

필드 기반 워핑을 위한 Pseudomedian 필터의 보간 성능 분석

이형진 · 곽노윤

천안대학교 정보통신학부

e-mail:nykwak@cheonan.ac.kr

Performance Analysis of Interpolation with Pseudomedian Filter for Field-based Warping

Hyoung-Jin Lee · No-Yoon Kwak

Div. of Information and Communications, Cheonan University

요 약

본 논문은 필드 기반 영상 워핑을 위한 Pseudomedian 필터 기반 영상 보간법을 제안하고 주관적인 화질을 분석·평가함에 그 목적이 있다. 대표적인 영상 워핑 기술 중 하나인 필드 기반 워핑은 상대적으로 많은 연산량을 요구하는 것에 반해 제어선을 이용하여 좀 더 세밀하게 워핑 결과를 제어할 수 있는 것이 장점이다. 필드 기반 영상 워핑의 동작 특성상, 국부적인 영상 확대와 축소 및 회전 등과 같은 다양한 기하학적인 변형이 복합적으로 발생하게 되는데 역방향 매핑 과정에서 소스 영상과 목적 영상의 화소가 정수 화소 단위로 대응되지 않을 경우, 목적 영상에 대응시킬 화소값을 산출하기 위해 적합한 영상 보간 기술이 필요하다. 다양한 보간 기술들 중에서 평균적으로 우수한 결과를 제공하는 양선형 보간이 보편적으로 사용되고 있으나, 이 보간 기술은 대각선 방향의 윤곽선 재현에 한계를 가지고 있다. 본 논문에서는 필드 기반 영상 워핑을 수행할 시에 윤곽선 재현에 우수한 특성을 보이는 Pseudomedian 필터 보간과 양선형 보간을 효과적으로 결합하여 양자의 장점을 보간 결과에 반영함으로써 양선형 보간만을 이용하는 필드 기반 워핑 기술에 비해 자연스러운 워핑 결과를 제공할 수 있었다. 제안된 방법의 타당성과 보편성을 검증하기 위해 서로 다른 분포 특성을 갖는 영상을 대상으로 주간적인 화질 측면에서 그 성능을 분석·평가하였다.

1. 서 론

영상 워핑 알고리즘으로는 변경될 부분의 형태를 지정하는 방법에 따라 구분될 수 있는데 필드 기반 워핑(field-based warping), 메쉬 워핑(mesh warping)이 대표적이다. 메쉬 워핑은 소스 영상(source image)과 목적 영상(destination image)을 서로 대응되는 다수의 다각형으로 분할한 후, 메쉬 단위로 기하학적 워핑을 수행하게 된다. 필드 기반 워핑은 메쉬 워핑에 비해 제어선 설정이 용이하며 설정된 제어선의 위치나 길이의 변화에 대해 비교적 덜 민감한 장점이 있다[1-3]. 이러한 영상 워핑 기법들을 목적 영상에 적용하게 되면 그 과정에서 국부적인 영상 확대와 축소 및 회전 등과 같은 다양한 기하학적인 변형이 복합적으로 발생하게 되는데 역방향 매핑(reverse mapping) 과정에서 소스 영상과 목적 영상의 화소가 정수 화소 단위로 대응되지 않을 경우, 새로운 화소값

을 생성하기 위해 적합한 영상 보간 기술이 필요하다. 대표적인 디지털 영상 보간 기법으로는 ZOI(Zero Order Interpolation, 0차 보간) 방법, FOI(First Order Interpolation, 1차 보간) 방법, Cubic Convolution 방법, Cubic B-Spline 방법[4], Cubic Hermite 방법[5], 미디안 필터(MED; Median Filter) 방법[6], SWAI(Spatio-Weighted Adaptive Interpolation, 시공간 적응 보간) 방법[7], 형태학적 필터 방법[8], Pseudomedian 필터 보간법[9] 등이 제안되어 있다.

