

JPEG XR 압축 영역에서의 영상 필터처리

전재현*, 최재영*, 노용만*

*한국과학기술원 영상비디오시스템 연구실

e-mail : yro@icu.ac.kr

Image Filtering in JPEG XR Compressed Domain

Jae-Hyun Jeon*, Jae Young Choi*, Yong Man Ro*

*Image and Video Systems Laboratory, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

요 약

최근 마이크로소프트 (Microsoft)에서 발표된 후 주목 받고 있는 JPEG XR 은 압축 효율 면에서 뛰어난 장점을 가지고 있다. 일반적으로 JPEG XR 은 기존의 JPEG 과는 다른 압축 과정과 주파수 성분 분포를 가지고 있다고 알려져 있다. 하지만 JPEG 압축 방식과 비교하여 JPEG XR 의 압축영역에서의 영상 필터 처리의 연구는 아직 미흡한 실정이다. 본 논문에서는 JPEG XR 의 압축과정과 주파수 성분 분포의 분석을 기반으로 효율적인 저역/고역통과 필터 함수를 제안하고, 체계적인 실험을 통해 제안한 필터함수의 효율성을 입증하였다.

1. 서론

압축영역 (compressed domain) 또는 주파수 영역에서의 영상처리에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 압축영역에서의 영상처리는 일반적으로 비트스트림 (bitstream)을 공간영역의 픽셀 값으로 변환시키는 역압축화 (decompression) 과정 전에 영상처리를 수행하므로 공간영역에서보다 매우 적은 데이터 양과 낮은 계산 복잡성 등의 이점들을 보장한다. 이러한 장점들로 인하여 JPEG 의 압축영역에서의 영상처리는 많이 연구되었다. 그러나 JPEG 의 발전된 형태인 JPEG XR 의 경우에는 그 연구가 미흡한 실정이다.

최근 마이크로소프트에서 발표된 후 주목 받고 있는 JPEG XR 은 여러 장점을 가지는데, 그 장점들은 아래와 같이 정리된다.

- 1) 손실압축을 사용할 경우 압축비율 (compression ratio)이 JPEG 보다 두 배 정도 뛰어나며, 인코딩 (encoding) 및 디코딩 (decoding) 속도가 JPEG2000 보다 빠르다.
- 2) 비 손실 압축 (lossless compression) 기능도 지원하는데, 비 손실 압축 저장 시 PNG 포맷보다 압축비율이 뛰어나다. 이것은 디지털카메라에서 RAW 포맷 저장 시 비 손실 압축 저장용 포맷으로 JPEG XR 을 사용하는 것이 가능하다.
- 3) 애니메이션 GIF 포맷처럼, 하나의 파일에 여러 장의 이미지를 저장하는 것을 지원하기 때문에 웹 상에서 애니메이션 GIF 보다 훨씬 높은 압축비율로 애니메이션을 구현하는 것이 가능하다.

JPEG XR 의 장점에도 불구하고, JPEG 의 압축영역에서의 영상처리 연구와 비교하여 JPEG XR 의 압축영역에서의 영상처리에 대한 체계적인 연구는 아직 미

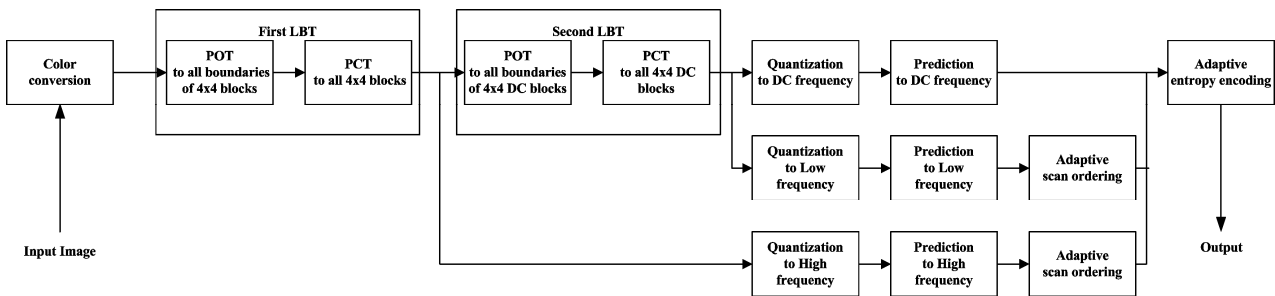
흡한 실정이다. 본 논문에서는 JPEG XR 의 주파수 성분 분포의 특징을 기반으로 저역/고역통과 필터함수를 제안한다. 제안하는 저역/고역통과 필터함수는 JPEG XR 의 압축영역에서의 저주파/고주파 성분 분포 차이를 고려하여 필터함수의 차단주파수를 조정한다. 체계화된 실험을 통해 제안하는 필터의 차단주파수의 변화에 따른 저역/고역통과 필터 처리가 바르게 수행됨을 입증하였다. 본 논문에서 제안된 JPEG XR 의 압축영역에서의 주파수 성분 분포의 특징과 제안한 저역/고역통과 필터는 JPEG XR 의 압축영역에서의 영상 향상 알고리즘 (Image enhancement algorithm)과 같은 복잡한 영상처리 기능을 효율적으로 고안하는데 유용한 정보를 제공할 것이다.

