

계층적 비디오 멀티캐스트를 위한 자원 재할당 알고리즘

윤지운*, 박동찬*, 황성수*, 김민기*, 김석찬*

Resource Reallocation Algorithm for Layered Video Multicast

Jiun Yun*, Dong Chan Park*, Sung Sue Hwang*, Min Ki Kim*, Suk Chan Kim*

요약

이동 중에도 방송서비스를 시청하고자 하는 요구가 증가함에 따라 Mobile IPTV와 같은 방송과 통신을 융합하는 서비스에 대한 관심이 증가하고 있다. 비디오는 많은 데이터양을 가지기 때문에 효율적인 스케줄링 및 자원 할당 알고리즘이 필요하다. 본 논문은 멀티캐스트 서비스에서의 계층적 비디오 부호화 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 기존 알고리즘에서는 현재의 비디오 프레임의 효용 함수를 최대화하기 위한 알고리즘만을 다루어왔다. 하지만 사용자의 채널 상태가 좋지 않을 때에는 기존 알고리즘은 사용자들에게 높은 서비스의 질을 제공하기 어려울 것이다. 따라서 기지국에서 사용자에게 서비스를 하기 위한 지연 시간을 활용하여 이미 할당을 마친 비디오 프레임과 현재 비디오 프레임을 한정된 시간 범위 내에서 함께 고려하여 효용 함수를 높일 수 있는 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 기존 알고리즘보다 높은 계층 전송률을 가져 서비스의 질을 향상시킨다.

Key Words : Mobile IPTV, Resource allocation, Multicast scheduling, Layered video coding, Delay Constraint

ABSTRACT

It has been grown interests of the convergence services about broadcasting and multicasting services such as Mobile IPTV. It needs the efficient scheduling and resource allocation algorithm because video contents have the large data. This paper proposes the resource allocation algorithm for the layered-encoded video coding in the multicasting services. Existing approaches only deal with the utility maximization in the current video frames. However, these algorithms have a problem for the Quality of Services(QoS) if the user's channel states are not good. We apply the delay constraint and find to maximize the utility values using the current content's frames and already assigned content's frames within the constraint periods. The performance of the proposed algorithm is evaluated by the higher layer transmission rates compared the existing algorithm and significantly improved for the QoS.

1. 서론

최근 스마트폰, 태블릿 PC 등의 모바일 기기의 대중화로 대용량의 데이터를 고속으로 전송하기 위해 OFDMA 기술을 기반으로 한 LTE, mobile WiMAX

와 같은 4세대 통신망 서비스가 활성화되고 있다. 특히 멀티미디어 비디오 시장의 급속한 성장으로 모바일 기기를 이용하여 이동 중에도 고품질의 실시간 방송 서비스 및 동영상상을 시청하려는 사용자가 증가함에 따라 Mobile IPTV, DMB 2.0 등 방송과 통신을

* 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2013R1A1A4A0)

* 본 논문은 BK21 플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음.

• First Author : Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, jiun@pusan.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, sckim@pusan.ac.kr, 종신회원

* 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 통신시스템연구실, dongchan@pusan.ac.kr, hss@pusan.ac.kr, yapkim@pusan.ac.kr

논문번호 : KICS2013-10-427, Received October 4, 2013; Revised December 13, 2013; Accepted April 18, 2014

융합하는 서비스에 대한 관심이 급증하고 있다. 하지만 방송은 큰 데이터를 가지므로 한정된 대역폭에서 실시간으로 전송하기 위해서는 효율적인 스케줄링이 필요하다. 실시간 모바일 IPTV는 동일한 비디오를 여러 이용자가 이용 가능하기 때문에 기지국에서 서비스 이용자에게 데이터를 일대일로 전송하는 유니캐스트 서비스보다 하나의 동일한 데이터를 여러 사용자에게 전송하는 멀티캐스트 서비스를 활용하면 효율적으로 전송 가능하다. 이에 WiMAX나 3GPP LTE의 표준에서는 MBS(Multicast Broadcast Services), eMBMS(evolved Multimedia Broadcast Multicast Service)를 통해 멀티캐스트 서비스를 제공한다^{[1][2]}. MBS나 eMBMS는 멀티캐스트 서비스를 위한 방식으로 일대다 전송이며 하나 이상의 기지국에서 다수의 사용자에게 동시에 전송한다.

비디오의 서비스를 다양한 화질로 유연하게 제공하기 위한 방식으로는 계층적 비디오 부호화가 있다. 계층적 비디오 부호화는 하나의 비디오를 각 화질에 맞추어 계층적으로 부호화하여 하나의 비트스트림을 생성하여 다양한 화질을 제공한다.

멀티캐스트 서비스 자원 할당 알고리즘은 많은 연구가 진행되어왔다. [4], [6], [7], [9]에서는 멀티캐스트 서비스 자원 할당 알고리즘은 적응적 변조 및 부호화를 이용하여 계층적으로 부호화된 비디오 프레임들 서비스 이용자의 채널 상태에 따라 계층별로 적합한 변조 및 부호화(MCS : Modulation and Coding Scheme) 단계를 선택하는 알고리즘이다. [7]은 WiMAX에서 제공하는 MCS 단계를 이용하여 비디오 멀티캐스트 서비스에서 채널의 상태에 따라 부호화를 적용할 때의 효율성을 분석한다. [4], [6], [9]는 목적 함수를 최대화하는 문제를 정의하여 최적의 해를 선택하는 알고리즘이다. [4]는 비디오에 대한 서비스 이용자에 대한 효용 함수를 정의하여 쉽게 최적 해를 구하기 위한 알고리즘을 제안하고 있으며, [6]은 비례적으로 공평한 자원 할당 알고리즘을 제안한다. [9]는 사용자의 SNR에 따라 PSNR을 기반으로 하여 MCS를 선택하는 알고리즘을 제안한다. 앞에서 소개한 기존 알고리즘들은 스케줄링 시점에서 현재의 비디오 프레임만을 고려하여 할당을 진행한다. 기존 알고리즘은 스케줄링 시점에서 채널 상태가 좋지 않은 상태로 유지하게 되면 서비스 이용자는 낮은 화질의 데이터만 수신하기 때문에 높은 서비스의 질을 제공받기 어렵다. 따라서 이를 보완하기 위해 서비스 이용자의 채널 상태를 반영하여 각각의 데이터를 전송하는 유니캐스트 서비스에서의 지연 시간을 고려한 계층적 비

디오 자원 할당 알고리즘은 [5]에서 제안하고 있다.