이러한 다양한 보간 기법들 중에서 실시간 처리가 강조되는 워핑 관련 응용 분야에서는 ZOI(즉, 최인접 화소 보간법, Nearest Neighbor Interpolation)가 선호되고 있지만 저급한 화질을 제공하기 때문에 평균적으로 우수한 비용 대 성능비를 제공하는 FOI(즉, 양선형 보간, Bilinear Interpolation)가 보편적으로 사용되고 있다. 그러

나, FOI는 수직 및 수평 방향의 보간 특성은 우수한 반면에 대각선 방향의 윤곽 재현성이 열악한 문제가 있다.

이러한 문제를 보완하기 위해 본 논문은 필드 기반 워핑 기법에 적용하기 위한 효과적인 디지털 보간 기법을 제안하고 서로 다른 분포 특성을 갖는 영상을 대상으로 주간적인 화질 측면에서 그 성능을 평가함에 그 목적이 있다. 제안된 방법은 필드 기반 영상 워핑을 수행할 시, 수평 및 수직 방향의 재현성이 뛰어나고 임의의 화소 위치에 대한 비례적인 계산이 용이한 양선형 보간법과 대각선 방향의 윤곽선 재현에 우수한 특성을 보이는 Pseudomedian 필터 보간법[9]을 효과적으로 결합하여 양자의 장점을 보간 결과에 반영하고자 한다. 이를 통해 양선형 보간만을 이용하는 필드 기반 워핑에 비해 대각선 방향의 윤곽 재현성이 뛰어나고 계단 현상이 경감된 좀 더 자연스러운 워핑 결과 영상을 제공할 수 있다.

2. 제안된 필드 기반 영상 워핑

일반적으로 필드 기반 워핑은 각 화소 단위의 역방향 매핑을 통해 소스 영상으로부터 목적 영상에 대응시킬 화소의 표본을 취한다[2]. 소스 영상에서 어떤 화소를 목적 영상의 해당 위치에 대응시킬지 여부는 소스 영상과 목적 영상 간에 짝을 이루는 하나 이상의 제어선 쌍들의 가중치 합에 의해 계산된다.

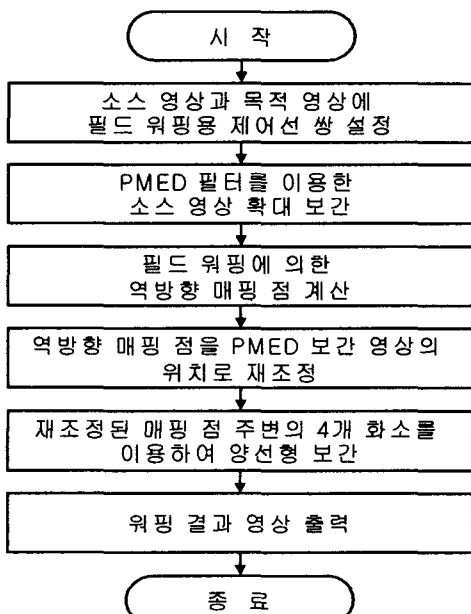


그림 1. 제안된 방법의 순서도

그림 1에 나타낸 바와 같이 제안된 방법은 역방향 매핑 과정에서 소스 영상과 목적 영상의 화소

가 정수 화소 단위로 대응되지 않을 경우, 해당 위치에 인접한 소스 영상의 화소들을 대상으로 Pseudomedian 필터 보간을 적용한 후, 이렇게 보간된 화소들과 소스 영상의 원화소들에 양선형 보간을 적용하여 목적 영상에 대응시킬 화소값을 산출함으로써 상대적으로 양호한 워핑 결과를 제공한다.

