

Optimal Mode Prediction-based Fast Mode Decision Algorithm for H.264-based Mobile Devices

曹龍秀* · 金勇求** · 崔榮鎬†
(Yong-Su Cho · Yong-Goo Kim · Yung-Ho Choi)

Abstract - This paper proposes a novel scheme to significantly reduce mode decision time by predicting optimal mode candidates. Unlike previous fast mode decision algorithms computing RDcost in a pre-defined mode order, the proposed scheme predicts optimal mode candidates and calculates their RDcosts first, increasing the possibility to satisfy early-exit conditions sooner, resulting in fast mode decision. This H.264 mode decision time reduction enables small computing power mobile devices to handle H.264 encoding effectively. Extensive simulations show that, when compared with JM10.2, AMD and LCIMS, the proposed scheme boosts H.264 encoding speed by up to 575% with a reasonable image quality degradation.

Key Words : H.264, 최적 모드 예측, 고속 모드 결정, 영상 압축

1. 서 론

최근 다양한 멀티미디어 기기들이 널리 사용되고 그 수요도 빠르게 증가하고 있다. 이러한 멀티미디어 기기들 상에서, 비디오 압축 기술은 대용량의 영상 데이터를 제한된 네트워크 자원과 저장 공간의 제약을 극복하고, 효율적인 영상 데이터의 전송 및 저장을 가능하게 하는데 중요한 역할을 차지하고 있다. 특히 이러한 비디오 압축 기술들 중에서 가장 강력한 영상 압축 수단 중의 하나인 H.264 표준[1]은 영상 부호화 시 다양한 부호화 모드를 지원함으로써 높은 화질과 압축률을 제공한다. 그러나, 다양한 부호화 모드들 중 가장 최소의 비트율-왜곡치[2]를 지니는 최적의 모드를 선택하는 것은 매우 높은 복잡도를 요하기 때문에, 고품질 실시간 H.264 부호화기를 구현하기 어려운 문제가 발생한다. 특히, 이 문제는 연산 능력과 가용 전력 등의 제약이 심한 이동형 멀티미디어 기기에 H.264 부호화기를 구현할 때 더욱 더 심각해진다.

모드 결정 알고리즘의 복잡도를 줄이기 위해 기존에 여러 연구들이 선행되었다. 그 중 하나는 경계 사상(Edge map)을 이용한 방법[3]으로서, 경계의 방향에 기반하여 특정 모드를 선택하고, 선택된 모드 검사를 통해 인트라 모드의 연산 복잡도를 줄이고자 하였다. 그러나 이는 전체 부호화 시간의 70~80% 정도를 차지하는 인트라 모드의 연산 복잡도가 아닌 인트라 모드의 연산 복잡도를 줄이기 위한 연구였기 때문에, 전체적인 성능향상의 폭은 크지 않았다. 그리고 인트라 모드

결정의 실행 속도 개선에 관한 연구로서 적응적 모드 결정(Adaptive Mode Decision, AMD) 방법[4]이 제안되었는데, 이 알고리즘은 반복적으로 수행되는 움직임 추정(Motion estimation)과 비트율-왜곡치 연산 루프의 조기 종료를 허용함으로써, 결과적으로 모드 결정 시간을 단축시키고자 하였다. 그러나, 전역적인 통계에 의해 미리 정의된 고정적인 모드의 순서로 각 모드의 비트율-왜곡치를 연산하여 조기 종료 조건을 검사하였기 때문에, 작은 파티션 블록 크기를 지니는 4x4 모드와 같이 고정적 실행 순서의 가장 마지막에 위치한 모드가 최적 모드일 경우, 조기 종료 없이 4x4 모드 이전에 위치한 모든 모드들에 대한 비트율-왜곡치 연산을 수행해야만 하는 문제를 지니고 있었다. 특히, 세밀한 질감과 많은 움직임이 있는 특성을 지닌 영상의 경우, 작은 블록 파티션으로 부호화될 가능성이 높기 때문에 이러한 문제가 더욱 더 심각해지는 단점을 갖고 있었다. 이러한 문제에 대한 해결 방안으로 저복잡도 인터 모드 선택(Low Complexity Inter-Mode Selection, LCIMS) 방법[5]이 제안되었다. 이 알고리즘에서는 현재 부호화하려는 매크로블록과 바로 이전 위치하는 매크로블록의 동일한 위치의 화소값의 차이를 이용하여 움직임 특성을 분석, 변화율을 구하고 이를 이용하여 최적의 부호화 모드를 예측하고자 하였다. 그러나 이 알고리즘은 고정적으로 3개의 모드에 대해 모드 연산을 수행하는 구조를 지녔기 때문에 단순한 특성의 영상에서 기존 알고리즘 보다 상대적으로 느린 부호화 성능을 보이는 단점을 지닌다. 더불어, 화면 전환이 심한 영상에서는 인트라 모드가 아닌 8x8 이하 모드로 부호화될 확률이 높아 결과적으로 부호화 효율과 속도 저하 문제가 심각하게 발생할 수 있는 단점을 지니고 있었다.