본 논문은 멀티캐스트 서비스에서의 계층적 비디오 부호화 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 무선 채널 환경은 짧은 시간동안에 다양하게 변하므로 스케줄링 시점에서 서비스 이용자의 채널 상태를 반영하여 적응적으로 할당을 진행하는 모형을 이용하며, 송신한 비디오 프레임에 대해 채널의 지연 제한 시간의 범위 내에서 현재 할당해야 할 비디오 프레임과 지나간 비디오 프레임의 재할당도 함께 고려하여 스케줄링을 진행하여 기존 알고리즘보다 높은 서비스의 질을 제공하고자 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 계층적 비디오 부호화의 특성과 멀티캐스트 서비스에서 제안된 자원 할당 알고리즘의 시스템 모형[4]을 소개 한다. 3장에서는 제안하는 알고리즘의 개요와 최적화 문제를 정의한다. 4장에서는 모의실험을 통해 기존 알고리즘과의 비교 및 성능을 평가하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모형

2.1 계층적 비디오 부호화의 특성

일반적으로 비디오 부호화 방식은 하나의 비디오에 대해 다양한 화질에 따라 여러 개의 비트스트림(bit stream)을 생성하여 전송한 각 화질의 비트스트림을 각각 복호화한다. 하지만 계층적 비디오 부호화는 하나의 비디오를 여러 단계 계층으로 부호화하여 비트스트림을 생성하며, 사용자는 수신하는 비트스트림에 따라 여러 단계의 화질로 복호화가 가능하다. 무선 채널 환경은 채널 변화가 크므로 고정적인 비트스트림 크기는 수신이 불가능한 상황이 발생할 수 있으므로 계층적 비디오 부호화는 차세대 부호화 방식으로 주목받고 있다. 대표적으로 H.264 /MPEG-4 AVC에서 제공하는 스케일러블 비디오 부호화(Scalable Video Coding : SVC)가 있다.^[3] 계층적 비디오 부호화에서 지원하는 계층은 기본 계층과 하나 이상의 향상 계층으로 구성된다. 기본 계층은 기본적인 수준의 화질을 제공하고 독립적인 복호화가 가능하며, 향상 계층은 제공할 화질에 따라 여러 단계로 나누어진다. 특정 단계에 맞는 화질의 서비스를 이용하기 위해서는 기본 계층과 수신 받을 계층 단계 이하의 향상 계층을 모두 수신해야 재생 가능하다. 즉, 그림 1과 같이 부호화된 계층적 비디오에서 디지털 표준 방송(SDTV)의 화질을 제공받기 위해서는 기본 계층 L_1 과 L_2 의 향상계층, SDTV에 해당되는 L_3 의 향상계층을 모두 수신해야 한다.^[4]

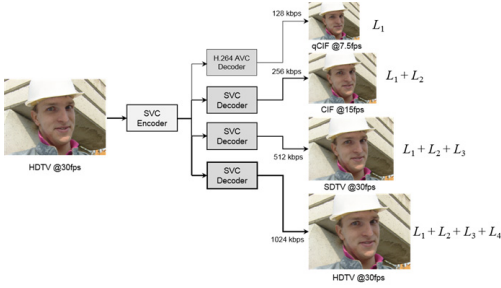


그림 1. 스케일러블 비디오 부호화의 원리
Fig. 1. Principle of scalable video coding

WiMAX 및 LTE에서는 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위해 기지국에서 데이터 전송의 신뢰성을 보장하고자 적응적 변조 및 부호화를 이용하여 여러 단계의 MCS를 지원한다. MCS 방식의 단계에 따라 하나의 자원 단위에서 고려 가능한 비트의 개수의 차이가 발생하므로 데이터 전송률의 차이를 보인다.^[8] 하나의 비디오에 대해 계층적 비디오 부호화의 화질을 전체 L 단계이며 임의의 l 단계를 수신받기 위한 MCS에 의한 자원 단위의 전송률을 m_l 이라 할 때 계층적 비디오 부호화 특성을 반영한 조건은 아래와 같다.

조건 1. 임의의 l 번째 단계에서 MCS에 의한 자원 단위의 전송률이 m_l 일 때 $(l+1)$ 번째 단계 이상에서 할당하지 않은 경우 값을 가지지 않을 수 있다. 즉 $m_l > 0$ 일 때, $m_{l+1} = 0$ 이 가능하다.

조건 2. 임의의 l 번째 단계에서의 MCS에 의한 자원 단위의 전송률이 m_l 이고 $(l+1)$ 번째 단계에서의 MCS 값이 m_{l+1} 일 때, m_{l+1} 은 m_l 보다 크거나 같아야 한다. 즉 $m_l > 0$, $m_{l+1} > 0$ 에서 $m_l \leq m_{l+1}$ 이 성립해야 한다.

두 가지 조건을 만족하는 MCS에 의해 자원 단위 전송률을 이용하여 각 비디오에서 부호화되는 전체 계층 수에 대해 가능한 모든 할당 행렬을 정의한다.

