

정면 얼굴 영상의 회전 포즈 변형을 위한 메쉬워프 알고리즘의 개선

김영원*, 판대홍*, 오승택*, 전병환**

*공주대학교 대학원 컴퓨터공학과,

**공주대학교 정보통신공학부

e-mail:{forever, bhjun}@kongju.ac.kr

The Improvement of Meshwarp Algorithm for Rotational Pose Transformation of a Front Facial Image

Young-Won Kim*, Hung The Phan**, Seung-Taek Oh*,
Byung-Hwan Jun**

*Dept. of Computer Engineering, Graduate School,
Kongju National University

**Division of Information and Communication Engineering,
Kongju National University

요 약

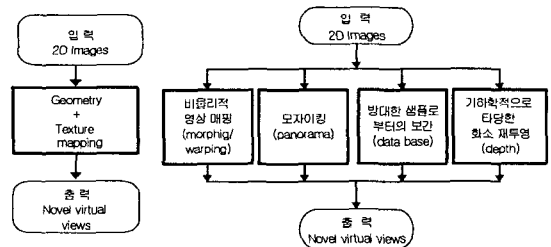
본 논문에서는 한 장의 정면 얼굴 영상만으로 회전 변형을 수행할 수 있는 새로운 영상기반렌더링(Image Based Rendering; IBR) 기법을 제안한다. 3차원 기하학적 모델을 대신하면서 수평 회전 변형을 연출하기 위해, 특정 인물의 정면, 좌우 반측면, 좌우 측면의 얼굴 영상에 대한 표준 메쉬 집합을 작성한다. 변형하고자 하는 임의의 인물에 대해서는 정면 영상에 대한 메쉬만을 작성하고, 나머지 측면 참조 메쉬들은 표준 메쉬 집합에 의해 자동으로 생성된다. 입체적인 회전 효과를 연출하기 위해, 회전 변형시 발생할 수 있는 제어점들간의 중첩 및 역전을 허용하도록 기존의 두 단계 메쉬워프 알고리즘을 개선한 역전가능 메쉬워프 알고리즘(invertible meshwarp algorithm)을 제안한다. 이 알고리즘을 이용하여 다양한 남녀노소의 정면 얼굴 영상에 대해 회전에 따른 포즈 변형을 수행하여 비교적 자연스러운 포즈 변형 결과를 얻었다.

1. 서론

3차원 게임이나 애니메이션에서 사용되는 3차원 컴퓨터 그래픽 기술은 모델링을 위해 매우 많은 비용과 시간이 소요되며, 색상 및 질감에 대한 사실적 표현이 매우 어렵다는 단점을 가진다. 최근에는 3차원 모델 없이 미리 취득한 2차원 영상들로 새로운 가상뷰(novel virtual view)를 복원할 수 있는 영상기반 접근방법(image-based approach) 즉, 영상기반 렌더링(Image-Based Rendering; IBR)[1]이 활발하게 연구되고 있다. 이 방식은 3차원 모델을 사용하는 방법과 달리, 처리 속도가 물체나 장면의 복잡도에 무관하다는 장점을 가지며, 실시간 처리가 필요한 가상 현실 구현에 적절한 방법이라고 할 수 있다.

[그림 1]의 (a)는 기하기반 접근방법(geometry-

based approach)[2-5]으로 전통적인 방법보다는 단순한 3차원 모델에 텍스처를 매핑함으로써 보다 사실적인 모델을 구축하는 것을 나타낸다.



(a) Geometry-based approach (b) Image-based approach

[그림 1] 기하기반 접근방법과 영상기반 접근방법의 비교

* 본 연구는 한국과학재단 지정 공주대학교 자원재활용 신소재 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

† BK21 대전·충남 정보통신인력양성사업단 연구조교(RA) 수혜

[그림 1]의 (b)는 Kang[6]이 분류한 네 가지 IBR 접근방법이다. 비물리적 영상 매핑(non-physically based image mapping)[7]은 3차원 기하를 전혀 고려

