

# 다수 사용자 OFDM 시스템에서의 비디오 전송을 위한 비례율 적용 왜곡 최소화 자원 할당 방법

정희원 하 호 진\*, 임 창 훈\*\*, 김 영 용\*

## Distortion Minimization Resource Allocation Scheme for Multiuser Video Transmission Over OFDM Network with Proportional Rates

Hojin Ha\*, Changhoon Yim\*\*, Young Yong Kim\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 다수의 비디오를 전송하는 직교 주파수 다중 분할 시스템의 다운링크에서 종단간 비디오에서 발생하는 왜곡을 최소화하는 자원 할당 방법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 제한된 시스템 리소스에서 다수 사용자의 다양성과 패킷 왜곡 모델을 이용한 비트 왜곡 함수를 이용하여 전체 사용자의 비디오 왜곡을 최소화 한다. 첫 단계에서, H.264 비디오 코딩 구조에 존재하는 에러 은닉과 전파를 이용하여 비트 왜곡 함수를 유도한다. 두 번째 단계에서는 전체적인 비디오 화질 저하를 최소화하기 위해서, 직교 주파수 다중 분할 시스템의 자원을 사용자의 다양성을 이용하여 부 반송파와 파워를 할당하는 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 또한 각 사용자에 의해서 요구 되는 비디오 화질을 얻기 위해서, 비례율의 요소를 적용한다. 실험결과에서, 제안된 자원할당 알고리즘은 기존의 시간 분할 다중 접속 방법 그리고 비트 왜곡의 정보를 이용하지 않는 알고리즘과 비교해서, 종단간의 비디오 화질을 크게 향상시키는 결과를 보였다.

**Key Words** : Multiuser orthogonal Frequency Division Multiplex(OFDM), Adaptive Resource Allocation, Rate Distortion Function, Multiple Video Transmission, H.264

### ABSTRACT

This paper proposes a resource allocation algorithm for minimizing the overall distortion of multiple users in orthogonal frequency division multiplex (OFDM). The proposed algorithm exploits the diversity of multiuser and the rate-distortion function using packet distortion model in a system with limited resources. We first induce a rate-distortion function considering error concealment and error propagation properties of H.264 video structures. Then we perform adaptive resource allocation utilizing multiuser diversity for minimizing the overall video quality degradation. We also consider the proportional rate which is pre-determined for each user. Simulation results show that compared to the previous time division multiple access method and the resource allocation method maximizing data rate, the proposed rate allocation algorithm substantially improves the received video quality.

\* 본 연구는 서울시 산학연 협력사업 (10581) 지원으로 수행되었음. 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0038).

\* 연세대학교 전기전자공학부 (hojiniha@yonsei.ac.kr(° : 교신저자), y2k@yonsei.ac.kr)

\*\* 건국대학교 인터넷미디어공학부 (cyim@konkuk.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-10-484, 접수일자 : 2007년 10월 26일, 최종논문접수일자 : 2008년 06월 13일

## I. 서 론

3G/4G 셀룰라 시스템과 무선 랜 (wireless lan, WLAN)과 무선 맨 (wireless metropolitan area network, WMAN)등의 무선 네트워크 발달과 비디오 압축 기술의 발달로 비디오 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다. 제한된 무선 자원에서, 다수의 비디오 스트림 또는 대용량의 전송 데이터를 처리하기 위해서, 직교 주파수 다중 분할 (orthogonal frequency division multiplex, OFDM) 기술이 널리 사용되고 있다<sup>[1],[2]</sup>. 다중 사용자 OFDM시스템은 여러 사용자들이 제한된 네트워크 시스템 자원을 이용하기 때문에, 어떻게 효율적으로 자원을 할당하는가의 문제가 전체 사용자의 비디오 화질을 결정하게 된다.

일반적인 데이터를 전송하기 위해서, 2가지 측면의 자원 할당을 최적화하는 알고리즘이 있어왔다. 각 사용자가 원하는 데이터 양을 전송하기 위해서 시스템의 전송 파워를 최소화하거나<sup>[3]</sup>, 또는 제한된 전송 파워에서 데이터 양을 최대화하는 접근이 이루어졌다<sup>[4],[5],[6]</sup>. 이러한 알고리즘은 주로 비선형의 조건을 갖는 최적화 문제이고, 이러한 문제는 복잡도를 증가시키기 때문에, 복잡도를 낮추기 위한 발견적 접근(heuristic approach)이 이루어 지고 있다<sup>[7]</sup>. 일반적인 데이터에 비해서, 비디오 데이터는 지연으로 인한 손실에 민감하다. 지연된 비디오 데이터는 현재 프레임의 화질 열화와 그 프레임을 참조하는 다음 프레임에 영향을 미치기 때문이다.

OFDM 시스템에서 비디오 전송을 위한 자원 할당 알고리즘에 관한 연구가 있어왔다. 기본(base) 계층과 보충 (enhancement) 계층으로 비디오를 압축하는 계층 (layered) 비디오 코더에서는 기본 계층에 자원할당을 보장하면서, 보충 계층에서는 사용자들의 요구되는 품질요구량 (Quality of Service, QoS)에 비례해서 선택적으로 자원을 할당하는 알고리즘들이 제안되었다<sup>[8],[9]</sup>. 또한 시간 축과 공간 축에 스케일러블 한 기능을 추가하여 기존의 FGS보다 더 세밀한 조절이 가능한 3-D 서브밴드 웨이블릿 코더에 대해서, [10]와 [11]은 전송되는 비트의 양에 따라 감소하는 비디오 왜곡의 양을 예측하여 자원을 할당하는 알고리즘을 제안하였다. 또 다른 접근은 계층 간 (cross-layer)의 정보를 이용한 자원 할당 알고리즘이다. 응용, 링크 그리고 물리 계층 간의 정보를 이용하여, 링크 계층의 종단간의 비디오 화질을 최대화 할 수 있다. 응용 계층에서 패킷

의 중요도에 관한 정보와 채널 정보를 가진 링크 계층에서 전송 패킷을 등급화하여 패킷을 누락시키는 알고리즘들이 제안되었다<sup>[12],[13]</sup>.