2.2 기존 시스템 모형

사용한 시스템 모형은 서비스 이용자의 채널 상태를 반영하여 MCS 단계를 이용하여 각 비디오 별 자원 양의 증가에 따라 단조 증가 형태를 띠는 효용 함수(Utility function)를 정의하여 스케줄링 시점에서 이용 가능한 자원 양 범위 내에서 가장 높은 효용 함수를 선택하는 방법이다.

멀티캐스트 서비스에서 제공한 비디오의 전체 개수는 V 개이고, 각 비디오의 프레임은 L 단계의 계층적 비디오 부호화가 이루어진다고 가정한다. 스케줄링 시점에서의 단위는 자원 단위당 전송률이고 전체 M 단

계의 MCS에 의한 자원 단위의 전송률 벡터를 $\mathbf{c} = [m_1 \ m_2 \ \dots \ m_M]$ 이라고 할 때, \mathbf{c} 의 요소를 이용하여 모든 가능한 할당 행렬을 정의한다. 각각의 할당 행렬 $\mathbf{A} = [a_{vl}]$ 에 대해 임의의 v 번째 비디오에서 사용할 자원 양은 식 (1) 같이 정의할 수 있다. $\mathbf{R} = [R_{vl}]$ 은 각 비디오에서 부호화된 각 계층의 페이로드 값으로 단위는 비트 전송률이다.

$$S_v = \sum_{l=1}^L \lceil R_{vl} / a_{vl} \rceil \quad (1)$$

다음은 계층적 비디오로 부호화된 v 번째 비디오의 l 단계 계층을 수신 가능한 이용자의 수를 정의한다. 단일 셀 내에 멀티캐스트 서비스를 사용하는 사용자가 N 명이고, 전체 사용자의 채널 상태 인덱스 벡터를 $\mathbf{d} = [d_n]$, 각 사용자가 시청하는 비디오 상태를 $\mathbf{H} = [h_{nv}]$ 라고 하자. 임의의 v 번째 비디오에서 l 번째 단계의 계층 사용자 수를 N_{vl} 이라 할 때 n 번째 이용자가 v 번째 비디오를 이용하고, n 번째 이용자의 채널 상태 인덱스 벡터 값 d_n 에 대해 v 번째 비디오의 l 번째 단계의 계층의 할당 행렬의 요소보다 크거나 같은 값을 만족하여 이용자가 l 번째 계층의 수신 가능할 때 v 번째 비디오에서 l 번째 단계의 계층이 수신 가능하다. 따라서 각 비디오의 여러 계층에 관해 실제로 l 번째 계층의 이용자 수인 N_{vl} 는 식 (2)와 같이 정의할 수 있다. 여기서 $I(x)$ 는 x 가 참일 때 1, 거짓일 때 0이 되는 지표함수이다.

$$N_{vl} = I(a_{vl} \neq 0) \sum_{n=1}^N I(h_{nv} = 1) I(d_n \geq a_{vl}) \quad (2)$$

각 비디오의 계층에 대해 식 (3)과 같이 각 계층의 이용자 수 N_{vl} 과 비디오의 계층별 가중치를 부여한 가중치 행렬 $\mathbf{W} = [w_{vl}]$ 를 곱하여 효용 함수를 계산한다. 효용 함수는 알고리즘에서 최적화하기 위한 목적 함수가 된다.

$$U_v = \sum_{l=1}^L w_{vl} N_{vl} \quad (3)$$

모든 할당 행렬에 대해 각 비디오의 S_v 와 U_v 에서 v 번째 비디오에 대해 정의한 할당 행렬 수만큼의 (S_v, U_v) 가 생성될 것이다. 생성된 자원 (S_v, U_v) 좌표에 대해 사용한 자원 양 S_v 를 기준으로 오름차순으로 나열

하여 자원 양이 커질수록 효율 함수 값이 증가하며, 동일한 자원 양에 대해 가장 높은 효율 함수 값을 선택한다.

각 비디오 v 에 대해 효율 함수를 최대화하기 위한 최적화 문제를 정의한다. 최적화 문제에서 효율 함수 U_v 는 목적 함수가 되며 자원 양 S_v 은 변수가 되며, 라그랑주 승수법(Lagrange Multiplier)으로 문제를 해결하기 위해 선택된 좌표 (S_v, U_v) 를 최소제곱법을 이용하여 이차함수로 근사화한다. 그리고 각 비디오에 대한 이차 함수를 식 (4)와 같이 최적화 문제로 정의한다. (4) 식의 최적화 문제는 스케줄링 시점에서 제공하는 자원 양 G 는 제한 조건이 된다. (4) 식에서 b_v, e_v, f_v 는 (S_v, U_v) 좌표에 대해 이차 함수로 근사화할 때 발생하는 각 항의 계수이다. 라그랑주 승수법을 통해 계산한 각 비디오에 대한 최적 자원 양을 넘지 않는 가장 근사한 좌표를 찾아 그 좌표에 해당하는 할당 행렬을 스케줄링 결과로 선정한다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{v=1}^V U_v(S_v) = \sum_{v=1}^V (b_v S_v^2 + e_v S_v + f_v) \\ \text{subject to} \quad & \sum_{v=1}^V S_v \leq G \end{aligned} \quad (4)$$

III. 제안한 멀티캐스트 자원 할당 알고리즘

3.1 지연 시간을 고려한 자원 할당 알고리즘

기준에 제안된 계층적 비디오 부호화에서의 자원 할당 알고리즘 (WRA : WiMAX radio resource allocation)은 스케줄링 시간에 맞춰 각 비디오의 현재 프레임에 할당하여 전송한다. 하지만 스케줄링 시점에서 서비스를 제공하는 비디오의 현재 프레임만을 할당할 때 사용자 채널 상태에 따라 전송한 프레임에 대한 보상 기회가 있더라도 재전송하지 않으므로 서비스의 질을 향상시키기 어렵다. 따라서 할당한 프레임에 대한 재할당 기회를 제공하여 서비스의 질을 향상시키고자 한다.