본 논문에서 나머지 장들의 구성은 다음과 같다. 2장에서 JPEG XR 의 압축 과정, Lapped Bi-orthogonal Transform^{[1][4]} (LBT)를 알아 본 후, 3장에서는 저역/고역통과 필터 함수를 제안한다. 그리고 4장에서 제안된 필터 함수를 실험 영상에 적용해 봄으로써, 제안된 필터 함수가 신뢰성 있게 동작함을 확인한다. 마지막으로, 5장에서 본 논문의 결론을 논의한다.

2. JPEG XR 의 압축 과정과 Lapped Bi-orthogonal Transform (LBT)

2-1. JPEG XR 의 압축 과정

그림 1 의 JPEG XR 인코더는 내부적으로 YUV (Y: luminance, U and V: chrominance) 컬러공간 형식으로만 데이터를 처리한다. 따라서 RGB, Gray, YMYK 컬러공간 형식의 영상이 인코더에 입력으로 들어오면 압축 과정의 첫 단계로서 RGB, Gray, YMYK 컬러공간 형식



(그림 1) JPEG XR 인코더 (encoder)의 전체 압축 과정 구성도 (block diagram).

의 영상을 컬러공간변환^{[5][6]} (color space conversion) 과정에서 YUV 컬러공간 형식으로 바꾸어 준다. 이렇게 YUV 컬러공간 형식으로 입력 영상 데이터가 변환되면 16x16 매크로블록 단위로 나누어져서 Photo Overlap Transform^{[5][6]} (POT)과정과 Photo Core Transform^{[5][6]} (PCT)과정으로 구성된 두 단계의 계층적인 LBT 과정들 (First LBT, Second LBT)을 거치게 된다. LBT 과정들을 거친 뒤 생성된 주파수 성분들이 양자화^{[5][6]} (Quantization), DC와 AC 예측^{[5][6]} (Prediction to DC and AC), 적응 추출 순서화^{[5][6]} (Adaptive scan ordering) 그리고 적응 엔트로피 부호화^{[5][6]} (Adaptive entropy encoding)과정을 거쳐서 “.wdp”라는 확장자를 갖는 파일로 압축된다.

2-2. JPEG XR의 LBT 과정들

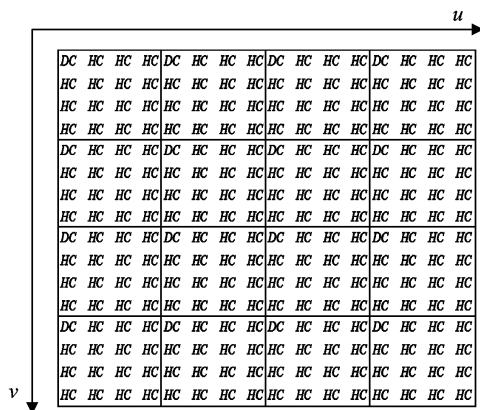
JPEG XR의 압축 과정 중에 LBT 과정들이 JPEG의 압축과정 중 하나인 Discrete Cosine Transform (DCT) 과정과 가장 큰 차이점을 보인다. JPEG XR은 두 단계의 계층적인 LBT 과정들을 사용하고 있는데, 각 LBT 과정은 POT 과정과 PCT 과정으로 구성된다. LBT 과정들에 입력되는 데이터는 16x16 매크로블록으로 나누어진 영상이다. PCT 과정은 4x4 블록의 크기로 수행되므로, 16x16 매크로블록이 16개의 4x4 블록으로 나뉘어진다. 이렇게 나뉘어진 4x4 블록들에 PCT 과정이 수행된다. PCT 과정은 널리 쓰이는 DCT와 같이 블록 변환 (block transform)으로 사용되는데, 구역화 현상 (blocking artifacts)를 발생시키는 단점을 똑같이 가지고 있다. 구역화 현상 (blocking artifacts)이라는 단점을 보완하기 위해서, JPEG XR은 전처리 (prefiltering)과정이라고도 불리는 POT 과정이 PCT 과정 이전에 수행된다.