2.1 필드 기반 워핑(field-based warping)

필드 기반 워핑 알고리즘은 다른 워핑 알고리즘과 달리 다각형의 형태가 아니라 선의 형태로 제어를 수행한다. 소스 영상과 목적 영상에 상호 대응되는 제어선들을 설정한 후 제어선 길이의 비율과 제어선으로부터의 이격 거리를 이용하여 변형을 수행하는 알고리즘이다. 각 제어선은 영상 내의 모든 화소에 약간씩 영향을 주고 복수의 제어선이 사용될 때, 화소마다 각 제어선에 대한 가중치가 할당된다. 가중치는 제어선의 길이에 비례하며 제어선과 떨어진 거리에 반비례한다. 따라서 제어선이 그려지면 제어선과의 거리가 멀어질수록 해당 화소에 적은 영향을 미치게 된다. 식(1)은 가중치의 계산 방법을 나타내고 있다. p 값은 선의 길이가 가중치에 영향을 주는 정도를 결정하고, a 는 0으로 나누는 에러를 방지하기 위한 것이고, b 는 거리가 증가함에 따라 상대적인 가중치가 얼마나 감소하는가를 결정하는 변수이다.

$$\text{가중치} = \left[\frac{\text{제어선의길이}^p}{(a+\text{거리})} \right]^b \quad (1)$$

필드 기반 워핑은 매쉬 워핑에 비해 제어선 설정이 용이하며 설정된 제어선의 위치나 길이의 변화에 대해 비교적 덜 민감하다는 장점이 있다 [2][3]. 모든 화소가 제어선에 따라 워핑되므로 제어선이 어떻게 주어졌는가에 따라 상이한 결과가 제공된다. 그러나, 필드 기반 워핑은 영상 내의 모든 화소들이 모든 제어선에 대해 계산되기 때문에 상대적으로 큰 복잡도로 인해 속도가 느리다는 단점이 있다. 워핑 결과 영상을 생성하는 데 걸리는 시간은 그 프레임내의 화소의 수와 제어선의 수에 정비례한다[3].

2.2 Pseudomedian 필터에 의한 영상 보간

제안된 방법은 역방향 매핑 과정에서 소스 영상과 목적 영상의 화소가 정수 화소 단위로 대응되지 않을 경우, 해당 위치에 인접한 소스 영상의 화소들을 대상으로 Pseudomedian 필터 보간[9]을 수행한다.

우선, 그림 2에서와 같이 빈 화소 점을 무시한 상태에서 식(2)와 식(3) 및 식(4)와 같이 각 부 원

도우의 최대치들 중에서 최소치와 최소치들 중에서 최대치를 평균함으로써 각각 수평 방향의 빈 화소점 ①과 수직 방향의 빈 화소점 및 대각선 방향의 빈 화소점 ③을 보간한다.

$$\begin{aligned} \textcircled{1} &= \text{H-shaped PMED}\{A, B, C\} \\ &= 0.5 \times \max\{\min\{A\}, \min\{B\}, \min\{C\}\} \\ &\quad + 0.5 \times \min\{\max\{A\}, \max\{B\}, \max\{C\}\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\textcircled{2} = \text{H-shaped PMED}\{A', B', C'\} = 0.5 \times \max\{\min\{A'\}, \min\{B'\}, \min\{C'\}\} + 0.5 \times \min\{\max\{A'\}, \max\{B'\}, \max\{C'\}\} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \textcircled{3} &= \text{H-shaped PMED}\{A'', B'', C''\} \\ &= 0.5 \times \max\{\min\{A''\}, \min\{B''\}, \min\{C''\}\} \\ &\quad + 0.5 \times \min\{\max\{A''\}, \max\{B''\}, \max\{C''\}\} \end{aligned} \quad (4)$$