본 논문에서는 영상의 특성에 관계없이 모드 결정 시간을 크게 줄이는 적응적 방법을 제안하고자 한다. 이 방법은 각 매크로블록에 대해 인트라 또는 인트라 모드의 종류와 상관없이 먼저 최적 모드 후보를 예측하고 이들의 비트율-왜곡치를

† 교신저자, 正會員 : 建國大學 電氣工學科 助教授 · 工博
E-mail : yunghoch@konkuk.ac.kr

* 正會員 : 建國大學 電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 延世大學 電氣電子工學部 研究教授

接受日字 : 2007年 6月 25日

最終完了 : 2007年 8月 28日

우선적으로 계산함으로써 H.264 모드 결정 과정을 조기에 종료시킬 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 방법을 이용하면 H.264 부호화 시의 연산 복잡도를 크게 줄일 수 있어 연산 능력 및 가용 전력의 제한을 지니는 이동형 멀티미디어 기기에서, 매우 적은 영상 품질 손실만으로 모드 결정 시간을 크게 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 다양한 특성을 지닌 영상의 부호화에 적합한 H.264 코덱 구현이 보다 용이하게 될 것이다.

2. 모드 결정 알고리즘

영상 및 휴대전화 또는 이동형 멀티미디어 기기에서의 H.264 영상 부호화[6]는 일반적으로 베이스라인 프로파일 하에서 16x16 픽셀 크기의 매크로블록에 대해 총 10개의 부호화 모드로 움직임 탐색 및 비트율-왜곡치 연산을 수행하여 이들 중 최소의 비트율-왜곡치를 지니는 최적 모드를 찾아냄으로써 이루어지게 된다. 보다 자세하게 설명하자면, 각각의 인터 모드(화면 간 영상 부호화 모드)에 대하여, 먼저 인접한 N개의 참조화면의 각 M x M 크기 탐색범위 내에서 해당 인터 모드의 파티션 블록과 가장 최소의 오차 값을 지니는 파티션 블록을 찾아내고 이를 변환 부호화 및 양자화 과정과 복호화 과정을 거쳐 얻어낸 비트율(Rate, R)값과 왜곡치(Distortion, D)값을 비트율-왜곡치 최적화 공식 $J = D + \lambda \cdot R$ (λ 는 Lagrangian Multiplier)에 적용하여 각 인터 모드에 대한 비트율-왜곡치 값 J 를 얻게 된다. 또한 각각의 인트라 모드(화면 내 영상 부호화 모드)에 대해서도, 현재 부호화 중인 매크로블록의 주변 화소값을 이용하여 오차 블록을 얻어낸 후, 인터 모드와 마찬가지로, 이를 변환 부호화 및 양자화 과정과 복호화 과정을 거쳐 얻어낸 비트율 값과 왜곡치 값을 비트율-왜곡치 최적화 공식에 적용하여 비트율-왜곡치 값을 얻게 된다. 이렇게 모든 모드의 비트율-왜곡치 값을 얻어낸 후 이들을 서로 비교하여 가장 최소의 비트율-왜곡치 값을 갖는 최적 모드를 찾아내는 과정은 H.264 부호화 과정의 핵심이며, 이와 같이 많은 모드 중에서 최적 모드를 구하는 것은 매우 복잡하고 연산량이 많이 소모되는 작업이다. 따라서 이러한 모드 결정 알고리즘의 복잡도를 줄이기 위해 아래와 같은 방법들이 제안되었다.