각 단계의 LBT에서 PCT 과정은 항상 수행되지만 POT 과정은 선택적으로 수행될 수 있다. POT 과정은 세 가지 경우의 선택적 수행 방법을 가지는데 그 경우는 다음과 같다. 첫 번째, 두 단계 LBT 과정들 모두에서 POT 과정이 수행되지 않는다. 두 번째, 첫 단계 LBT에서만 POT 과정이 수행되고 두 번째 LBT에서는 POT 과정이 수행되지 않는다. 세 번째, 두 단계 LBT 모두에서 POT 과정이 수행된다.

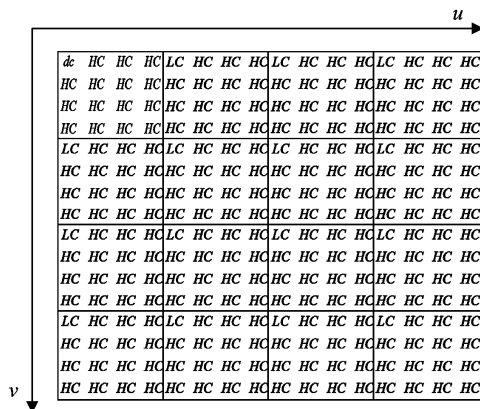
두 단계의 계층적 LBT의 수행 순서는 다음과 같다.

- 1) 첫 번째 LBT 단계에서 POT 과정이 수행되도록 선택되어 있다면, PCT 과정이 수행될 4x4 블록들 4개가 만나는 경계에 4x4 블록의 크기로 POT 과정이 수행된다. 만약 POT 과정이 수행되도록 선택되어 있지 않다면 POT 과정의 수행은 생략된다.
- 2) 16x16 매크로블록의 4x4 블록들에 PCT 과정이 수행된다. PCT 과정 후에는 그림 2 (a)와 같이 한 블록당 1개의 Direct Current (DC) 주파수 성분과 15개의 Alternating Current (AC) 주파수 성분들이 얻어진다. 여기서 얻어진 AC가 고주파 성분이므로 High Coefficient (HC)로 그림 2 (a)에 표현하였다.
- 3) 첫 번째 LBT가 시행된 후, 매크로블록의 4x4 블록들의 주파수 성분들 중에서 DC만 모아서 4x4 DC블록을 만든다.
- 4) 두 번째 LBT 단계에서 POT 과정이 수행되도록 선택되어 있다면, PCT 과정이 수행될 4x4 DC블록들 4개가 만나는 경계에 4x4 블록의 크기로 POT 과정이 수행된다. 만약 POT 과정이 수행되도록 선택되어 있지 않다면 POT 과정의 수행은 생략된다.
- 5) 4x4 DC블록에 PCT 과정이 수행된다. PCT 과정 후에는 하나의 4x4 DC블록당 1개의 dc 주파수 성분과 15개의 AC 주파수 성분들이 얻어진다. 여기서 얻어진 AC가 저주파 성분이므로 Low Coefficient (LC)로 표현하였다. 이렇게 얻어진 dc와 LC들은 4x4 DC블록을 만들기 위해서 가져온 각 4x4블록들의 DC가 있던 위치에 그림 2 (b)와 같이 저장된다.