H.263과 MPEG-4의 단순 프로파일과 같이 단일 계층으로 압축된 비디오 스트림에 대한 시스템의 자원 할당은 계층적 비디오나 스케일러블 비디오와 같이 쉽게 전송 패킷의 중요도를 평가하기가 어렵다. 따라서 단일 계층의 한 비디오 패킷이 전체 비디오 화질 열화에 미치는 양을 가하기 위해서, 움직임 정보와 이산 코사인 변화의 계수의 크기 그리고 인트라 모드 MB등을 이용한 여러 가지 왜곡 모델이 제안되었다<sup>[14],[15],[16]</sup>.

본 논문에서는 다중 사용자의 비디오 왜곡을 최소화하기 위해서, 각 사용자에 대한 채널 환경의 다양성과 비디오 패킷에 존재하는 비 대칭성을 이용하여 전체 사용자의 비디오 화질을 최소화하는 알고리즘을 제안한다. 각 사용자에 의해서 요구되는 비디오 화질을 얻기 위해서, 비례율 (proportional rate)을 고려하여 알고리즘을 수행한다. 제안된 알고리즘은 우선, 각 사용자에 존재하는 계층적 (hierarchical) 비디오 코딩의 특성을 이용하여, 전송 패킷 손실에 의한 비디오 왜곡의 크기를 나타내기 위해서 패킷 왜곡 모델을 제안한다. 그리고 계산된 패킷 왜곡 정보와 각 사용자들에 존재하는 채널의 다양성을 이용하여 각 사용자에게 자원을 할당하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 자원할당 알고리즘은 기존의 시간 분할 다중 접속 (time division multiple access, TDMA) 그리고 비트 왜곡 정보를 이용하지 않는 방법과 비교해서, 1.4~5.0 dB의 성능향상 결과를 보여 주고 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 다중 사용자 OFDM 시스템 모델을 나타낸다. III장에서는 패킷 손실로 인한, 여러 은닉과 전파의 영향을 반영한 비트 왜곡 함수를 제시한다. IV장에서는 비트 왜곡 함수와 채널 환경의 다양성을 이용한 자원 할당 방법 제안된다. V장에서는 이전 방법과 비교하는 성능 실험결과를 보여준다. 마지막으로 VI장에서는 결론을 제시한다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 다중 사용자 OFDM 시스템 모델

본 논문은 OFDM 시스템의 다운링크 전송상황을 고려한다. 그림 1은 다중 사용자 OFDM 시스템의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. K명의 사용자가

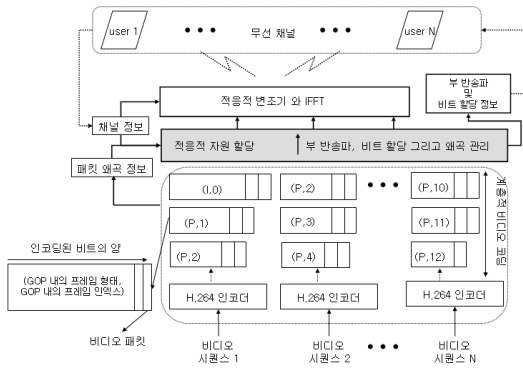


그림 1. K명의 사용자의 비디오 데이터 전송을 위한 OFDM 시스템의 블록 다이어그램

전체 N개의 부 반송파를 가지고 있는 OFDM 시스템을 사용한다고 가정한다. 각 사용자의 비디오 인코더는 전송 프레임들의 시간과 공간에 존재하는 연관성 (correlation)을 이용하여 압축하고 비디오 패킷을 버퍼에 저장한다. 이 과정에서 비트 왜곡 함수를 유도한다. 적응적 자원 할당 모듈은 각 사용자의 채널 정보와 비트 왜곡 정보를 이용하여 부 반송파 및 비트 할당을 수행한다. 여기에서 OFDM 시스템은 모든 부 반송파에 대한 모든 사용자의 채널 정보를 알고, 하나의 부 반송파는 한 사용자만이 사용한다고 가정한다. 적응적 변조기와 역 고속 푸리에 변환 (IFFT) 모듈은 각 부 반송파에 할당된 비트를 M-레벨 QAM과 IFFT를 사용해서 OFDM 심볼로 변조한다. 변조된 OFDM 심볼은 시간에 따라 천천히 변하는 주파수 선택적 페이딩 채널을 통해서 전송된다. 전체 채널 대역폭을 B로 가정하고, 같은 부 반송파에 대한 모든 사용자의 페이딩 효과는 다운링크 채널에서 모두 다르다고 가정한다. 평균은 제로이고, 분산이  $\sigma^2$ 인 부가적인 백색 가우시안 잡음 (AWGN)을 포함하는 부 반송파 n에 대한 사용자 k의 채널 이득과 파워를 각각  $g_{k,n}$ 과  $P_{k,n}$ 로 정의하면, 수신되는 신호 대 잡음비,  $\gamma_{k,n}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma_{k,n} = \frac{P_{k,n} \cdot g_{k,n}}{\sigma^2} \quad (1)$$

$\gamma_{k,n}$ 을 이용한 전송 비트 량을 계산하기 위해서, M-레벨 QAM 변조 방식을 [4]와 같이 적용하면, 요구되는 BER (bit error rate)에 대한 k번째 사용자의 n번째 부 반송파는 다음과 같은 최대의 비트 전송량을 갖게 된다.