그림 2는 기지국에서 사용자에게 전송한 비디오 프레임이 도달하기까지의 할당 행렬과 지연 시간을 간략하게 표현한 것이다. 기지국에서 송신한 비디오 프레임이 사용자에게 도달하여 재생되기까지 걸리는 지연 시간을 τ 라고 할 때 그림 2-(a)에서 기지국에서 사용자에게 도달된 비디오 프레임 수는 τ 범위 내에서 두 개가 수신된다. 즉, 할당하기 위한 스케줄링 간격 τ_{sch} 이 τ 보다 2배 이상이 되기 때문에 이전 스케줄링 시점에서 할당한 비디오 프레임에서 할당되지 못한

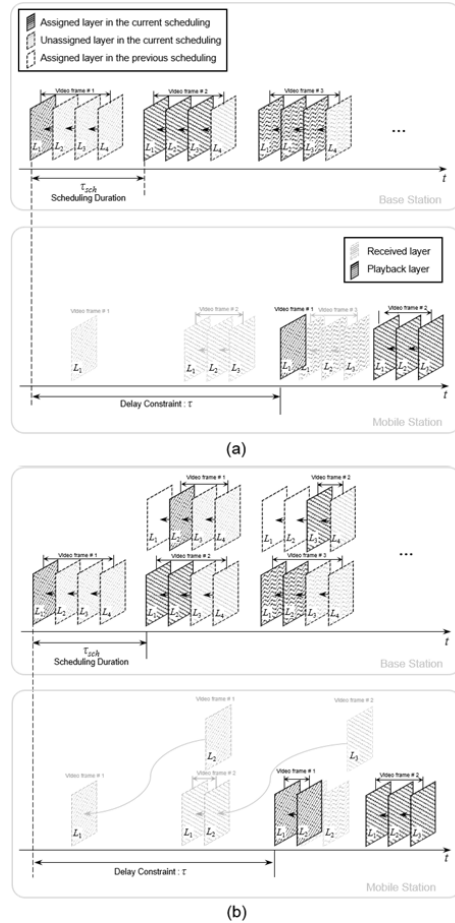


그림 2. (a) 기존 시스템 모형(WRA)에서의 각각의비디오 프레임에 대한 계층 전송에 관한 예 (b) 제안하는 알고리즘(DC-RRR)에서의 각각의 비디오 프레임에 대한 계층 전송에 관한 예
Fig. 2. (a) Example of the transmitted layers each frames of the video in WRA (b) Example of the transmitted layers each frames of the video in DC-RRR

계층에 대해 현재 스케줄링 시점에서 고려가능하다. 즉, 그림 2-(b)와 같이 비디오의 1번 프레임에 대해 할당한 행렬 상태를 2번 프레임을 할당할 때 반영하여 1번 프레임과 2번 프레임 모두를 고려하여 할당을 진행하는 것이다. 최종적으로 사용자가 시청하게 되는 1번 프레임은 첫 번째와 두 번째에서 할당한 할당 행렬의 결과가 합쳐진 계층의 수에 따른 화질로 시청하게 된다.

3.2 지연 시간을 고려한 시스템 모형

송신한 비디오 프레임이 수신될 때까지의 지연 시간 τ 에 대하여 임의의 비디오 프레임이 할당 가능한 횟수는 스케줄링 시간 τ_{sch} 를 이용하여 지연 시간에서

의 가능한 최대 할당 횟수를 정의한다. 사용자에게 도달하여 재생되기까지의 범위 내에서 할당이 되어야 유효하기 때문에 지연 시간에 따른 할당이 가능한 횟수 N_{dc} 는 식 (5)와 같이 내림으로 계산할 수 있다. 최적화 문제에서 고려될 할당 행렬 및 할당 행렬에서 사용된 자원 수와 효용 함수 값의 좌표 행렬 모두 N_{dc} 의 크기만큼 확장된다.

$$N_{dc} = \lfloor \tau / \tau_{sch} \rfloor \quad (5)$$

확장된 할당 행렬은 기존 알고리즘과 마찬가지로 비디오 v 에서 이미 할당된 할당 행렬의 할당된 최고 단계에서의 요소 값 이상에서 할당되지 않은 계층에 대한 MCS 값이 결정된다. 이미 할당된 계층에 대해 재할당을 진행하면 동일한 데이터가 중복 전송되는 자원 낭비가 발생할 수 있다. 또한 할당되지 않은 계층에 대해 모든 MCS 값의 범위에서 고려하면 계층적 비디오 부호화의 조건을 만족시키지 않아 높은 단계 계층에 맞는 화질을 재생시키기 어려울 수 있다. 즉, 임의의 v 번째 비디오의 프레임의 계층적 비디오 부호화 계층에서 이미 할당된 계층의 MCS 값을 최대 크기가 m_{max} 라고 할 때 가능한 할당 행렬 요소는 아래의 식과 같다.

$$\begin{cases} a_{v,l,n_{dc}} = 0 & , \text{ if } a_{v,l,n_{dc}} \text{ isn't assigned.} \\ m_{\max} \leq a_{v,l,n_{dc}} \leq m_M & , \text{ if } a_{v,l,n_{dc}} \text{ is assigned.} \end{cases} \quad (6)$$

다음은 정의 가능한 모든 할당 행렬에 대해 사용된 자원 양과 효용 함수 값을 구한다. 효용 함수 값을 결정하기 위해서는 N_{dc} 만큼 확장된 할당 행렬에서의 가중치 행렬 값을 새롭게 정의한다. 현재 스케줄링 시점에서 비디오 v 에 대해 할당 행렬은 동일한 l 번째 단계에 대해 N_{dc} 의 크기 내에서 가장 먼저 재생되는 비디오 v 의 프레임의 순서대로 우선순위를 부여한다. 즉, N_{dc} 만큼 확장된 할당 행렬에 반영되는 가중치 행렬 \mathbf{W}_{ndc} 은 아래의 식과 같다. n_{dc} 는 N_{dc} 의 변수이고 1 이상의 자연수이다.

