

논문 2009-04-06

H.264/SVC를 기반으로 한 ROI확장성 방법 (ROI Scalability Method Based on H.264/SVC)

이 정 환, 유 혁*

(Jung-Hwan Lee, Chuck Yoo)

Abstract : The H.264/SVC enables network-adaptive video transmission to smart device which uses wireless network. But, quality scalability of H.264/SVC does not consider personal subjective image quality. In addition, its network efficiency also does not optimized because it uses MGS(Medium Grained Scalability) and CGS(Coarse Grained Scalability). Thus, this paper proposed a new scalable ROI algorithm for not only subjective image quality improvement but also network adaptation. To experiment our proposed a scheme, we added designed algorithm to JSVM(Joint Scalable Video Model) open source video codec of H.264/SVC. Experiment was performed according to the pre-defined scenario for simulating various network conditions. Finally, experimental result showed our proposed scalable ROI scheme. It is better than traditional non-selective scheme in subjective video quality.

Keywords : H.264, Scalable Video Coding, ROI(Region of Interesting), MGS(Medium Grain Scalability)

1. 서 론

1. 서론

현재의 네트워크 환경은 유선 환경에서 무선 환경으로 변모해 가고 있다. 그와 더불어 사용자 기기들도 다양한 무선 네트워크에 대한 지원을 확대하고 있다. 그러나 무선 네트워크에서는 사용자의 위치와 주변 환경에 따라서 일정한 대역폭을 유지할 수 없으며, Wibro, EVDO, HSDPA, WLAN 등 네트워크 특성에 따라 다양한 변수가 존재한다. 또한 Jitter로 인한 packet loss가 언제든지 발생할 수 있는 불안정한 환경이다[1].

이에 따라 무선 환경에서의 비디오 전송 역시 가변적 네트워크 환경(Bandwidth, Delay)에 따라

가변적인 비디오 코딩 방법이 필요해 졌다. 이에 따라 ITU-T Video Coding Experts Group(VCEG)의 Joint Video Team(JVT)와 ISO/IEC Moving Picture Experts Group(MPEG)은 향상된 네트워크 친화력과 압축 효율성을 위하여 MPEG-4와 H.263에서 특정 프로파일에서 적용하였던 Scalable Video Coding 기법을 H.264/AVC를 기본으로 하여 표준화를 진행하였고, 2007년 7월 H.264/SVC 표준안을 완성 하였다[2].

SVC는 Layered Video Coding 기법을 사용하여 AVC와 비교하여 약 10~15% 낮은 압축 효율을 보이지만 화면의 크기, Frame rate 그리고 화질에 대한 세 가지 부분에 대한 확장성을 지원한다. 이렇게 인코딩된 H.264/SVC는 대역폭과 비디오 콘텐츠의 특성에 따라 선택적으로 전송이 가능하다. 이러한 확장성 방법 중에서도 품질적 확장성은 CGS(Coarse Grain Scalability) 과 MGS(Medium Grain Scalability) 두 가지 방법을 이용한다. 이러한 방법은 모두 화면 전체에 대한 객관적인 품질적 확장성만을 고려하고 있다. 하지만 하나의 화면에서도 사용자들은 관심영역과 비 관심영역이 존재한다. 이러한 주관적인 화질 특징을 이용한 ROI(Region of Interesting)기법이 존재하며

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2009. 01. 06., 수정일 : 2009. 02. 17.,
채택확정 : 2009. 03. 18.

이정환, 유 혁 : 고려대학교 컴퓨터 전파통신 공학과

※본 연구는 서울시 산학연협력사업 전략산업 스마트 도시를 위한 지능형 도시정보 컨버전스 시스템개발의 지원으로 수행하였음

※이 연구에 참여한 연구자는 'BK21사업'의 지원비를 받았음.

surveillance system과 영상처리 분야에서 이용 되고 있다.