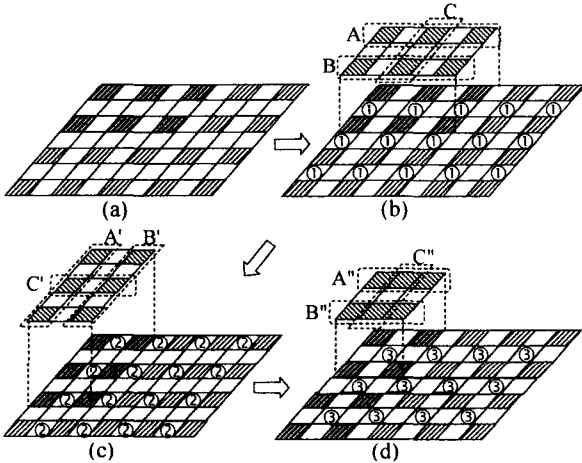


그림 2. H-shaped PMED에 의한 영상 보간 과정

그림 2를 참조할 때, 대각선 방향의 빈 화소점 ③의 경우에는 수평 방향과 수직 방향에 걸쳐 동일한 최적 가능성이 제공됨에 따라 어느 방향을 선택하더라도 무방하다. 다시 말해서, 전술한 식(4)의 경우는 부 윈도우의 설정 방향을 두 방향 중에서 임의로 수평 방향으로 택일한 것일 뿐이다. 따라서 대각선 방향의 정확한 보간을 위하여 수평과 수직 방향의 유사성을 판별하여 더 가까운 보간될 값으로 선택한다. 수평 방향의 부 윈도우에 포함되는 화소 값들의 유사성 정도를 정량적으로 산출하기 위해 식(5)로부터 S_H 를 구하여 S_H 의 역수를 수평 방향의 유사도로 정의하고, 마찬가지로, 식(4)의 수직 방향의 부 윈도우에 포함되는 화소 값들의 유사성 정도를 정량적으로 파악하기 위해 식(6)로부터 S_V 를 구하여 S_V 의 역수를 수직 방향의 유사도로 정의한다.

$$S_H = |I(i-1, j-1) - I(i-1, j+1)| + |I(i-1, j) - I(i+1, j)| + |I(i+1, j-1) - I(i+1, j+1)| \quad (5)$$

$$S_V = |I(i-1, j-1) - I(i+1, j-1)| + |I(i, j-1) - I(i, j+1)| + |I(i-1, j+1) - I(i+1, j+1)| \quad (6)$$

다음으로, $1/S_H$ 와 $1/S_V$ 를 비교하여 $1/S_H \geq 1/S_V$ 일 경우, 즉, $S_H \leq S_V$ 인 경우에는 수평 방향에 대한 유사도가 큰 것으로 판단됨에 따라 부 윈도우의 설정 방향을 수평 방향으로 선정하고, 그렇지 않을 경우에는 역으로 수직 방향에 대한 유사도가 클 가능성이 높기 때문에 부 윈도우의 설정 방향을 수직 방향으로 선정한다. 이상의 유사도 비교 과정을 통해 H-shaped Pseudomedian 필터의 부 윈도우 설정 방향을 가변적으로 전치(transpose)함으로써 윤곽 정보의 재현성을 용이하게 개선하면서 보간된 영상을 얻어 낼 수 있다.

2.3 양선형 보간

필드 기반 워핑에 의해 역방향 매핑 점이 계산되면, 역방향 매핑 점을 Pseudomedian 보간 영상의 위치로 재조정 한 후, 재조정된 매핑 점 주변의 4개 화소를 이용하여 양선형 보간을 수행함으로써 최종적인 필드 워핑 결과 영상을 얻는다.

해당 위치에 인접한 소스 영상의 화소들을 대상으로 Pseudomedian 필터 보간을 적용한 후, 그림 3을 참고할 때 이렇게 보간된 화소들과 소스 영상의 원화소들에 식 7과 같이 양선형 보간(FOI)을 적용하여 목적 영상에 대응시킬 화소값을 산출함으로써 상대적으로 양호한 워핑 결과를 제공할 수 있다. 양선형 보간법은 4개의 가장 가까운 화소들에 가중치를 곱한 값들의 합이다. 가중치들은 식(7)을 통하여 구할 수 있다. 가중치들은 선형적으로 결정되어지고, 각각의 가중치는 각각의 존재하는 화소로부터 거리에 반비례한다[3].

