

선형 회귀분석을 이용한 합산 영역 테이블의 정밀도 향상

정주현, 이성길
성균관대학교 컴퓨터공학과*)
e-mail: {jhjeong10, sungkil}@skku.edu

Precision Enhancement of Summed Area Table using Linear Regression

Juhyeon Jeong, Sungkil Lee
Dept of Computer Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

합산 영역 테이블(Summed Area Table)을 사용하면 현재 픽셀 주변으로 임의의 사각 영역의 평균을 모든 픽셀을 읽을 필요 없이, 단 4번의 픽셀의 합과 차로 표시할 수 있다. 그러나 많은 픽셀의 값이 누적되는 경우 부동소수점 표현의 정밀도가 떨어지는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 합산 영역 테이블의 정밀도를 향상시키기 위한 방법으로 선형 회귀분석(linear regression)을 이용한 오프셋을 사용할 것을 제안한다. 회귀분석을 통해 구축한 다항식을 통해 픽셀 그리고 채널 별로 다른 오프셋을 적용하여 정밀도를 효과적으로 향상하였다.

1. 서론

합산 영역 테이블(Summed Area Table)은 이미지 처리에서 사각 필터링(filtering)을 효율적으로 적용하기 위한 자료구조이다. 현재 픽셀 주변으로 임의의 사각 영역의 평균을 모든 픽셀을 읽을 필요 없이, 단 4번의 픽셀 값의 합과 차로 표시할 수 있다. 합산 영역 테이블은 사각 필터링을 필요로 하는 이미지 블러(blur), 필터링 등의 분야에 쓰이고 있다.

그러나, 합산 영역 테이블은 좌측 아래 (혹은 우측 위)의 방향으로 영역의 합을 재귀적으로 더해져 저장한다. 이에, 많은 픽셀의 값이 누적되는 경우 보통 쓰이는 IEEE 754 방식의 32비트 부동소수점 표현의 정밀도가 떨어질 수 있다. 이에, 색상의 강도가 높거나 해상도가 높은 이미지를 이용해 합산 영역 테이블을 생성 할 경우 데이터가 손실되어 이미지를 복원할 시 일부 픽셀이 원본과 다른 문제가 발생한다.

이런 문제를 극복하기 위해 이미지에 오프셋(offset)을 적용하여 합산 영역 테이블을 생성하는 방법이 제안되었다[2]. 그러나 모든 픽셀에 대해 같은 오프셋을 사용하기 때문에 여전히 고해상도 이미지나 색상 분포에 따른 문제점을 해결하지 못해 모든 이미지에 대하여 정밀도를 보장해주지 못하고 있다.

본 논문은 합산 영역 테이블의 정밀도를 향상시키기 위해 선형 회귀분석(linear regression)을 이용한 오프셋을 사용할 것을 제안한다. 선형 회귀분석 통하여 계산된 다항식을 이용해 각 픽셀에 서로 다른 오프셋을 적용한 후 합산 영역 테이블을 생성함으로써 정밀도를 향상시킨다.

2. 관련연구

합산 영역 테이블은 각 성분이 현재 위치와 왼쪽 아래 모서리로 정의된 사각 영역을 이루는 모든 성분의 합을 저장하는 2차원 테이블이다. 따라서 해상도가 높은 이미지를 사용할수록 합의 양이 많아져 부동소수점 표현 방식의 한계 범위를 넘어 정밀도가 떨어지는 문제가 발생할 수 있다.

합산 영역 테이블은 Crow[1]가 처음으로 제안하였다. 텍스처 맵핑(texture mapping)에 따른 안티앨리어싱(antialiasing)을 제거하기 위해 기존에 사용되던 mip맵(mipmap)을 대신하여 사용하였다. 그러나 테이블의 생성 시간을 고려하지 않은 문제점을 안고 있었다.

Hensley 등[2]은 합산 영역 테이블을 빠르게 생성하기 위해 recursive doubling 알고리즘을 이용한 병렬 생성 방식을 제안하였다. 또한 정밀도 문제에 관련하여 이미지에 오프셋을 적용하여 테이블을 생성할 것을 제시하였다. 이러한 방법을 통해 픽셀 값의 범위를 [0.0 1.0]으로부터 [-0.5 0.5]로 이동시켜 단조 증가로 인해 생길 효과를 상쇄시킬 수 있었다.

*) 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구, 중견연구자 사업 지원을 받아 수행된 것임 (No. 2011-0014015, 2012R1A2A2A01045719).

그러나 픽셀별로 같은 오프셋을 적용하기 때문에, 이미지의 해상도와 색상 분포에 따라 음수 방향으로나 양수 방향으로나 정밀도가 떨어지게 될 잠재적인 문제점을 안고 있다. 따라서 본 논문에서는 픽셀 그리고 채널 별로 다른 오프셋을 적용하여 정밀도를 효과적으로 향상하였다.

3. 알고리즘

3.1 선형 회귀 분석을 통한 오프셋 정의

합산 영역 테이블의 정밀도를 높이기 위해 본 논문에서는 선형 회귀분석을 이용하여 각 픽셀의 오프셋을 계산한다. 그림 1은 1차원 배열의 경우에 대해 같은 오프셋을 적용한 경우와 선형 회귀분석을 통해 오프셋을 적용할 경우를 보여준다.