$$W_{n_{dc}} = n_{dc} \times W, \text{ for } 1 \leq n_{dc} \leq N_{dc} \quad (7)$$

확장된 할당 행렬에 대한 각 비디오의 사용된 자원의 수 $S_{v,ndc}$ 와 효용 함수 $U_{v,ndc}$ 는 식 (8)과 식 (9) 같이 정의한다. 기존 시스템 모형과 같이 동일한 자원 양에 대해 높은 효용 함수의 값을 가지고 자원 양이 클

수록 효용 함수의 값이 커지는 좌표를 선택하여 라그랑주 승수법에 대입한다. 쉽게 계산하기 위해 선택한 좌표를 최소제곱법을 통해 이차 다항식으로 근사화한다. $a_{v,l,n_{dc}}$ 는 V, L, N_{dc} 로 크기가 확장된 할당 행렬의 요소이며, $b_{v,ndc}, e_{v,ndc}, f_{v,ndc}$ 는 v 번째 비디오의 n_{dc} 번째에 해당하는 프레임의 할당 행렬에서 구한 $(S_{v,ndc}, U_{v,ndc})$ 의 좌표를 이차 함수로 근사화한 식의 이차항, 일차항 계수 및 상수이다.

$$S_{v,n_{dc}} = \sum_{l=1}^L [R_{v,l,n_{dc}} / a_{v,l,n_{dc}}] \quad (8)$$

$$U_{v,n_{dc}} = \sum_{l=1}^L w_{v,l,n_{dc}} N_{vl} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \max & \sum_{v=1}^V \sum_{n_{dc}=1}^{N_{dc}} U_{v,n_{dc}}(S_{v,n_{dc}}) \\ & = \sum_{v=1}^V \sum_{n_{dc}=1}^{N_{dc}} (b_{v,n_{dc}} S_{v,n_{dc}}^2 + e_{v,n_{dc}} S_{v,n_{dc}} + f_{v,n_{dc}}) \quad (10) \\ \text{subject to} & \sum_{v=1}^V \sum_{n_{dc}=1}^N S_{v,n_{dc}} \leq G \end{aligned}$$

3.3 기존 모형과 제안한 알고리즘의 연산량 비교

기존 모형의 연산량은 [4]와 같다. 가능한 할당 행렬을 정의하는 과정은 계층의 개수, MCS 값의 개수가 정해져 있으므로 연산량을 고려할 필요가 없다. 이용자의 채널 상태를 받아오는 과정에서 발생하는 연산량은 단일망 내에서 멀티캐스트 서비스 이용자의 수에 해당하는 $O(M)$ 이 되고, 하나의 S_v 에 따른 효용 함수 값 U_v 를 선택할 때 발생하는 연산량은 $O(N \cdot M \cdot L^4)$ 로 정리 가능하다. 최소제곱법으로 근사화하는 과정은 선택한 좌표의 개수를 F 라고 할 때 $O(F^2)$ 가 된다. 그리고 한정된 자원 양에서 최적의 해를 찾는 과정은 비디오의 개수만 영향을 받으므로 $O(V)$ 가 된다. 따라서 기존 알고리즘의 연산량은 전체 $O(N) + O(N \cdot M \cdot L^4) + O(F^2) + O(V)$ 가 되며, 실시간 스케줄링에 큰 문제가 되지 않는다.

제안하는 알고리즘은 고려하는 비디오 프레임 수가 증가하므로 기존 알고리즘보다 높은 연산량을 가진다. 기존 연산량에서 (S_v, U_v) 의 좌표를 선택하는 과정인 $O(N \cdot M \cdot L^4)$ 과 N_{dc} 최적의 해를 찾는 과정에서 발생하는 연산량인 $O(V)$ 에서 차이가 발생한다. 좌표를 선택할 때 발생하는 $O(N \cdot M \cdot L^4)$ 은 고려하는 할당 행렬의 크기가 N_{dc} 배만큼 커지므로, 연산량은 N_{dc} 배만큼 증가한 $O(N \cdot M \cdot L^4 \cdot N_{dc})$ 가 된다. 효용 함수

값을 선택할 때에는 최대 N_{dc} 만큼 크기가 확장되므로 $O(V \cdot N_{dc})$ 가 된다. 따라서 제안하는 알고리즘의 전체 연산량 $O(N) + O(N_{dc} \cdot N \cdot M \cdot L^4) + O(F^2) + O(V \cdot N_{dc})$ 이다. 하지만 N_{dc} 는 크지 않은 범위 내에서 증가하므로 실시간 스케줄링 연산량에 큰 영향을 미치지 않는다.

IV. 모의실험

기존 알고리즘(WRA)과 제안하는 알고리즘(DC-RRA : Delay Constraint Resource Reallocation Algorithm)의 성능 분석을 위한 모의실험을 진행한다. $V = 3$ 의 비디오를 단일 셀에서 멀티캐스트 서비스를 제공한다. 각 비디오는 기본 계층과 3단계의 향상 계층으로 전체 $L = 4$ 의 계층으로 부호화되며, 모든 비디오에서 각 계층의 전송률을 $R_{if} = 250kbps$ 로 고정한다. 단일 셀 내에서 스케줄링 시점마다 각 서비스 이용자의 채널 상태는 MCS에 의한 자원 단위의 전송률 값을 표현한 벡터 \mathbf{c} 의 요소의 단위와 동일한 $kbps/slot$ 로 임의로 변경되며, 최소 MCS 이상의 값을 가진다. 단일 셀 내의 모든 사용자는 멀티캐스트 서비스를 사용한다. MCS에 의한 자원 단위의 전송률 값 벡터 \mathbf{c} 는 IEEE 802.16e의 MCS 값을 이용한다. 각 변조는 [QPSK 1/2, QPSK 3/4, 16QAM 1/2, 16QAM 3/4, 64QAM 1/2, 64QAM 3/4]에 해당하는 $\mathbf{c} = [9.6 \ 14.4 \ 19.2 \ 28.8 \ 38.4 \ 43.2] \ kbps/slot$ 이다. 스케줄링 횟수는 5000번이며 스케줄링 시점에서 이용자의 채널 상태는 각 알고리즘마다 동일하게 적용한다. 각 비디오에서 동일한 단계의 계층에 대해 하위 단계에 대한 우선순위를 설정하기 위해 기본 가중치 행렬 $\mathbf{W} = [100 \ 20 \ 4 \ 1]$ 으로 설정한다. 스케줄링 간격 τ_{sch} 와 지연 시간 τ 와의 관계식인 N_{dc} 값은 기존 시스템 모형($N_{dc} = 1$)과 제안한 알고리즘($N_{dc} = 2$)일 때로 진행한다.

