

저전송률 비디오 압축을 위한 잡음 제거 전처리 방법

Simplified Noise Reduction Method for Low Bitrate Video Compression

박운기, 전병우

Woonki Park and Byeungwoo Jeon

성균관대학교, 전기 전자 및 컴퓨터공학부
School of Electrical and Computer Engineering
Sungkyunkwan University

rook@nature.skku.ac.kr, bjeon@yurim.skku.ac.kr

요 약

영상에 포함된 잡음은 시각적인 문제를 일으킬 뿐만 아니라, MPEG이나 H.263과 같은 영상 압축 시스템의 부호화 효율을 떨어뜨린다. 따라서 영상 압축 시스템의 입력으로 이러한 잡음이 포함된 신호가 들어갈 때, 잡음 제거 필터를 사용하여 잡음을 제거한 후 영상 압축을 하는 것이 시각적인 면에서나 압축 효율적인 면에서 매우 효과적이다. 본 논문에서는 이웃한 4개의 화소값을 참조하여 잡음의 존재 여부를 판단하고, 판단 결과를 이용하여 선택적으로 잡음을 제거하는 적응형 십자형 중간값(median) 필터를 제안한다. 제안된 방법을 이용하면 전체 영상에 걸쳐 필터를 이용하는 방법에 비해 계산량이 크게 줄고, 영상의 필터 처리 후에 나타나는 뭉개짐(blurring) 현상을 줄일 수 있다. 또한 잡음이 처리된 영상을 시간방향으로 Look-up Table에 따른 IIR필터를 통과시킴으로써 시간상으로 존재하는 잡음을 제거하여 동영상의 주관적 화질을 향상시킬 수 있다.

I. 서 론

영상 데이터에 포함된 잡음은 시각적인 화질을 저하시킬 뿐만 아니라, DCT 기반의 동영상 압축 시스템의 압축 효율을 떨어뜨린다. 이는 잡음에 포함되어 있는 고주파 성분에 의해 DCT 변환과 양자화 후에도 크기가 큰 고주파 계수가 많이 남아있기 때문이다.

그림 1은 H.263 압축 시스템에 잡음이 없는 영상과 3가지 잡음(Gaussian 잡음, Salt & Pepper 잡음, Speckle 잡음)이 각각 포함된 영상 100 프레임을 입력으로 하고, Intra 및 Inter 프레임의 양자화 계수 QP를 5, 15, 31로 변화함에 따른 압축 후 발생 데이터량을 나타낸 그래프이다. 잡음이 포함된 영상이 그렇지 않은 영상에 비해 같은 조건에서의 압축효율이 크게 낮은 것을 알 수 있다. 이는 가해진 잡음(특히 Salt & Pepper 잡음, Speckle 잡음 등의 경우 더 심함) 때문에 고주파 성분이 많아져 DCT 변환 후 가변장 부호화 할 때 높은 주파수 위치까지 심볼이 발생하여 압축률이 낮아지기 때문이며, 잡음이 없을 경우에 대비하여 약 3.5배까지 압축률이 낮아짐을 볼 수 있다.

본 논문은 1999년도 산업기반 기술개발사업(NiPC) 연구비 지원에 의한 것임

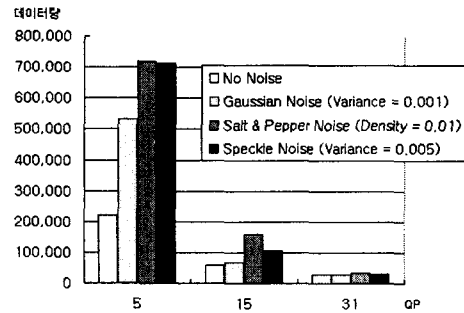


그림 1. 여러 잡음이 포함된 영상을 QP에 따라 압축하였을 때의 발생 데이터량 비교

이러한 현상은 특히 양자화 계수 QP가 낮은 경우 더욱 심한 것을 알 수 있다. 따라서 압축 전 전처리 필터 처리는 압축 효율 유지에 매우 중요함을 알 수 있다. 본 논문에서는 효과적인 동영상 압축을 구현하기 위한 전처리(pre-processing) 필터로 기존의 잡음 제거 필터와 비교하여 간단히 구현할 수 있으며, 필터를 통해 나타나는 원영상의 객관적, 주관적 화질을 향상시킬 수 있는 새로운 전처리기를 제안한다.

