

비디오 스케일러빌리티를 고려한 영상 품질 메트릭 모델링

*서동준 **김친석 ***배태면 ****노용만

한국정보통신대학교

****yro@icu.ac.kr

Quality Metric Modeling with Full Video Scalability

*Dongjun Suh **Cheon Seog Kim ***Tae Meon Bae, ****Yong Man Ro

Information and Communications University

요약

다양한 멀티미디어 사용 환경 조건에 적합한 콘텐츠를 제공하기 위해서는 다양한 소비 환경을 반영할 수 있는 스케일러블 비디오의 제공이 필요하다. 이러한 스케일러블 비디오의 경우, 다양한 조합의 프레임 율, SNR, 공간해상도를 가지는 비디오가 가능하므로 사용자에게 최적의 품질을 제공하는 조합을 결정해야 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 프레임율, SNR, 공간해상도 그리고 영상의 모션 속도에 따라 변동할 수 있는 영상 품질을 나타낼 수 있는 새로운 영상 품질 메트릭을 주관적 평가를 통하여 제안한다. 제안한 품질 메트릭은 주관적 품질평가 선호도와와의 상관계수(correlation coefficient)가 PSNR과 주관적 품질평가 점수와의 상관계수 평균값에 비해 높은 값을 보였다. 본 논문에서 제안한 품질 메트릭은 다양한 조합의 부호화 조건에 따른 품질측정이 가능하여 제한적인 멀티미디어 소비환경에서 최적의 부호화 조건을 결정할 수 있다.

1. 서론

현재 유비쿼터스 컴퓨팅의 도래로 멀티미디어 소비환경이 다양해짐에 따라, 다양한 네트워크 환경 및 단말의 특성에 맞는 멀티미디어 콘텐츠의 제공이 요구된다. 현재 MPEG에서는 프레임 율, SNR, 공간해상도를 가변 할 수 있는 스케일러블 비디오 부호화를 위해 H.264/AVC Scalable Video Coding(SVC)을 표준화하고 있다. 이러한 스케일러블 비디오를 통해 이질적인 네트워크 환경 및 단말기 특성에 맞는 콘텐츠의 제공이 가능할 수 있다. 스케일러블 비디오는 주어진 환경에 적합한 콘텐츠를 제공하기 위해서 제약 조건에 맞는 영상의 프레임 율, SNR, 공간해상도를 결정해야 한다. 스케일러블 비디오의 경우, 다양한 조합의 프레임율, SNR, 공간해상도를 가지는 비디오가 가능하므로 사용자에게 최적의 품질을 제공하는 조합을 결정해야 할 필요가 있다. 일반적으로 영상 품질 측정을 위해서는 PSNR, MSE 등의 객관적 평가를 주로 사용한다. 그러나 이러한 객관적 평가 방법들은 사용자가 인지하는 품질을 제대로 반영하지 못한다는 문제점이 있기에 사용자의 인지적 품질에 근접한 새로운 품질 메트릭이 필요하다. 기존의 영상 품질 메트릭에 관한 연구는 주로 SNR과 프레임 율에 따른 연구들이었으나 공간해상도를 고려한 연구는 부족한 상태이다. 공간해상도를 추가적으로 반영한다면 스케일러블 비디오 기반의 영상 품질 평가에 있어서 더욱 높은 품질의 콘텐츠를 제공할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 영상의 주관적 품질평가를 CCIR 500-5 권고에 의해 기술된 이중 자극 화질 척도법 (Double Stimulus Continuous Quality Scale)[1]에 의거하여 평가하였다. 이러한 평가 결과를 통해 프레임 율, SNR, 공간해상도, 그리고 모션특성의 변화에 따른 영상 품질 메트릭을 모델링하였다.