하지 않는 모핑(morphing)을 의미하는 것으로, 방대한 양의 참조 영상들을 요구하며, 참조 얼굴들의 합성만이 가능하다. 모자이크(mosaicking)[8,9]은 둘 이상의 영상을 조합하여 보다 큰 영상을 만드는 것을 의미하는 것으로 대표적으로 파노라마(panorama)가 있으며, 장면의 렌더링에 적합한 방법이다. 방대한 샘플로부터의 보간은 서로 다른 많은 카메라 시점에서 물체나 장면의 영상들의 룩업 테이블(lookup table)을 만들고, 이를 보간하여 주어진 임의의 시점에서의 영상을 합성하는 기법[10,11]이다. 기하학적으로 타당한 화소 재투영(geometrically-valid pixel reprojection)은 3차원 모델과 기하학적 카메라 정보를 필요로 하지 않고 상대적으로 적은 수의 영상을 사용한다는 특성을 갖는다. 예로써, epipolar constraints 하에서 두 참조 영상 사이의 중간 포즈 영상을 생성하는 뷰 모핑(view morphing)[12]과 광류(optic-flow)와 삼선형 텐서(trilinear tensor)를 사용하여 두 참조 영상으로 다양한 새로운 뷰를 생성하는 방법[13]이 있다. 그러나 적어도 두 참조 영상을 요구하고, 특히 텐서 접근 방법은 집중적인 대응(correspondence)을 요구하는 단점이 있다. 그 밖에도 매우 단순한 3차원 기본 모델과 적은 수의 영상을 함께 사용하는 하이브리드 접근방법(hybrid approach)[14]도 있다.

본 논문에서는 일반적으로 다수의 참조 영상을 필요로 하는 기존의 IBR과 달리, 단 한 장의 정면 얼굴 영상을 사용하여 얼굴 회전에 따른 포즈 변형을 연출하는 방법을 제안한다. 이를 위해, 메쉬간의 중첩이나 역전을 허용하도록 기존의 메쉬워프 알고리즘을 개선하였다.

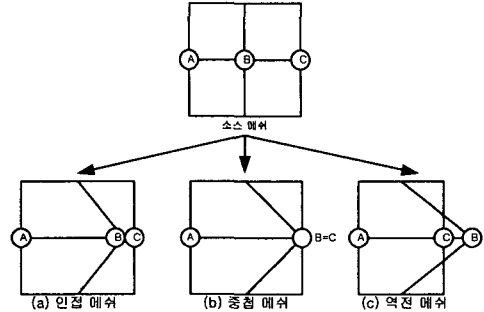
2. 역전가능 메쉬워프 알고리즘

이미지 워핑(image warping)은 입력 영상에서의 임의의 화소를 특정 규칙에 따라 이동시켜 원하는 목적 영상으로 변형시키는 것이다. 예로써, 크게 점 기반(point-based), 벡터/범위 기반(vector/field-based), 비정형 좌표 변환(free-form coordinate change), 그리고 메쉬 기반(mesh-based) 워핑 등이 있다[15].

본 논문에서는 단순히 얼굴의 모양을 변화시키는 것이 아니라 입체적인 회전 효과를 연출하고자 하기 때문에, 얼굴의 윤곽선을 감싸서 유지시킬 수 있는 Douglas Smythe가 제안한 두 단계 메쉬워프 알고리즘(two-pass meshwarp algorithm)[16]을 선택하였다.

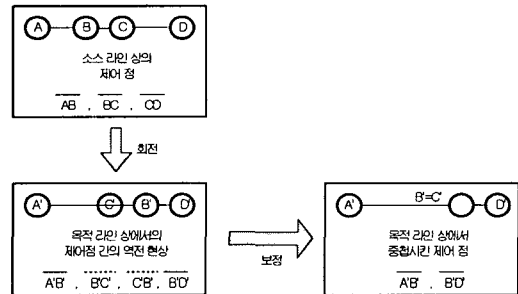
기존의 워핑 기법은 대부분 모핑(morphing)기법을 함께 사용하여 주로 같은 포즈를 취하는 두 개체 사이의 영상 변형에 사용되어져 왔다. 그러나, 본 논문에서는 2차원의 정면 영상 및 메쉬로 자연스러운 얼굴의 회전 변형을 구현하고자 하기 때문에, 얼굴 경계나 코의 능선에 위치하는 메쉬 점들이 한 곳으로 중첩되는 현상이 발생할 수 있으며, 회전 정도가 더 커지면 볼의 윤곽이 코에 가려지는 역전 현상도 발생할 수 있다. [그림 2]는 메쉬의 인접, 중첩, 역전 현상의 예를 보여준다. (a)는 목적 메쉬에 이웃한 두 메쉬점 B와 C가 인접하는 현상을 보여주는데, 이는 기존의 메쉬워프 알고리즘으로도 처리할 수 있다. (b)는 중첩

이 발생하여 B와 C가 동일한 메쉬점이 되는 경우이고, (c)는 역전 현상의 예로서, 메쉬점 순서 A-B-C가 A-C-B로 달라졌다.



