

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.2.9>

JIWIT 2012-2-2

# H.264/SVC 스트리밍을 위한 가중치 기반 혼잡 제어 알고리즘

## Weight-based Congestion Control Algorithms for H.264/SVC Streaming

김남윤\*

Namyun Kim

**요 약** 인터넷은 패킷의 지연시간과 손실에 대한 보장을 제공하지 않기 때문에 일시적인 네트워크 혼잡은 H.264/SVC 스트리밍에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 H.264/SVC 향상 계층을 제거하여 전송율을 제어함으로써 혼잡을 회피하는 기법이 필요하다. 본 논문에서는 비디오의 중요도에 따라 스트림을 분류한 후, 스트림의 비트율-왜곡 특성을 이용한 가중치 기반 혼잡 제어 알고리즘을 제안한다. 즉, 제한된 대역폭을 가진 네트워크 노드에서 가중치를 고려한 PSNR의 합을 최대화하기 위해, H.264/SVC 향상 계층의 수를 제어하는 WNS(Weighted Near-Sighted), WFS(Weighted Far-Sighted) 알고리즘을 제안한다. 그리고 시뮬레이션을 통해 가중치 기반 알고리즘의 효용성을 보이고 알고리즘의 특성을 분석한다.

**Abstract** Because best-effort Internet provides no guarantees on packet delay and loss, transient network congestion may cause negative effects on H.264/SVC streaming. Thus, the congestion control is required to adjust bit rate by dropping enhancement layers of H.264/SVC streams. This paper differentiates the video streams according to different levels of importance and proposes weighted-based congestion control algorithms to use the rate-distortion characteristics of streams. To maximize the weighted sum of PSNR values of all streams on a bandwidth-constrained node, this paper proposes WNS(Weighted Near-Sighted) and WFS(Weighted Far-Sighted) algorithms to control the number of enhancement layers of streams. Through simulation, this paper shows that weighted-based congestion control algorithm can efficiently adapt streams to network conditions and analyzes the characteristics of congestion control algorithms.

**Key Words :** H.264/SVC 스트리밍, 가중치 기반 혼잡 제어, 기본 계층, 향상 계층, 비트율-왜곡 최적화

### I. 서 론

최근 인터넷과 이동통신 네트워크를 이용한 비디오 스트리밍 응용이 급격히 증가하고 있다<sup>[1,2]</sup>. 예를 들면, 실

시간 뉴스 및 스포츠 중계, VoIP(Voice over IP) 등이 있다. 그러나 인터넷은 패킷의 품질에 대한 어떠한 보장도 제공하지 않는 최선 정책(best-effort policy)를 취하기 때문에 라우터에서 혼잡 발생시 패킷이 손실되거나 지연

\*정회원, 한성대학교 정보시스템공학과  
접수일자 2012.3.4, 수정완료 2012.4.2  
게재확정일자 2012.4.13.

Received: 4 March, 2012, Revised: 2 April, 2012

Accepted: 13 April, 2012

\*Corresponding Author: nykim@hansung.ac.kr

Dept. of Information System Engineering, Hansung University, Korea

되는 경우가 발생한다. 이러한 패킷 손실과 지연은 비디오 재생시 품질을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 따라서 사전에 네트워크 혼잡을 회피하여 패킷 손실을 줄이는 방법이 필요하다.

H.264의 확장으로서 표준화된 SVC(Scalable Video Coding)는 공간(spatial), 시간(temporal), SNR(quality) 모드를 지원하며 이를 조합하여 다양한 비트 스트림을 생성할 수 있다. 또한 각각의 확장 모드는 기본 계층(base layer)과 하나 이상의 향상 계층(enhancement layer)으로 인코딩되기 때문에 H.264/SVC는 네트워크 상태 혹은 사용자의 요구 조건에 따라 다양한 비트 스트림 생성이 가능하다. 따라서 네트워크 혼잡시, 일부 향상 계층을 제거함으로써 점질적인 화질 저하를 유도할 수 있다. 그러나 주어진 네트워크 대역폭내에서 다수의 스트림에 대해 전송할 향상 계층의 수를 결정하는 문제는 단순하지 않다. 또한 SVC 스트림의 계층은 서로 의존성이 존재하고 계층별로 화질에 끼치는 영향이 상이하므로 신중하게 계층을 선정하여야 한다<sup>[4]</sup>.

지금까지 네트워크 노드에서 다수의 비디오 스트림이 존재할 때, 혼잡으로 인한 품질 저하를 줄일 수 있는 다양한 기법이 제시되었다<sup>[5-7]</sup>. Dyahadray<sup>[5]</sup>는 공간/시간/SNR 계층의 특징을 이용한 계층간 스위칭 기법을 제시하였으며 Tappayuthpipjam<sup>[6]</sup>은 TFRC에 기반한 계층 제거 기법을 제시하여 패킷 손실과 지연 시간을 감소시켰다. 그러나 위의 두 가지 연구는 RD(rate-distortion) 관점에서 최적의 화질을 제시하지 못하였다. Mahalingam<sup>[7]</sup>은 가용 네트워크 대역폭하에서 높은 화질을 제공하기 위해 비디오 스트림의 추출 지점을 선택하는 알고리즘을 제시하였다. 이 기법은 현재의 추출 지점에서 다음 추출 지점을 선택할 때 증가하는 유틸리티 값(PSNR 증가율/비트 증가율)을 기반으로 정렬한 후 최대의 유틸리티 값을 가지는 스트림 계층을 선택하기 때문에 효율적인 계층 선택 기법을 제공하고 있다. 그러나 다음에 이웃한 추출 지점만을 고려함으로써 최적의 화질을 제공하지 못한다.