이전의 영상 품질에 관련된 선행 연구들로서는 코덱의 종류에 대한 평가, 프레임 율과 SNR간의 관계에 따른 분석, 그리고 의미

적 개념 기반에 따른 영상 품질 평가 등에 관한 연구들이 주를 이루었다. 그러나 이러한 연구들은 시간적 품질적 공간적 스케일러빌리티의 복합적인 영향에 관하여 분석하지는 못한다. 시간적 공간적 스케일러빌리티에 관한 주관적 화질 평가분석에 대한 연구는[2] 공간적 스케일러빌리티, 즉 공간해상도를 추가적으로 고려할 경우 좀 더 넓은 범위에서의 부호화 조합을 고려할 수 있음을 보여주었다. 이러한 연구를 통해 스케일러블 비디오 환경에서 공간해상도를 고려한 메트릭을 제안하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 영상 품질 메트릭에 관한 연구로서는 G.Hauske[3]의 낮은 해상도, 낮은 비트레이트 조건의 비트레이트와 프레임 율을 고려한 품질 메트릭에 관한 연구, R. Feghali[4]의 프레임율과 영상의 움직임 정도를 고려한 영상 품질 메트릭 제안, 그 외에 다양한 영상 품질 메트릭에 관련된 연구들이 진행되었다. 그러나 공간해상도를 반영하는 품질 메트릭 연구는 미비하기에 본 논문에서는 프레임율과 영상의 움직임 정도를 고려한 영상 품질 메트릭을 기반으로 보다 다양한 공간해상도의 변화를 추가적으로 고려한 새로운 영상 품질 메트릭을 제안하였다.

2. 주관적 영상 품질 평가

프레임율, SNR, 공간해상도에 따른 영상 품질 메트릭을 모델링하기 위해, 각 변수에 따른 주관적 영상 품질평가를 수행하였다. 이를 기반으로 메트릭 모델링 및 모델링된 메트릭 성능의 평가를 수행한다.

가. 실험 환경

평가 영상으로는 주관적 품질평가에 있어서 공간해상도의 변경 시 받을 수 있는 다른 간섭을 차단하기 위해서 유사한 정도의 텍스처 복잡

도를 갖는 영상 중 선택하였으며 모션 특징에 따른 영향을 분석하기 위하여 서로 다른 모션 특성을 가진 영상들을 선택하였다. 텍스처 복잡도 정도의 측정은 MPEG-7 에지 히스토그램의 로컬에지히스토그램을 이용하여 전체 프레임에 대해 80개 히스토그램 빈 값의 평균으로 영상의 에지정도를 측정하였다. 그리고 모션특징으로서는 서로 다른 모션벡터 크기를 갖는 영상을 선정하기 위하여 MPEG-7 모션액티비티를 이용하여 최종적으로 "Football", "Foreman", "Paris" 영상을 선택하였다. 각 영상은 시간적 스케일러빌리티의 변동을 위하여 30(Full frame), 15(Half frame), 7.5(Quater frame) 3개의 프레임 율을, 각 프레임 율 당 3개의 양자화 파라미터 값(Quantization Parameter, QP)을 사용하였다. 30프레임 율을 위해 32, 37, 42 QP 값을, 15, 7.5 프레임 율을 위해 23, 29, 35 QP 값을 선정하였다. 기존의 이동 단말기를 포함하는 일반적인 영상 품질평가의 영상 해상도는 주로 QCIF(176x144), CIF(352x288)를 대상으로 분석 되었다. 그리하여 본 연구에서도 공간 해상도의 변동 특성을 분석하기 위하여 176x144, 352x288 사이의 너비, 높이 동일 비율을 갖는 6개의 다른 해상도를 가진 영상을, 각 영상에 대해 54개씩, 3개 영상에 총 162개의 영상을 평가하였다. 본 실험은 H.264/AVC SVC의 참고 소프트웨어인 JSVM 5.5 [5] 버전을 이용하였으며 모두 8초 길이의 영상으로 주관적 품질 평가가 이루어 졌다.

나. 이중 자극 화질 척도법 기반 화질 평가

이중 자극 화질 척도법은 주관적 영상 품질 측정 방법 중 비교적 우수한 평가결과를 보여주며 미세한 부분까지 평가가 가능하다고 알려져 있다. 평가 방법에 시간과 자원 소모가 많은 것이 단점이나 주관적 영상 품질 평가에 많이 사용되는 방법 중 하나이다. A 와 B 라는 기준 혹은 부호화 영상을 각각 두 번씩 보여주며 이때 기준 원 영상과 부호화 영상의 제시 순서는 랜덤으로 한다. 각 영상의 화질을 "Excellent", "Good", "Fair", "Poor", "Bad" 의 5단계로 평가하며 가장 낮은 평점인 0점부터 가장 높은 100점까지 환산되어 계산되는 평가 방법이다. 이 방법은 기준 영상과 부호화 영상간의 Differential Mean Opinion Score (DMOS) 방법으로서 평가자의 주관적 입장을 묻는 평가방식이다. 본 평가에서는 원 영상(352x288, 30fps)을 기준으로 시간적, 공간적, 품질적으로 부호화한 영상을 비교하였으며 그 열화 정도를 측정하였다. 평가자들은 원 영상(352x288) 높이의 5배 고정된 거리에서 평가되었으며 정상 시력을 가진 15명의 대학, 대학원생을 대상으로 하였다. 그림 1은 실험 조건 영상에 대한 주관적 품질 평가 분석 결과이며 본 그림을 통해 영상의 PSNR과 주관적 점수와의 관계를 확인할 수 있다.