[그림 2] 메쉬의 인접, 중첩, 역전 현상

이와 같은 중첩 메쉬나 역전 메쉬가 발생할 경우에는, 메쉬 점들이 떨어져있다고 가정하고 보간 함수(interpolation function)를 호출하는 기존의 메쉬워프 알고리즘으로는 각 행·열마다 제어점을 생성하기 위한 보간이나, 영상 재샘플링 단계에서의 스케일 요소 계산을 위한 보간이 불가능하다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있도록 개선한 역전가능 메쉬워프 알고리즘(invertible meshwarp algorithm)을 제안한다. 예로써, [그림 3]은 소스 메쉬의 한 라인(행 또는 열) 상에서 연속된 제어점들이 회전에 의해 목적 메쉬의 라인 상에서 역전되는 경우의 처리과정을 보여준다. 이는 전통적인 3차원 컴퓨터 그래픽 기법에서의 은면 또는 은선 제거에 해당한다.



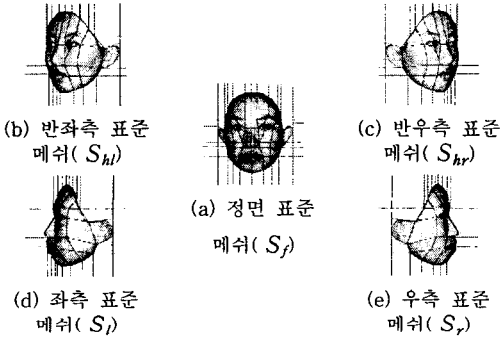
[그림 3] 역전 메쉬의 처리 과정

3. 얼굴의 회전에 따른 포즈 변형

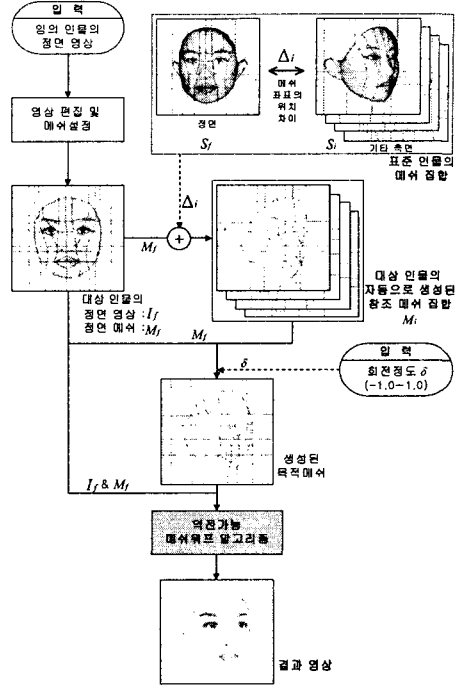
인물의 얼굴 포즈는 머리의 회전 방향에 따라 서로 고개를 상하로 끄덕이는 수직방향 회전(x축 회전), 고개를 좌우로 가로짓는 수평방향 회전(y축 회전), 고개를 좌우로 기울듯 기울이는 회전(z축 회전)으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 점진적인 수평 회전에 대해서 자연스러운 얼굴의 포즈 변형을 시도하였다. 기하학적인 3차원 모델을 대신하기 위해, [그림 4]와 같이, 표준 인물로부터 취득한 주요 포즈의 얼굴 영상에 대해 표준 메쉬 집합 $S = \{S_f, S_{hl}, S_l, S_{hr}, S_r\}$ 을 설정해야 한다. 먼저, 표준 인물의 각 포즈 영상에서 가급적 버리카락을 포함하지 않고 부드러운 윤곽선을

유지하도록 얼굴 영역을 잘라낸다. 메쉬는 얼굴의 윤곽선과 주요 구성요소인 눈, 눈썹, 코, 입을 감쌀 수 있도록 13×12 크기로 설정한다. 이때, 눈과 입의 경우는 마름모형 메쉬에 내포시키고, 좌측과 우측의 얼굴 메쉬에서는 코에 인접한 볼 부분에 역전 메쉬를 적용한다.

본 논문에서는 두 참조 메쉬를 선형 보간하여 중간 목적 메쉬를 생성하는 방식을 채택하고 있기 때문에, 정면과 측면 메쉬 이외에 반측면 메쉬와 같은 중간 메쉬를 추가하고 회전 정도에 따라 선택적으로 사용하였다.