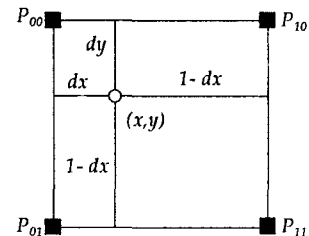


그림 3. 양선형 보간의 화소 위치

$$\begin{aligned} \text{Dest_Pixel} &= (1-dx) \times (1-dy) \times P_{00} \\ &\quad + (1-dx) \times dy \times P_{10} \\ &\quad + dx \times (1-dy) \times P_{01} + dx \times dy \times P_{11} \end{aligned} \quad (7)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 정지 영상을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 다양한 시험 영상을 이용하였으나 지면 관계상 LOTUS 영상에 대한 결과만을 제시하고자 한다.

설명의 편의상, 제안된 방법은 Pseudomedian 필터 보간을 적용하여 각각 2배 및 4배 확대 보간한 후, 역방향 매핑에 의해 지정되는 위치를 기준 삼아 주변의 4개를 화소를 가지고 양선형 보간을 적용하여 최종적인 보간 결과값을 구하도록 시뮬레이션하였고 이를 각각 PMED I과 PMED II로 구분하여 지칭하기로 한다.

그림은 4는 LOTUS 영상에 대한 제어선 쌍의 설정을 예시한 것으로, 소스 영상의 제어선에 인접한 영역이 목적 영상에서는 전체적으로 확대되는 방향으로 워핑이 발생하도록 설정한 것이다.



그림 4. LOTUS 영상에 대한 제어선 쌍 설정

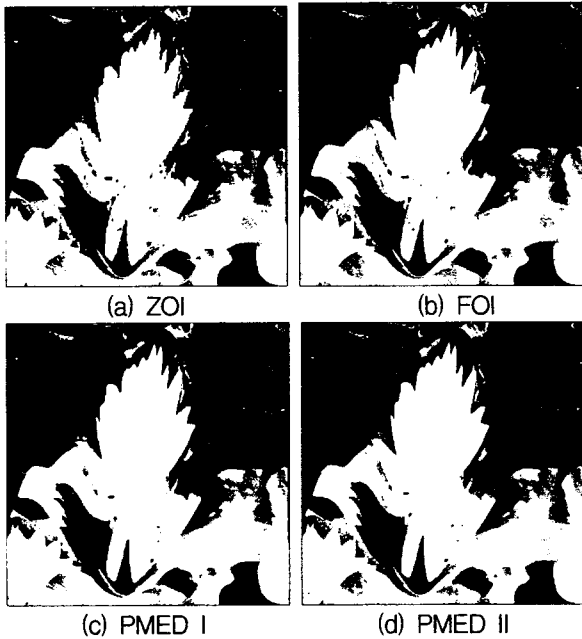


그림 5. 각 방법을 적용한 LOTUS의 워핑 결과 영상

그림 5는 LOTUS 영상을 대상으로 각 방법을 적용한 워핑 결과 영상이고 그림 6은 프린터의 인쇄 해상도가 제한되어 있음을 감안하여 대비가 가능하도록 하기 위해 국부 영역을 양선형 보간법으로 2배 확대한 영상을 예시한 것이다. 윤곽선 정보의 재현 특성을 직관적인 관능 평가를 통해 고찰할 때, 그림 6에서 확인할 수 있듯이 주관적인 화질 면에서는 제안된 방법(PMED I, PMED II)이 우수한 결과를 제공함을 확인할 수 있다.



