

동영상 부호화의 움직임 추정 및 보상을 위한 고속 다중 참조 프레임 선택 기법

준회원 김 재 훈*, 정회원 김 명 진**, 홍 민 철**

Fast Multiple Reference Frame Selection Method for Motion Estimation and Compensation in Video Coding

Jae-Hoon Kim* Associate Member, Myoung-Jin Kim**, Min-Cheol Hong** Regular Members

요 약

본 논문에서는 동영상 부호화 방식의 움직임 추정을 위한 고속 다중 참조 프레임 선택 기법에 대해 제안한다. 움직임 추정을 위해 다중 프레임을 참조하는 H.264 동영상 부호화 방식의 경우, 블록별로 선택된 최적의 참조 프레임들은 일정한 상관관계를 유지하는 특성이 존재한다. 제안 방식은 이러한 통계적 특성을 이용하여, 임의의 블록 크기의 움직임 추정 모드에서 선택된 최적의 참조 프레임 정보를 이용하여 하위 블록 크기의 움직임 추정 모드에서 사용할 참조 프레임을 예측한다. 실험 결과를 통해 5개의 참조 프레임 사용을 기준으로 제안하는 기법을 사용하였을 때, 움직임 추정에 소요되는 시간은 가용한 모든 참조 프레임에 대해 움직임 추정을 수행하는 방식 대비 평균 60% 감소되었으며, PSNR 및 발생 비트율 측면에서 거의 동일한 성능을 유지함을 확인할 수 있었다.

Key Words : H.264, Motion estimation, Multiple reference frame selection, Statistical characteristic.

ABSTRACT

In this paper, we propose a fast multiple reference frame selection method for motion estimation and compensation in video coding. Reference frames selected as an optimal reference frame by variable block sizes motion estimation have the statistical characteristic that was based on block size. Using the statistical characteristic, reference frames for smaller block size motion estimation can be selected from reference frame which was decided as an optimal one for the upper layer block size. Simulation results show that the proposal method decreased the computations about 60%. Nevertheless, PSNR and bit rate were almost same as the performances of original H.264 multiple reference motion estimation.

I. 서 론

이동통신망과 같은 새로운 통신채널의 급속한 보급과 고화질 동영상 서비스의 요구가 증대되면서, 압축효율이 더욱 향상된 동영상 부호화 방식의 필요

성이 대두되었다. 이와 같은 흐름에 따라 각 기업체, 연구소 및 학계에서 다각적인 연구를 시작하여, 현재의 H.264 동영상 표준 부호화 방식이 탄생되었다. 차세대 표준 동영상 표준 부호화 방식인 H.264는 기존의 방식 대비 50% 이상의 높은 압축률을 제공

* 본 연구는 서울시 산학연협력 사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠 컨버전스 클러스터 지원 및 숭실대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었음.

* 중앙시스템 (nafume@hyoncorp.com)

** 숭실대학교 정보통신전자 공학부 (webzealer@ssu.ac.kr, mhong@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-05-226 , 접수일자 : 2007년 5월 22일, 최종논문접수일자 : 2007년 10월 8일

하며, 그에 따라 동일 전송 채널 폭을 사용할 경우 개선된 화질을 제공할 수 있다. H.264 동영상 표준 부호화 방식은 부호화 효율을 극대화하기 위해 기존의 방식 대비 여러 가지 새로운 기법들을 채택하고 있으며, 이러한 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 가장 큰 특징 중의 하나는 움직임 추정 방식의 변화로 볼 수 있다. H.264 동영상 표준 부호화 방식의 움직임 추정은 가변 블록 크기의 다양한 모드와 1/4 화소 단위의 움직임 벡터, 다중 참조 프레임 방식을 채택하고 있다. 이러한 요소는 원영상과 움직임 보상된 영상간의 잔여신호를 최소화함으로써 부호화 효율을 높이는데 주된 역할을 한다^[1-8].