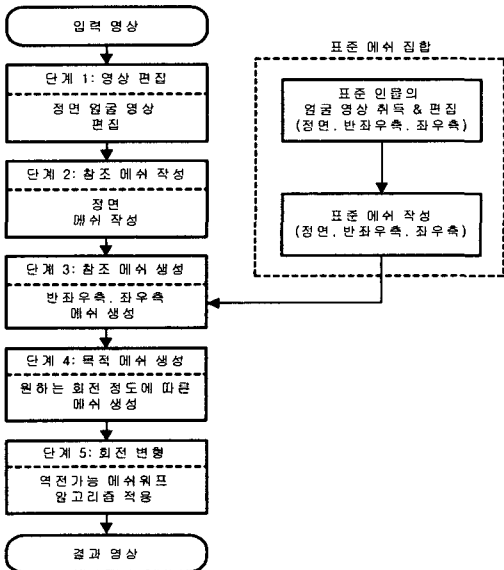


[그림 4] 표준 메쉬 집합 S



[그림 6] 얼굴 회전 변형의 과정

[그림 5]는 본 논문에서 제안하는 얼굴 회전 변형의 전체 흐름도 이고, [그림 6]은 주어진 인물의 정면 영상을 가지고 원하는 포즈로 변형하는 과정을 도식적으로 나타낸 것이다.

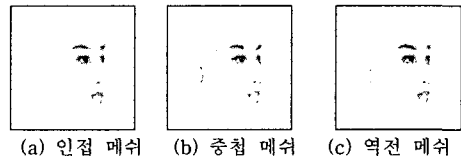


[그림 5] 얼굴 회전 변형의 전체 흐름도

4. 실험 및 분석

4.1 인접, 중첩, 역전 메쉬의 성능 비교

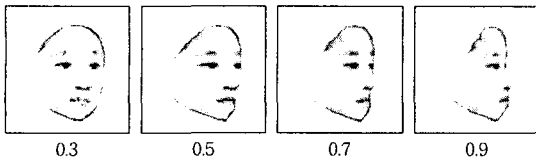
[그림 7]은 인접, 중첩, 역전 메쉬에 따라 회전 정도 $\delta=0.8$ 일 때의 회전 변형한 결과를 보여준다. 기존의 메쉬워프 알고리즘은 인접 메쉬만을 허용하므로, (a)와 같이, 코에 가려져야 될 볼 부분이 코끝보다 더 튀어나오는 매우 부자연스러운 결과를 초래한다. 중첩 메쉬까지만 허용하면서 제한한 역전가능 메쉬워프 알고리즘을 적용한 경우에는, (b)와 같이, 볼의 경계가 코끝과 중첩되면서 여전히 만족해지는 현상이 발생한다. 이와 달리, 역전 메쉬까지 허용한 경우에는, (c)와 같이, 보다 자연스러운 결과 영상을 얻을 수 있다.



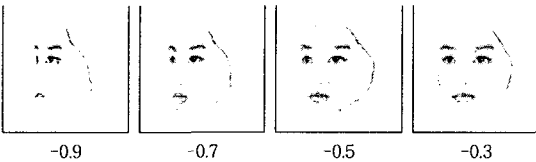
[그림 7] 메쉬의 유형에 따른 회전 변형 결과 ($\delta=0.8$)

4.2 얼굴의 회전 변형 성능

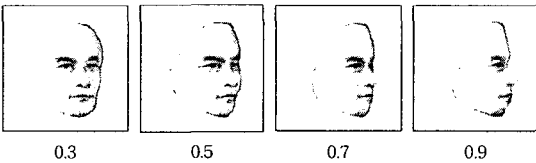
다양한 연령과 성별에 따라, 제한한 역전가능 메쉬워프 알고리즘을 적용한 점진적인 회전 변형 결과물 [그림 8] ~ [그림 12]에서 볼 수 있다.