성능 평가를 위해 자원 양을 기준으로 모의실험을 진행한다. 자원의 수가 적을 때($G = 110$)와 자원의 수가 많을 때($G = 165$)의 모의실험을 진행하고 각각의 비디오에서 각 단계에서의 전송된 계층의 개수를 누적 그래프와 전송률, 효율 함수 그래프로 표현하여 비교한다. 멀티캐스트 서비스에서 제공하는 비디오의 서비스 이용자 수의 분포는 두 가지의 상황을 가정한다. 단일 셀 내에서 분포되어있는 전체 사용자가 시청하는 각 비디오의 이용 분포가 비슷할 때($N_V = [100 \ 95 \ 80]$)와 차이가 있을 때($N_V = [100 \ 80 \ 40]$)를 기준으로 자원 양에 따른 모의실험 결과를 분석한다.

그림 3은 사용된 자원 양과 서비스 이용자의 비디

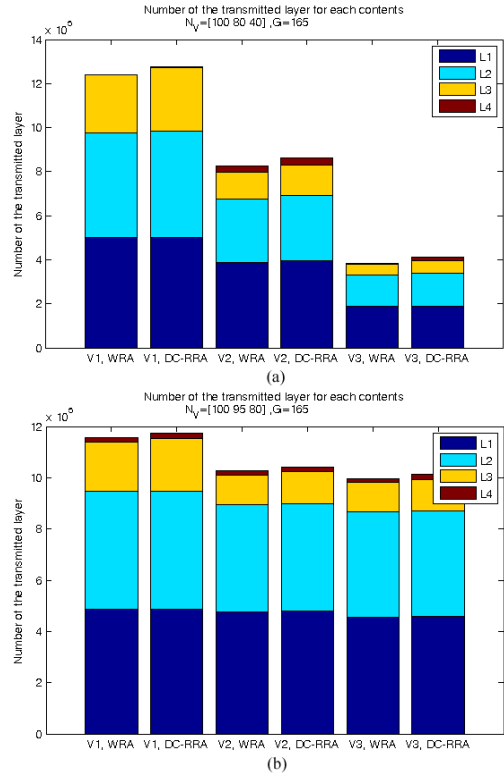


그림 3. 자원이 많을 때($G = 165$) 비디오 이용자 수의 분포에 따른 각 비디오의 전송된 계층 수를 표현한 누적 그래프 (a) $N_V = [100 \ 95 \ 80]$ (b) $N_V = [100 \ 80 \ 40]$
 Fig. 3. Stacked graph in the number of the transmitted layers for each contents about the distributed users when the resources are enough($G = 165$) (a) $N_V = [100 \ 95 \ 80]$ (b) $N_V = [100 \ 80 \ 40]$

오 분포에 따라 각 비디오 프레임의 부호화한 계층이 서비스 이용자에게 전송된 개수를 낮은 계층부터 높은 계층까지 누적 그래프로 표현한 것이다. 그림 3은 자원 양이 많을 때($G = 165$)이며 그림 4는 자원 양이 적을 때($G = 165$)에 대해 기존 알고리즘(WRA)과 제안한 알고리즘(DC-RRA)의 전송된 계층의 수를 비교하였다.

자원 양이 많을 때($G = 165$) 각 비디오 별로 전송된 계층 수를 나타내는데 낮은 단계에서는 전송된 계층수가 유사한 반면 높은 단계에서의 전송된 계층의 수에서 차이가 발생한다. 이는 세 비디오 모두 자원 양이 충분하기 때문에 현재 할당할 비디오 프레임에 대해 높은 단계의 계층까지 충분한 할당을 진행할 것이다. 따라서 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘 모두 높은 계층 전송 개수 및 전송률을 가지며, 제안하는 알고리즘은 재할당을 고려한 비디오 프레임의 상위 계층에 대한 보상을 진행하여 계층 전송률을 높인

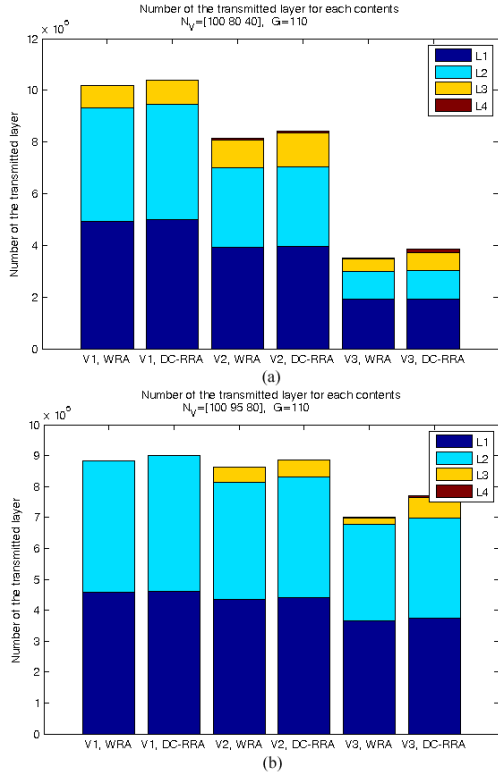


그림 4. 자원이 적을 때($G = 110$) 비디오 이용자 수의 분포에 따른 각 비디오의 전송된 계층 수를 표현한 누적 그래프 (a) $N_V = [100 \ 95 \ 80]$ (b) $N_V = [100 \ 80 \ 40]$
 Fig. 4. Stacked graph in the number of the transmitted layers for each contents about the distributed users when the resources are not enough($G = 110$) (a) $N_V = [100 \ 95 \ 80]$ (b) $N_V = [100 \ 80 \ 40]$