$$BER \leq 0.2 \left( \frac{-1.6 \cdot \gamma_{k,n}}{2^{q_{k,n}} - 1} \right) \quad (2)$$

여기에서  $q_{k,n} \geq 4$  와  $0 \leq \gamma_{k,n} \leq 30$ 의 조건에서 식(2)는 유효하다. 만약 요구되는 BER이 주어진다면, 다른 채널 상황에서 전송되는 전송 비트는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$q_{k,n} = \log_2 \left( 1 + \frac{\gamma_{k,n}}{\Gamma} \right) \quad (3)$$

여기에서  $\Gamma = -\ln(5 \cdot BER)/1.6$ 이다. 식(3)을 이용해서, l 번째 OFDM 심볼 전송 주기에서 사용자 k에 의해서 전송되는 비트를  $r_k^l$ 으로 정의 하면, 다음과 같이 계산된다<sup>[4]</sup>.

$$r_k^l = \frac{B}{N} \cdot \sum_{n=1}^N a_{k,n} \cdot q_{k,n} \quad (4)$$

여기에서  $a_{k,n}$ 은 부 반송파의 할당유무를 표시한다. 즉,  $a_{k,n}$ 이 1이면, k번째 사용자가 n번째 부 반송파를 사용한다는 의미이다. 식(4)을 이용해서, l번째 심볼 전송 주기에서, k번째 사용자가 가지는 비디오 왜곡의 양은 다음과 같이 계산된다.

$$D_k(R_k^l) = \delta(0) - \sum_{i=1}^l \delta(r_k^i) \quad (5)$$

여기에서  $\delta(0)$ 는 전송 주기 동안 어떠한 패킷도 전송되지 않았을 때의 왜곡을 의미한다.

### B.비트-왜곡(rate-distortion) 함수

본 장에서는 다중 사용자의 패킷이 OFDM 시스템을 사용하여 전송될 때, 각 패킷이 비디오 화질 열화에 어느 정도 영향을 미치는 가를 예측하기 위해서, 패킷 왜곡 모델을 제시한다. 패킷 p를 포함하는 프레임을 F(p)라고 하면, 제시되는 왜곡 모델은 손실된 패킷이 속해있는 현재 프레임의 왜곡 (EC),  $\phi_p^{F(p)}$ 과 연속된 프레임에 존재하는 여러의 전파에 의한 왜곡 (EP),  $\tau_p^{F(p)}$ 의 합으로 전체 왜곡을 예측한다.

$\phi_p^{F(p)}$ 은 비디오 인코딩 과정에서 부차적인 결과로써 얻어질 수 있다. 복잡도를 낮추기 위해서, 손실 패킷 p에 속해있는 마크로 블록의 왜곡을 계산하기 위해서, 그 이전 프레임의 같은 위치의 마크로 블록을 대치함으로써,  $\phi_p^{F(p)}$ 을 예측 한다.

$\tau_p^{F(p)}$ 은 참조 프레임들의 시간적인 연관성에 따라, 왜곡의 크기가 달라진다고 할 수 있다. 우리는

시간적인 연관성을 나타내는 요소로써 프레임 내의 인터 모드 마이크로블록의 비율,  $d^{F(p)}$  을 사용하여,  $\tau_p^{F(p)}$  을 예측한다.  $\mu^{F(p)+m}$  을  $F(p)+1$  에서부터  $F(p)+m$  까지의 에러 전파에 의한 영향으로 정의하면, 다음과 같이 모델링을 할 수 있다.

$$\mu^{F(p)+m} = \prod_{i=1}^m \alpha^{F(p)+i} \quad (6)$$

$T$  를 GOP의 크기라고 정의하면,  $\mu^{F(p)+m}$  과  $\phi_p^{F(p)}$  을 이용해서,  $\tau_p^{F(p)}$  을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\tau_p^{F(p)} = \sum_{i=1}^{T-F(p)} \mu^{F(p)+i} \cdot \phi_p^{F(p)} \quad (7)$$

결과적으로, 한 패킷  $p$  의 에러로부터 생성되는 왜곡의 양  $\sigma_p$  은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\sigma_p = \phi_p^{F(p)} \cdot (1 + \sum_{i=1}^{T-F(p)} \mu^{F(p)+i}) \quad (8)$$

### III. 제안된 자원 할당 알고리즘

일반적으로 최적의 자원할당을 위해서, 부 반송파와 파워를 동시에 할당하는 접근은 많은 복잡도를 요구한다. 따라서 지연에 민감한 비디오 전송 응용분야에는 이러한 접근은 적당하지 않다. 본 장에서는, 앞 장에서 계산된 비트 왜곡 함수를 이용하여, 각 사용자의 비트 왜곡 율을 먼저 유도한다. 이를 이용하여, 부 반송파와 파워를 할당하는 차선(suboptimal)의 자원 할당 알고리즘을 제안한다.

$l$  번째 심볼 전송 주기 동안의 자원 할당 문제는 사용자의 채널 정보 및 비트 왜곡 정보를 이용하여, 비트 할당에 의한 모든 사용자의 왜곡의 감소량을 최대화하는 문제를 다음과 같이 정형화(formulation) 할 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$\begin{aligned} & \max \sum_{k=1}^K D_k(R_k^l) \\ & \text{subject to} \begin{cases} \sum_{k=1}^K a_{k,n} = 1, a_{k,n} \in \{0,1\}, \forall n \\ \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N a_{k,n} \cdot P_{k,n} \leq P_{total} \\ R_k^l : R_1^l, \dots, R_K^l = \beta_1 : \beta_2 : \dots : \beta_K \end{cases} \quad (9) \end{aligned}$$

$P_{total}$  은 전송 파워에 대한 제약조건이고,  $\{\beta_k\}_{k=1, \dots, K}$  은 각 사용자에게 대해 요구되는 비트율로 OFDM 시스템에서 각 사용자의 요청에 의해서 미

리 결정된 값이라고 할 수 있다. 만약  $\beta_k$  가 모든 사용자에게 대해서 같다면, 이 문제는 결국 전체 사용자의 비디오 왜곡의 감소량을 최대화하는 문제로 귀결된다.