II. 잡음의 종류 및 잡음 제거 필터

영상에 포함될 수 있는 잡음은 크게 Gaussian 잡음, Salt & Pepper 잡음, Speckle 잡음으로 나누어질 수 있다. 일반적으로 잡음은 Additive 잡음과 Multiplicative 잡음으로 나누어지는데, 식(1)은 Additive 잡음, 식(2)는 Multiplicative 잡음의 형태를 간단히 나타내주고 있다. 여기서 $p_{in}(x)$ 은 잡음이 포함되지 않은 영상이고 $p_{out}(x)$ 은 잡음이 포함된 영상, 그리고 $e(x)$ 는 잡음 신호를 의미한다.

$$p_{out}(x) = p_{in}(x) + e(x) \quad (1)$$

$$p_{out}(x) = p_{in}(x) \times e(x) \quad (2)$$

Gaussian 잡음은 식(1)에 나타난 원영상에 더해지는

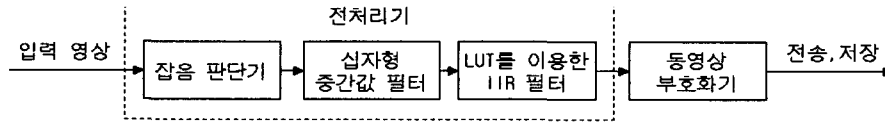


그림 2. 전처리기의 블록도

잡음 $e(x)$ 의 분포가 식(3)과 같이 나타나는 잡음의 형태이다. 여기서 μ 는 평균(mean)을 의미하고 σ 는 잡음의 분산(variance)을 의미한다.

$$Prob(e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(e-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Salt & Pepper 잡음은 영상을 이루는 화소값이 가질 수 있는 최대값과 최소값으로 화소값이 변화하도록 하는 잡음을 의미한다. 이 경우 잡음이 포함된 화소와 포함되지 않은 이웃 화소 사이에 고주파가 발생하기 때문에 동영상 부호화기의 성능 효율을 크게 떨어뜨린다. 반면에, Speckle 잡음은 화소 사이에 미세한 변화가 연속적으로 나타나는 잡음이다. Gaussian 잡음이 각 화소에 독립적인 형태로 나타나는 반면 Speckle 잡음은 화소들간의 관련성이 포함되어 있다[1].

이러한 잡음을 제거하기 위한 필터로써 Gaussian 잡음과 Speckle 잡음에 효과적인 Wiener 필터와 Salt & Pepper 잡음에 효과적인 중간값(median) 필터가 제안되어 있다[2]. Wiener 필터는 Gaussian 잡음과 Speckle 잡음에는 효과적이지만, 그림 3과 같이 Salt & Pepper 잡음이 포함된 영상에 적용하였을 경우, 이를 효과적으로 제거하지 못한다. 또한 구현이 복잡하여 실시간 어플리케이션에 응용하기 힘든 문제점을 지닌다. 이에 반해 중간값 필터는 구현이 간단하여 쉽게 적용할 수 있지만, 중간값을 계산하기 위한 계산량이 많고, 잡음이 없는 영상 부분에 필터를 취했을 경우 뭉개짐(blurring) 현상이 일어날 수 있는 단점을 지닌다.

III. 영상의 전처리 방법

이러한 기존 잡음 제거 필터의 뭉개짐 현상의 단점을 극복하고, 간단한 계산으로 실제 어플리케이션에 적용할 수 있도록 하기 위하여 본 논문에서는 잡음이라고 예상할 수 있는 화소값만을 중간값 필터 처리해 주되, 기존의 3×3 중간값 필터 대신 더욱 간략화 된 십자형 중간값 필터를 이용함으로써 계산량을 줄일 수 있는 선택적 중간값 필터를 제안한다. 또한 동영상에 나타나는 시간변화에 따른 같은 위치의 화소값의 미세한 변화는 특히 움직임이 적은 영역에서 미세한 깜박임(flickering)으로 보이게 되어 주관적 화질을 저하시키는데, 본 논문에서는 이전 영상의 화소값과 현재 영상의 해당 화소값 사이의 이러한 미세한 깜박임에서 오는 주관적 화질 저하를 개선하기 위해 시간 방향으로 IIR 필터를 취할 수 있는 LUT(Look-up Table)기반 방법을 함께 제안한다. 그림 2는 본 논문에서 제안하고 있는 전처리기의 전체적인 블록도를 나타낸 것이다.