본 연구는 이전 연구<sup>[8,9]</sup>에서 제시한 스트림의 계층 선택 알고리즘에 대한 확장으로서 네트워크 혼잡 발생시 점진적인 화질 저하를 유도하기 위한 다중 스트림의 계층 선택 기법을 제시한다. 특히 비디오 스트림간의 중요도를 나타내는 가중치를 반영하여 비디오별로 차별화된 서비스(differentiated service)<sup>[10]</sup>를 제공하면서 전체 스트림의 가중 PSNR의 합을 최대화할 수 있는 알고리즘을

제안한다. 먼저, 오프 라인시 주어진 비트율에서 최대의 PSNR을 얻을 수 있는 추출 지점에 대한 정보를 획득한다. 여기서 추출 지점(extraction point)이란, SVC 스트림의 특정 공간/시간/SNR 해상도에 해당되는 하나의 계층을 의미한다. 네트워크 중간 노드는 H.264/SVC 스트림, 스트림의 가중치와 추출 지점에 대한 정보를 바탕으로 네트워크 가용 대역폭내에서 전송할 수 있는 스트림별 계층을 결정한다. 본 논문에서는 가중치 기반 혼잡 제어 알고리즘인 WNS(Weighted Near-Sighted), WFS(Weighted Far-Sighted)을 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 비디오 스트리밍 시스템 모델과 SVC 스트림 및 메타 데이터(RD 정보, 가중치)에 대해 서술한다. 그리고 3절에서는 혼잡 제어를 위한 WNS, WFS 알고리즘을 제시하고 4절에서 알고리즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 5절에서 향후 연구와 함께 결론을 맺는다.

## II. H.264/SVC 비디오 스트리밍 시스템

### 1. 혼잡 제어를 위한 시스템 모델

인터넷을 통한 스트리밍 서비스는 스트리밍 서버, 네트워크 중간 노드, 클라이언트 시스템으로 구성된다. 스트리밍 서버는 기본 계층과 모든 향상 계층을 포함하고 있는 H.264/SVC 스트림과 메타 정보를 가지고 있다. 스트림 메타 정보는 비디오의 추출 지점에 대한 정보를 담고 있는 “RD 정보”와 스트림의 “가중치” 정보를 담고 있다. RD(rate-distortion) 정보는 주어진 비트율에서 가장 높은 PSNR을 제공하는 추출 지점에 대한 정보를 담고 있는 힌트로서 혼잡 제어 알고리즘에서 사용된다. 그리고 스트림 가중치는 비디오의 중요도에 따른 값으로서 가중치가 클수록 높은 우선 순위를 부여한다.

네트워크 중간 노드(intermediate node)에서는 비디오 스트림을 수신한 후, 가용한 네트워크 대역폭에 맞춰 스트림의 품질을 결정한다. 네트워크 혼잡시, 향상 계층의 수를 감소시켜 스트림의 품질을 낮추고 네트워크 대역폭이 여유가 있을 때, 향상 계층의 수를 증가하여 스트림의 품질을 높인다. 그림 1은 네트워크 노드의 구조를 보여주고 있다.

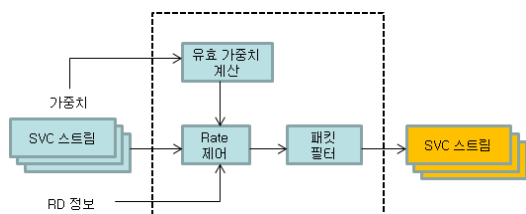


그림 1. 혼잡 제어를 위한 네트워크 중간 노드 구조  
Fig. 1. Network intermediate node architecture for congestion control

먼저 스트림의 초기 가중치를 바탕으로 유효 가중치 (effective weight)를 계산한다. 유효 가중치는 모든 스트림의 가중치 평균이 1 이 되도록 변환한 것이다. 스트림  $i$  에 대해  $w_i, w_i^e$  를 각각 초기 가중치 및 유효 가중치라고 하자. 이 때 유효 가중치는 다음과 같이 정의된다.

$$w_i^e = w_i \times k \tag{1}$$

여기서  $k$ 는 평균적인 유효 가중치가 1이 되도록 다음 수식을 만족하는 상수이다.

$$\frac{\sum_{i=1}^n w_i^e}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times k}{n} = 1$$

예를 들어,  $w_1 = 3, w_2 = 2, w_3 = 1$  일 때, 평균적인 유효 가중치가 1이 되도록 수식을 만들면  $6k/3 = 1$ 가 된다. 따라서  $k=0.5$  이므로 스트림별 유효 가중치는  $w_1^e = 1.5, w_2^e = 1, w_3^e = 0.5$  이다. 결국, 유효 가중치는 스트림별 상대적인 가중치는 유지하면서 평균적인 가중치를 1로 변환하는 효과를 가진다.