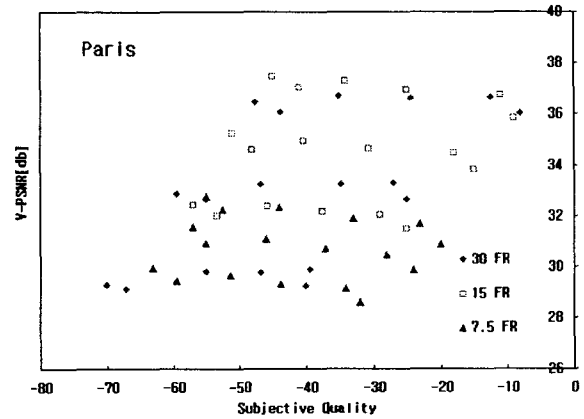
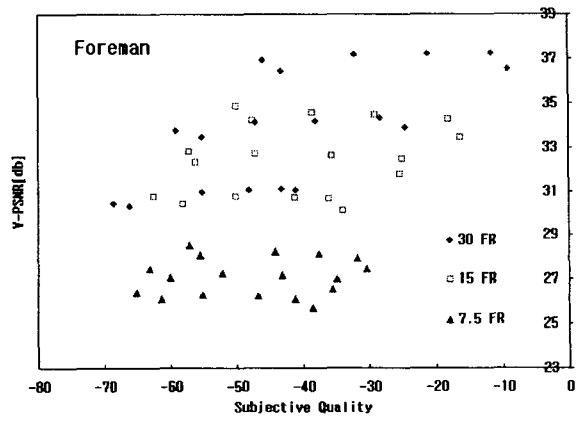
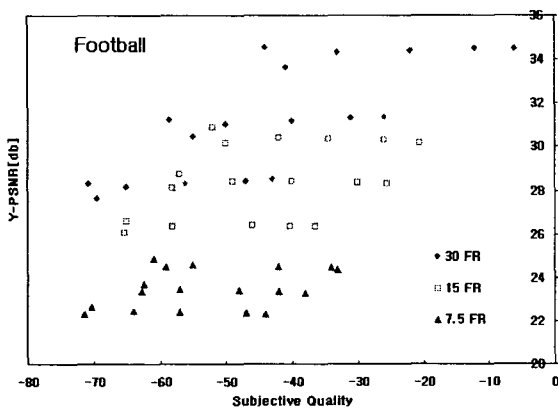


그림 1. 영상의 주관적 평가 점수와 PSNR과의 그래프

3. 비디오 스케일러빌리티를 고려한 영상 품질 메트릭

가. 시간적 스케일러빌리티 고려한 품질 메트릭

영상 품질 메트릭은 주관적 품질 점수와 선형적인 관계를 갖는 경우 사용자의 인지적 특성을 잘 반영한다고 할 수 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 PSNR 등의 객관적 품질 측정 결과가 모든 조건에서 주관적 품질 점수와의 상관계수가 높지 않음을 확인할 수 있듯이 인지적 특성을 잘 반영하는 영상의 품질 측정을 하기 위해서는 어떠한 조건에서도 사용자의 주관적 선호도와와의 상관계수가 높은 새로운 품질 메트릭이 필요하다. 프레임율과 영상의 움직임 정도를 고려한 영상 품질 메트릭 연구[4]에서 제안한 품질 메트릭은 고정된 프레임 율에서 PSNR이 주관적 품질 점수와 선형적 관계를 갖는다는 점에서 품질 메트릭의 첫 번째 파라미터로 선정하였으며 프레임 율과 모션 정보에 따른 영향을 고려하여 모션 정보와 프레임 율을 나머지 파라미터로 선정하였다. 모션 정보로서는 두 프레임 간의 블록매칭을 이용한 모션 벡터 연산 값을 사용 하였으며 품질 메트릭은 고정 공간해상도의 다양한 모션특징을 가진 영상에서 주관적 선호도와와의 상관계수가 높음을 보였다. 이러한 기존의 품질 메트릭을 기반으로 본 논문에서는 고정된 해상도 조건에서 식 (1)의 관계를 갖는 주관적 품질 평가 점수에 적합한 품질 메트릭을 제안하고자 하였다.