프레임  $j$  에서  $i$  번째 패킷을  $p_{i,j}$  라고 하면, 우리는  $\alpha(p_{i,j})$  을 프레임  $j$  에서의 비디오 패킷의 왜곡을 이라고 정의하면, 사용자  $k$  의 프레임  $j$  에서의 평균 왜곡을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\varepsilon_k^j = \sum_{i=1}^{F_j} \left( \frac{\sigma(p_{i,j})}{F_j} \right) \quad (10)$$

여기에서  $F_j$  는 프레임  $j$  에 의해서 생성된 총 패킷의 수이다. 전송 간격  $l$  에서, 사용자  $k$  의 비트 왜곡율을  $\delta_k(r_k^l)$  으로 나타내면, 식(10)을 이용해서, 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\delta_k(r_k^l) = \frac{\beta_k \cdot \varepsilon_k^j}{r_k^l} \quad (11)$$

만약  $\delta_k(0)$  은 할당 비트가 없는 경우이고, 이 때의  $\delta_k(0)$  은  $\beta_k \cdot \varepsilon_k^j$  이 된다. 결과적으로, 각 사용자에게 할당된 비트에 대한 왜곡의 크기는 요구되는 비트 율과 전송 패킷의 손실로 인한 왜곡의 크기에 비례한다고 할 수 있다. 제안된 비트 왜곡 율이 요구되는 비트 율과 비례하는 이유는 큰 요구 되는 비트 율을 가지고 있는 사용자에게 더 많은 자원을 할당하기 위해서 이다.

제안된 비트 왜곡 율을 기초로 해서, 제한된 리소스에서 부 반송파 할당 알고리즘을 수행 한다. 모든 부 반송파에는 같은 파워가 할당되어 있다고 가정하고, 사용자  $k$  에 할당된 부 반송파의 집합을  $\Omega_k$  라고 정의한다. 부 반송파 할당 알고리즘은 부 반송파를 사용자에게 할당 할 때, 가장 많은 왜곡의 감소 양을 갖는 사용자를 찾는 알고리즘이라고 할 수 있다. 이러한 왜곡의 감소량을 측정하기 위해서, 시간 간격  $l$  에서 부 반송파  $n$  이 사용자  $k$  에 할당되었을 때, 사용자  $k$  의 비디오 왜곡 감소량을  $DRS_{k,n}$  (Distortion Reduction by Subcarrier assignment)으로 그리고 부반송파  $n$  의 할당으로 생성된 각 사용자의 누적 비트를  $sr_k^l$  라고 정의하면, 식(2)의  $q_{k,n}$  을 이용하여,  $DRS_{k,n}$  을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} DRS_{k,n} &= \delta_k(R_k^{l-1}) - \delta_k(R_k^{l-1} + sr_k^l) \\ & \text{where } sr_k^l = sr_k^{l-1} + q_{k,n} \end{aligned} \quad (12)$$

부 반송파 할당 알고리즘은 테이블 1에 자세히

Table 1. 심볼 주기  $l$ 에서의 부 반송파 할당 알고리즘

1) Initialization a) Set $sr_k^l = 0, \Omega_k = \emptyset$ for $k=1,2,\dots,K$ and $A=\{1,2,\dots,N\}$ . 2) For $k=1$ to $K$ a) Find $n$ satisfying $\gamma_{k,n} \geq \gamma_{k,j}$ for all $j \in A$ ; b) Let $\Omega_k = \Omega_k \cup \{n\}, A=A-\{n\}$ ; c) Update $sr_k^l$ using (12). 3) While $A \neq \emptyset$ a) Calculate $DRS_{k,n}$ and find $k,n$ maximizing $DRS_{k,n}$ for all $k$ ; b) For the found $k$ and $n$ , let $\Omega_k = \Omega_k \cup \{n\}, A=A-\{n\}$ ; c) For the found $k$ , update $sr_k^l$ using (12).
---

설명되어 있다. 먼저  $\Omega_k$ 과  $sr_k^l$ 을 초기화 한다. 각 사용자가 시간 간격  $l$ 에서 적어도 하나의 부 반송파를 갖도록 하기 위해서, 각 사용자에게 가장 좋은 신호대 잡음비를 갖는 부 반송파를 할당한다. 두 번째 단계에서 할당되지 않은 부 반송파는 세 번째 단계에서 할당되어 진다. 이 단계에서는 각 사용자에게 대해서 부 반송파가 갖는  $DRS_{k,n}$ 을 계산한다. 전체 사용자의 비디오 왜곡을 최소화하기 위해서,  $DRS_{k,n}$ 을 가장 크게 하는 사용자가 부 반송파를 할당받고,  $sr_k^l$ 을 증가시키는 과정으로 진행된다. 제안된 알고리즘의 복잡도는 부 반송파의 개수에 비례하기 때문에,  $O(N)$ 이다.