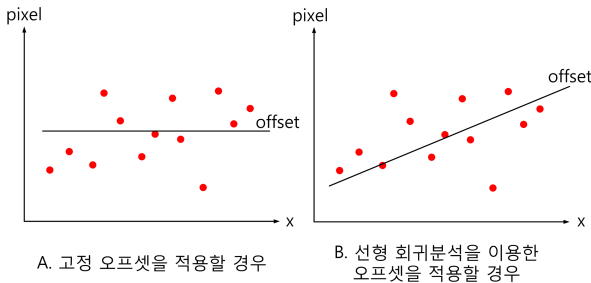


그림 1. 1차원 배열에 대한 오프셋 적용.

그림 1 A는 고정 오프셋을 사용한 경우를 보여주며 그림 1 B는 선형 회귀분석을 이용한 오프셋을 사용한 경우를 보여준다. B를 보게 되면 각 픽셀별로 해당 값에 최대한 가까운 값을 오프셋으로 적용하였다. 본 오프셋을 적용할 경우 모든 픽셀에 대해 동일한 값을 적용하는 방식보다 더 많은 픽셀이 0에 가깝게 수렴하게 되는 것을 알 수 있다. 이로 인해, 합산 영역 테이블을 생성할 때 총합이 부동소수점 표현 방식의 한계 범위를 초과하지 않는 효과를 기대할 수 있다. 또한, 본 방식을 이용하여 픽셀마다 각각 다른 오프셋을 적용하면, 별도의 텍스처를 생성할 필요가 없어 텍스처 샘플링 없이 원본 픽셀을 빠르게 복원할 수 있다.

각 픽셀에 대해 적용 되는 오프셋은 식 1과 같다. x와 y는 각각 이미지의 x축, y축 좌표이다. 각 픽셀별로 오프셋을 적용시키기 위해 픽셀마다 채널별로 선형 회귀분석을 통해 생성된 다항식을 오프셋으로 적용한다.

$$\begin{aligned}
 r(x, y) &= a_r x + b_r y + c_r \\
 g(x, y) &= a_g x + b_g y + c_g \\
 b(x, y) &= a_b x + b_b y + c_b \quad (1)
 \end{aligned}$$

3.2 Recursive doubling을 이용한 합산 영역 테이블 생성

오프셋을 적용한 이미지를 통해 합산 영역 테이블을 생성하기 위해 앞서 언급했던 recursive doubling 알고리즘을 사용한다[2]. 그림 2는 1차원 배열에 대한 recursive doubling 알고리즘을 보여준다.

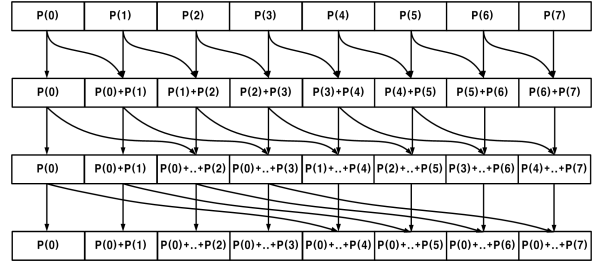


그림 2. Recursive doubling 알고리즘[2].

텍스처 샘플링의 효율성을 위해 수평 단계와 수직 단계를 나누어 생성한다. 수평 단계에선 각 행마다 수평 방향으로 프리픽스 섬(prefix sum)을 하여 저장한 후, 수직 단계에서 각 열마다 수직 방향으로 프리픽스 섬을 실행한다. 각 단계의 패스 수는 수평 단계에서 $\log_2(\text{width})$, 수직 단계에서는 $\log_2(\text{height})$ 이다. 프리픽스 섬을 반복적으로 수행하여 2^n 크기를 포함하는 테이블을 생성할 수 있다.

합산 영역 테이블의 사용은 현 위치에서 4번의 텍스처 룩업으로 구현될 수 있다 (식 2).

$$\text{average} = \frac{UR - UL - LR + LL}{w * h} \quad (2)$$

4. 결과 및 토론

정밀도 오차를 측정하기 위해, 원본 이미지와 합산 영역 테이블을 이용하여 복원한 이미지를 비교하였다 (그림 3). 측정 오차는 PSNR, SSIM[3]의 두 대표적 방법을 이용하여 측정되었다. 복원 결과의 오차는 매우 작으며, 특히 SSIM은 1에 매우 가까움을 알 수 있다.



그림 3. 원본 이미지와 합산 영역 테이블을 이용하여 복원한 이미지

본 연구에선 1차 다항식으로 회귀분석을 하여 오프셋을 적용하였기 때문에 이미지에 색상분포에 따라 R^2 가 매우 낮게 나오는 경우가 생긴다. 이는 모든 이미지에 안정적으로 적용할 수 없음을 알려준다. 추후 연구는 고차 다항 회귀분석 및 다른 해결 방법을 포함한다.

참고문헌

- [1] CROW, Franklin C. Summed-area tables for texture mapping. In: ACM SIGGRAPH Computer Graphics. ACM, 1984. p. 207-212.
- [2] HENSLEY, Justin, et al. Fast Summed Area Table Generation and its Applications. In: Computer Graphics Forum. Blackwell Publishing, Inc, 2005. p. 547-555.
- [3] WANG, Zhou, et al. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. Image Processing, IEEE Transactions on, 2004, 13.4: 600-612.