$$VideoQuality = SubjectiveQuality \quad (1)$$

인지적 모션 정도를 표현하는데 있어서 우수한 방법은 모션벡터 크기의 표준편차 값이라 할 수 있다[6]. 모션액티비티는 이러한 모션벡터 크기의 표준편차 값을 이용하여 모션의 Intensity 정도를 나타내기에 영상의 인지적 특성을 잘 반영한다고 할 수 있으며 서로 다른 영상의 해상도에 대해서도 비교적 유사한 값을 제공하기 때문에 공간해상도의 변경 시에 부가적인 모션 값의 계산이 필요 없다. 따라서 품질 메트릭의 모션 파라미터 값으로 모션액티비티를 사용하였고 이는 품질 메트릭에 있어서 좋은 파라미터 값이 될 수 있다. 프레임 울과 영상의 움직임 정도를 고려한 영상 품질 메트릭 연구[4]에 기반 하여 모션 파라미터로 모션액티비티를 사용하고 주관적 품질 평가 점수를 기반한 품질 메트릭은 다음과 같이 예상할 수 있다.

$$VQ = \alpha \cdot PSNR + \beta \cdot motion \cdot (FR - 30) \quad (2)$$

$motion = motion\ information, FR = Frame\ rate$

시간적 품질적 스케일러빌리티를 고려한 영상 품질 메트릭을 고안하기 위하여 고정 해상도 조건(352x288)에서 3개의 다른 프레임 울, 그리고 그에 해당하는 서로 다른 QP 조건으로 부호화된 영상의 품질 분석을 수행하였다. 이전 연구의 수식 유도 방법과 같은 방법으로 PSNR을 첫 번째 파라미터로 사용하고 모션액티비티와 프레임 울을 나머지 파라미터로 선택하였다. 이 후에 공간해상도의 영향을 메트릭에 추가 반영을 고려하기 위하여 품질 메트릭의 단위를 이중자극화질 척도법의 범위인 -100에서 0의 점수를 0에서 100 사이의 양의 점수로 환산된 주관적 점수에 적합(Fitting) 계산 하였으며 최소 자승 오차법(Least Square Error, LSE)을 사용하였다. 그러나 LSE 기법으로 얻은 품질 메트릭은 그 결과 값이 주관적 점수와 높은 상관계수 값을 보장하지는 못한다. 따라서 LSE에 기반 하여 주변의 다양한 상수 값들을 테스트 하였고 품질 메트릭 결과와 주관적 품질 점수와 가장 높은 상관계수 값을 갖는 상수 α, β 값을 구하였다. 고정 해상도에서 최적의 상관 계수 값을 가진 품질 메트릭은 다음과 같다

$$VQ = 2.3PSNR + 0.16M_A(30 - FR), \quad (3)$$

$FR = Frame\ rate, M_A = Motion\ activity$

공간 해상도를 고려하지 않은 6개 해상도 각각에서의 주관적 점수와 식(3)의 평균 상관계수는 Football 0.94, Foreman 0.91, Paris 0.97로 PSNR과의 상관계수 0.75, 0.75 0.94에 비해 높은 상관계수를 갖는다. 이는 공간 해상도를 고려하지 않은 각각의 영상 해상도에 있어서 수식(3)은 주관적 점수와 비교적 선형 관계를 갖음을 뜻한다.