(a) ZOI



(b) FOI



(c) PMED I



(d) PMED II

그림 6. 각 방법을 적용한 LOTUS의 국부 확대 영상

ZOI은 그림 5(a) 및 그림 6(a)에서 볼 수 있듯이 전체적으로 윤곽 영역에서 극심한 스텝 현상이 발생하기 때문에 주관적인 성능이 매우 열악함을 알 수 있다. FOI은 그림 5(b)와 그림 6(b)에서와 같이 수평과 수직 방향의 보간 특성은 우수한 반면에 대각선 방향의 윤곽 재현성에 한계가 있음을 알 수 있다.

제안된 방법(PMED I, PMED II)은 대각선 방향의 윤곽 정보를 매우 자연스럽게 재현할 뿐만 아니라 FOI(양선형 보간)에서 나타나는 심한 계단 현상을 효과적으로 억제시킴을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 필드 기반 워핑의 역방향 매핑 과정에서 Pseudomedian 필터 보간과 양선형 보간을 효과적으로 결합하여 양자의 장점을 보간 결과에 반영함으로써 자연스러운 워핑 결과를 제공할 수 있는 영상 보간 기법을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기존의 방법과 제안된 방법을 비교·분석함으로써 제안된 방법의 우수성을 입증하였다. 제안된 방법은 양선형 보간법만을 사용하는 경우에 비해 대각선 윤곽정보에 대해 상대적으로 우수한 성능을 보여주고 있다. 그러나, 제안된 방법은 Psuedomedian 필터 보간을 위한 추가적인 연산이 필요한 단점이 있다. 이에 따라 향후 제어선을 중심으로 기하학적 변형이 일어나는 영역에 국한된 워핑을 수행함으로써 연산량을 경감하여 고속화를 실현할 필요가 있다.

한편 제안된 방법 중 PMED II는 PMED I이 2배를 사용하는 것에 반해 소스 영상을 Psuedomedina 필터 보간법으로 4배 확대한 영상에서 역방향 매핑 점을 재조정함으로써 더욱 더 우수한 워핑 결과를 얻고 있다. 특정 매핑점이 영상이 확대되는 방향으로 워핑이 발생하는 경우, Psuedomedina 필터 보간법의 우수성에 기인하여 평균적으로 우수한 화질을 제공한다. 하지만

제안된 방법을 영상이 확대되는 방향으로 워핑이 발생할 경우는 고려가 되어 있지만 축소되는 방향으로 워핑이 발생하는 경우에 대해서는 축소비를 충분히 반영하고 있지 못함에 따라 이를 적극적으로 고려하는 알고리즘의 도출이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] George Wolberg, *Digital Image Warping*, IEEE Computer Society Press, 1990.
- [2] T. Beier, S. Neely, "Feature-Based Image Metamorphosis", *Proceedings of SIGGRAPH'92 on Computer Graphics*, vol. 26(2), pp. 35-42, Jul. 1992.
- [3] Randy Crane, *A Simplified Approach to Image Processing*, Prentice Hall, pp. 245-292, 1997.
- [4] M. A. Sid-Ahmed, *Image Processing-Theory, Algorithms, and Architectures*, McGraw-Hill, pp. 167-177, 1995.
- [5] 김희상, 이상호, 고한석, "A Image Interpolation Using Cubic Hermite Method", 제11회 신호처리합동학술대회 논문집, vol. 11, no. 1, pp.33-36, 1998. 10.
- [6] H. Rabtanen, "Color Video Signal Processing with Median Filters", *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 38, no. 3, pp.157-161, Aug. 1992.
- [7] D. Nguyen, E. Dubois, "Spatio-Temporal Adaptive Interlaced to Progressive Conversion", *Proceedings of International Workshop on HDTV'92*, vol. 2, pp. 18-20, 11. 1992.
- [8] A. Albiol, "Morphological Image Enlargements", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 8, no. 4, pp. 367-383, Dec. 1997.
- [9] 광노윤, 권병헌, 황병원, "디지털 영상 확대를 위한 Pseudomedian 필터의 부윈도우 설정 방법", 전자공학회논문지, 제36권 S편, 제9호, pp. 91-102, 1999. 9.