제안된 파워 할당 알고리즘은 각 사용자에게 할당된 부 반송파의 집합,  $\Omega_k$ 와 워터필링(waterfilling) 알고리즘을 이용하여, [10]에서와 같이 각 부 반송파에 할당될 파워의 크기를 결정한다. 부 반송파  $n$ 에서 사용자  $k$ 에 할당 가능한 파워의 레벨에 대한 집합을  $\mathcal{A}_{k,n} \in \{1,2,\dots,m\}$ 로 나타내면, 파워 할당 레벨  $\mathcal{A}_{k,n}$ 에서의 파워와 파워 할당에 의해서 계산된 비트를 각각  $Q_{power}^{\mathcal{A}_{k,n}}$ 과  $Q_{rate}^{\mathcal{A}_{k,n}}$ 로 정의하고, 다음과 같이 계산된다.

$$Q_{rate}^{\mathcal{A}_{k,n}} = \log_2(1 + Q_{power}^{\mathcal{A}_{k,n}} \cdot H_{k,n}) \quad (13)$$

파워 할당 알고리즘도 부반송파 할당 알고리즘과 유사한 알고리즘을 적용한다. 즉 파워 할당 레벨의 증가에 대해서, 가장 큰 왜곡의 감소를 가지는 부 반송파에 파워레벨을 증가시키는 것을 고려한다. 이를 측정하기 위해서, 전송 주기  $l$ 에서 사용자  $k$ 에 증가되는 비트를  $pr_k^l$ 로 정의하고, 그로 인한 왜곡의 감소량을  $DRP_{k,n}$ (distortion reduction by power allocation)으로 정의한다.  $\mathcal{A}_{k,n}$ 을 증가 시켰을 때,  $DRP_{k,n}$ 은 다음과 같이 계산 할 수 있다.

Table 2. 시간 간격  $l$ 에서의 파워 할당 알고리즘

1) Initialization a) Set $pr_k^l = 0$ and $\theta_{k,n} = 0$ for $k=1,2,\dots,K$ and $n \in \Omega_k$ ; b) $P_{used} = 0$ 2) While $P_{used} \leq P_{total}$ a) Calculate $DRP_{k,n}^{total}$ and find $k,n$ maximizing $DRP_{k,n}$ ; b) For the found $k$ and $n$ , update $\theta_{k,n} = \theta_{k,n} + 1$ ; c) For the found $k$ , update $pr_k^l$ using (14); d) Update $P_{used}$ using (15).
--

$$DRP_{k,n}^l = \delta(R_k^{l-1}) - \delta(R_k^{l-1} + pr_k^l) \quad (14)$$

where  $pr_k^l = pr_k^l + \Delta Q_{rate}^{\mathcal{A}_{k,n}}$

여기에서  $\Delta Q_{rate}^{\mathcal{A}_{k,n}} = Q_{rate}^{\mathcal{A}_{k,n}} - Q_{rate}^{\mathcal{A}_{k,n}-1}$ 이고  $Q_{rate}^0 = 0$ 이다. 즉  $pr_k^l$ 의 증가량은 파워 레벨의 증가에 대한 전송 비트의 증가량만을 고려한 것이다. 자세한 파워 할당 알고리즘은 테이블 2에 나타나 있다. 먼저, 부 반송파에 의해서 사용된 파워를  $P_{used}$  라고 정의한다.  $\mathcal{A}_{k,n}$ ,  $pr_k^l$  그리고  $P_{used}$ 를 각각 0으로 초기화 한다. 식(14)로부터, 가장 큰  $DRP_{k,n}$ 을 갖는 사용자  $k$ 에 할당된 부 반송파  $n$ 을 선택한다. 선택된  $\mathcal{A}_{k,n}$ 에 대해서,  $P_{used}$ 는 다음과 같이 증가된다.

$$P_{used} = P_{used} + \Delta Q_{power}^{\mathcal{A}_{k,n}} \quad (15)$$

여기에서  $\Delta Q_{power}^{\mathcal{A}_{k,n}} = Q_{power}^{\mathcal{A}_{k,n}} - Q_{power}^{\mathcal{A}_{k,n}-1}$  이고  $Q_{power}^0 = 0$ 이다.  $P_{used}$ 가  $P_{total}$ 보다 작으면,  $\mathcal{A}_{k,n}$ 을 증가 시키면서, 왜곡을 더욱 감소시킨다. 만약  $P_{used}$ 가  $P_{total}$ 보다 크다면, 제한된 자원을 모두 사용했기 때문에, 알고리즘을 파워를 더 이상 할당 하지 않는다. 제안된 파워 할당 알고리즘의 복잡도는 파워 할당 레벨  $\mathcal{A}$ 와 부 반송파의 개수  $N$ 에 의존하기 때문에,  $O(N\mathcal{A})$ 이다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

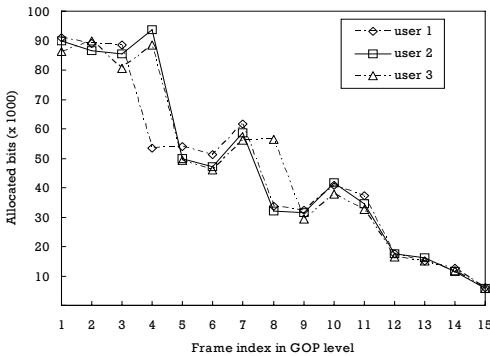
본 장에서는, III장에서 제시된 패킷 왜곡 모델(packet distortion model, PDM)을 사용해서, 자원 할당 알고리즘의 수행 결과를 보여준다. 표 1의 파라미터를 사용해서, 시뮬레이션을 수행하였다. 무선 채널에 대한 모델은 지수적으로 감소하는 6개의 독립적인 Rayleigh 다중경로를 이용한 주파수의 선택적 채널모델을 사용하였다<sup>[5]</sup>. 최대 지연 확산과 최대 도플러는 각각 5μs와 30Hz로 가정하였다.