나. 공간해상도를 고려한 품질 메트릭

그러나 식(3)은 공간해상도의 영향은 반영하지 못한다. 여기에 공간 해상도를 추가하기 위하여 고정된 프레임 울, 고정된 QP 영상에서 공간해상도의 변화에 의한 특성을 분석하고자 하였다. "Football", "Foreman", "Paris" 3개 영상 32 QP 값, 6개 다른 해상도의 18개 영상 품질 평가 결과를 분석하였다. 직관적으로 예상할 수 있듯이 같은 QP 값으로 부호화 된 영상들은 높은 해상도의 영상을 선호하였으며 낮은 해상도(176x144)에서 높은 해상도(352x288)까지의 품질 선호도는 Sigmoid 곡선을 보였다. 원 영상의 해상도 크기에 비하여 비교영상, 즉 부호화된 영상의 공간 해상도가 낮아질 경우 상대적으로 평가자들

은 거부감을 쉽게 느꼈으며 공간 해상도가 낮은 영상보다는 낮은 품질의 영상이지만 높은 해상도를 가지는 영상을 선호함을 보였다.

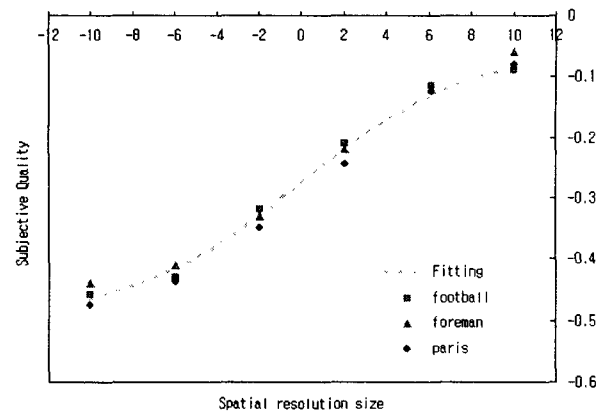


그림 2. 주관적 평가 점수와 공간해상도의 변화

그림 2에서 확인할 수 있듯이 공간해상도의 수직해상도값(144 ~ 288)을 Sigmoid 곡선 함수의 x 축 (-10 ~ 10)에 scale fitting 하여 위의 식(3)을 구하는 방식과 같은 방법으로 주관적 품질 점수와 높은 상관계수를 갖는 공간해상도의 수식 항을 구하였다. 352x288 영상이 가장 높은 점수를 갖도록 주관적 품질 축을 이동하여 0 점이 기준이 되게 하였으며 이는 해상도가 점차 감소할수록 공간해상도 항의 결과 값이 sigmoid 곡선 형태로 감소하게 하기 위함이다. 이후 수식항의 결과 값을 식(3)과 같은 0~100 스케일로 환산하기 위하여 100을 곱하여 품질 메트릭 항을 완성하였다. 공간해상도를 고려한 품질 메트릭 항은 식(4)와 같다.

$$Spatial\ Resolution = \frac{45}{1 + e^{-0.25(\frac{x - 216}{72})}} - 42 \quad (4)$$

다. 시간, 품질, 공간 스케일러빌리티를 고려한 품질 메트릭

앞에서 구한 수식 2,3 을 조합하여 비디오의 시간, 품질, 공간 스케일러빌리티를 고려한 메트릭은 수식(5)와 같다.

$$VQ = 2.3PSNR + M_A(30 - FR) + \frac{45}{1 + e^{-0.25(\frac{x - 216}{72})}} - 42 \quad (5)$$

$where, M_A = Motion\ activity, FR = Frame\ rate$
 $, qcif \leq x(height) \leq cif$

시간적 스케일러빌리티 특성을 반영한 식(3)의 결과 값에 수식(4)인 공간 해상도 항에 영상의 높이를 인자 값으로 입력한 결과를 곱하는 방식으로 영상의 공간해상도 영향을 반영하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 주관적 점수와 시간적 공간적 품질적 스케일러빌리티를 고려한 품질 메트릭과의 관계가 비례관계를 확인할 수 있다