기존에 제안되었던 고속 모드 결정 알고리즘들의 작동 방식은 다음과 같이 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 통계적 또는 특정 기준에 의해 미리 정의된 고정적인 모드의 순서로 각 모드의 비트율-왜곡치 연산을 수행하면서 모드 연산 루프에서 조기 종료를 허용하는 방식이며, 이와 같은 작동 방식의 대표적인 알고리즘으로서 AMD[4]가 있다. AMD 알고리즘은 일반적으로 많은 영상들(hall_monitor, news, mother & daughter)이 큰 움직임이 없거나 비교적 단순한 화면 질감으로 구성되어 있기 때문에 SKIP 또는 Inter16x16, Inter16x8, Inter8x16 모드의 순서로 부호화될 확률이 높다는 점을 이용한다. 따라서 AMD 알고리즘에서는 매크로블록의 부호화 시, {SKIP}, {Inter16x16}, {Inter16x8 또는 Inter8x16}, {Inter8x8 또는 Inter8x4, Inter4x8, Inter4x4}, {Intra4x4, Intra16x16}의 고정적인 순서로 움직임 탐색 및 비트율-왜곡치 연산을 수행하면서 미리 정의된 조기 종료 조건을 만족시키는지 검사하고 조기 종료 조건을 만족시킬 경우 하위 모드에 대한 모드 연산을 생략한다. 만약 조기 종료 조

건을 만족시키지 못했다면 조기 종료 과정을 만족시킬 때까지 각 하위 모드에 대해 움직임 탐색 및 비트율-왜곡치 연산과 종료 조건 검사 과정을 반복하게 된다. 이러한 방식의 알고리즘들은 일반적인 영상들-즉 움직임이 크지 않고 단순한 화면 질감을 갖는 영상들의 부호화 시, 대다수의 매크로블록들이 상위 모드 단계에서 조기 종료 조건을 만족시켜 모드 연산 루프를 탈출하기 때문에 결과적으로 큰 속도향상을 얻을 수 있다. 그러나 움직임이 크거나 복잡한 화면 질감을 갖는 영상의 경우, 대다수의 매크로블록들이 조기 종료 없이 모든 모드에 대해 모드 연산을 수행하게 될 가능성이 높아지게 된다. 이 경우 상대적으로 많은 모드에 대해 움직임 탐색 및 비트율-왜곡치 연산을 수행하게 되어, 결과적으로 영상의 종류에 따라 부호화 속도가 일정치 않은 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제는 또한 해당 알고리즘을 적용하여 H.264 부호화기 설계 시 어려움을 증가시키게 되기 때문에 실제 비용 증가의 원인이 된다.

두 번째는 영상의 움직임이나 복잡도 등의 특성을 파악하여 최적 모드로 선택될 확률이 높은 후보 모드를 예측한 후 이 후보 모드가 우선적으로 실행되도록 동적인 순서로 모드 연산을 수행하면서 조기 종료를 허용하는 방식이며, 이러한 방식의 대표적인 알고리즘으로서 LCIMS[5]가 있다. LCIMS 알고리즘은 AMD 알고리즘과 같이 고정적인 순서로 모드 연산이 이루어지면서 조기 종료가 허용되는 구조의 알고리즘들이 갖는 문제점을 해결하기 위해 제안되었다. LCIMS 알고리즘은 먼저 화소 값의 변화율(Gradient, g)에 따라 영상 복잡도가 달라지고, 영상의 복잡도에 따라 각 모드가 선택될 확률이 달라진다는 사실을 확인하였다. LCIMS 알고리즘에서는 이러한 특성을 이용하여 매크로블록의 부호화 시 먼저 각 모드가 선택될 확률을 연산한 후 가장 높은 확률을 지닌 상위 3개의 모드에 대해서만 모드 연산을 수행하여 모드 결정 시의 연산량을 줄이고자 하였다. 이렇게 고정적으로 상위 3개 모드에 대해서 모드 연산을 실행하는 구조는 LCIMS 알고리즘이 의도했던 대로 복잡한 영상에서는 기존 AMD 알고리즘보다 고른 속도 향상을 보여 주었으나, 움직임이 심하지 않고 비교적 단순한 화면 질감을 갖는 일반적인 영상에서는 오히려 기존 알고리즘보다 저하된 성능을 보여 주었다. 이러한 문제는 부호화기 설계 시 또 다른 비용 상승의 요인이 될 소지가 있다. 또한, LCIMS 알고리즘은 화면 전환 등이 발생하는 영상에서는 인트라 모드에 대한 처리를 고려하고 있지 않기 때문에 부호화 효율의 저하가 발생할 수 있는 문제도 안고 있다. 따라서 본 논문에서는 모드의 종류와 상관없이 적용이 가능한 최적 모드 예측 알고리즘을 통해 동적으로 모드 연산 순서를 결정하고 조기 종료 조건 검사를 통해 효과적으로 모드 연산을 종료시킴으로써, AMD 알고리즘과 LCIMS 알고리즘이 지니는 문제점들을 효율적으로 해결할 수 있는 고속의 H.264 모드 결정 방법을 제안하고자 한다.