중간 노드에서는 유효 가중치, 스트림, 그리고 RD 정보를 바탕으로 비트율 제어를 수행하여 스트림별 향상 계층을 결정한다. 마지막으로 패킷 필터를 통해 향상 계층의 패킷을 조절하여 새로운 스트림을 생성한다.

클라이언트 노드는 중간 노드에서 생성한 새로운 SVC 스트림을 수신한 후, SVC 플레이어를 이용하여 비디오를 재생한다.

본 논문에서의 주요 대상은 중간 노드에서의 “Rate 제어” 부분으로서 각 스트림의 계층을 선택하여 비트율을 조정한다.

## 2. H.264/SVC RD(Rate-Distortion) 정보

JVT(ITU-T VCEG과 ISO/IEC MPEG 그룹)는 확장 가능한 비트 스트림 생성을 위해 H.264/AVC의 연장인 SVC 표준을 만들었다. H.264/SVC는 계층적인(layered) 구조에 기반하고 있으며 기본(base) 계층과 하나 이상의 향상(enhancement) 계층으로 구성된다. 각 향상 계층은 공간, 시간, SNR 확장 모드를 지원한다<sup>[11]</sup>. 향상 계층이 많이 포함될수록 스트림의 품질은 점차 개선된다. SVC 스트림의 계층은 (D, T, Q)의 ID로 표현되는데, D는 공간적인 레벨, T는 시간적인 레벨, Q는 SNR 레벨을 의미한다. 계층간에는 의존성이 존재하며 일부 계층의 손실은 다른 계층의 디코딩을 불가능하게 할 수 있다. 그림 2는 SVC 인코더를 통해 단말기에 적합한 비트 스트림을 생성하고 있다. 시간/공간 해상도를 높일수록 요구되는 비트율이 증가하고 있다.

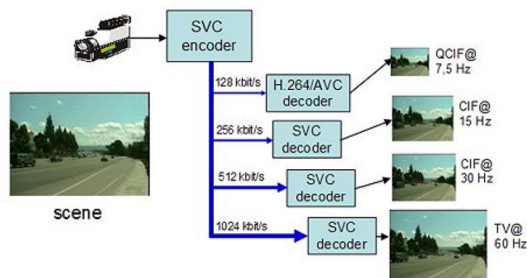


그림 2. H.264/SVC/ 확장모드에 따른 영상  
Fig. 2. Videos according to H.264/SVC scalability modes

JVT에서는 JSVM(Joint Scalable Video Model)을 정의하고 비트 스트림 추출기 소프트웨어를 제공하고 있다<sup>[12]</sup>. JSVM는 목표 공간(D)/시간(T) 해상도와 가용 비트율(B)을 입력으로 받은 후, 서브 스트림을 추출한다. 추출기에서 사용되는 명령어와 옵션은 다음과 같다.

```
BitStreamExtractorStatic input.svc output.svc
-e D@T:B
```

JSVM 도구를 사용하여 추출된 SVC 계층의 특성을 분석하기 위해 비디오 스트림이 요구하는 전송율과 PSNR값의 관계를 유도하였다. 그림 3은 “Soccer” 비디오 샘플에 대해, 주어진 공간/시간 해상도에서 비트율을 변화하면서 획득한 PSNR 값을 보여주고 있다. 주어진

공간/시간 해상도에서 비트율이 증가함에 따라 SNR 향상 계층이 추가되기 때문에 PSNR 값이 단조 증가한다. 여기서 각 점들은 스트림의 추출 지점(extraction point)을 의미한다.

본 논문에서는 주어진 비트율에서 최대의 PSNR을 제공하는 추출 지점을 “RD 포인트”라고 정의하며 이러한 “RD 포인트”의 집합을 “RD 정보”라고 한다. RD 정보는 그림 3에서 동그라미로 표시한 점들로 구성되며 외곽 곡선을 따라가면서 쉽게 획득될 수 있다. 이러한 특성을 가지는 RD 정보는 오프라인시에 획득된다. RD 포인트  $p_i$ 가 주어졌을 때 RD 정보는  $[D_i, T_i, b_i, PSNR_i]$  형식을 가진다. 예를 들어 SOCCER 비디오의 RD 정보의 내용은 다음과 같다.