본 논문에서는 이러한 점에 착안하여 H.264/SVC의 Layered Video Coding을 이용하여 네트워크 환경에 따른 계층별 품질적 확장성을 관심영역에 적용하는 방법을 위해 Scalable ROI 알고리즘을 제안하였다. 이에 따라 H.264/SVC의 Bitstream Extractor를 이용한 후 처리 과정을 통하여 사용자 환경에 맞는 대역폭으로 비디오 데이터의 레이어와 관심영역의 범위를 추출하여 전송한다[3]. 이때 Scalable ROI 알고리즘에 동일한 대역폭으로 전송된 H.264/SVC 비디오 데이터 또한 관심영역과 비 관심영역간의 계층차이가 발생하며 두 영역간 주관적 화질 차이가 나타난다.

2. SVC(Scalable Video Coding)

H.264/SVC는 시간적, 공간적, 품질에 관한 확장성을 지원한다. 시간적 확장성이란, B 프레임간 상호참조가 가능한 계층적 B프레임을 정의 하고, 이를 통해 IDR(Instant Decoder Refresh)과 GOP그룹 단위별로 계층적 B프레임을 통한 프레임 레이트 변화를 시간적 확장성이라고 한다.

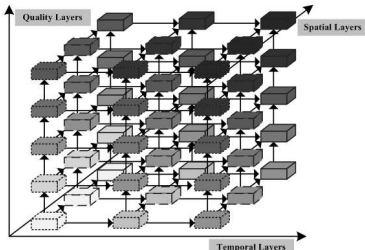


그림 1. H.264/SVC 확장성 모델
Fig 1. H.264/SVC Scalable Model

공간적 확장성이란, 그림 1의 대각선 방향처럼 해상도별 계층적 레이어가 존재하고 상위 레이어들은 하위 레이어의 MV(Motion Vector), 디코딩된 픽셀값 등을 참조하여 해상도를 향상 시킨다.

품질적 확장성에는 CGS, MGS, FGS 방법이 존재한다. 이 방법들은 상위계층의 레이어가 얼마나 밀집되어 있는냐에 따라서 구별 된다. CGS는 각 계층별 부호화로 변형 계수를 수정하는 방법을 사용했기 때문에 상위 계층의 밀집도가 낮아진다.

MGS는 기존의 CGS 방법과 FGS 방법의 중간단계의 상위계층의 밀집도를 구현 할 수 있다. MGS는 기존의 FGS 기반의 예측 구조로 CGS의 추출

지점수를 증가 하는 방법을 사용하여 FGS 보다 계산 복잡도는 낮고, CGS 보다 상위계층 레이어의 밀집도는 증가시킨다. H.264/SVC에서는 계산 복잡도는 비교적 낮으면서 상위계층의 밀집도를 통한 확장성 보장을 위해 CGS 와 MGS 기법을 표준화 하였다[4].

3. ROI(Region Of Interesting)

ROI코딩에 관한 기술은 다양하지만 그 목적은 높은 화질의 관심영역과 낮은 화질의 비 관심영역을 배경 부분으로 지정 하는 데 있다. 관심영역이란 동일한 화면에서도 사용자의 주관적인 관점 때문에 중요 영역과 그렇지 않은 영역으로 구분 된다는 것이다. 예를 들어 고속 도로 surveillance system에서 움직이는 자동차 들은 관심영역이지만, 주변의 나무들과 도로는 관심영역이 아니다. 하지만 ROI기법을 이용하기 위해서는 영역을 설정하고, 설정한 영역의 영상 품질을 높이며, 관심영역과 비 관심영역의 MB에 대한 경계부분을 처리해야 한다는 문제가 있다[5]. ROI를 지정하는 데에는 두 가지 방법으로 분류 할 수 있다.

3.1. 수동적 관심영역 지정 방법

수동적인 방법은 인코딩 시에 미리 정의 되어 있는 영역을 환경에 변화에 상관없이 관심영역을 설정 하는 것이다. 이 방법의 예로는 화면 전체가 고정되어 있는 CCTV의 경우 사용자가 화면의 특정 부분을 원할 때 쓰인다[6]. 이 방법은 인코딩 전 단계에서 미리 정의해둔 특정 위치만을 인코딩 한다.