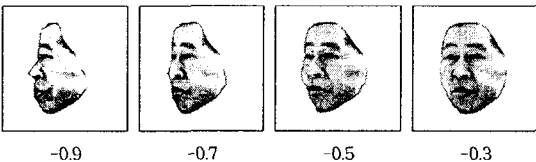
[그림 8] 제안한 방법에 의한 회전 변형 예: 어린이



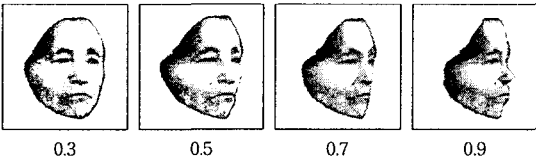
[그림 9] 제안한 방법에 의한 회전 변형 예: 성인 여자



[그림 10] 제안한 방법에 의한 회전 변형 예: 성인 남자



[그림 11] 제안한 방법에 의한 회전 변형 예: 남성 노인



[그림 12] 제안한 방법에 의한 회전 변형 예: 여성 노인

일반적으로, 회전 정도가 증가할수록 얼굴 형태의 왜곡이 심해지고 부자연스러워지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 원론적으로 회전 각도가 커질수록 2차원 정면 얼굴에서 표현되지 않는 깊이 정보가 차지하는 비율이 점점 높아지는데, 표준 메쉬 집합을 토대로 복원한 측면과 반측면의 참조 메쉬들이 원래의 입체정보를 정확히 반영하기 어렵기 때문에 발생한다. 특히, 회전 정도가 매우 클 때($\delta \approx \pm 1.0$) 얼굴 내부에 있던 코의 능선과 같은 부분이 얼굴의 경계가 되면서 윤곽이 매우 단순하고 어색해지는 현상은, 얼굴 중앙의 수직 메쉬 라인 상에 메쉬점들을 증가시키거나 혹은 윤곽선을 스플라인 보간하는 방법에 의해 해결할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 개선된 2차원 메쉬워프 알고리즘을 사용하여 얼굴의 자연스러운 회전 변형 방법을 제안

하였다. 제안하는 방법의 타당성을 보이기 위해, 인접, 중첩, 역전 메쉬에 따른 변형과 다양한 연령과 성별에 대한 변형 성능 등에 대해 살펴보았다. 회전 정도에 따라 다소의 왜곡현상이 있었지만 정면 영상 한 장만을 가지고 회전에 따른 자연스러운 포즈 변형을 효과적으로 구현할 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후에는, 회전 정도가 커짐에 따라 심해지는 형태 왜곡을 완화시키기 위해 보다 정교한 메쉬 설정이나 보간에 대한 연구가 필요하고, 임의의 회전축에 의한 포즈 변형의 연구로 확대되어야 한다.

참고문헌

- [1] F. I. Parke and K. Waters, *Computer Facial Animation*, A. K. Peters, Ltd., Wellesley, MA, 1996.
- [2] P. Ekman and W. V. Friesen, *Manual for the Facial Action Coding System*, Consulting Psychologist Press, Inc., Palo Alto, CA, 1978.
- [3] Y. Lee, D. Terzopoulos, and K. Waters, "Realistic Modeling for Facial Animation", *Proc. of Siggraph'95*, pp.55-62, 1995.
- [4] Z. Liu, Z. Zhang, C. Jacobs, and M. Cohen, "Rapid Modeling of Animated Faces from Video Images", *Proc. of ACM Multimedia 2000*, pp.475-476, 2000.
- [5] F. Pighin, J. Auslander, D. Lischinski, and D. Salesin, "Realistic Facial Animation Using Image-Based 3D Morphing", *Tech Report UW-CSE-97-01-03*, 1997.
- [6] S. B. Kang, "A Survey of Image-based Rendering Techniques", *Videometrics VI(SPIE Int'l Symp. on Electronic Imaging: Science and Technology)*, Vol. 3641, San Jose, CA, pp.2-16, 23-29 Jan. 1999.
- [7] T. Vetter and T. Poggio, "Linear Object Classes and Image Synthesis from a Single Example Image", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 7, pp.733-742, Jul. 1997.
- [8] L. McMillan and G. Bishop, "Plenoptic Modeling: An Image-Based Rendering System", *Proc. of Siggraph '95*, pp.39-46, 1995.
- [9] R. Szelicki and H. -Y. Shum, "Creating Full View Panoramic Image Mosaics and Environment Maps", *Computer Graphics(Siggraph'97)*, pp.251-258, Aug. 1997.
- [10] M. Levoy and P. Harahan, "Light Field Rendering", *Computer Graphics(Siggraph'96)*, pp.31-42, Aug. 1996.
- [11] S. J. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szelicki, and M. F. Cohen, "The Lumigraph", *Computer Graphics(Siggraph'96)*, pp.43-54, Aug. 1996.
- [12] S. M. Seitz and C. R. Dyer, "View Morphing", *Proc. of Siggraph'96*, pp.21-30, 1996.
- [13] S. Avidan and A. Shashua, "Novel View Synthesis in Tensor Space", *Proc. of Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1034-1040, San Juan, Puerto Rico, Jun. 1997.
- [14] P. E. Debevec, C. J. Taylor, and J. Malik, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach", *Proc. of Siggraph '96*, 1996.
- [15] J. Gomes, L. Darsa, B. Costa, and L. Velho, *Warping and Morphing of Graphical Objects*, Morgan Kaufmann Pub., 1998.
- [16] R. Crane, *Simplified Approach to Image Processing*, Prentice-Hall PTR, 1997.