앞에서 설명한 두 단계의 LBT 과정들이 수행되면 매크로블록은 그림 2 (b)와 같은 주파수 성분 분포를 가진다. JPEG XR의 주파수 성분들을 보면 dc, LC, HC로 나누어 지는데, dc는 한 매크로블록을 대표하는 dc 주파수 성분이며 LC는 한 매크로블록의 저주파 성분들이다. 그리고 HC는 매크로블록의 고주파 성분들을 나타낸다. JPEG XR의 주파수 성분 분포를 그림 3의 DCT 후의 주파수 성분 분포와 비교해보면, JPEG XR의 주파수 성분들 중에 저주파 성분들이 고주파 성분들 가운데 섞여서 위치해 있다는 점이 JPEG의 DCT 후의 주파수 성분 분포와 다르다. JPEG XR의 주파수 성분 분포 특성을 고려하여, 3장에서 영상 필터처리 함수를 제안한다.

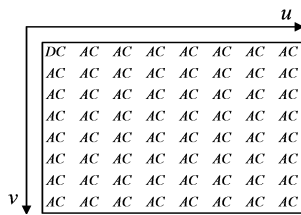


(a)



(b)

(그림 2) (a) 첫 번째 LBT 과정 수행 후의 매크로블록의 주파수 성분 분포. (b) 두 번째 LBT 과정 수행 후의 매크로블록의 주파수 성분 분포.



(a)

(그림 3) 8x8 DCT 후의 주파수 성분 분포.

3. JPEG XR 압축 영역에서의 영상 필터처리 (Image filtering)

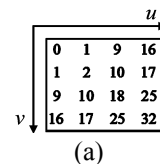
3-1. JPEG XR 압축 영역에서의 주파수 분포 분석

그림 3 에서 주파수 성분들의 위치를 (u, v) 로 나타낼 때, DC 의 위치를 $(0,0)$ 으로 나타낼 수 있고, 오른쪽과 아래로 갈수록 u 와 v 가 증가한다. 그림 3 에서의 주파수들의 고주파 정도는 일반적으로 u^2+v^2 값이 커질수록 고주파 정도가 커지게 된다. 그러나 JPEG XR 에서는 고주파 정도가 u^2+v^2 값에 비례하지 않는다. 하나의 4×4 블록 안에서는 u^2+v^2 값이 커질수록 고주파 비율이 커진다. 하지만 4×4 블록의 왼쪽 위의 모서리의 주파수 값들이 모두 저주파 성분들이다. 그래서 한 매크로 블록으로 주파수 성분들의 분포를 분석해 보면, 그림 2 (b)와 같이 저주파 성분인 LC 가 고

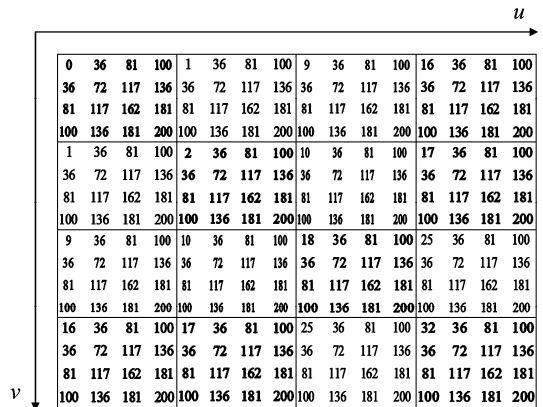
주파 성분인 HC 들 사이에 위치하게 된다. 이러한 독특한 주파수 분포 특성 때문에 JPEG XR 의 압축영역에서 영상 필터 처리를 수행하려면 이러한 주파수 성분 분포 특성을 반영하는 새로운 영상 필터 함수를 정의해야 한다.

$$f(a) = \begin{cases} \left(\frac{a}{4}\right)^2 & \text{if } (a \bmod 4) = 0 \text{ and } \frac{a}{4} \leq 1 \\ \left(\frac{a}{4} + 1\right)^2 & \text{else if } (a \bmod 4) = 0 \text{ and } \frac{a}{4} > 1, \\ \{(a \bmod 4) + 5\}^2 & \text{else if } (a \bmod 4) = 1 \\ \{(a \bmod 4) + 7\}^2 & \text{otherwise } (a \bmod 4) > 1 \end{cases} \quad (1)$$