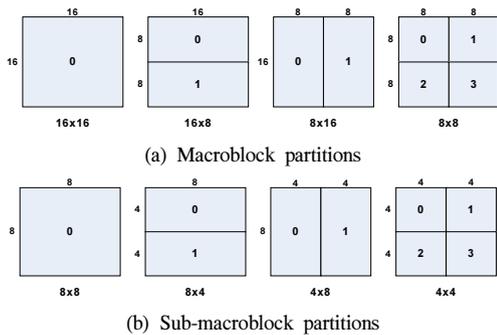


그림 1. H.264 동영상 표준 부호화 방식의 움직임 추정을 위한 가변 블록 크기의 분할 모드

그러나 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 움직임 추정은 가변 블록 크기의 7가지 모드를 지원하기 때문에^[1-4], 각 모드에 대해 전역 탐색(Full Search)을 실시할 경우, 기존의 동영상 부호화 방식 대비 약 7배의 연산량이 요구된다. 또한 다중 참조 프레임 방식을 사용하기 때문에^[1-4] 움직임 추정에 필요한 연산량은 가용한 참조 프레임의 개수에 비례하여 더욱 증가한다. 따라서 다중 참조 프레임 방식으로 인해 얻을 수 있는 예측 이득(prediction gain)은 상황에 따라 매우 클 수도 있지만, 그렇지 않은 경우엔 부호화 효율 개선에 어떠한 이득도 없이 막대한 양의 연산이 낭비된다. 그러므로 움직임 추정을 수행할 참조 프레임의 개수를 줄이기 위하여 가능성 높은 참조 프레임을 사전에 예측하는 기법은 불필요한 움직임 추정 과정의 연산을 줄일 수 있으므로 실시간 시스템의 개발에 필수적이라 할 수 있으며, 최근에 이와 관련된 연구들이 활발히 진행되고 있다^[9-14].

다중 참조 프레임 방식에 의해 증가된 연산량을 줄

이기 위한 기존의 참조 프레임 선택 기법은 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 움직임 추정 순서를 따르지 않는 이유로 움직임 추정 과정 중 일부를 반복하도록 구현해야 하고, 데이터의 통계적 특성에 기반 하여 여러 개의 임계치를 사용했기 때문에 입력 영상 시퀀스에 따라서 그 성능이 크게 좌우될 수 있으며, 추가적인 참조 프레임 코스트 계산 과정을 필요로 하여 많은 연산량을 낭비 하는 등의 문제점이 있다^[9-10].

따라서 본 논문에서는 비교적 추가적인 연산량을 요구하지 않고, 입력 영상 시퀀스의 특성에 관계없이 안정적인 성능을 갖는 고속 다중 참조 프레임 선택 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 모드별로 선택되는 참조 프레임의 통계적 특성을 살펴보고, III장에서 제안된 기법에 의한 실험 결과를 보이며, IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 제안 방식

2.1 참조 프레임 선택의 통계적 특성

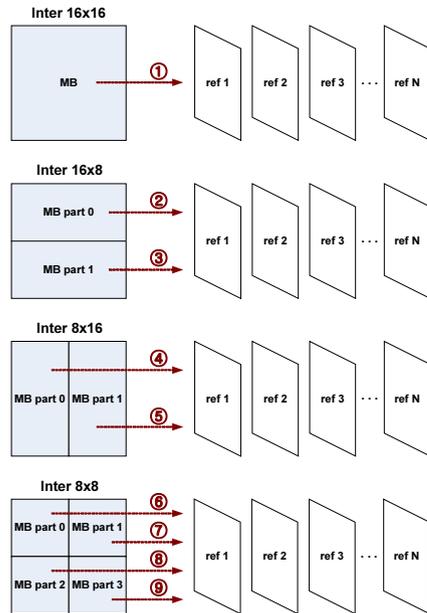


그림 2. JM9.0의 움직임 추정 과정

위의 그림 2는 JM(Joint Model)9.0에 구현되어있는 모드별 움직임 추정 과정을 나타낸 것이다. 각 모드의 서브 블록 별로 가용한 참조 프레임 모두에 대해 움직임 추정을 수행하며, Inter16×16 모드에

서 Inter4×4 모드까지의 순서로 움직임 추정을 수행한다.