[0 2 84.08 21.10], [0 3 114.90 24.67], [0 4 148.06 29.00]  
 [0 4 186.41 29.22], [0 4 246.62 29.45], [0 4 296.33 29.63]  
 [0 4 314.90 29.68], [1 4 380.28 32.63], [1 4 547.12 34.18]  
 [1 4 633.45 34.94], [1 4 664.06 35.15], [1 4 707.70 35.40]  
 [1 4 796.78 36.06], [1 4 845.84 36.40], [1 4 870.38 36.53]

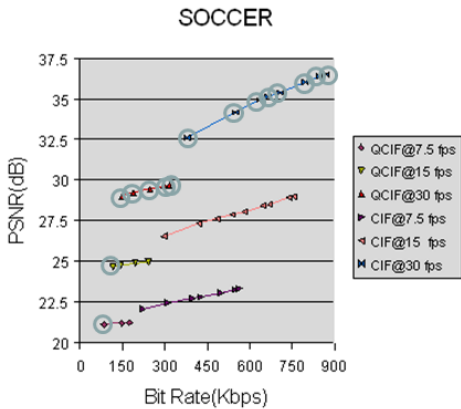


그림 3. 주어진 비트율에서 최대의 PSNR 값을 가지는 추출 지점에 대한 정보를 가지는 RD 정보

Fig. 3. RD Info which contains extraction points with the maximum PSNR value on a given bit rate

### 3. 가중치 기반 혼잡 제어 알고리즘의 목표

네트워크의 중간 노드에서 혼잡을 피하기 위해서는 출력 스트림의 전송율이 노드의 가용 대역폭을 넘지 않아야 한다. 노드에 유입되는  $n$ 개의 비디오 스트림이 존재하고 중간 노드의 네트워크 대역폭을  $R_{NB}$ 이라고 하자

(그림 4 참조). 비디오 스트림  $i$ 가 요구하는 전송율을  $R_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ )라고 하자. 그리고 입력 스트림의 전송율 합을  $R_{in}$  ( $= \sum_{i=1}^n R_i$ )이고 출력 스트림의 전송율 합을  $R_{out}$  ( $= \sum_{i=1}^n R'_i$ )이라고 하자. 만약  $R_{in} > R_{NB}$  이면 네트워크 혼잡이 발생한다. 이 때 낮은 유효 가중치를 가진 스트림에 대해 많은 향상 계층을 제거함으로써 혼잡을 피할 수 있다. 네트워크 혼잡 발생시 “rate 제어” 모듈은  $R_{out}$ 이  $R_{NB}$ 를 초과하지 않으면서 최대 PSNR 값을 얻기 위해 각 스트림별 계층을 결정한다.



그림 4. 네트워크 중간 노드에서의 입출력 스트림 전송율  
 Fig. 4. Input/Output Rate on a network intermediate node

한편, 각 스트림의 최소 허용 가능한 품질을 보장하기 위해 최소 PSNR 요구 조건( $PSNR_{min}$ )을 정의한다. 결국 “rate 제어” 모듈의 제약 조건은 ( $R_{out} \leq R_{NB}$ )와 ( $PSNR_i \geq PSNR_{min}$  for each video stream  $i$ ) 라고 표현할 수 있다. 그리고 혼잡 제어 알고리즘의 목표는 전체적인 화질을 높이기 위해 모든 스트림의 가중치를 고려한 PSNR 값의 합을 최대화하는 것으로 정의한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{maximize} \left( \sum_{i=1}^n (PSNR_i \times w_i^c) \right) \\ & \text{subject to } (R_{out} \leq R_{NB}) \text{ and} \\ & (PSNR_i \geq PSNR_{min} \text{ for each stream } i) \quad (2) \end{aligned}$$

### III. H.264/SVC 혼잡 제어 알고리즘

네트워크 중간 노드에서 혼잡을 피하기 위해서는 가용 대역폭내에서 각 비디오 스트림의 새로운 계층을 선택하여야한다. 본 논문에서는 수식 2)에서 제시한 목표를 달성하기 위해 각 스트림의 “가중 효율성(weighted

utility)”을 계산하여 스트림별 계층을 새로이 선택한다.

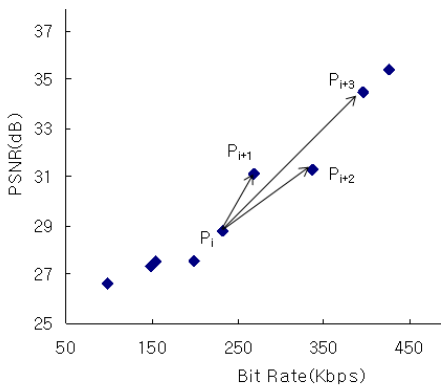
네트워크의 중간 노드에 유입되는 비디오 스트림의 집합을 S라고 하고 스트림 수를 n이라고 하자( $|S|=n$ ). 그리고 스트림 i의 RD 포인트에 대한 두 개의 인덱스를  $p_i, p'_i$ 라고 하자. 만약 포인트  $p_i$ 에서  $p'_i$ 을 선택할 경우, 전송율 및 PSNR의 변화량은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{전송율 변화량: } \Delta R(p_i, p'_i) = R(p'_i) - R(p_i)$$