식(1)의 a 에 u 또는 v 가 입력으로 들어갈 수 있다. 즉, $a \in \{u, v\}$ 이다. JPEG XR 만의 다른 주파수 분포 특성을 고려하여 주파수들의 고주파 정도를 식(1)을 이용하여 $f(u)+f(v)$ 로 표현 할 수 있다. 여기서 u, v 는 주파수 성분의 (u, v) 좌표이다. $f(u)+f(v)$ 를 JPEG XR 의 매크로블록과 4×4 DC 블록에 적용하면, $f(u)+f(v)$ 의 범위가 0~200 이 된다. $f(u)+f(v)$ 가 클수록 고주파 정도가 크다고 볼 수 있다. 그림 4 (a)는 4×4 DC 블록에서 주파수들의 고주파 정도를 수치로 나타내는데, $f(u)+f(v)$ 값이 dc 는 0 의 값을 가지고, LC 들은 1~32 의 값을 가진다. 그림 4 (b)를 보면 각 4×4 블록들의 HC 들이 같은 $f(u)+f(v)$ 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 첫 번째 LBT 단계에서의 PCT 과정이 4×4 블록들에 독립적으로 수행되어서 각 4×4 블록들이 같은 HC 성분 분포를 가지기 때문이다.



(a)



(b)

(그림 4) (a) 4×4 DC 블록과 (b) 매크로블록에서 주파수들의 고주파 정도를 $f(u)+f(v)$ 값으로 표현.

3-2. 저역통과 필터(Low pass filter)

그림 2 (b)에서 고주파 정도를 보면 dc 는 0 이고, LC 들은 1~32, HC 들은 36~200 이 된다. 이러한 고주파

정도를 참고로 하여 저역통과 필터 함수를 식(2)와 같이 $H_{LP}(u,v)$ 로 정의 할 수 있다.

$$H_{LP}(u,v) = \frac{1}{1 + [\sqrt{f(u) + f(v)} / f_0]^2}, \quad (2)$$

식(2)에서 f_0 가 차단주파수로써 저역통과 정도를 결정한다. f_0^2 는 $f(u) + f(v)$ 에 따라 결정되는데, 그 범위는 0~200 (dc~고주파)이므로 f_0 의 범위는 0~14.14 (dc~고주파)가 된다. f_0 를 변화시켜서 주파수들의 저역통과 되는 정도를 조절할 수 있다. LBT 후의 매크로 블록의 주파수 값들을 $F(u,v)$ 라고 정의하고, 저역통과 필터를 거친 주파수 값은 $G(u,v)$ 라고 정의하면, 식(3)으로 저역통과 필터처리 과정을 표현할 수 있다.

$$F(u,v)H_{LP}(u,v) = G(u,v). \quad (3)$$

3-3. 고역통과 필터(High pass filter)

그림 2(b)를 참고로 하여 고역통과 필터 함수를 식(4)와 같이 $H_{HP}(u,v)$ 로 정의 할 수 있다.

$$H_{HP}(u,v) = \frac{1}{1 + [f_0 / \sqrt{f(u) + f(v)}]^2}, \quad (4)$$

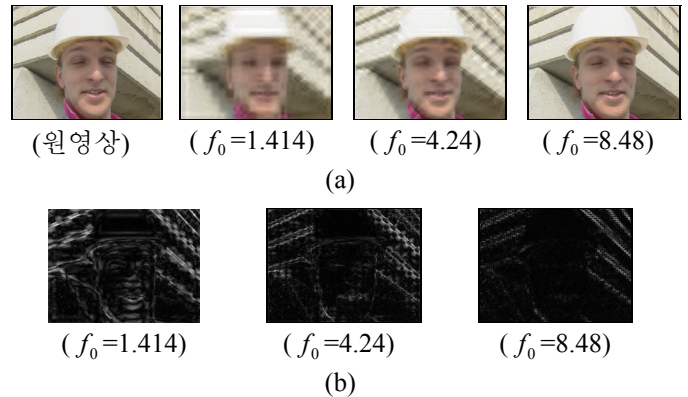
식(4)에서 f_0 가 차단주파수로써 고역통과 정도를 결정한다. f_0^2 의 범위가 0~200 (dc~고주파)이므로 f_0 의 범위는 0~14.14 (dc~고주파)가 된다. f_0 를 변화시켜서 주파수들의 저역통과 되는 정도를 조절할 수 있다. 3-1 절에서와 같이 $F(u,v)$ 와 $G(u,v)$ 를 정의하면 식(5)로 고역통과 필터처리 과정을 표현할 수 있다.

