

2차원 기상 위성 영상의 구름 모델링 기법을 이용한 3차원 구름 애니메이션*

이정진*, 강문구**, 이 호***, 신병석†****

가톨릭대학교 디지털미디어학부*, (주)차밍**,

스탠포드대학교 방사선종양학과***, 인하대학교 컴퓨터정보공학과****

jjlee@cglab.snu.ac.kr, mkang68@hanmail.net, leeho@stanford.edu, bsshin@inha.ac.kr

3D Cloud Animation using Cloud Modeling Method of 2D Meteorological Satellite Images

Jeongjin Lee*, Moon Koo Kang**, Ho Lee***, Byeong-Seok Shin****

*Dept. of Digital Media, The Catholic University of Korea, **Charming Incorporated,

***Dept. of Radiation Oncology, Stanford University,

****Dept. of Computer Science and Information Engineering, Inha University

요 약

본 논문에서는 기상 위성으로부터 수신된 2차원 영상들을 구름 모델링 기법을 이용하여 3차원 입체 영상으로 재구성하는 구름 애니메이션 방법을 제안한다. 먼저 위성 영상들에 다수의 제어점을 분포시킨 후, 박판 스플라인 워핑 해석을 통하여 구름의 움직임을 모델링한다. 이에 더하여 가시채널과 적외채널 영상으로부터 구름의 양과 높낮이 정보를 추출하여 입체감을 가진 3차원 구름을 모델링한다. 구름 가시화를 위하여 적은 수의 볼륨데이터 슬라이스로도 우수한 품질의 영상을 빠르게 얻을 수 있는 선적분 볼륨 렌더링 방식을 사용한다. 제안 기법으로 2차원 위성 영상으로부터 적절한 속도와 화질을 갖는 3차원 구름 애니메이션이 가능하다.

ABSTRACT

In this paper, we propose 3D cloud animation by cloud modeling method of 2D images retrieved from a meteorological satellite. First, on the satellite images, we locate numerous control points to perform thin-plate spline warping analysis between consecutive frames for the modeling of cloud motion. In addition, the spectrum channels of visible and infrared wavelengths are used to determine the amount and altitude of clouds for 3D cloud image reconstruction. Pre-integrated volume rendering method is used to achieve seamless inter-laminar shades in real-time using small number of slices of the volume data. The proposed method could successfully construct continuously moving 3D clouds from 2D satellite images at an acceptable speed and image quality.

Keyword : Cloud modeling, 3D cloud animation, Thin-plate spline warping

접수일자 : 2009년 11월 30일

심사완료 : 2010년 01월 04일

† 교신저자임.

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2009년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음. 또한, 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-313-H00024).

1. 서론

위성의 연속적인 구름 영상에 나타나는 구름 분포는 끊임없이 변화하는 지구 대기의 모습을 시각적으로 보여주므로 기상 변화를 감시하는 데 매우 중요한 역할을 한다[1]. 정지 궤도에서 관측된 위성 자료는 지역의 상세한 기상 상황에 대한 실시간 감시 능력의 확보를 통해 악기상 대처 능력을 향상시키는 목적으로 활용된다. 기상 상황의 실시간 감시 능력의 확보를 위해서는 시공간적측면에서 고해상도로 적외, 가시 파장 대에서의 자료를 취득하여 급변하는 현상을 실시간으로 감시할 수 있는 능력과 다중 채널 자료를 이용하여 대기의 안정도, 수증기 분포, 바람장 등에 대한 상세 관측 정보가 필요하다[2]. 3차원 구름장 분석을 위해서는 우선 여러 구름 관련 관측 자료를 이용하여 구름의 입체적 분포를 정확히 파악하는 것이 중요하다[3].