1. 잡음 판단기

잡음이 없는 영상의 경우 잡음 제거 필터를 통과하게 되면 본래의 영상에 뭉개짐 현상이 발생하기 때문에 잡음이 있다고 판단되는 경우에만 잡음 제거 필터를 사용하는

것이 바람직하다. 그림 3은 필터를 취하기 전에 현재 화소값이 잡음이 아닌가를 판단하는 상황을 1차원 형태로 나타낸 그림이다. 만약 현재 화소값이 나란히 이웃한 두 개 사이에 단조적으로 위치하게 되면 필터를 사용하지 않고 현재 화소값을 유지하는 것이 화질면에서 바람직하다. 왜냐하면 그림 3처럼 현재 화소는 잡음 때문에 돌출된 화소가 아닐 확률이 크기 때문이다. 그림 3에서 P_{center} 는 필터처리를 고려 중인 현재 화소값이며 P_{left} , P_{right} , P_{up} , P_{bottom} 은 각각 현 화소값의 좌, 우, 상, 하에 위치한 화소값을 말한다. 즉, 이웃 화소값에 비해 현 화소값이 돌출되어 있는 경우에 필터를 취해주는 것이 화면의 뭉개짐을 막으면서 잡음을 없앨 수 있는 방법임을 예상할 수 있다.

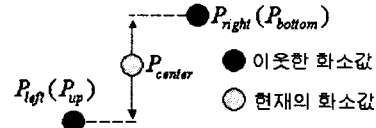


그림 3. 잡음이 아닌 일반적인 화소로 판단하는 경우

이와 같은 선택방법은 좌우로 이웃한 화소값에 대해서 먼저 판단하고, 이에 해당하지 않을 경우에 다시 상하로 이웃한 화소값에 대해서 판단하게 된다. 결국 현재 화소값을 이웃한 4개의 화소값과 비교하여 최대값 또는 최소값이 될 경우에만 잡음 제거를 필터를 적용하게 한다.

2. 십자형 중간값 필터

영상에 포함된 잡음을 제거하기 위한 필터로 평균값 필터, 중간값 필터 등이 있는데, 이러한 필터는 일반적으로 정사각형 형태의 윈도우를 갖는다. 하지만 최소한의 정사각형의 윈도우의 크기인 3×3 필터를 적용하여 잡음을 제거 하더라도 영상의 고주파 성분이 사라져 뭉개짐이 보이고, 9개의 화소값을 이용하기 때문에 계산량도 많아지게 된다. 이를 개선하기 위하여 본 논문에서는 5개의 화소값만을 이용하는 십자형 형태의 필터를 이용하였다.

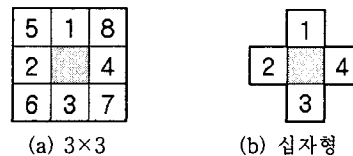


그림 4. 정사각형 형태의 3×3 중간값 필터와 십자형 필터

그림 4의 (a)와 (b)에 나타난 바와 같이 정사각형 형태의 중간값 필터는 현재 화소값과 이웃한 8개의 화소값 중에서 중간값을 취하게 되고, 십자 형태의 중간값 필터는 현재 화소값과 이웃한 4개의 화소값 중에서 중간값을 취하기 때문에, 영상의 뭉개짐(blurring) 현상이 상대적으로 줄어들게 된다. 이와 같이 필터를 취하기 위한 계수의 수를 줄임

으로써 중간값 필터를 구현하기 위한 계산량을 50% 가량 줄일 수 있는 이점을 함께 갖는다.