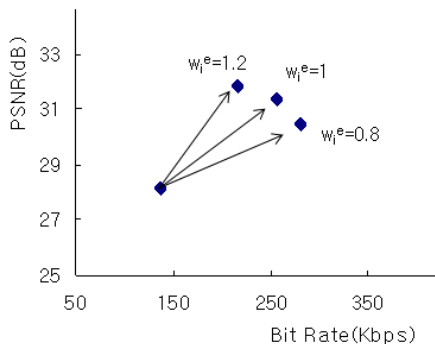
$$\text{PSNR 변화량: } \Delta PSNR(p_i, p'_i) = PSNR(p'_i) - PSNR(p_i)$$

한편, RD 포인트  $p_i$ 에서  $p'_i$ 으로 움직였을 때, 시스템에서 얻을 수 있는 효용성(utility)은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\text{효용성: } U(p_i, p'_i) = \frac{\Delta PSNR(p_i, p'_i)}{\Delta R(p_i, p'_i)} \quad (3)$$



(a) 효용성(utility)



(b) 가중 효용성(weighted utility)

그림 5 (a)는 스트림의 RD 포인트  $p_i$ 에서  $p_{i+1}, p_{i+2}, p_{i+3}$ 를 선택하였을 때, 전송율 및 PSNR 값의 변화량을 보여주고 있다. 효용성은 직선의 기울기와 같으며 단위 비트율당 획득할 수 있는 PSNR 값을 나타낸다고 할 수 있다. 그림에서는  $p_i$ 에서  $p_{i+1}$ 으로 RD 포인트를 이동할 때 가장 높은 효용성을 획득할 수 있다.

한편, 스트림별 유효 가중치가 주어졌을 때 효용성을 변경한 “가중 효용성”은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{가중 효용성: } WU(p_i, p'_i) = \frac{\Delta PSNR(p_i, p'_i)}{\Delta R(p_i, p'_i)} \times w_i^e \quad (4)$$

그림 5 (b)는 유효 가중치가 1.2, 1.0, 0.8일 때의 가중 효용성을 나타내고 있다. 유효 가중치가 1일 때는 가중치와 유효 가중치는 동일하다.

본 논문의 혼잡 제어 알고리즘은 각 스트림별로 현재 RD 포인트 기준으로 다음 포인트로 이동하였을 때의 가중 효용성을 계산한 후, 모든 스트림중에서 최대의 가중 효용성을 가지는 스트림을 선택한다. 그리고 해당 스트림의 다음 RD 포인트로 이동한다. 이러한 과정을 가용 대역폭에 여유가 있을 때까지 반복 수행한다. 최종 결과는 스트림별 RD 포인트에 해당하는 계층을 결정한다. 한편, 스트림별 최대 가중 효용성을 계산할 때, 스트림의 현재 RD 포인트  $p_i$ 에서 다음 RD 포인트  $p_{i+1}$ 까지의 가중 효용성만을 고려하는 알고리즘(WNS: Weighted Near-Sighted)과 현재 RD 포인트  $p_i$ 에서 이후의 모든 RD 포인트  $p_j (j \geq i+1)$ 에 대한 가중 효용성을 고려하는 알고리즘(WFS: Weighted Far-Sighted)이 존재한다.

### 1. WNS (Weighted Near-Sighted) 알고리즘

n개의 비디오 스트림 집합 S에 속한 모든 스트림 i에 대해, 현재 포인트  $p_i$ 에서 다음 포인트  $p_{i+1}$ 까지의 가중 효용성  $WU(p_i, p_{i+1})$ 을 계산한다.  $p_i$ 의 초기 값은  $PSNR_{min}$ 을 만족하는 최소의 RD 포인트로 설정되며, 증가하는 전송율이 가용 대역폭을 넘을 경우 해당 스트림은 더 이상 고려하지 않는다. 그리고 n개의 스트림 중에서 가장 높은 가중 효용성을 가진 스트림을 선택한다. 이 스트림은 단위 비트율당 가장 높은 PSNR을 제공한다. 마지막으로, 선택된 스트림의 현재 포인트를  $p_{i+1}$ 로 설정한다. 위의 작업을 가용 네트워크 대역폭이 없을 때까지

그림 5. 효용성과 가중 효용성 정의  
Fig. 5. Definition of utility and weighted utility

지 반복한다. 이 기법은 현재 포인트에서 다음 포인트까지의 효율성만을 고려하기 때문에 WNS(Weighted Near-Sighted) 알고리즘이라고 명명한다. 알고리즘 수행 후 결정되는 최종 포인트  $p_i$  의 (D, T, b)를 통해 비디오 스트림의 계층이 결정된다.

아래 표 1은 WNS에서 가중 효율성을 바탕으로 RD 포인트를 선택하는 과정을 보여주고 있다. 세 개의 스트림  $S_i(i=1,2,3)$ 이 존재하고 각 스트림마다 RD 포인트  $p_i$ 가 존재한다.  $S_1$ 의 현재 포인트는  $p_2$ 이고 다음 포인트  $p_3$ 를 선택하였을 경우 가중 효율성이 0.1이다. 한편  $S_2$ 의 가중 효율성이 0.02,  $S_3$ 의 가중 효율성이 0.2이므로  $S_3$ 가 선택이 되고  $S_3$ 의 RD 포인트는  $p_2$ 로 옮겨진다.