H.264 동영상 표준 부호화 방식의 가변 블록 크기의 움직임 추정은 동일 매크로블록을 각 모드에 따른 서브 매크로블록으로 나누어 움직임 추정을 반복 수행하는 것이다. 따라서 각 움직임 추정 모드에서 선택되는 최적의 참조 프레임 간에는 일정한 상관관계가 존재할 수 있고, 다음의 표에서 이러한 통계적 특성을 확인할 수 있다.

표 1. 참조 프레임 선택의 통계적 특성

| Sequences | Case A | Case B |
|--------------|--------|--------|
| Stefan | 0.88 | 0.81 |
| Table tennis | 0.94 | 0.92 |
| Foreman | 0.89 | 0.86 |
| Mobile | 0.90 | 0.79 |
| Claire | 0.95 | 0.94 |
| Average | 0.91 | 0.86 |

위의 표 1은 JM9.0 소프트웨어의 움직임 추정 과정을 5개의 참조 프레임을 사용하여 수행한 경우의 통계자료이다. 표 1에서 Case A는 Inter16x16 모드에서 선택된 최적의 참조 프레임이 Inter16x8 모드나 Inter8x16 모드에서도 최적의 참조 프레임으로 선택된 경우의 확률을 나타낸 것이고, Case B는 Inter16x8 모드나 Inter8x16 모드에서 선택된 최적의 참조 프레임이 Inter8x8 모드에서도 최적의 참조 프레임으로 선택된 경우의 확률을 나타낸 것이다. 각각의 경우에 대한 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Case A} &= P\left[\left(R_{16 \times 8}^m(i) \cup R_{8 \times 16}^n(i)\right) \mid R_{16 \times 16}(i)\right] \\
 \text{Case B} &= P\left[R_{8 \times 8}^k(i) \mid \left(R_{16 \times 8}^m(i) \cup R_{8 \times 16}^n(i)\right)\right] \\
 &\text{for } i = 1, \dots, N \\
 m &: 16 \times 8 \text{ mode sub-MB index} \\
 n &: 8 \times 16 \text{ mode sub-MB index} \\
 k &: 8 \times 8 \text{ mode sub-MB index}
 \end{aligned} \tag{1}$$

표 1에서 볼 수 있듯이 임의의 블록 크기의 움직임 추정 모드에서 선택된 최적의 참조 프레임은 그보다 작은 블록 크기의 움직임 추정 모드에서도 최적의 참조 프레임으로 선택될 확률이 평균 90%임을 확인할 수 있다. 그러므로 상위 블록 크기의 움직임 추정 모드에서 계산된 가용한 참조 프레임들의 코

스트 정보를 이용하여 하위 블록 크기의 움직임 추정 모드에서 사용될 참조 프레임을 선택할 수 있음을 알 수 있다.

2.2 고속 다중 참조 프레임 선택 기법

본 논문은 앞에서 제시한 통계적 특성의 분석 결과를 바탕으로, 각 모드별로 움직임 추정을 수행할 참조 프레임을 선택하는 방식을 제안한다. 그림 3은 제안하는 방식의 수행 과정을 나타낸 것이다.