구름의 기존 모델링 방법은 크게 물리적 방법과 절차적 방법 두 가지로 나눌 수 있다. 물리적 방법으로 Reeves[4]는 구름과 같은 경계가 불명확한 유체를 모델링하기 위하여 입자 시스템을 도입하였다. 자연스러운 영상을 얻기 위하여 입자의 수를 증가시키면, 입자 간 연결이 지수 함수적으로 증가하게 되어 연산 시간이 오래 걸린다. Stam[5]은 역학적인 정확성을 희생하여 큰 시간 증분에 대해서도 나비에-스톡스 방정식을 안정적으로 풀 수 있는 방법을 제시하였다. 하지만, 이 방법도 연산 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 이러한 물리적 방법들은 구름 운동의 미시 규모 모델링에는 효과적이나 기상 영상에 나타나는 구름과 같은 거시 규모 모델링에는 연산 시간이 오래 걸려 적합하지 않다. 절차적 방법은 구름의 기본 구조를 모델링하기 위하여 수학적 기본 요소를 사용한다. Gardner[6]는 표면 음영과 투명도가 수학적 함수에 의해 조절되는 평면과 곡면을 이용하여 구름을 모델링하였다. Dobashi[7]는 셀룰러 오토마타를 사용하여 구름의 형성 과정을 모델링하였다. Kniss[8]은

체적 변위와 변동 기법을 제안하여 단순한 구름 모델로부터 상세한 구름의 형태를 단계적으로 모델링하였다. 이러한 절차적 방법은 물리적 방법보다 비교적 간단한 과정을 통하여 근사적인 구름 영상을 얻을 수 있지만, 시각적인 효과를 목적으로 한 기법이기에 때문에 기상 위성 영상 정보에 바탕을 두고, 구름을 사실적, 입체적으로 재구성하기에는 적합하지 않다.

시간차를 두고 촬영된 영상 간 움직임 추적에는 광학 흐름(optical flow) 기법이 많이 사용된다[9]. 이 방법은 움직임 벡터의 크기가 작은 응용에만 적용이 가능하고, 구름과 같이 밝기 값이 비교적 균일한 영역이 대부분인 영상에 대해서는 움직임 추적이 어렵다는 단점이 있다. B-spline을 이용한 자유 변형 기법은 영상 간 움직임 벡터의 크기가 큰 경우에도 다수 제어점의 지역적 최적화를 통하여 변형을 정확하게 계산한다[10]. 하지만, 계산량이 방대하여 연산 시간이 오래 걸리고, 밝기 값이 비교적 균일한 영역에 대해서는 각 제어점이 지역적 최적점에 수렴하여 움직임 추적이 어렵다.

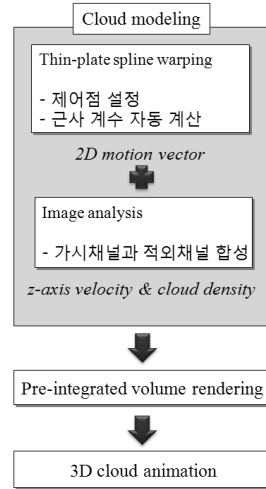
구름은 표면 형상이 복잡하고 빛을 반사시키거나 투영시키는 등의 복잡한 광학적 현상을 수반하므로 고성능 렌더링 알고리즘을 필요로 한다. Blinn[11]은 구름 내부의 산란과 흡수 효과를 고려한 렌더링 기법을 제안하였다. Jensen[12]이 제안한 포톤 사상 방법은 영상이 사실적이지만, 한 프레임의 영상을 만들기 위해서 긴 시간이 소요된다. 불규칙한 형상의 변화가 존재하는 문제에 효과적 적용이 가능한 볼륨 렌더링 기법은 Levoy[13]에 의해 제안된 광선 투사법으로부터 시작되었다. 볼륨 렌더링은 데이터 처리량이 많으므로 공간 도약법[14]이나 조기 광선 중단법[15] 등을 적용하여 이를 가속하였다. 최근에는 그래픽스 하드웨어의 발달에 따라 하드웨어 텍스처를 볼륨 렌더링의 가속에 이용하는 기술이 제안되고 있다[16].