시뮬레이션을 위해서, 프레임율이 15fps이고 QCIF 크기의 'Foreman'과 'Mobile' 시퀀스를 사용

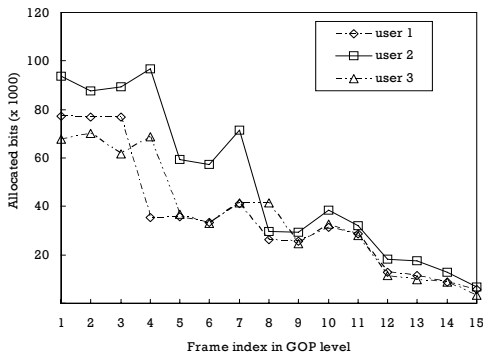
하였다. 실험에 사용된 OFDM 시스템은 전송을 원하는 사용자가 랜덤으로 테스트 시퀀스를 선택하여, 버퍼에 저장한다. H.264 비디오 코덱은 전송된 시퀀스를 15프레임의 GOP 크기와 240kbps의 고정 비트율(CBR)로 인코딩 한다. 하지만 각각의 사용자가 전송한 시퀀스는 시스템에 도착하는 시간이 모두 다르다고 가정하기 때문에, 전송 중에 각 사용자가 전송하려는 비디오 패킷의 중요도는 달라진다. 시퀀스가 시스템에 도착하는 시간을 랜덤으로 정해진다.

성능비교를 위해서, 시간 분할 다중 접속(TDMA) 알고리즘과 Shen 알고리즘<sup>[5]</sup>이 사용되었다. Shen 알고리즘은 제한된 전송파워에서 전송 패킷이 비디오 왜곡에 미치는 영향을 고려하지 않고, 각 사용자의 데이터 율을 최대화하는 알고리즘이다.

그림 6은 3명의 사용자가 'Foreman' 시퀀스의 전송시에, 제안된 알고리즘이 GOP내의 각 프레임에 할당된 비트의 분포를 나타낸다.



(a)



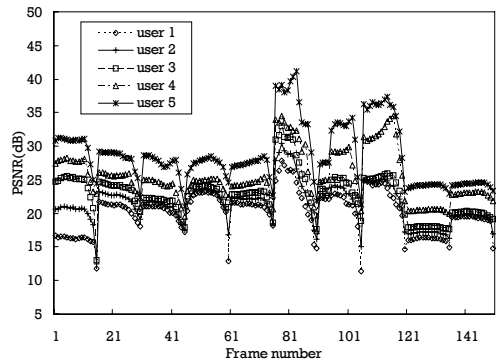
(b)

그림 6. 3명의 사용자에게 대해서, 제안된 알고리즘이 GOP 내의 각 프레임에 할당된 비트의 분포 (a)  $\beta_1:\beta_2:\beta_3=1:1:1$  (b)  $\beta_1:\beta_2:\beta_3=1:2:1$

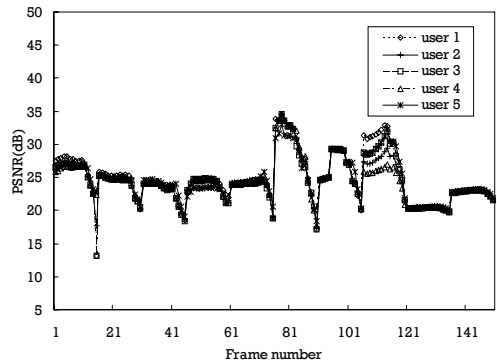
그림 6(a)는 요구되는 율( $\beta_k$ )이 모두 같은 값을 가지는 경우이다.

따라서 각 사용자에게 할당된 비트의 차이는 없고, 시간축에 존재하는 각 프레임의 중복성(dependency)을 이용하는 비디오 코딩 구조의 의해서, 프레임 인덱스가 커짐에 따라, 할당되는 비트가 낮아지는 경향을 볼 수 있다. 그림 6(b)는 요구되는 비트 율을  $\beta_1:\beta_2:\beta_3=1:2:1$  으로 실험한 결과이다. 그림 6(a)와 유사한 경향을 가지지만, 각 사용자에게 할당된 비트는 요구되는 율에 비례해서 할당 된 결과를 볼 수 있다. 이와 같이 제안된 알고리즘은 계층간의 정보, 즉 각 사용자의 채널 특성을 통한 자원 할당 알고리즘과 비디오 코딩 특성을 이용함으로써, 전체 사용자의 비디오 화질을 향상시키면서, 요구되는 비트 율에 비례한 할당을 제안된 알고리즘이 수행함으로 알 수 있다.

그림 7은 5명의 사용자가 'Mobile' 시퀀스를 전송시에, 각 프레임에 존재하는 PSNR의 분포를 나



(a)



(b)

그림 7. 4명의 사용자에게 대해서, 각 프레임에 존재하는 PSNR(dB) 분포 (a)  $\beta_1:\beta_2:\beta_3:\beta_4:\beta_5=1:1:2:3:4$  (b)  $\beta_1:\beta_2:\beta_3:\beta_4:\beta_5=1:1:1:1:1$

표 1. 시뮬레이션 환경

파라미터	값
전체 파워	1W
전체 채널대역	1MHz
요구되는 BER	$10^{-3}$
OFDM 심볼 주기	4 $\mu$ s
보호 구간	0.8 $\mu$ s
채널 정보 주기	0.5ms
부 반송파 개수	64