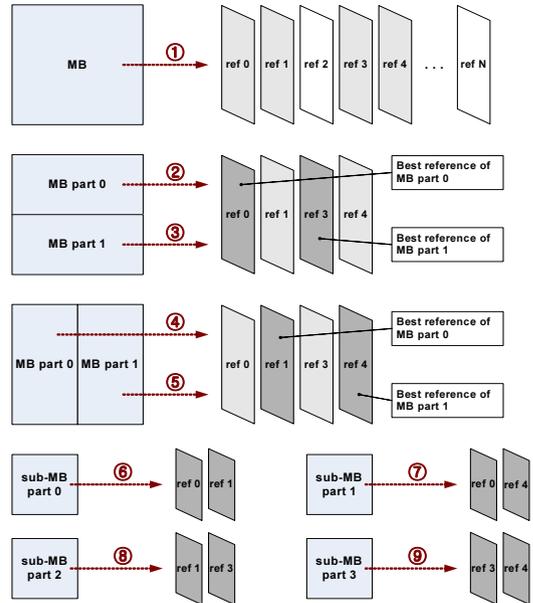


그림 3. 제안 방식의 수행 과정

제안 방식은 기존의 움직임 추정 과정과 같이, 각 움직임 추정 모드에 대해 가용한 참조 프레임들의 코스트를 계산하게 되며, 이 코스트를 바탕으로 더 작은 블록 크기의 움직임 추정 모드에서 사용할 참조 프레임을 결정한다.

고속 다중 참조 프레임 선택은 우선적으로, Inter 16×16 모드의 움직임 추정을 가용한 모든 참조 프레임에 대해 수행한다. 이 때 하나의 매크로블록 내에서 참조 프레임을 선택할 수 있는 최소 블록 단위는 8×8 서브 매크로블록 이므로, 하나의 매크로블록이 최종적으로 참조 하게 되는 참조 프레임의 개수는 최대 4개가 된다. 따라서 Inter16×16 모드에서 계산된 참조 프레임들의 코스트를 기준으로 4개의 참조 프레임 인덱스를 코스트가 낮은 순서로 재정렬한다.

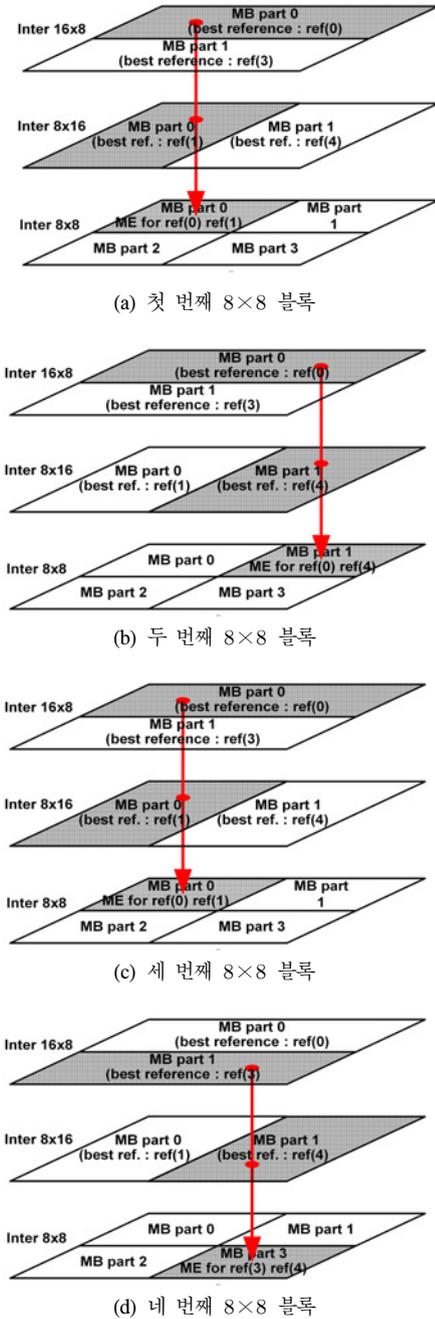


그림 4. Inter8x8 모드의 움직임 추정을 수행할 참조 프레임 선택 과정

다음으로, Inter16x8 모드와 Inter8x16 모드에서 선택된 최적의 참조 프레임을 Inter8x8 서브 블록 모드의 움직임 추정에 사용한다. Inter16x8 모드와 Inter8x16 모드는 하나의 매크로블록을 2개의 서브 매크로블록으로 나누어 움직임 추정을 수

행하게 되므로, Inter16x8 모드와 Inter8x16 모드에서 선택되는 최적의 참조 프레임은 각 모드별로 2개씩 선택될 수 있다. 따라서 Inter8x8 서브 블록 모드에서 사용될 참조 프레임의 최대 개수는 4개가 된다. 이와 같이 선택된 참조 프레임들 중 각각의 8x8 서브 매크로블록에서 사용될 참조 프레임은 다음과 같은 방법으로 다시 선택하게 된다.