3. 최적 모드의 예측

기존의 고속 모드 결정 알고리즘이 지니는 문제 즉, 미리 정의된 고정적 순서로 비트율-왜곡치를 연산하는 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 각 매크로블록에 대해 최적 모드 후보(Optimal Modes candidates, OPMO)들을 예측하는 방법을 제안하였다. OPMO는 최소의 비트율-왜곡치를 지니고, 해

당 매크로블록의 최적 모드로 선택될 확률이 높은 후보 모드이다. 따라서, 다른 모드들 보다 조기 종료 조건을 만족시킬 확률이 높은 OPMO를 납득할만한 정확도로 예측하고 이 OPMO에 대해 먼저 비트율-왜곡치를 연산할 수 있다면, 모드 결정 과정이 보다 빠르게 완료될 수 있을 것이다. 이것이 본 논문에서 제안하는 핵심 아이디어이다.

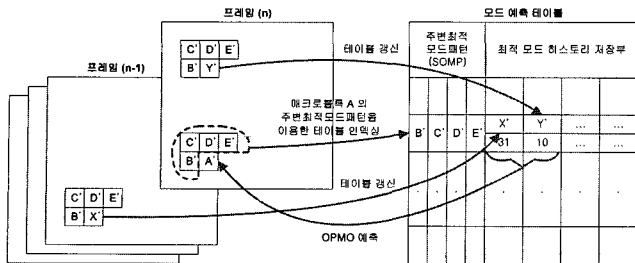


그림 1 최적 모드 예측 도식
Fig. 1 Illustration of Optimal Mode Prediction

본 논문에서는 높은 확률로 OPMO를 예측하기 위해, 전역 및 지역 분기 히스토리(Branch history)를 기반으로 분기 방향을 예측하는, 프로세서 아키텍처 분야의 분기 예측 아이디어를 적용하였다. 분기 예측의 핵심 아이디어는 현재 분기의 방향이 같은 지점 또는 이전 지점의 분기 히스토리와 강한 연관성을 지니고 있다는 사실을 이용하여 분기를 예측하는 것이다. 이와 유사하게, 비트율-왜곡 최적 모드 또한 같은 주변 환경을 갖고 있었던 예전의 매크로블록들의 최적 모드와 강한 연관성을 지니고 있다. 보다 자세한 설명을 위해 [그림 1]을 제시한다. 현재 매크로블록 A를 부호화하기 위해 최적 모드를 찾아내려는 상황이고, 매크로블록 A의 주변 매크로블록들(B,C,D,E)의 최적 모드가 참조 가능하며 각 매크로블록들(A,B,C,D,E)의 최적 모드는 각각 A',B',C',D',E' 라고 가정한다. 또한, [그림 1]과 같이 매크로블록 A는 최적모드 B',C',D',E'를 지니는 매크로블록들(B,C,D,E)로 둘러싸여 있으며, 이전에 부호화 된 매크로블록들 중 A와 같은 주변 최적 모드 패턴을 지니는 X, Y가 있다고 가정한다. 여기서, 매크로블록의 주변 최적 모드 패턴(Surrounded Optimal Mode Pattern, SOMP)은 매크로블록의 주변 매크로블록들의 최적 모드들의 부분집합이다. 예를 들어, [그림 1]에서 매크로블록 A의 SOMP는 {B',C',D',E'}이며, 이는 A의 영상특성이 A와 같은 SOMP를 갖고 있는 X 또는 Y와 유사하다고 볼 수 있다. 따라서 A의 최적 모드는 X' 또는 Y'와 유사할 가능성이 높다. 본 논문에서는 이러한 사실을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 [표 1]에 나타내었다.