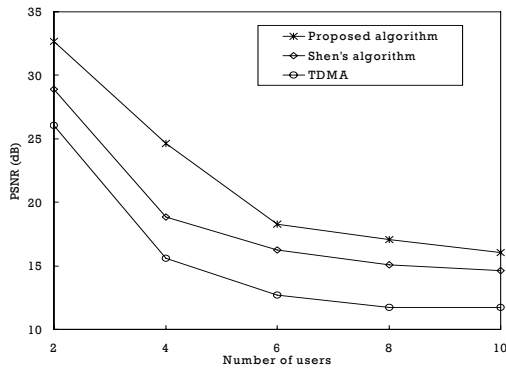


그림 8. 사용자의 수의 변화에 따른 가장 비디오 화질이 낮은 사용자에 대한 PSNR 성능 비교(제안된 알고리즘, TDMA 그리고 Shen 알고리즘, 모든 사용자에 대해서  $\beta_k$ 는 같다)

타내고 있다. 그림 7(a)에서, 5명의 각 사용자에 대한  $\beta_k$ 가 1:1:1:1:1로 요구된 경우이다. 각 사용자의 PSNR값은 24.9, 24.5, 24.6, 24.4 그리고 24.8으로 PSNR의 편차가 상당히 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 각 종단의 사용자들은 유사한 비디오 화질을 전송 기간 동안 전송 받을 수 있다. 그림 7(b)는  $\beta_k$ 가 각 사용자에 대해서 1:1:2:3:4로 요구된 경우이다. 즉 각 사용자가 요구하는 비디오 화질에 따라, GOP내의 각각 프레임에 대해서 PSNR의 차이를 보이고 있다. 사용자 5가 가장 높고, 사용자 1과 2은 가장 낮은 비디오 화질을 유지하면서,  $\beta_k$ 에 의한 비디오 화질이 변화되고 있다. 각 사용자에 대한 PSNR값은 20.1, 21.5, 22.8, 25.5, 그리고 28.7이다

그림 8은 사용자수의 변화에 대해서, 가장 비디오 화질이 낮은 사용자에 대한 서로 다른 알고리즘의 PSNR 성능을 비교한다. 전송되어지는 테스트 시퀀스를 랜덤으로 결정된다. 사용자의 수가 점점 증가할 때마다, 각 알고리즘의 PSNR 성능을 감소한다.

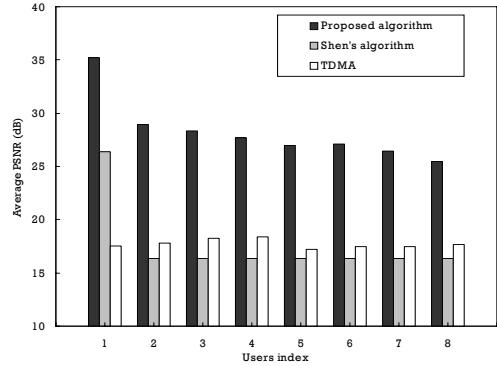


그림 9. 8명의 사용자에 대해서, 제안된 자원 할당 알고리즘, TDMA 그리고 Shen의 알고리즘의 평균 PSNR 성능 비교( $\beta_1:\beta_2:\dots:\beta_8=2:1:\dots:1$ )

이러한 이유는 제한된 자원을 여러 사용자에게 나누어 사용해야 하기 때문이다. 하지만 PDM을 이용한 제안된 자원 할당 알고리즘은 전송하는 패킷의 중요도에 따라서 가중치를 부여하고, 이에 근거하여 지연에 의한 손실을 최소화함으로써, 다른 알고리즘과 비교하여 높은 PSNR 성능을 보여주고 있다.

그림 9는 요구되는 비트 율을 8명의 사용자에 대해서,  $\beta_1:\beta_2:\dots:\beta_8=2:1:\dots:1$ 로 고정하고, 평균적인 PSNR값을 서로 다른 알고리즘에 대해서 비교하였다. 테스트 시퀀스는 랜덤으로 결정된다.

시간분할 다중 접속(TDMA)의 알고리즘은 각 사용자에 대해서 유사한 PSNR 결과를 제공한다. 왜냐하면, 모든 사용자는 비디오 데이터를 보낼 기회를 서로 비슷하게 얻기 때문이다. 그러나 TDMA를 제외한 다른 알고리즘은 요구되는 비트 율에 의해서 PSNR이 분포하는 것을 볼 수 있다. PDM을 사용하는 제안된 자원 할당 알고리즘은 데이터 율을 최대화하는 Shen의 알고리즘과 비교하여 더 높은 PSNR의 분포를 가진다. 이것은 전체 사용자의 비디오 왜곡을 줄이기 위해서, 약간의 복잡도가 추가되지만, 정확한 패킷 왜곡 모델을 이용하여, 패킷 지연으로 인한 왜곡을 최소화한 결과이다.

## V. 결론

본 논문은 직교 주파수 다중 분할 다 사용자 시스템의 다운링크에서 종단간 비디오에서 발생하는 왜곡을 최소화하는 자원 할당 알고리즘을 제안하였다. 다수 사용자의 채널에 존재하는 다양성과 전송하려는 비디오 패킷에 존재하는 비대칭성을 이용하여, 전체 사용자의 비디오 왜곡을 최소화 하였다.