$$F(u,v)H_{HP}(u,v) = G(u,v). \quad (5)$$

4. 실험

제안한 영상 필터처리 방법을 검증하기 위해 그림 5 (a) 의 가장 왼쪽에 위치하는 “Foreman” 원영상을 실험에 사용하였다. POT 과정의 선택은 POT 가 첫 번째 LBT 와 두 번째 LBT 모두에서 수행하는 것으로 설정하였다. 그리고 차단주파수를 $f_0 = 1.414$, $f_0 = 4.24$, $f_0 = 8.48$ 로 변화시키면서 “Foreman” 원영상에 저역/고역통과 필터 처리를 실행하였다. 차단주파수의 변화에 따른 저역/고역통과 필터 처리된 결과 영상이 그림 5 (a)와 (b)에 나타나 있다. 그림 5 (a)의 원영상과 (a)의 나머지 저역통과 필터 처리된 결과영상들을 비교해 보면, 차단주파수가 낮을 때에는 얼굴과 건물 윤곽부분 모두가 흐릿하게 나타난다. 반면에 차단주파수가 높아지면 얼굴의 윤곽은 뚜렷이 보이며, 건물의 윤곽만 원영상에 비해 흐리게 나타난다. 그리고 차단주파수가 가장 낮을 때에 구역화 현상이 눈에 보이는데, 그 이유는 JPEG XR 의 LBT 과정의 PCT 와 POT 가 4x4 블록을 기본으로 행해지기 때문에 많은 고주파 성분이 없어지면 옆 블록과의 차이가 눈에 많이 띄기 때문이다. 그리고 그림 5 (a)의 원영상과 (b)의 고역통과 필터 처리된 결과영상들을 비교해보면, 차단주파수가 낮을 때 건물의 윤곽뿐만 아니라 얼굴의

윤곽도 자세히 나타난다. 반면에 차단주파수가 높아지면 고주파 성분들만 남게 되어 건물 윤곽만 남게 된다. 위와 같은 결과영상들의 분석을 통하여 저역/고역통과 필터가 신뢰성 있게 동작함을 확인할 수 있었다.



(그림 5) (a) “Foreman” 원영상과 해당 그림 아래의 대응되는 차단주파수로 저역통과 처리된 결과영상들. (b) 해당 그림 아래의 대응되는 차단주파수로 고역통과 처리된 결과영상들.

5. 결론

본 논문에서는 JPEG XR 과 JPEG 의 압축영역에서의 주파수 성분 분포의 차이점을 분석하고, 저역/고역통과 필터 함수를 제안하였다. 우리는 체계적인 실험을 통하여 제안된 필터의 효율성을 증명하였다. 본 논문에서 제안된 압축영역에서의 저역/고역통과 필터와 주파수 성분 분포의 분석은 JPEG XR 의 압축영역에서의 영상향상 알고리즘과 같은 복잡한 영상처리 기능을 효율적으로 고안하는데 유용한 정보를 제공할 것이다.

참고문헌

- [1] H. S. Malvar and D. H. Staelin, “The LOT: transform coding without blocking effects,” *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 37, pp. 553–559, Apr. 1989.
- [2] H. S. Malvar and D. H. Staelin, “Reduction of blocking effects in image coding with a lapped orthogonal transform,” *IEEE Int’l Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, 1988
- [3] H. S. Malvar, Biorthogonal and nonuniform lapped transforms for transform coding with reduced blocking and ringing artifacts, *IEEE Trans. on Signal Processing*, pp. 1043–1053, Apr. 1998.
- [4] T. D. Tran, J. Liang, C. Tu, “Lapped transform via time-domain pre- and post-filtering,” *IEEE Trans. on Signal Processing*, pp. 1557-1571, June 2003.
- [5] Sridhar Srinivasan, “HD Photo: A new image coding technology for digital photography”, *Proc. Of SPIE*, vol.6696, 66960A, 2007
- [6] Microsoft Corp., HD Photo Specification and HD Photo Device Porting Kit 1.0, available on-line at <http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/pros/wmphoto/>, Dec. 2006.