3. 시간영역의 잡음 제거를 위한 IIR 필터

공간 잡음이 포함된 영상의 잡음을 제거한 후 동영상의 경우 같은 위치의 화소값이 시간적으로 미세하게 변하는 경우가 많다. 이런 경우 인간의 눈이 느끼는 주관적인 화질이 떨어지게 되는데, 이를 보완하기 위해 이전 영상의 화소값과 현재 영상의 화소값을 평균을 취해주어 미세한 변화를 줄여주는 방법이 있다[3].

$$P_{out}(t) = \alpha \times P_{in}(t) + (1 - \alpha) \times P_{out}(t-1) \quad (4)$$

본 논문에서 사용하는 IIR 필터식은 식(4)와 같으며, 현재 화소값, 이전 영상의 화소값과 값을 이용하여 새로운 현재 화소값 $P_{out}(t)$ 을 만들어낸다. $P_{in}(t)$ 은 현재 프레임의 해당 위치 화소값이며, $P_{out}(t)$ 은 필터 처리 후의 화소값이다. $P_{out}(t-1)$ 은 이전 프레임의 필터 처리 후 화소값이다. 한편, 식(4)에서는 화소값의 변화폭에 따라 세 분류로 나누어, 이에 해당하는 값에 따라 각기 다른 가중치를 주어 필터 처리를 하는 방법을 이용하였다. 식(4)의 α 가 이러한 가중치를 나타낸다. 가중치는 해당 영상 영역의 성질에 따라 적용적으로 정할 수 있도록 하기 위해 식(5)를 이용한다.

$$difference = |P_{in}(t) - P_{out}(t-1)| \quad (5)$$

즉, 식(5)를 이용하여 구해진 변화폭이 25보다 클 경우는 시간영역의 잡음이라기보다는 원영상 자체내의 변화일 가능성이 크기 때문에 필터처리를 하지 않는다. 또한 변화폭이 10보다 클 경우 가중치인 α 값을 0.5로 하면 영상내의 움직이는 물체의 테두리 부분에서 잔상이 남기 때문에 현재 영상의 화소값을 증시하여 0.5보다 크게 하였다. 표 1은 이러한 관계를 Look-up Table로 나타낸 것이다. 예를 들어, 변화폭(difference)이 10 이하일 경우에는 $P_{in}(t)$ 과 $P_{out}(t-1)$ 의 평균값이 $P_{out}(t)$ 이 된다.

표 1. 시간 방향의 필터를 위한 LUT

difference	α
0~10	0.5
11~20	0.7
21~25	0.8
26~	1

IV. 실험 결과 및 분석

본 실험은 펜티엄3(550MHz, RAM 288MB) 컴퓨터의 Windows 2000 환경에서 수행되었다. 300 프레임의 Foreman QCIF 영상에 MATLAB 프로그램을 이용하여 Gaussian 잡음, Salt & Pepper 잡음, Speckle 잡음을 각각 삽입한 후, 전처리를 통과하지 않은 영상과, 3×3 중간값 필터를 통과한 영상, Wiener 필터를 통과한 영상, 본 논문에서 제안하는 선택적 중간값 필터를 통과한 영상, 그리고 선택적 중간값 필터와 시간 방향의 IIR 필터를 함께 통과한 영상 등 5개의 영상을 H.263 TMN 3.0 코덱[4]을 이용하여

프레임 Skip=2로 압축한 데이터의 크기와 이것을 복호화하였을 경우 원본 영상과의 PSNR을 비교하였다. 이때 양자화 QP는 1, 3, 5, 7, ..., 31을 사용하였다. (그림 5의 그래프에서 제일 오른쪽 기호부터 왼쪽으로 각각 QP=1, 3, 5, 7, ..., 31 경우를 의미한다.)

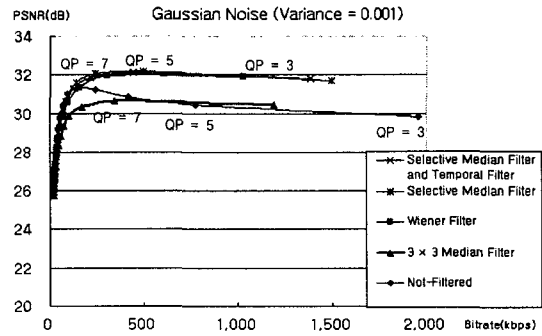
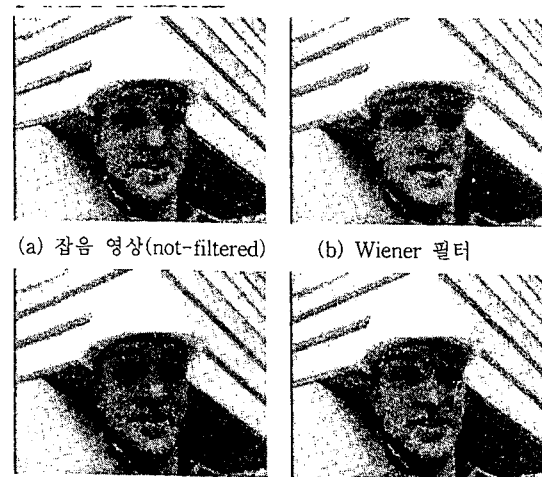