우선적으로, 우리는 H.264 비디오 코딩 구조에 존재하는 여러 은닉과 전파를 이용하여 비트 왜곡에 관한 함수를 유도하였다. 이를 기초로, 낮은 복잡도에서 직교 주파수 다중 분할 시스템의 자원할당 알고리즘을 제안한다. 또한 제안된 알고리즘은 각 사용자에 대해서 요구되는 비트 율을 설정하여, 각 사용자에게 차별화된 서비스를 제공하도록 구성하였다. 실험결과에서, 제안된 자원할당 알고리즘은 기존의 TDMA 그리고 비트를 최대화 하는 알고리즘과 비교해서, 1.4-5.0dB의 성능향상 결과를 보여 주고 있다. 따라서 제안된 알고리즘은 다중 사용자 OFDM 시스템에서 비디오 왜곡을 최소화하면서, 실시간 비디오를 전송하기위한 응용분야에 효과적으로 사용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] I. Koffman and V. Roman, "Broadband wireless access solutions based on OFDM access in IEEE 802.16," IEEE communications Magazine, pp.96-103, Apr. 2002.
- [2] M. Bohge, J. Gross, M. Meyer, and A. Wolisz, "Dynamic resource allocation in OFDM systems: an overview of cross-layer optimization principles and techniques," IEEE Network Magazine, special issue: "Evolution toward 4G wireless networking", Vol.12, No.1, pp.1747-1758, Jan/Feb, 2007.
- [3] C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, and R. D. Murch, "Multicarrier OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.17, No.10, pp.1747-1758, Oct. 1999.
- [4] J. Jang and K. B. Lee, "Transmit power adaptive for multiuser OFDM systems," IEEE J. Select. Areas. Commun., Vol.21, No.2, pp. 171-178, Feb. 2003.
- [5] Z. Shen, J. G. Andrews, and B. L. Evans, "Adaptive resource allocation in multiuser OFDM systems with proportional rate constraints," IEEE Trans. Wireless Commun. Vol.4, No.6, pp.2726-2737, Nov. 2005.
- [6] 박효순, 김준석, 그리고 이재용, "다중 사용자 OFDM 무선 이동통신 환경에서의 비례 공정 부 반송파 할당 기법," 한국 통신 학회 논문지, 제29권, 12A호, pp.1291-1297, 2004.
- [7] D. Kivanc, G. Li, and H. Liu, "Computationally efficient bandwidth allocation and power control for OFDMA," IEEE Trans. Wireless Communications, Vol.2, No.6, pp.1150-1158, Nov. 2003.
- [8] Z. Han, G. M. Su, A. Kwasinski, M. Wu, and K. J. R. Liu, "Multiuser distortion management of layered video over resource limited downlink MC-CDMA," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol.5, No.10, Oct. 2006.
- [9] H. M. Radha and M. V. D. Schaar, and Y. Chen, "The MPEG-4 fine-grained scalable video coding method for multimedia streaming over IP," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., Vol.15, No.9, pp.395-402, Apr. 2001.
- [10] G. M. Su, Z. Han, M. Wu, and K. J. R. Liu, "A scalable multiuser framework for video over OFDM Networks: fairness and efficiency," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol.16, No.10, pp. 650-654, Oct. 2006.
- [11] M. v. d. Schaar and H. M. Radha, "A hybrid temporal-SNR fine-granular scalability for internet video," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol.11, No.3, pp. 318-331, Mar. 2001.
- [12] J. Huang, C. Krasic, J. Walpole, and W. Feng, "Adaptive live video streaming by priority drop," IEEE Conf. Advanced Video and Signal Based Surveillance(AVSS 2003), Jul. 2003.
- [13] J. Gross, J. Klause, H. Karl, and A. Wolisz, "Cross-layer optimization of OFDM transmission systems for MPEG-4 video streaming", Computer Communications, vol 27, pp. 1044-1055, 2004.
- [14] Z. He, J. Cai, and C. W. Chen, "Joint source channel rate-distortion analysis for adaptive mode selection and rate control in wireless video coding", IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol., Vol.12, No.6, pp.511-523, 2002.
- [15] P. Frossard and O. Verscheure, "AMISP: a



complete content-based error resilient scheme,” IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol., Vol.11, No.9, pp.989-998, 2001.  
[16] X. Yang, C. Zhu, Z. G. Li, X. Lin and N.-Ling, “An unequal packet loss resilience scheme for video over the Internet”, IEEE Trans. Multimedia, Vol.7, No.4, pp.753-765, 2005.

김 영 용 (Young Yong Kim)

정회원



1991년 2월 서울대학교 전자공학과 학사

1993년 2월 서울대학교 전자공학과 석사

1999년 12월 The University of Texas at Austin, Electrical and Computer Engineering 박사

1998년 2월~2000년 2월 Telcordia Technologies, Research Scientist

2000년 2월~현재 연세대학교 전기전자공학부, 부교수  
<관심분야> 무선 채널 모델링, 모바일 네트워크 성능 평가 및 분석, 멀티미디어 모바일 통신

하 호 진 (Hojin Ha)

정회원



1998년 2월 명지 대학교 제어계측공학과 학사

2000년 2월 한양 대학교 제어계측공학과 석사

2005년 3월~현재 연세 대학교 전기전자공학부 박사 과정

2000년 1월~현재 삼성전자 디지털미디어 연구소, 책임 연구원

<관심분야> 멀티미디어 통신 및 네트워크, 비디오 신호 처리

임 창 훈 (Changhoon Yim)

정회원



1986년 2월 서울대학교 제어계측공학과 학사

1988년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1996년 12월 The University of Texas at Austin, Electrical and Computer Engineering 박사

1988년 3월~1991년 6월 한국방송공사 기술연구소, 연구원

1996년 12월~1999년 3월 Samoff Corporation, 연구원

1999년 3월~2000년 7월 Lucent Technologies, Bell Labs, 연구원

2000년 8월~2002년 3월 KLA Tencor Corporation, Sr. Software Engineer

2002년 5월~2003년 8월 삼성전자 디지털미디어연구소, 수석연구원

2003년 9월~현재 건국대학교 인터넷미디어공학부, 부교수

<관심분야> 멀티미디어 통신, 멀티미디어 네트워크, 비디오 압축, 디지털 영상처리