO로 확장한 MIMO-OFDM 환경에서 모의실험을 수행하였다. 모의 실험의 결과 제안 보다는 다수의 이전 패킷 정보를 이용함으로써 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 안테나별로 독립적인 전송률을 갖는 IRC 시스템이 모든 송신 안테나가

같은 전송률을 갖는 SRC시스템에 비해 더 높은 전송률을 나타내며, 두 기법 모두 전송률이 고정된 기법에 비해 다양한 SNR 환경에서 높은 전송률을 보장할 수 있음을 확인하였다. 또한 Falahati의 알고리즘을 MIMO 시스템으로 확장한 시스템에 비해 normalized throughput 측면에서 최대 4배 가량의 이득이 있다. 제안한 두가지 기법 중 SRC 시스템은 기존 MIMO 적응변조 시스템을 그대로 사용할 수 있고 간단한 구조로 적응변조를 구현할 수 있다는 장점이 있으며 한 패킷을 여러 안테나를 통해 다중화하여 전송하므로 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. IRC 시스템은 대부분의 환경에서 SRC에 비해 좋은 성능을 나타내며 특히 전송 채널 중 한 안테나의 채널에 페이딩이 걸렸을 경우 SRC 시스템에 비해 장점을 가지며, SNR이 좋은 환경에서 더 높은 전송률을 나타낸다.

참고 문헌

- [1] J. C. Liberti and T. S. Rappaport, *Smart Antennas for wireless communications: IS-95 and third generation CDMA applications*, Prentice Hall, 1999.
- [2] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas", *Bell Labs Technical Journal*, pp. 41~59, Oct. 1996.
- [3] P. J. Sartori, K. L. Baum, and F. W. Vook, "Impact of Spatial Correlation on the Spectral Efficiency of Wireless OFDM Systems Using Multiple Antenna Techniques," *Proc. IEEE VTC spring*, pp.1150 - 1154, Birmingham, Alabama, USA, 2002.
- [4] N. C. Ericsson, A. Ahlen, S. halahati, and A. Svensson, "Hybrid type-II ARQ/AMS supported by Channel Predictive Scheduling in a Multi-user Scenario," *Proc. IEEE VTC fall*, pp. 1804 - 1811, Boston, USA, 2000.
- [5] A. Kmerman and L. Monteban, "WaveLAN-II: A High-Performance Wireless LAN for the Unlicensed Band," *Bell labs technical journal*, 1997.
- [6] Wanshi Chen and U. Mitra, "An improved blind adaptive MMSE receiver for fast fading DS-CDMA channels," *IEEE Journal on, Selected Areas in Communications*, vol. 19, issue 8, pp. 1531-1543, Aug. 2001.
- [7] J. Salz and J. H. Winters, "Effect of Fading Correlation on Adaptive Arrays in Digital Mobile Radio," *IEEE Trans. on VT*, vol. 43, no. 4, Nov. 1994.

저자 소개



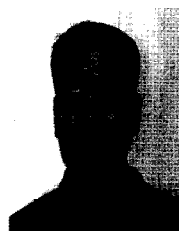
유 승 연(학생회원)
2004년 연세대학교 전자공학과 석사 졸업.
2004년 ~ 현재 삼성전자
<주관심분야: 통신 신호처리, MIMO 시스템>



김 경 연(학생회원)
2003년 연세대학교 전자공학과 석사 졸업.
2003년 3월~현재 연세대학교 전자공학과 박사과정 중
<주관심분야: 통신 신호처리, MIMO 시스템>



이 충 용(정회원)
1995년 Georgia Institute of Technology 박사 졸업.
1996년~1997년 7월 삼성전자
1997년 9월~ 현재 연세대학교 전기전자공학과 부교수
<주관심분야: 통신신호처리, 어레이 신호처리, MIMO 시스템>



홍 대 식(정회원)
1990년 Purdue University Electrical Eng. 박사 졸업.
1991년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
<주관심분야: 디지털통신, 통신신호처리, 4G시스템, OFDM시스템>



박 현 철(평생회원)
1997년 Georgia Institute of Technology 박사 졸업
1997년~2002년 삼성전자
2002년~현재 ICU 조교수
<주관심분야: 변조 및 코딩, 정보이론>