3.2. 능동적 관심영역 지정 방법

능동적인 방법은 ROI가 지정 되어 있는 것이 아니라 환경이나 콘텐츠에 따라 변할 수 있다. 이런 방법으로는 MV(Motion Vector)을 이용하여 벡터 값이 큰 부분을 관심영역으로 지정하는 방법[7]과, 움직임 예측 단계에서 전, 후 프레임간 움직임의 차이 값에 따라서 설정하는 방법, FMO(Flexible Macroblock Ordering)을 통해 영역을 분할하는 방법이 있다[8]. 또한 관심 영역에 대해서만 화질 개선을 위해 인코딩 단계에서 QP(Quantization Parameter)의 수치를 조절하는 방법, 웨이블릿(Wavelet) 변환 단계에서 HH필터를 통과하게 하여 화질을 개선시키는 방법이 있다.

그림2(a)은 전체 화면에서 특정한 영역에 대해 인코딩전 미리 지정하여 관심영역을 추출하는 방법이다. 그림2(b)는 인코딩 시에 Motion Vector를



(a) (b) (c)

그림 2. 관심영역 지정 방법

Fig 2. Interesting Area Define Method

활용하여 움직임이 가장 많은 영역을 관심영역으로 지정하는 방법이며, 그림2(c)는 MB(macroblock)의 종류에 따라서 범위로 지정하는 방법이다. 이러한 ROI기법을 이용하여 네트워크 환경과 사용자 기기의 네트워크 인터페이스별 능동적인 전송이 가능하다. 하지만 관심영역을 지정 하는 단계와 관심영역과 비 관심영역을 디코딩과정에서 계산 복잡도가 증가한다는 단점이 있다.

II. 본 론

1. 시스템 구성도

1.1 관심영역 구성 방법

그림 3은 전체 화면에서 관심영역을 지정 하는 방법이다. 본 논문에서는 우선순위가 가장 높은 관심영역을 화면중앙으로 화면으로부터 먼 부분을 비 관심영역 으로 지정 하였다. 그 다음 단계로 각 MB(Macro Block)의 정렬을 위해 FMO(Flexible Macro Ordering)의 Box-Out 기법을 이용하였으며, 관심영역은 단계별로 나누어 계산된다. 그 후 그림 3과 같이 정렬 하였다[4],[5].

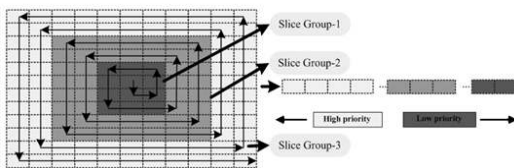


그림 3. 전체 화면에서의 관심영역 지정방법

Fig 3. Whole Area Interesting Area Define Method

H.264/SVC에서는 같은 비트율로 전송 하더라도 확장성 종류에 따라 상호 교환 관계에 있다. 이에 따라 사용자는 세 가지 확장성 중에서 선택적으로 우선순위를 두어 비디오 데이터를 전송 받을 수 있고, 이를 위해서 인코딩 다음 과정으로 Bitstream_Extractor가 필요하다.

그림 4에서의 Scalable ROI_Extractor는 기존 Bitstream_Extractor 기능에 Scalable ROI 알고리즘을 적용하여 같은 비트율에서도 추출 계층과 관심영역의 범위가 기존 방법과 차별화 된다.

또한 H.264/SVC 모델에서 Scalable ROI를 적용하기 위해서는 계층적 확장성 안에서의 공간적 영역을 추출 하는 기능이 필요하다. 이를 위하여 인코딩 과정에서의 품질적 확장성 레벨과 관심영역에 해당하는 블록에 대한 정보를 PPS(Picture Parameter Set)에 저장한다.

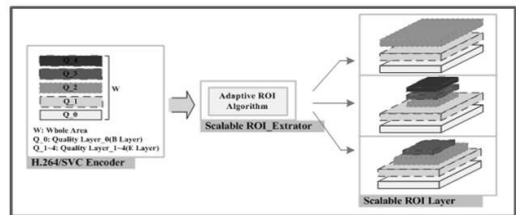


그림 4. Scalable ROI 구조

Fig 4. Scalable ROI Structure

이렇게 저장된 정보를 주기적인 PPS의 전송을 통해 관심영역의 범위를 재조정한다. 이때 에러발생에 대처하기 위해 FEC(Forward Error Correction)기법을 영역별로 적용한다. 그 후 Bitstream_Extractor에서 대역폭과 품질적 확장성

레벨을 이용하여 Scalable ROI 알고리즘에 따라 추출할 관심영역의 범위와 품질적 레벨을 선택한다.