본 논문에서는 이러한 제약 요인들을 효과적으로 극복하여 기상 위성으로부터 정기적으로 수신된 2차원 구름 영상을 박판 스피라인 워핑 기법

[17,18]을 이용하여 분석하고 이를 3차원 영상으로 재구성하는 구름 애니메이션 기법을 제안한다. MTSAT-1R 정지 기상 위성으로부터 수신된 2차원 구름 분포 위성 영상에 박판 스플라인 워핑 해석을 통해 일련의 영상 사이에서 구름의 움직임을 모델링한다. 가시채널과 적외채널 영상으로부터 구름의 양과 높낮이 정보를 추출하여 사실적인 입체감을 가진 3차원 구름을 모델링한다. 본 논문에서 제안한 구름 모델링 기법을 사용하여 2차원 기상 영상들로부터 입체적이고, 사실적인 정보를 가시화하는 연속적인 3차원 구름을 구현할 수 있다.

2. 3차원 구름 애니메이션 절차

본 논문에서는 기상청 웹사이트에서 기상 위성으로부터 수신되어 주기적으로 갱신되는 2차원 구름 영상을 박판 스플라인 워핑 기법을 이용한 분석 결과와 가시채널과 적외채널 합성 영상을 바탕으로 [그림 1]에서와 같이 3차원 입체 영상으로 재구성한다. 먼저, MTSAT-1R 정지 기상 위성으로부터 수신된 2차원 구름 분포 위성 영상들에 박판 스플라인 워핑 해석을 통하여 구름 내부의 각 점의 2차원 x, y 방향 속도 벡터를 계산한다. 다음으로 가시채널과 적외채널 영상으로부터 구름의 양과 z 방향 위치 정보를 추출하여 입체감을 가진 3차원 구름을 모델링한다. 이렇게 얻어진 3차원 속도 벡터와 구름의 양에 관한 정보를 이용하여 실시간 볼륨 렌더링을 수행한다. 또한, 렌더링 인자를 실시간으로 조절할 수 있어 사용자가 구름의 특성을 임의로 조정할 수 있게 되므로, 애니메이션적인 과장과 생략이 가능하며 유체의 표현 범위가 넓어진다.



[그림 1] 3차원 구름 애니메이션 개요

3. 박판 스플라인 워핑 해석

본 논문에서는 구름의 형태를 제어점으로 표현하여 제어점들의 변형으로부터 2차원 박판 스플라인 워핑 해석으로 전체 변형을 추적한다[17]. 박판 스플라인 워핑 해석은 n 개의 대응되는 제어점들 $p_i, q_i (i=1, \dots, n)$ 에 대하여 함수 J 를 최소화하면서 [식 1]을 만족하는 변형 u 를 구하는 것이다.

$$q_i = u(p_i), \quad i = 1, \dots, n \quad [\text{식 1}]$$

함수 $J(u)$ 는 u 의 x 축, y 축 요소인 u_k 에만 독립적으로 영향을 받는 함수의 합으로 [식 2]와 같이 구하여진다. 이 함수는 물리적으로 박판의 굽힘 에너지를 나타낸다.

$$J(u) = \sum_{k=1}^2 \iint_{R^2} \left(\frac{\partial^2 u_k}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 u_k}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 u_k}{\partial y^2} \right)^2 dx dy \quad [\text{식 2}]$$

[식 2]를 최소화하는 함수는 변형의 선형적인 부분

을 나타내는 계수 a_i 와 비선형적인 부분을 나타내는 계수 b_i 를 사용하여 다음과 같은 형태로 주어진다.

$$u_k(x, y) = a_1 + a_2x + a_3y + \sum_{i=1}^n b_i \theta(|(x, y) - p_i|), \quad [\text{식 3}]$$

$$\theta(s) = |s|^2 \ln|s| (s > 0),$$

$$\theta(s) = 0 (s = 0)$$

이 두 계수를 계산하기 위해서 [식 1]로부터 다음과 같은 선형 시스템 방정식이 구해진다.

$$Kb + Pa = v, \quad [\text{식 4}]$$

$$P^T b = 0$$

여기서 $K_{ij} = \theta(p_i - p_j)$, $P_{ij} = a_j(p_i)$, v 는 q_i 의 한 요소들로 구성된 열 벡터이다.