다. 자원이 적을 때($G = 110$)에는 스케줄링 시점에서 현재 비디오 프레임에 대해 기본 계층 및 낮은 단계의 항상 계층 위주의 할당을 진행한다. 제안하는 알고리즘은 낮은 단계에 대한 계층 할당과 재할당을 고려한 비디오 프레임 계층에 대한 보상을 함께 진행하기 때문에 더 높은 계층 전송량을 가진다.

표 1은 두 알고리즘에서 전체 비디오에 대한 계층 전송률을 백분율로 표현한 것이다. 자원의 양과 관계없이 제안한 알고리즘이 높은 전송률을 보이며 특히

표 1. 두 가지 알고리즘에 대한 비디오 전체에 대한 계층 전송률 (단위 : %)
 Table 1. Total layer transmission rates for all videos in WRA & DC-RRA (Unit : %)

N_V		[100 95 80]	[100 80 40]
$G = 165$	WRA	57.36%	56.78%
	DC-RRA	59.77%	59.20%
$G = 110$	WRA	39.62%	42.86%
	DC-RRA	44.34%	48.30%

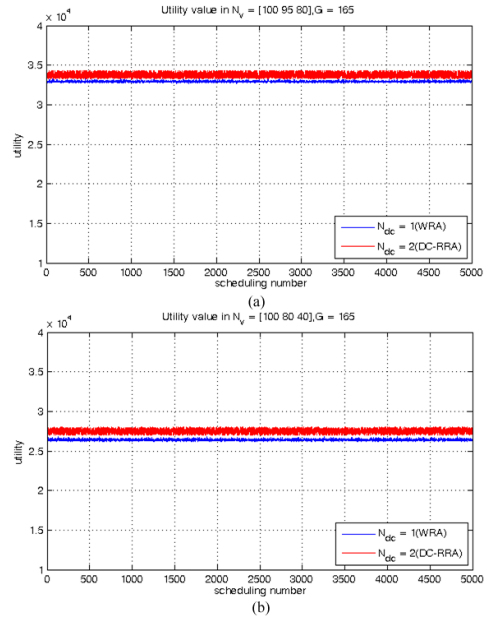


그림 5. 자원이 충분할 때 각 스케줄링 시점에서 전체 비디오 효용 함수의 합($G = 165$) (a) $N_V = [100 \ 95 \ 80]$ (b) $N_V = [100 \ 80 \ 40]$
 Fig. 5. Summation of the utility function value graph for each contents with the enough resources in the scheduling time($G = 165$) (a) $N_V = [100 \ 95 \ 80]$ (b) $N_V = [100 \ 80 \ 40]$

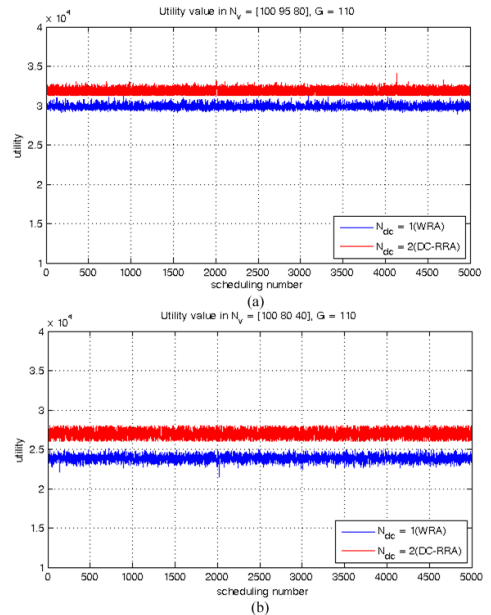


그림 6. 자원이 부족할 때 각 스케줄링 시점에서 전체 비디오 효용 함수의 합($G = 110$) (a) $N_V = [100 \ 95 \ 80]$ (b) $N_V = [100 \ 80 \ 40]$
 Fig. 6. Summation of the utility function value graph for each contents with the enough resources in the scheduling time($G = 110$) (a) $N_V = [100 \ 95 \ 80]$ (b) $N_V = [100 \ 80 \ 40]$

자원 양이 적을 때 계층 전송률이 더 높다.

그림 5와 그림 6은 두 가지 기준에서의 모의실험에 대해 V 개의 비디오의 5000개의 스케줄링 시점에서 구한 비디오 프레임의 효율함수 값의 합을 비교한 그래프이다. 제안한 알고리즘은 하나의 비디오 프레임이 최종적으로 송신한 계층 수에 대한 효율함수 값을 계산하여 표현하였다. 효율 함수 값은 서비스 이용자 수인 계층 수와 중요도의 곱으로 나타나므로 그림 5와 그림 6은 그림 3과 그림 4의 결과가 나타나기 위해 스케줄링 시점에서 선택된 값이 된다. 제안한 알고리즘은 기존 알고리즘보다 스케줄링 시점에서 비슷하거나 높은 효율 함수의 값을 가지며, 자원 양이 부족할 때 제안한 알고리즘이 효율함수 값이 더 높다.