표 1. 알고리즘 의미
Table 1. Algorithm Mean

Symbol	Meaning
Bw()	Bandwidth
Sr()	Scalable ROI 함수
FO	Quality Flag 의 수
Total()	Encoding data 전체의 Quality Scalability
Extractor()	Sr()에 의해 추출된 Quality Scalability
n~m	Sr_Base Layer
l~j	Sr_Enhancement Layer

우선 전체 대역폭 Bw()은 기본계층 및 Sr()이 적용 되지 않는 계층과 Sr()이 적용 되는 상위계층의 전체 데이터 합을 넘지 않는다. 아래 식에서의 n~m까지는 기존 기본계층과 낮은 수준의 향상계층에서 Sr()의 적용 하지 않은 계층까지의 품질적 레벨의 범위를 의미한다. l~j까지는 Sr()이 적용된 상위계층의 범위를 의미한다. C는 선택된 계층의 품질적 구분계수로써 기본계층과 Sr()이 적용되지 않은 계층에 대해서는 계층별 MGS의 구분 정도의 최대값을 가지며, c는 Sr()이 적용된 영역에 MGS 품질 구분에 따라 다른 값을 가지며, 그에 대한 계산은 아래 수식에 의해 계산된다.

$$Bw(x) \geq \sum_{n=0}^m Size(Total_{id(n)}(C)) + \sum_l^j Size(sr_{id(l)}(c_l)) \quad (1)$$

$Sr_{id}()$ 는 확장성 계층과 전체 화면에서 관심영역의 화면의 크기에 따라 다르게 계산되어야 한다.

아래 수식에서의 f()는 MGS Quality에 의해 구별된 Quality Flag의 수를 의미한다.

$$\text{if} [f(Total_{id}(n)/2) > f(Extractor_{id}(n))] \quad (2)$$

$$Sr0_{id}(n) = none$$

$$\text{if} [f(Total_{id}(n)) = f(Extractor_{id}(n))] \quad (3)$$

$$Sr1_{id}(n) = \sum_{i=0}^j \{f(Extractor_{id+i}(n))/j + 1\}$$

$$\text{if} [f(Total_{id}(n)/2) \leq f(Extractor_{id}(n))] \quad (4)$$

$$Sr2_{id}(n) = \sum_{i=0}^j \max \left[\left[\frac{f(Extractor_{id+i}(n))}{j} \right], \left[\frac{f(Extractor_{id+i+1}(n))}{j} \right] \right]$$

$Sr0_{id}()$ 는 전체화면에서 관심영역을 추출하려 하지만 Quality Flag의 수가 추출 후 영상이 개선되

는 최소값에 미치지 못해 Scalable ROI 방법을 적용하지 못하고 있다.

$Sr1_{id}()$ 은 전체화면의 최상위 계층에 Quality Flag가 최대로 적용된 경우이다. 이때 j는 Scalable ROI를 적용한 상위계층이다. 따라서 $j = m - (n - 1)$ 이다. 또한 전체화면에서 Quality Flag값을 최대로 가졌던 계층을 j값에 따라 적용된 계층의 수와 계층별 Quality Flag수가 달라지기 때문에 화면의 크기가 달라진다.

$Sr2_{id}()$ 는 전체화면에서는 Quality Flag값이 절반이상의 경우를 대상으로 하고 있다. Scalable ROI는 대역폭의 크기와 전체화면의 Quality Flag 개수에 따라 화면의 크기가 다르게 적용 된다. 따라서 $Sr_{id}()$ 가 적용되는 계층과 최상위 계층과의 Quality Flag수와 j 값에 따라서 ROI의 크기가 달라진다. 하지만 Scalable ROI가 적용된 계층들간에는 상위계층이 하위계층보다 크기가 클 수 없다.