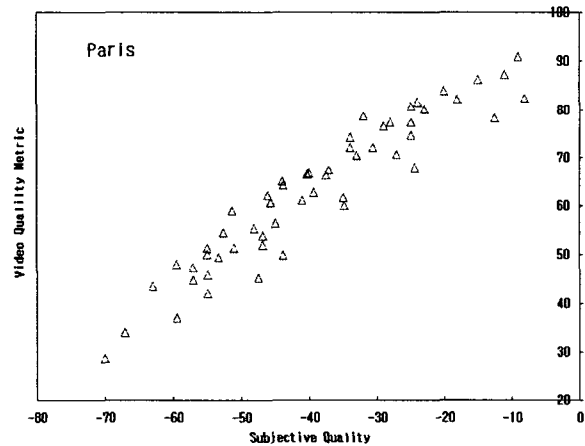
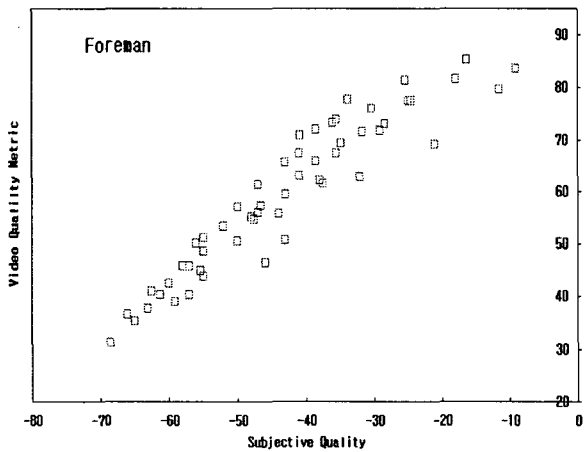
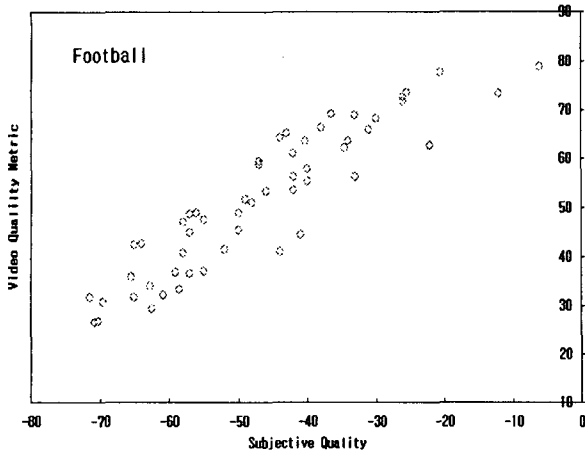


그림 3. 주관적 점수와 품질 메트릭과의 그래프

5. 결론

영상 품질 평가에 있어서 PSNR 및 기존의 메트릭들은 다양한 SNR, 프레임 율, 해상도 그리고 모션이 동시에 반응할 때에 적절하지 않은 품질 평가 방법임을 주관적 품질 평가를 통해 증명하였다. 스케일러블 비디오 기반의 환경에서는 시간적, 품질적, 공간적 스케일러빌리티를 모두 고려하여 다양한 영상의 품질을 측정할 수 있어야 한다. 본

논문에서 제안한 영상 품질 메트릭은 주관적 품질 점수와 상관계수가 평균 0.9 이상으로서 스케일러블 비디오 기반 영상 품질 평가의 성능이 우수함을 보였다. 본 영상 품질 메트릭은 이동 단말 기반의 콘텐츠 소비에 있어서 매우 효과적인 것으로 기대되며 스케일러블 비디오의 효율적인 비트스트림 추출에 있어서 매우 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

6. 감사의 말

본 연구는 한국정보통신대학교 디지털미디어연구소의 정보통신연구개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

7. 참조 문헌

- [1] ITU-R Recommendation BT.500-10: "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures," ITU, Geneva, Switzerland, 2002
- [2] 서동준, 배태면, 김천석, 노용만, "스케일러블 비디오에서의 효율적인 비디오 적응변환을 위한 주관적 비디오 품질 평가 및 분석," 2006년도 한국멀티미디어학회 춘계학술발표대회 논문집, 제9권 제1호, 2006년 5월.
- [3] G. Hauske, R. Hofmeier, and T. Stockhammer, "Subjective Image Quality of Low-Rate and Low-Resolution Video Sequence," in Proc. International Workshop in Mobile Multimedia Communications, Munich Germany, October 2003.
- [4] R. Feghali, D. Wang, F. Speranza, A. Vincent, "Quality metric for Video Sequences with Temporal Scalability," International Conference on Image Processing 2005, Genova, Italy, September 11-14, 2005
- [5] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Joint Scalable Video Model JSVM-5," JVT-R202, Bangkok, Thailand, 14-20 January, 2006
- [6] S. Benini, L.-Q. Xu, R. Leonardi, "Using lateral ranking for motion-based video shot retrieval and dynamic content characterization", Proc. Fourth International Workshop on Content-Based Mul-timedia Indexing, Riga, Latvia. June, 2005,