그림 4와 같이 Inter8x8 모드에서의 각 8x8 서브 매크로블록은 그 위치를 포함하는 16x8 과 8x16 서브 매크로블록에서 선택된 최적의 참조 프레임에 대해서 움직임 추정을 수행한다. 그림 4의 (a)는 Inter8x8 서브 블록 모드에서의 첫 번째 서브 매크로블록인 MB part 0의 움직임 추정에 사용할 참조 프레임을 선택하는 예로서, Inter16x8 모드의 MB part 0에서 선택된 최적의 참조 프레임과, Inter8x16 모드의 MB part 0에서 선택된 최적의 참조 프레임에 대해 움직임 추정을 수행한다.

III. 실험 결과

본 실험에서는 QCIF 크기의 Stefan, Mobile, Foreman, Claire 영상을 4가지의 양자화 파라미터 (QP)와 2가지 크기의 탐색 영역에 대해 실험 하였다. 부호화기의 환경은 JM9.0에서 Baseline Profile, Level 3.0, R-D Optimization off 로 실험하였고, 5개의 참조 프레임을 사용하여 100 프레임을 부호화 하였으며, 움직임 추정 방식으로는 전역 탐색(Full Search) 기법을 사용하였다.

표 2부터 표 5까지는 본래의 JM9.0에 의한 실험 결과와 제안 방식에 의한 실험결과를 나타낸 것이다. 표에서 항목 TMET(Total Motion Estimation Time)은 100 프레임 부호화시 인터 예측 과정의 소요 시간을 나타내고, PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)은 $M \times N$ 크기의 8bits 영상에 대하여 원 영상 대비 복호화 된 영상의 잡음비율을 나타낸 것으로 다음 식 (2)로 구할 수 있다.

$$PSNR = 10 \log \frac{MN \times 255^2}{\|f - \hat{f}\|^2} \quad (2)$$

식 (2) 에서 $\|\cdot\|$ 는 유클리드 노름(Euclidean norm)을 나타내고, f 는 원영상, \hat{f} 은 복호화 된 영상을 나타낸다.

각 항목별로 Org(Original)는 가용한 모든 참조 프레임에 대해 움직임 추정을 수행하는 기존 방식

표 2. 실험 결과 (QCIF Foreman 영상)

| Search Range | | 16 | | | | 32 | | | |
|---------------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| QP | | 16 | 24 | 32 | 40 | 16 | 24 | 32 | 40 |
| TMET [sec] | Org | 435.70 | 407.21 | 361.11 | 301.08 | 1443.79 | 1324.47 | 1131.86 | 920.00 |
| | Pro | 165.78 | 158.03 | 148.73 | 137.54 | 547.24 | 518.33 | 473.48 | 427.14 |
| | % | 38.05 | 38.81 | 41.19 | 45.68 | 37.90 | 39.13 | 41.83 | 46.43 |
| PSNR [dB] | Org | 45.08 | 38.70 | 33.19 | 28.17 | 45.07 | 38.72 | 33.17 | 28.18 |
| | Pro | 45.06 | 38.68 | 33.17 | 28.12 | 45.05 | 38.69 | 33.17 | 28.17 |
| | Diff | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.05 | -0.02 | -0.03 | 0.00 | -0.01 |
| BR [kbits /s] | Org | 317.79 | 117.44 | 44.11 | 18.14 | 320.52 | 118.48 | 43.67 | 17.94 |
| | Pro | 318.11 | 117.46 | 43.86 | 18.28 | 321.89 | 118.65 | 43.84 | 18.15 |
| | Diff | 0.32 | 0.02 | -0.25 | 0.14 | 1.37 | 0.17 | 0.17 | 0.21 |