III. 실험

실험을 위한 인코딩, 디코딩, 후처리 과정에는 JSVM 9.13 Version을 이용한다[9].

실험은 Encoding 후 처리 가능한 Bitstream_Extractor를 제안된 방법에 따라 구성하여, 다양한 품질적 확장성을 갖는 H.264/SVC 비디오 데이터에서 품질적 단계와 관심영역에 대하여 비트율에 기반을 두어 추출한다.

표 2 . 부호화 옵션

Table 2. Encoding Options

Attribute	Value
GOPSize	16
CgsSnrRefinement	MGS
Quantization Parameter	40,36,32,28,24,20
NumLayers	25
SlcGrpMapType	Box-out

인코딩 옵션은 표2과 같이 다섯 단계의 품질적 확장성과 MGS방법을 이용하였으며, FMO Type은 Box-out 기법을 이용하였다. 이렇게 인코딩 된 비디오 데이터는 다양한 비트율 별로 추출 한 후, 추출된 영상을 품질적 확장성을 갖는 레이어와 그 레이어의 Flag Level별로 정렬 한다. 그 후 Scalable ROI 알고리즘을 적용한 Scalable ROI_Extractor와 기존의 Extractor별로 구분 하여 추출한다. 최종적

으로 Scalable ROI_Extractor를 추출된 데이터는 세 가지 방식으로 추출된다.

```

=====Extraction Information=====
Extracted spatial layer : 352x288
Extracted temporal rate : 30f/s

quality_id statistics for dependency_id 0
quality_id 0 - total: 30 retained: 30
quality_id 1 - total: 30 retained: 30
quality_id 2 - total: 30 retained: 15

=====Extraction Information=====
Extracted spatial layer : 352x288
Extracted temporal rate : 30f/s

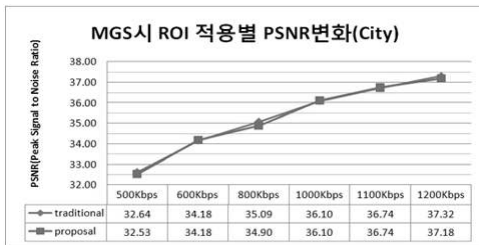
quality_id statistics for dependency_id 0
quality_id 0 - total: 30 retained: 30
quality_id 1 - total: 30 retained: 30
quality_id 2 - total: 30 retained: 30
    
```

(a)City 700Kbps (b)City 800Kbps

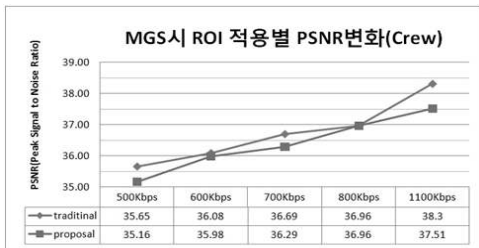
그림 5. 비트율에 따른 Quality Level 차이

Fig 5. Quality Level Difference of Each Bitrate

그림 5는 각기 다른 비트율에 따른 Quality Level의 차이를 보여 주고 있다. 즉 한번의 인코딩으로 구성된 비디오 데이터의 추출과정에서의 품질적 차이를 보여준다. 이러한 Quality Level의 차이는 그림 6의 비트율에 따른 PSNR 그래프를 보면 알 수 있다.



(a) City



(b) Crew

그림 6. 전체 영상에 대한 화질 비교

Fig 6. Whole Area Quality Comparison

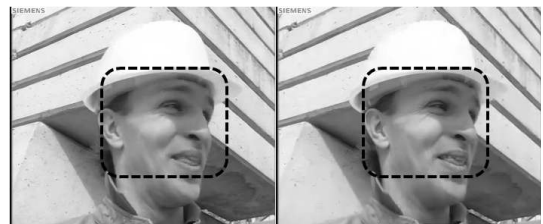
그림 6의 (a)City는 500Kbps, 800Kbps, 1200Kbps 에서는 첫 번째 방법의 알고리즘이 적용되었고, 600Kbps, 1000Kbps, 1100Kbps에서는 기존방법과 동일한 방법으로 추출 되었다. 그래프에서 알 수 있듯이 전체 화면에 대한 PSNR 수치는 제안된 방법이 더 낮게 나타난다. 그 이유는 관심영역과 비 관심영역의 경계에서 발생하는 왜곡 현상과 비 관심영역은 기존방법보다 낮은 PSNR값이 측정되기