표 1 최적 모드 예측 적중률
Table 1 Hit rate of optimal mode prediction

실험영상 (QCIF, 100 프레임)	예측 적중률 (%)
hall_monitor	97.97
mother and daughter	90.47
news	95.60
foreman	85.44

[표 1]의 결과는 주어진 임의의 한 매크로블록의 최적 모드가 그 매크로블록과 동일한 SOMP를 지니는 이전의 매크로블록들의 최적 모드들 중 가장 많이 선택되었던 최적 모드 3개중에 하나와 같은 확률을 보여주고 있다. 즉, 이전 매크로블록들의 최적 모드 히스토리를 이용하여 현재 매크로블록의 최적 모드를 예측하였을 때의 적중률을 나타내고 있다. [표 1]에 나타난 바와 같이, 최대 98%의 매크로블록의 최적 모드들이 같은 SOMP를 지니는 매크로블록들의 최적 모드 중 가장 많이 선택되었던 상위 3개의 모드와 같다는 사실을 확인할 수 있다. 즉, 많은 매크로블록들의 최적 모드들은 전체 10개의 모드들에 대하여 비트율-왜곡치 연산을 하지 않고 SOMP 기반 최적 모드 히스토리를 이용하여 단지 세 개의 후보 모드에 대해서만 연산하더라도 구할 수 있다고 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 사실을 효과적으로 활용하기 위해 [그림 1]에서 나타난 것처럼 모드 예측 테이블(Mode prediction table)을 제안하였다. 모드 예측 테이블은 최적 모드 히스토리 기록과 OPMO 예측에 사용된다. [그림 1]에서 보듯이, 모드 예측 테이블은 테이블 인덱싱을 위한 SOMP 인덱스부와 OPMO 예측을 위한 최적 모드 히스토리 저장부로 크게 나눌 수 있다. 각 매크로블록의 최적 모드가 연산을 통해 결정될 때, 모드 예측 테이블의 SOMP 인덱스부를 사용하여 해당 SOMP의 최적모드 히스토리부를 갱신한다. 이로써, 특정 SOMP를 갖는 매크로블록을 위하여 선택되어진 최적 모드들의 종류와 그 모드들이 선택되어졌던 횟수를 기록 저장하게 되고 이 정보는 후에 다른 매크로블록의 OPMO를 예측하는데 사용되어진다. 본 논문에서는 특정 SOMP를 갖는 매크로블록의 OPMO를 선택 시 그 해당 SOMP에서 가장 자주 선택되어진 모드를 가장 높은 가능성을 갖는 OPMO로 가정하였다. 이는 보다 높은 성능을 위하여 수정되어질 수 있다.

4. 최적 모드 예측을 통한 고속 모드 결정 알고리즘

이번 장에서는 모드 결정 시간을 크게 줄이기 위하여 위에서 정의한 모드 예측 테이블을 이용한 고속 모드 결정 방법을 제안한다. 본 장에서 제안하는 알고리즘은 크게 세 부분(예측부, 종료 조건 검사부, 예측 테이블 갱신부)으로 구성되어 있다. 예측부에서는 각 매크로블록의 SOMP를 이용하여 모드 예측 테이블을 검색하고 OPMO들을 찾아낸다. 그 후, 최적 모드로 선택되어질 확률이 가장 높은 첫 번째 OPMO에 대해 움직임 추정과 비트율-왜곡치 연산이 수행되고, 이렇게 얻어진 비트율-왜곡치 값을 이용하여 종료 조건 검사부에서 미리 정의해 놓은 종료 조건을 만족하는지 확인한다. 만약 종료 조건을 만족시킨다면 해당 모드가 최적 모드로 선택되어 모드 결정 과정을 중단하게 된다. 종료 조건을 만족시키지 못했다면 다음으로 높은 가능성의 OPMO에 대해 위의 과정(움직임 추정, 비트율-왜곡치 연산, 종료 조건 검사)을 반복 수행하게 된다. 그러나, 만약 모든 OPMO에 대해 위의 과정을 수행했음에도 불구하고 종료 조건을 만족시키지 못했다면, 기록된 OPMO 이외의 다른 모드들에 대해 비트율-왜곡치를 계산하여 최적 모드를 얻게 된다. 이렇게 모든 모드들에 대해 모드 결정 연산을 수행하는 것은 잘못된 모드 예측에 의한 오차를 최소화하게 된다. 마지막으로, 위에서 언급된 모드 결정 과정을 거쳐 얻어진 최적 모드를 이용하여 예측

테이블을 갱신하고 다음 매크로블록의 최적 모드 예측에 사용하게 된다.