표 1. WNS 알고리즘에서 RD 포인트를 이동하는 방법  
Table 1. Moving RD points in WNS algorithm

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$
$S_1$			0.1		
$S_2$				0.02	
$S_3$		0.2			

## 2. WFS(Weighted Far-Sighted) 알고리즘

WFS 알고리즘은 현재 RD 포인트  $p_i$ 에서 모든 RD 포인트  $p_j(j \geq i+1)$ 에 대한 가중 효율성을 고려하여 스트림별 RD 포인트를 결정한다. 그리고 n개의 스트림 중에서 가장 높은 가중 효율성을 가진 스트림을 선택한다. WNS와 마찬가지로 위의 작업을 가용 네트워크 대역폭이 없을 때까지 반복한다. 이 알고리즘은 비디오 스트림의 전체 특성을 고려할 수 있기 때문에 좀 더 좋은 화질을 제공할 수 있는 장점이 존재한다.

표 2. WFS에서 RD 포인트를 이동하는 방법  
Table 2. Moving RD points in WFS algorithm

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	최대 WU
$S_1$			0.1	0.15	0.04	0.15
$S_2$				0.02	0.5	0.5
$S_3$		0.2	0.1	0.05	0.25	0.25

표 2를 보면  $S_1$ 의 현재 포인트는  $p_2$ 이고 그 이후 포인

트를 선택할 경우 가중 효율성은 0.1, 0.15, 0.04이다. 따라서  $S_1$ 은  $p_4$ 를 선택하였을 때 가장 높은 효율성을 가지며 가중 효율성은 0.15이다. 한편,  $S_2$ 의 최대 가중 효율성은 0.5이고  $S_3$ 는 0.25이다. 따라서  $S_2$ 가 선택이 되며  $S_2$ 의 RD 포인트는  $p_5$  로 이동한다.

## IV. 성능 분석

JSVM 소프트웨어를 통해서 추출된 SVC 비트 스트림을 바탕으로 오프라인시 RD 정보를 생성한다. 그리고 3절에서 제시한 WNS, WFS 알고리즘에 대한 실험 결과를 제시한다.

### 1. 실험 환경

실험 대상 비디오 파일을 움직임의 정도에 따라 분류한 후, 대표적인 샘플 세 가지를 선택하였다<sup>[13]</sup>. CITY, FOREMAN, SOCCER 비디오 화일순으로 움직임이 많으며 파일은 모두 YUV 형식으로 300 프레임, CIF 포맷이다(표 3 참조).

표 3. 샘플 비디오의 종류 및 특징

Table 3. Type and characteristics of sample videos

	CITY	FOREMAN	SOCCER
움직임	Low	Medium	High
프레임수	300	300	300
공간 해상도	CIF	CIF	CIF
크기(Byte)	45,619,200	45,619,200	45,619,200

YUV 포맷의 비디오 파일은 인코딩 설정 파일을 통하여 SVC 스트림으로 변환된다. 공간 확장성을 위해 QCIF, CIF 해상도 2개의 계층을 제공하고, SNR 확장성을 위해 기본 계층과 3 개의 MGS 계층을 제공한다. 그리고 시간 확장성을 위해 1.875/3.75/ 7.5/15/30 fps 5개의 계층을 제공한다. 결국, 총 40개(=2\*4\*5)의 계층을 가진 비트 스트림을 생성한다.

고정된 공간/시간 해상도하에서 대역폭의 값을 100에서 900까지 50 단위로 변경하면서 비트 스트림을 추출한 후, 생성된 스트림의 비트율과 PSNR 값을 얻었다. 그리고 각 스트림별 RD 정보를 생성하였다.

혼잡 제어 알고리즘은 비디오 스트림의 RD 정보를 입

력으로 노드의 네트워크 대역폭  $R_{NB}$  값을 변화시키면서 최종 RD 포인트를 결정한다. RD 포인트는  $[D, T_i, b, PSNR]$  로 구성되며  $(D, T_i, b)$  정보는 그림 1의 “패킷 필터” 모듈에 전달되어 가용 대역폭에 맞는 새로운 계층을 결정한다.

## 2. 실험 결과 및 분석

유효 가중치에 따른 PSNR 값의 변화를 보기 위해 표 4와 같이 세 가지 경우로 나누었다. Case 1은 CITY에 대해 가장 높은 가중치를, Case 2는 Foreman에 대해, Case 3은 Soccer에 대해 가장 높은 1.2의 가중치를 부여하였다.