때문이다. 또한 그림6 (b)가 기존 방법과 제안하는 방법의 PSNR차이가 크게 나타나는 이유는 콘텐츠의 특성 때문이다.

각 대역폭에 따라 Scalable ROI에 따라 Flag Level이 구분되며 관심영역의 범위도 달라진다. 표2의 Quality Level은 MGS로 인코딩된 264 비디오 데이터의 계층을 의미하여 하나의 계층은 30개의 계층으로 나뉜다. 이때 한 단계의 Quality Level로도 화질개선 효과가 나타난다.

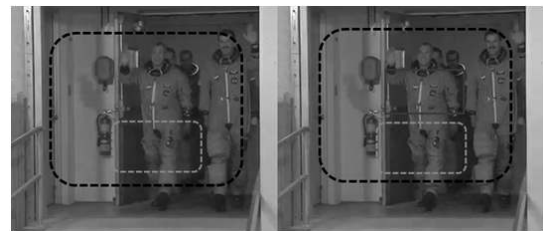
Scalable ROI 알고리즘이 적용된 그림7 (b)는 ROI영역에 대하여 더 많은 향상계층의 Flag_Level을 포함하고 있지만, 비 ROI영역에 대해서는 더 낮은 화질을 나타낸다.

그림 7의 (a),(b)영상은 Foreman 콘텐츠를 표 2의 부호화 옵션을 이용하여 인코딩된 영상을 800Kbps의 비트율로 추출한 영상의 한 프레임이다. (a),(b) 두 영상을 비교 하면 MGS기법과 FMO 기법을 적용한 (a)영상에 비하여 Scalable ROI의 세 번째 알고리즘이 적용된 (b)영상은 화면의 중앙에서부터 화질개선 효과가 있다. 특히 눈가의 주름이나 입 주변의 화질이 개선됨을 알 수 있다. 그림 7의 (c),(d)영상 또한 같은 부호화 옵션을 거친 영상이다. 특히 그림 6(b)의 700Kbps의 한 장면을 갈무리한 화면이다. 전체 화면에 대한 PSNR은 (c)영상이 높지만 Scalable ROI 두 번째 알고리즘이 정의된 (d)영상의 관심영역의 화질이 개선됨을 알 수 있다.



(a)Traditional method

(b)Proposed method



(c)Traditional method

(d)Proposed method

그림 7. 디코딩 후 영상 비교

Fig 7. After Decoding Image Comparison

그림 8은 그림 7의 Foreman 콘텐츠의 영역별 화질 비교를 한 그래프이다. 전체 화면에 대해서는 제안하는 방법의 화질이 0.4dB정도 더 낮게 나타나지만, 관심영역에서는 2.9dB 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