5. 성능 평가 및 결론

본 논문에서 제안한 고속 모드 결정 알고리즘의 성능 평가를 위해 참조모델(JM10.2)과 AMD 알고리즘, LCIMS 알고리즘을 직접 구현하고 각각의 비트율, 화질(PSNR) 및 부호화 속도에 대한 실험 결과를 [표 2]에 정리하였다. 성능 평가는 200프레임으로 구성된 네 개의 QCIF 시험 영상에 대해 단일 참조 프레임 하에서 진행되었다. [표 2]에서 나타난 것처럼 본 논문에서 제안한 알고리즘은 적은 화질 저하 및 미소한 비트율 증가(0.3dB 이하의 화질 저하, 평균 7% 이하의 비트율 증가)와 함께 참조모델(JM10.2), AMD 알고리즘 및 LCIMS 알고리즘 보다 각각 5.7배, 3.3배 및 2.7배 더 빠른 H.264 부호화 속도를 보여 주고 있다. 또한 [표 2]의 결과에서 알 수 있듯이 AMD 알고리즘은 영상 복잡도가 낮은 실험 영상들(Motr&Dotr, News, Hall_monitor)에서는 참조모델(JM)보다 2배 이상 빠른 속도 향상을 얻고 있으나 영상 복잡도가 다소 높은 실험 영상(Foreman)에서는 평균 이하의 속도 향상을 얻음으로써 성능 불균형의 문제가 존재함을 확인할 수 있다. 그리고 LCIMS 알고리즘은 이러한 AMD 알고리즘이 지니는 문제를 어느 정도 해결하여 균형적인 부호화 속도 향상을 얻고 있으나, 부호화 속도 향상 폭이 본 논문에서 제안한 알고리즘과 비교했을 때 크게 차이 나고 있다. 이와 같은 실험 결과는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 최적 모드 예측 적중률이 상당히 높아 비트율-왜곡치 연산을 보다 빠르게 수행한다는 것을 나타내고 있다. 따라서, 화질 및 압축률 저하를 최소화하면서 H.264 영상 부호화 복잡도를 크게 감소 시킴으로써 참조모델 보다 최대 570% 이상의 부호화 속도 향상을 얻을 수 있으며 기존 알고리즘 보다는 2배 이상 빠른 H.264 부호화가 가능한 것을 알 수 있다. 이러한 부호화 속도 향상은 연산능력과 가용전력의 제약이 심한 모바일기기 상에서 H.264 영상 부호화기 구현을 가능하게 하여준다. 더불어 본 알고리즘의 성능은 종료 조건과 예측 스코어링 방법의 보정을 통해 보다 향상될 수 있다.

표 2 제안된 알고리즘과 JM, AMD 및 LCIMS 의 성능 비교

Table 2 Performance comparison of JM, AMD, LCIMS and proposed scheme

	Bit Rate (kbits/sec)				SNR (dB)				Encoding Time (sec)			
	J	A	L	P	J	A	L	P	J	A	L	P
F	142.0	142.9	143.6	155.6	35.5	35.5	35.4	35.2	21.4	13.8	10.2	4.1
M	56.6	56.8	57.2	58.1	36.1	36.1	36.0	35.9	18.2	8.6	8.7	3.4
N	74.7	74.7	75.5	84.4	36.5	36.5	36.4	36.3	18.0	6.8	8.6	4.1
H	50.8	51.2	51.4	56.0	37.2	37.3	37.1	37.0	17.0	7.2	8.1	3.0

F : Foreman, M : Mother&Daughter, N : News, H : Hall_Monitor
 J : JM, A : AMD, L : LCIMS, P : Proposed

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10654)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC 1, "Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC)," document JVT-G050r1, May 2003;
- [2] Sullivan, G., Wiegand, T., and Lim, K. P. 'Joint model reference encoding methods and decoding concealment methods', JVT of MPEG and VCEG, Doc. JVT-J049, December 2003
- [3] Feng Pan, Xiao Lin, Susanto Rahardja, Keng Pang Lim, Z. G. Li, Dajun Wu, and Si Wu, "Fast Mode Decision Algorithm for Intraprediction in H.264/AVC Video Coding", IEEE TCSVT, July 2005, Vol.15, No.7
- [4] Y.-H. Kim, J.-W. Yoo, S.-W. Lee, J. Shin, J. Park and H.-K. Jung "Adaptive mode decision for H.264 encoder", Electronics letters, Sept 2004, Vol.40, No.19
- [5] Seydou-Nourou, Ba, Altunbasak, Y., Ates, H. "Low Complexity Inter-Mode Selection for H.264", Oct. 2006, IEEE
- [6] Wiegand, T., Sullivan, G.J., Bjntegaard, G., Luthra, A., "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard", CSVT, IEEE, July 2003 Volume: 13, No.7