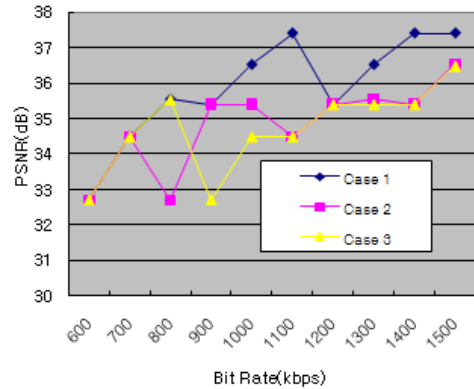
표 4. 테스트 케이스별 비디오의 유효 가중치 값  
Table 4. Effective weight of videos in test cases

	Case1	Case 2	Case 3
CITY	1.2	0.9	0.9
FOREMAN	0.9	1.2	0.9
SOCCER	0.9	0.9	1.2

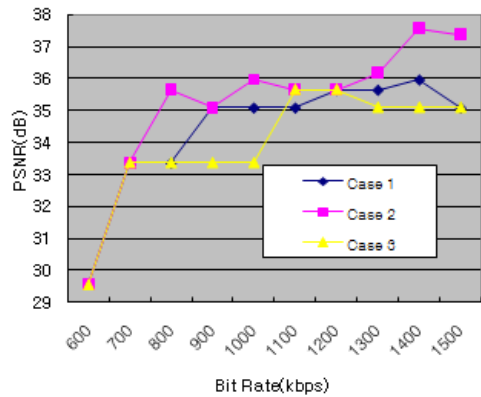
그림 6은  $PSNR_{min}=28$  일 때, 각 비디오별 PSNR 값을 보여주고 있다. City영상은 Case 1에서, Foreman 영상은 Case 2에서, Soccer영상은 Case 3에서 가중치가 높기 때문에 다른 경우보다 PSNR 값이 높게 나왔다. 예를 들어 그림 6 (a)를 보면, Case 2, Case 3 보다 Case 1에서 항상 높은 PSNR 값을 보여주고 있다. 한편, 일부 구간에서 단조 증가하지 못하고 감소하는 경우가 존재하는 이유는 일시적으로 다른 비디오의 RD 포인트의 가중 유효성이 높기 때문이다. 대체로 가중치를 높임으로써 해당 비디오의 향상 계층이 증가하여 높은 PSNR 값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

한편, WNS, WFS 알고리즘의 성능을 비교한 결과는 그림 7과 같다. 그림은  $PSNR_{min}=28$  일 때, 수식 2에서 제시한 가중 PSNR 값의 합의 평균인  $\sum_{i=1}^3 (PSNR_i \times w_i^c) / 3$  결과 값을 보여주고 있다. WFS 알고리즘이 WNS 알고리즘보다 더욱 높은 가중 PSNR 값을 보여줄 수 있다. WFS는 현재 RD 포인트 이후의 모든 포인트를 고려하지만, 비디오당 SVC 계층 수가 40개인 경우, RD 포인트의 개수가 15개 정도에 불과함으로 복잡도가 높지 않다. 따라서 WFS 알고리즘은 비디오별 중요도에 따른 가중치를 반영하고 복잡도가 높지 않으면서 좋은 성능을

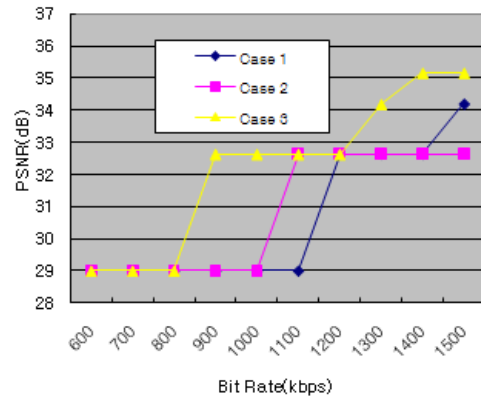
제공함을 알 수 있다. 한편, 그림 6 (c)는 Soccer 비디오에 높은 가중치를 준 경우인데, Soccer 비디오는 움직임이 많기 때문에 WNS보다 WFS가 더욱 좋은 성능을 보여 주고 있다.