표 3. 실험 결과 (QCIF Stefan 영상)

| Search Range | | 16 | | | | 32 | | | |
|---------------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| QP | | 16 | 24 | 32 | 40 | 16 | 24 | 32 | 40 |
| TMET [sec] | Org | 524.35 | 498.55 | 459.96 | 402.29 | 1803.24 | 1697.80 | 1517.30 | 1282.62 |
| | Pro | 212.98 | 206.35 | 191.52 | 178.04 | 725.45 | 690.89 | 633.30 | 575.12 |
| | % | 40.62 | 41.39 | 41.64 | 44.26 | 40.23 | 40.69 | 41.74 | 44.84 |
| PSNR [dB] | Org | 44.60 | 37.54 | 30.69 | 24.79 | 44.62 | 37.58 | 30.73 | 24.81 |
| | Pro | 44.58 | 37.50 | 30.65 | 24.74 | 44.60 | 37.55 | 30.70 | 24.76 |
| | Diff | -0.02 | -0.04 | -0.04 | -0.05 | -0.02 | -0.03 | -0.03 | -0.05 |
| BR [kbits /s] | Org | 695.57 | 331.14 | 126.62 | 43.27 | 681.20 | 318.42 | 117.56 | 40.20 |
| | Pro | 704.48 | 340.87 | 130.15 | 45.92 | 685.91 | 323.07 | 121.18 | 40.61 |
| | Diff | 8.91 | 9.73 | 3.53 | 2.65 | 4.71 | 4.65 | 3.62 | 0.41 |

표 4. 실험 결과 (QCIF Mobile 영상)

| Search Range | | 16 | | | | 32 | | | |
|---------------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| QP | | 16 | 24 | 32 | 40 | 16 | 24 | 32 | 40 |
| TMET [sec] | Org | 422.48 | 409.69 | 379.71 | 346.18 | 1595.66 | 1503.33 | 1325.87 | 1150.86 |
| | Pro | 158.52 | 156.49 | 152.86 | 151.44 | 594.56 | 576.93 | 540.99 | 523.61 |
| | % | 37.52 | 38.20 | 40.26 | 43.75 | 37.26 | 38.38 | 40.80 | 45.50 |
| PSNR [dB] | Org | 44.04 | 36.66 | 29.85 | 24.14 | 44.04 | 36.66 | 29.86 | 24.17 |
| | Pro | 44.03 | 36.61 | 29.78 | 24.18 | 44.02 | 36.61 | 29.79 | 24.13 |
| | Diff | -0.01 | -0.05 | -0.07 | 0.04 | -0.02 | -0.05 | -0.07 | -0.04 |
| BR [kbits /s] | Org | 717.38 | 309.48 | 100.07 | 31.79 | 721.64 | 311.60 | 100.73 | 31.87 |
| | Pro | 720.86 | 312.42 | 100.14 | 32.10 | 724.31 | 314.19 | 100.62 | 31.92 |
| | Diff | 3.48 | 2.94 | 0.07 | 0.31 | 2.67 | 2.59 | -0.11 | 0.05 |

표 5. 실험 결과 (QCIF Claire 영상)