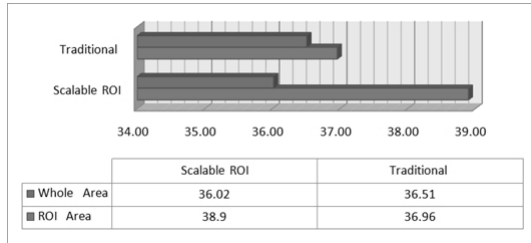


그림 8. 영역별 화질 비교

Fig 8. Each Area Quality Comparison

IV. 결 론

H.264/SVC는 한번의 인코딩을 통한 비디오 소스 파일로 다양한 사용자에게 전송이 가능하다. 또한 세 가지 확장성을 이용하여 적응적으로 전송이 가능하다. 본 논문은 Scalable Video Codec의 이러한 특징과 하나의 영상을 사용자 관심도에 따라 영역별로 분류 하여 제안한 알고리즘에 따라서 전송하였다. 이 과정에서 표준 H.264/SVC를 수정하지 않고 계산 복잡도가 높지 않는 추출하는 과정을 통한 모델을 제시하였다. 이렇게 추출된 영상은 관심도에 따라서 다른 품질적 단계를 갖는다. 이러한 영상은 상대적으로 화면의 크기가 작은 Mobile Device으로의 비디오 데이터 전송 시 제한된 대역폭에서도 주관적 화질 개선을 할 수 있다. 또한 움직임이 적은 감시 카메라의 경우 MV(Motion Vector)를 이용한 관심영역 추출 기법과 Scalable ROI기법을 이용한다면 영역별 다른 품질로 인해 저장용량 및 전송량을 줄일 수 있다.

그러나 영역별 단계적 품질을 구현하기 위하여 필요한 PPS(Picture Parameter Set)의 데이터, 향상계층의 영역 추출을 위한 방법이 기존 인코딩 기법에 추가적으로 필요 하다. 또한 기존 Bitstream Extractor 보다 계산 복잡도가 높다는 단점과 디코딩시 상위 향상 계층에 대한 영역이 다르므로 인해 블록 매칭을 통한 방법이 선행 되어야 함으로써 기존 방법보다 복잡도가 높다는 문제가 향후 과제로 남아 있다.

참고문헌

- [1] Thomas Schierl, Thomas Stockhammer, Thomas Wiegand, "Mobile Video Transmission Using Scalable Video Coding", IEEE TRANSACTIONS, Vol. 17, No. 9, September. 2007.
- [2] Huifang Sun, Antony Veto, Jun Xin, "An overview of scalable video steaming", WIRELES COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING, pp. 159-172, 2007.
- [3] Seong-Jun Bae, Soon-heung Jung, Jung Won Kang, Jeong-Ju Yoo, "Media Adaptation System for Contents Service Environments Using Scalable Video Coding", Journal of IEMEK, Vol.3, pp. 175-181, December. 2008.
- [4] Said Benierbah, Mohamed Khamadja, "A New Technique for Quality Scalable Coding with H.264", IEEE transactions on circuits and systems for video technology, Vol.15, pp. 1332-1340, November. 2005.
- [5] Truong Cong Thang, Tae Meon Bae, "Spatial Scalability of Multiple ROIs in Surveillance Video", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M12010, April. 2005.
- [6] Rong Luo, Bin Chen, "A Hierarchical Scheme of Flexible Macroblock Ordering for ROI based H.264/AVC Video Coding", 08' ICAC, Vol. 3, pp. 1579-1582, February. 2008.
- [7] Jun-Ren Ding, Jar-Ferr Yang, Ji-Kun Lin, "Motion-based Adaptive GOP Algorithms for Efficient H.264/AVC Compression", JCIS, October. 2006.
- [8] P. Lambert, W. De Neve, Y. Dhondt, and R. Van de Walle, "Flexible Macroblock ordering in H.264/AVC", Journal of Visual Communication & Image Representation, Vol. 17, pp. 358-375, January. 2006.
- [9] SVC Reference Software, [Online]. Available: CVS server(host: garcon.ient.rwth-aachen.de)

저 자 소 개

이 정 환(Junghwan Lee)



2007년 2월 : 성결대학교
멀티미디어공학과 학사
2007년 3월~2009년 2월 :
고려대학교 컴퓨터 학과
석사

관심분야 : Video Streaming, Scalable
Video Codec

Email : jhlee@os.korea.ac.kr

유 혁(Chuck Yoo)



1982년 2월 : 서울대학교
전자공학과 학사
1983년 2월 : 서울대학교
전자공학과 석사
1986년 8월 : Master of
Computer Science in
University of Michigan

1990년 8월 : Ph.D of Computer Science
in University of Michigan

1990년~1995년 : Sun Microsystems Lab.
Researcher

1995년~현재 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수

관심분야 : 시스템 가상화, 멀티 코어 플랫폼,
커널 네트워킹, 센서 네트워킹, 멀티미디어
스트리밍

Email : hxy@os.korea.ac.kr