(a) City 영상

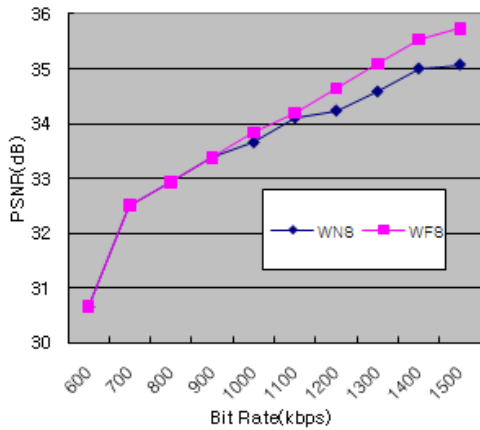


(b) Foreman 영상

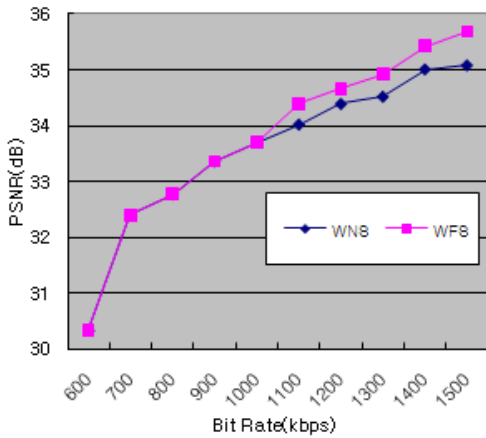


(c) Soccer 영상

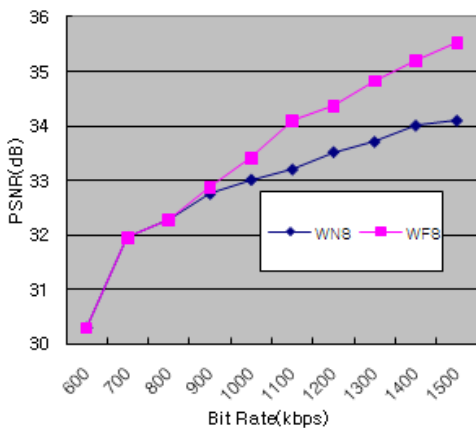
그림 6. Case 별 영상의 PSNR 값  
Fig. 6. PSNR value of three videos for different cases



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

그림 7. 세 영상에 대한 가중 효용성 값  
Fig. 7. Weighted utility for three videos

## V. 결론

H.264/SVC 스트림은 계층간의 의존성이 존재하기 때문에 네트워크 혼잡 발생으로 인한 패킷 손실은 재생 품질에 치명적인 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 혼잡 발생시 계층간의 의존성을 만족하면서 높은 품질을 제공할 수 있는 혼잡 제어 알고리즘을 제시하였다. 특히 비디오 간 중요도를 나타내는 가중치를 반영한 차별화된 서비스(differentiated service)를 제공하면서 전체 스트림의 가중 PSNR의 합을 최대화할 수 있는 WNS, WFS 알고리즘을 제시하였다. 시뮬레이션 결과 가중치가 높은 스트림이 PSNR 값이 높았으며 WFS 알고리즘이 WNS 알고리즘보다 좋은 성능을 보여주었다.

향후에는 다양한 네트워크 토폴로지와 다수의 비디오 샘플을 바탕으로 알고리즘의 성능을 분석할 예정이다. 또한 패킷 손실이 발생한 경우 성능에 끼치는 영향을 분석할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] Dapeng Wu, Yiwei Thomas Hou, Wenwu Zhu, Ya-Qin Zhang, and Jon M. Peha, "Streaming Video Over the Internet: Approaches and Directions," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 3, March 2001.
- [2] Hui Fang Sun, Anthony Vetro, and Jun Xin, "An Overview of Scalable Video Streaming," *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol. 7, Issue 2, January 2007.
- [3] T. Wiegand, G. Sullivan, J. Reichel, H. Schwarz, and M. Wien, "Joint Draft ITU-T Rec. H.264 - ISO/IEC 14496-10/ Amd.3 Scalable Video Coding," Joint Video Team, Doc. JVT-X201, July 2007.
- [4] J. Monteiro, C. Calafate, and M. Nunes, "Evaluation of the H.264 Scalable Video Coding in Error Prone IP Networks," *IEEE Transaction on Broadcasting*, 54(3), September 2008.
- [5] A. Dyahadray, H. Shringarpure, N. Mulay, and



- G. Saraph, "Congestion Control using Scalable Video Streaming," National Conference on Communications, 2008.
- [6] K. Tappayuthpijarn, G. Liebl, T. Stockhammer, and E. Steinbach, "Adaptive Video Streaming over a Mobile Network with TCP-Friendly Rate Control," International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing, 2009.
- [7] R. Mahalingam, W. Tu, and E. Steinbach, "RD-Optimized Rate Shaping for Multiple Scalable Video Streams," IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2007.
- [8] Namyun Kim, Hoyoung Hwang, "Spatial and Temporal Resolution Selection for Bit Stream Extraction in H.264 Scalable Video Coding," Journal of Multimedia Society, 13(1), January 2010.
- [9] Namyun Kim, Kitae Hwang, "Layer Selection Algorithms of H.264/SVC Streams for Network Congestion Control," Journal of Multimedia Society, 14(1), January 2011.
- [10] C. Basarn, K. Kang, etc, "Bandwidth Consumption Control and Service Differentiation for Video Streaming," In Proceedings of ICCCN 2008.
- [11] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Hierarchical B pictures," Joint Video Team, JVT-P014, July 2005.
- [12] HHI, SVC reference software, [http://ip.hhi.de/imagecom\\_G1/savce/downloads/SVC-Reference-Software.htm](http://ip.hhi.de/imagecom_G1/savce/downloads/SVC-Reference-Software.htm).
- [13] <ftp.tnt.uni-hannover.de/pub/svc/testsequences>.

※ 본 연구는 한성대학교 교내 연구장려금 지원과제입니다.

### 저자 소개

#### 김 남 윤(정회원)



- 1992년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
- 1994년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2000년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1999년 9월 ~ 2002년 2월 삼성전자 무선사업부 책임연구원

• 2002년 ~ 현재 한성대학교 정보시스템공학과 부교수  
 <주관심분야 : 멀티미디어 통신, 모바일 통신 및 응용>