| Search Range | | 16 | | | | 32 | | | |
|---------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| QP | | 16 | 24 | 32 | 40 | 16 | 24 | 32 | 40 |
| TMET [sec] | Org | 196.48 | 170.38 | 136.34 | 115.50 | 630.62 | 546.94 | 440.34 | 373.06 |
| | Pro | 78.59 | 73.41 | 58.58 | 46.41 | 247.41 | 215.62 | 165.25 | 134.41 |
| | diff | 40.00 | 43.09 | 42.97 | 40.18 | 39.23 | 39.42 | 37.53 | 36.03 |
| PSNR [dB] | Org | 47.79 | 42.57 | 36.97 | 31.39 | 47.79 | 42.60 | 37.00 | 31.39 |
| | Pro | 47.77 | 42.55 | 36.96 | 31.45 | 47.77 | 42.55 | 36.96 | 31.44 |
| | Diff | -0.02 | -0.02 | -0.01 | 0.06 | -0.02 | -0.05 | -0.04 | 0.05 |
| BR [kbits /s] | Org | 98.00 | 33.12 | 10.99 | 4.26 | 98.30 | 33.19 | 11.03 | 4.29 |
| | Pro | 98.12 | 33.17 | 10.96 | 4.32 | 98.45 | 33.12 | 11.00 | 4.34 |
| | Diff | 0.12 | 0.05 | -0.03 | 0.06 | 0.15 | -0.07 | -0.03 | 0.05 |

의 결과를 나타낸 것이고, Pro(Proposal)는 제안된 고속 다중 참조 프레임 선택 기법에 의한 결과를 나타낸 것이다. 또한 %는 Org에 의한 결과 수치를 100%로 환산 하였을 때, 제안된 방식에 의한 결과 수치를 백분율로 나타낸 것이고, Diff(Difference)는 기존 방식과 제안된 방식에 의한 결과 수치의 차이를 나타낸다.

표에서 볼 수 있듯이 제안된 방식을 사용하였을 경우, 5개의 참조 프레임 사용을 기준으로 하여 움직임 추정에 소요되는 연산량은 기존의 방식 대비 평균 40% 이며, PSNR은 모든 실험 영상에 대해 0.1dB 이내의 화질저하만을 보였다. Foreman, Claire 영상과 같이 움직임이 정적이거나, 카메라의 움직임에 의한 전체 영역의 움직임과 같이 단순한 움직임이 많은 영상에 대해서는 기존의 방식에 의해 발생하는 비트율대비 1kbits/sec 이내의 비트율 증가만이 있었다. 반면에 Stefan, Mobile 영상과 같이 움직임이 빠르거나 복잡한 영상에 대해서는 기존의 방식에 의해 발생하는 비트율대비 평균 4kbits/sec 정도의 비트율 증가가 있었다. 그러나 Stefan, Mobile 영상은 기존의 방식에 의해 발생하는 비트율 또한 높으므로, 모든 실험영상에 대해 발생하는 비트율은 평균 1% 이내의 증가만이 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 H.264 동영상 표준 부호화 방식을 위한 고속 다중 참조 프레임 선택 기법을 제안하였다. 제안 방식은 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 움직임 추정에 적용하였으며, 일반적인 움직임 추정 과정 중 발생하는 코스트 정보를 이용한다. 제안 방식은 각각의 움직임 추정 모드에서 선택된 최적의 참조 프레임간의 상관관계에 기반 하여, 상위 블록 크기의 움직임 추정 모드에 대해 계산된 가용한 참조 프레임들의 코스트를 이용하여 그 다음 하위 블록 크기의 움직임 추정 모드에서 사용할 참조 프레임 선택하는 기법이다. 실험 결과로부터 제안 방식을 사용하는 경우, 동일 비트율에서 평균 0.05 dB 정도의 PSNR 저하를 갖는 반면, 평균 60% 이상의 연산량 절감이 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] *Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264|ISO/IEC 14496-10 AVC)* JVT-G050, Geneva, Switzerland, 23-27 May, 2003.
- [2] T. Wiegand, G. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luthar, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology*, vol. 13, pp.560-576, July, 2003.
- [3] Iain E.G. Richardson, *H.264 and MPEG-4 Video Compression*, Wiley, 2003.
- [4] J. Ostermann, J. Bormans, P. List, D. Marpe, M. Narroschke, F. Pereira, T. Stockhammer, and T. Wedi, "Video coding with H.264/AVC: tools, performance, and complexity," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol. 4, pp. 7-28, first quarter. 2004.
- [5] T. Wiegand, X. Zhang, and B. Girod, "Motion-compensating long-term memory prediction," *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing*, Santa Barbara, CA, Oct. 1997.
- [6] T. Wiegand, X. Zhang, and B. Girod, "Block-based hybrid video coding using motion-compensated long-term memory prediction," *Proc. Picture Coding Symp.* Berlin, Germany, Sept. 1997.
- [7] T. Wiegand, X. Zhang, and B. Girod, "Long-term memory motion-compensated prediction," *IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology*, vol. 9, pp. 70-84, Feb. 1999.
- [8] T. Wiegand and B. Girod, *Multi-Frame Motion-Compensated Prediction for Video Transmission*. Norwell, MA: Kluwer, 2001.
- [9] Y. W. Huang, B. Y. Hsieh, T. C. Wang, S. Y. Chen, S. Y. Ma, C. F. Shen, and L. G. Chen, "Analysis and reduction of reference frames for motion estimation in MPEG-4 AVC/JVT/H.264," *Proc. Int. Conf. Multimedia and Expo (ICME)*, vol. 2, pp. II - 809-812, July. 2003.
- [10] C. W. Ting, L. M. Po, and C. H. Cheung, "Center-biased frame selection algorithms for fast multi-frame motion estimation in H.264," *Proc. Int. Conf. Neural Networks and Signal Processing*, vol. 2, pp. 1258-1261, Dec. 2003.
- [11] A. Chang, O. C. Au, Y. M. Yeung "A novel approach to fast multi-frame selection for H.264 video coding," *Proc. Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS '03)*, vol. 2, pp. II-704-II-707, May. 2003.
- [12] H. J. Li, C. T. Hsu, M. J. Chen, "Fast multiple reference frame selection method for motion estimation in JVT/H.264," *Proc. IEEE Asia-Pacific Conf. Circuit and Systems*, vol. 1, pp. 605-608, Dec. 2004.
- [13] Y. Shen, C. Hunag, L. Yu, D. Zhang, J. Li, "Fast multiframe motion estimation algorithm in H.264," *Proc. Int. Conf. Signal Processing (ICSP '04)*, vol. 2, pp. 1187-1190, Sept. 2004.
- [14] Yu-Wen Huang, Bing-Yu Hsieh, Shao-Yi Chien, Shyh-Yih Ma, Liang-Gee Chen, "Analysis and Complexity Reduction of Multiple Reference Frames Motion Estimation in H.264/AVC," *IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology*, vol. 16, No. 4, pp.507-522, April 2006.