그림 5. Gaussian 잡음(분산=0.001)이 포함된 영상에 대한 각 필터의 성능

그림 5는 Gaussian 잡음이 포함된 영상에 대한 압축 후 발생 데이터량과 PSNR을 나타낸 그래프이다. 잡음의 분산이 0.001이 되었을 경우, Wiener 필터와 선택적 중간값 필터 그리고 시간 방향의 필터를 병행한 것이 모두 비슷한 객관적 화질을 보여주고 있다. 즉, 잡음이 많지 않을 경우 제안하고 있는 선택적 십자형 중간값 필터가 우수한 성능을 발휘하는 것을 알 수 있다. 또한, 같은 위치의 화소값의 미세한 변화를 줄여주는 시간방향 필터를 함께 사용하였을 경우 객관적으로 나타나는 PSNR 보다 주관적 화질이 매우 향상되는 것을 확인할 수 있었다.



(c) 3×3 중간값 필터 (d) 선택적 십자형 중간값 필터
그림 6. Gaussian 잡음(분산 0.001)이 포함된 영상을 각각의 전처리에 통과한 후, H.263 TMN 3.0 (QP=3)으로 부호화한 후 복원한 영상

그림 6은 분산이 0.001인 Gaussian 잡음이 포함된 영상을 각각의 필터에 통과시킨 후, H.263 TMN 3.0 (QP=3)을 이용하여 압축 복원하였을 때 나타난 영상이다. 그림 5

의 그래프를 보면 Wiener 필터와 선택적 십자형 중간값 필터가 거의 비슷한 성능을 보여주고 있지만 실제 화면 영상은 Wiener 필터를 통과한 영상의 화면이 뭉개짐(blurring)이 있는 반면 제안된 방법을 통한 영상은 그러한 현상이 없음을 알 수 있다. 또한 3×3 중간값 필터 역시 그림 5을 보면 Wiener 필터에 비해 PSNR로 약 1.5dB 이상 낮지만 시각적인 화질로는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 제안된 방법을 통한 영상을 보면 약간의 잡음 성분이 포함되어 있지만, 화면 전체적으로 보서는 다른 영상에 비해 선명한 느낌을 준다.¹⁾

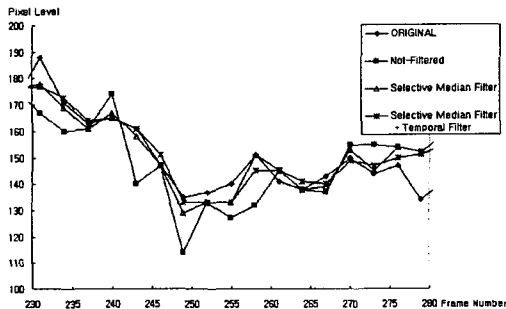


그림 7 시간에 따른 화소값 변화

그림 7은 잡음이 없는 원영상(ORIGINAL)과 Gaussian 잡음(0.001)이 포함된 영상을 필터 처리를 수행하면서 (50, 50)에 위치한 화소값을 시간의 변화(230~280프레임)에 따라 측정하여 비교한 그래프이다. 전처리기를 통과하지 않은 경우(Not-Filtered) 변화폭이 매우 큰 반면 전처리기를 통과했을 경우 원영상에 가깝게 다가서는 것을 알 수 있다. 또한 시간 방향의 필터를 통과함으로써 시간에 따른 변화폭을 줄어드는 것을 알 수 있는데 이는 주관적인 화질의 향상을 가져온다.