V. 결 론

본 논문은 스케줄링 간격과 기지국에서 사용자에게 재생되기까지의 지연 시간을 고려한 자원 할당 알고리즘을 제안하였다. 기존 시스템 모형은 계층적 비디오 부호화의 자원 할당 알고리즘은 스케줄링을 마친 계층에 대한 보상이 없으므로 채널 상태에 따른 계층 전송률에서 차이를 발생시킨다. 따라서 제안하는 알고리즘은 한정된 지연 시간 범위 내에서 여러 번의 스케줄링으로 비디오 프레임에 대해 재할당 기회를 늘리고자 하였다.

제안한 알고리즘은 자원 양이 많을 때와 적을 때 모두 기존 알고리즘보다 높은 계층 전송 수와 전송률을 가진다. 스케줄링 시점에서 자원 양이 충분한 경우, 각 비디오의 서비스 이용자 수의 차이가 적을 때와 클 때 약 2.4% 향상된 계층 전송률을 가진다. 스케줄링 시점에서 자원 양이 충분하면 하위 단계의 계층은 기존 알고리즘에서도 충분히 할당이 진행되므로 상위 단계의 향상 계층의 전송 수가 증가하였다. 스케줄링 시점에서 자원 양이 부족한 경우, 각 비디오의 서비스 이용자 수의 차이가 적을 때에는 전체 최대 4.7% 향상된 계층 전송률을 가지며, 서비스 이용자 수 차이가 클 때에는 약 5.4% 향상된 계층 전송률을 가진다. 스케줄링 시점에서 자원 양이 부족할 때 더 높은 계층 전송률을 가지므로, 재할당 기회의 증가로 더 효율적인 자원 할당이 가능한 것을 확인할 수 있다.

본 논문은 이용자의 과금 여부와 관계없이 모든 이용자에게 높은 서비스를 제공하기 위한 공평한 자원 할당 알고리즘이다. 하지만 서비스 제공자는 서비스를 통한 이익을 취하기 위해 비디오 화질에 따라 과금 형태를 다르게 하여 서비스를 제공할 수 있을 것이

다. 따라서 사용자가 이용할 비디오와 함께 요청하는 비디오 화질을 함께 반영한 자원 할당 알고리즘이 연구되어야 할 것이다.

References

- [1] WiMAX Forum, WiMAX System Evaluation Methodology V2.1, Jul. 2008.
- [2] 3GPP TS 23.246, Multimedia Broadcast / Multicast Service(MBMS); Architecture and Functional Description, Jun. 2005.
- [3] H. Schwarz and D. Marpe, "Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 17, No. 9, pp. 1103-1120, Sept. 2007.
- [4] P. Wu and Y. H. Hu, "Optimal layered video IPTV multicast streaming over mobile WiMAX systems," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 13, no. 6, pp. 1395-1403, Dec. 2011.
- [5] X. Ji, J. Hwang, M. Chiang, G. Lafruit, and F. Catthoor, "Scheduling and resource allocation for SVC streaming over OFDM downlink systems," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 19, No. 10, pp. 1549-1555, Oct. 2009.
- [6] M. Han and J. Hong, "Proportional fair resource allocation for layered video multicast in the LTE networks," in *Proc. KIISE*, vol. 38, pp. 247-250, Seoul, Korea, Nov. 2011.
- [7] J. Kim, Y. I. Kwon, and D. Y. Suh, "PSNR based adaptive resource allocation for multimedia multicast service over 4G networks," in *Proc. KOSBE*, pp. 102-104, Jeju Island, Korea, Jul. 2011.
- [8] M. Han and J. Hong, "Applying adaptive modulation and coding to layered video multicast in WiMAX networks," *J. KIISE Comput. Pract. Lett.*, vol. 17, pp. 115-119, Feb. 2011.
- [9] P. Li, H. Zhang, B. Zhao, and S. Rangarajan, "Scalable video multicast with adaptive modulation and coding in broadband wireless data systems," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 29, No. 1, pp. 57-68, Feb. 2012.

- [10] J. Yun, D. C. Park, S. S. Hwang, and S. C. Kim "Resource allocation for layered video transmission in IPTV based M-WiMAX," *JCCI 2012*, p. 105, Pyeongchang, Korea, Apr. 2012.

윤 지 운 (Jiun Yun)



2012년 2월 : 부산대학교 전자
전기공학부 졸업
2014년 2월 : 부산대학교 전자
전기컴퓨터공학과 석사
<관심분야> 4G, Scheduling,
Mobile IPTV

박 동 찬 (Dong Chan Park)



2001년 2월 : 부산대학교 전기
공학과 졸업
2004년 2월 : 부산대학교 전자
공학과 석사
2004년 3월~현재 : 부산대학교
전자공학과 박사과정

<관심분야> 이동통신, Scheduling, 4G, OFDM, 5G

황 성 수 (Sung Sue Hwang)



2007년 2월 : 부산대학교 전자
공학과 졸업
2009년 2월 : 부산대학교 전자
공학과 석사
2009년 3월~현재 : 부산대학교
전자전기공학과 박사과정
<관심분야> 채널 추정, 통신
신호처리, OFDM

김 민 기 (Min Ki Kim)



2013년 2월 : 부산대학교 전자
전기공학부 졸업
2013년 3월~현재 : 부산대학교
전자전기컴퓨터공학과 석사
과정
<관심분야> OFDM, VLC, 수
중통신

김 석 찬 (Suk Chan Kim)



1993년 2월 : 부산대학교 전자
공학과 졸업
1995년 2월 : 한국 과학기술원
전기 및 전자공학과 석사
2000년 2월 : 한국 과학기술원
전기 및 전자공학과 박사
2000년 7월 : 한국전자통신연구
소(ETRI) 연구원

2001년 7월 : Princeton 대학교 박사후 과정
2002년 2월 : Lehigh 대학교 박사후 과정
2002년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 이동통신, 통신신호처리, 수중통신