김 재 훈 (Jae-Hoon Kim) 준회원



2004년 2월 호서대학교 컴퓨터 공학과 졸업 (학사)
 2006년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 졸업 (석사)
 2006년 3월~현재 (주)하이온 콤팩트 연구원
 <관심분야> 동영상 부호화, Fast motion estimation, Error Concealment

김 명 진 (Myoung-Jin Kim) 정회원



2002년 2월 한국방송대학교 컴퓨터공학과 졸업 (학사)
 2005년 2월 한국방송대학교 정보공학과 졸업 (석사)
 2005년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정 재학중
 <관심분야> 영상통신 및 Rate Control, 동영상 부호화, 영상 복원 및 enhancement

홍민철 (Min-Cheol Hong)

정회원



1988년 2월 연세대학교 전자공
학과 졸업 (학사)

1990년 8월 연세대학교 전자 공
학과 졸업 (석사)

1990년 7월~1991년 8월 LG 정
보통신 연구원

1997년 9월 Northwestern Univer-
sity, 전기및 컴퓨터 공학과 졸업 (박사)

1997년 9월~1998년 8월 Northwestern Univer-sity,
Research Fellow

1998년 9월~2000년 2월 LG 전자, 선임연구원

2000년 3월~현재 숭실대학교, 부교수

<관심분야> 영상 복원 및 enhancement, 정지 및 동영
상 필터링, 동영상 부호화, 비선형 필터링, Image
Deconvolution, Rate Control