표 2. 영상에서 필터를 취하는 횟수(Foreman, QCIF)

잡음 형태	전체 필터	선택적 필터
원영상	24708	10192 (41.2%)
Gaussian 잡음 (분산 0.01)	24708	12439 (50.3%)
Salt & Pepper 잡음 (밀도 0.1)	24708	11536 (46.7%)
Speckle 잡음 (분산 0.005)	24708	12636 (51.5%)

표 2는 QCIF(176×144) Foreman 영상에서 실제 잡음 제거 필터를 수행하는 횟수를 측정된 결과이다. 선택적인 필터를 사용하였을 경우 전체적으로 필터를 취했을 때보다 50% 이상 그 횟수를 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 잡음이 없을 때 기본적으로 41%가량을 필터 처리를 하게 되는데, 이는 원영상 고유의 특성에 따라 달라지게 된다. 잡음이 포함된 경우를 살펴보면, 원영상에 수행되는 횟수보다 5~10%가량 증가하게 된다. 밀도가 0.1인 강한 Salt & Pepper 잡음의 경우 그 증가량이 5% 정도 되기 때문에 실제 잡음이 발생한 위치를 거의 완벽하게 찾아내고 있음을 알 수 있다. Gaussian 잡음이나 speckle 잡음에 대해서는

1) 인체물의 상태로는 영상의 화질을 구체적으로 판단할 수 없음

잡음을 완벽하게 제거하는 것 보다 원영상에 갖고 있는 고주파 영역에 있는 화소값의 손실을 적게 하는데 그 중점을 두었기 때문에 그림 6(d)에서 보듯이 잡음이 조금 눈에 띄기는 하지만, 영상이 갖고 있는 고주파 성분을 충실히 보호하고 있음을 알 수 있다.

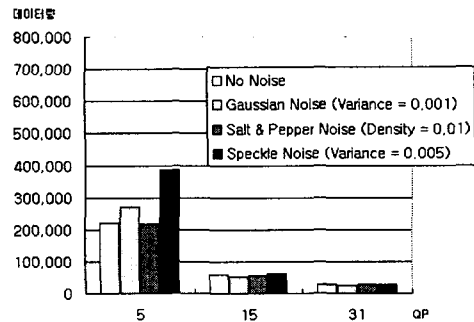


그림 8. 여러 잡음이 포함된 영상을 전처리 필터를 통과한 후, QP에 따라 압축하였을 때의 발생 데이터량 비교

그림 8은 영상에서 잡음이 포함되었을 경우 잡음에 의해 증가한 데이터량에 대해, 제안하고 있는 전처리기를 통과하지 않았을 때(a)와 통과하였을 때(b)를 비교한 것이다. 전처리기를 통과한 후 부호화 한 경우 잡음제거를 통해 주관적 객관적 화질을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 잡음에 의해 발생하는 데이터량의 증가를 대부분 억제하고 있는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서 제안하고 있는 효과적인 잡음 제거를 위한 전처리기는 잡음이 아닌 화소를 보호하고, 계산량은 줄이기 위해, 매우 간단하게 잡음의 존재 여부를 판단하는 부분과, 기존의 중간값 필터의 모양을 변형하여 십자형태를 이루는 5개의 화소만을 이용하여 잡음 제거를 하는 십자형 중간값 필터로 이루어져 있다. 이 두가지를 이용하면 정지영상의 잡음 제거를 효과적으로 제거할 수 있지만, 동영상에서 나타나는 시간영역에서의 잡음을 효과적으로 제거해주기 위해 LUT를 이용한 IIR 필터를 이용하였다. 제안하고 있는 방법은 구현이 매우 간단하면서도 동영상 부호화기의 전처리기로써 그 성능을 효과적으로 발휘하고 있기 때문에 향후 그 활용이 매우 기대된다.

참고 문헌

- [1] Mark Wilson, Sunanda Mitra and Tomas Krile, "Speckle noise filtering for restoration of coherent shear beam images", Proceedings of 4th IEEE Southwest Symposium, 2000, pp.166-170.
- [2] Anil K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall, 1989.
- [3] Torbjorn Kronander, "Post- and Pre- Processing in Coding of Image Sequences Using Filters with Motion Compensated History", International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1988, pp.1104-1107.
- [4] ITU-T Recommendation H.263, "Video coding for low bit rate communication", Jan, 1998.