[식 1]은 제어점들의 위치가 정확하게 찾아졌다는 가정 하에 성립한다. 하지만, 구름은 경계의 형태가 불명확하기 때문에 제어점들의 위치에 약간의 보정이 필요하다. 따라서 [식 1]의 조건을 완화하고, [식 2]를 포함하는 다음과 같이 제어점들의 위치를 보정하면서 박판의 굽힘 에너지를 최소화하는 함수를 생각할 수 있다[18]. 다음 함수의 첫 번째 항은 q_i 와 변형된 p_i 간 유클리디안 거리를 각 제어점의 위치 보정에 관련된 오차 σ_i^2 에 따라서 가중치를 두어 전체 제어점들에 대하여 계산한 것이다. 즉, σ_i^2 이 크면, 그 제어점이 전체 변형에 미치는 영향은 줄어들게 된다. 또한, λ 가 작을 경우 각 제어점들에 의한 지역적 변형의 효과가 크게 되고, λ 가 클 경우 각 제어점들의 움직임 보다는 전역적 변형의 효과가 크게 된다.

$$J_\lambda(u) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|q_i - u(p_i)|^2}{\sigma_i^2} + \lambda J(u) \quad [\text{식 5}]$$

u 를 구하기 위해 a , b 를 계산하는 과정은 [식 4]

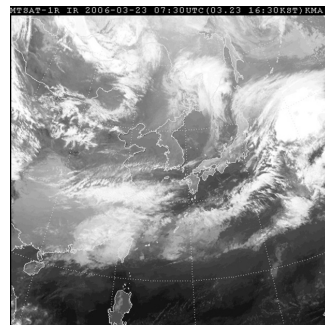
와 비슷하게 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(K + n\lambda W^{-1})b + Pa = v, P^T b = 0, \quad [\text{식 6}]$$

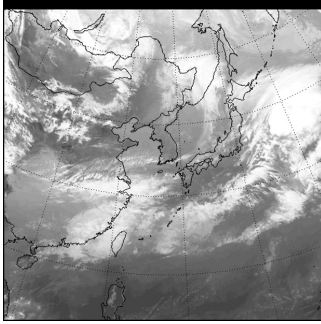
$$W^{-1} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & \sigma_n^2 \end{pmatrix}$$

4. 구름의 양과 높이 모델링

[그림 2] (a)와 같은 구름 위성사진 상에서 육지와 바다를 표현하는 녹색, 청색의 색상을 제거하면 [그림 2] (b)와 같이 각 위치의 구름의 양에 따라 흑백의 음영이 얻어진다. 밝은 부분은 구름의 양이 많은 지역, 어두운 곳은 구름의 양이 적은 지역을 나타낸다. 가시 영상으로부터 색상 정보를 제거하여 흑백의 음영만을 남긴 [그림 2] (b)로부터 각 픽셀의 밝기정보를 읽어 들여 지도상의 해당 위치에서의 구름의 양을 구할 수 있다. 기상위성 이미지의 최저 밝기는 청색 혹은 녹색의 64 레벨이므로, 이와 같이 구해진 각 픽셀의 밝기정보는 64 ~ 255 레벨로 구분되어 밝기 64는 구름의 양이 0, 밝기 255는 구름의 양이 최대인 것으로 간주하여 각 위치에서의 구름의 양을 매핑한다.



(a)



(b)

[그림 2] MTSAT-1R 정지기상위성으로부터 관측된 가시채널 영상 (a) 가시영상 (b) 가시영상으로부터 색상정보를 제거

[그림 3]은 기상청에서 제공하고 있는 가시채널과 적외채널의 합성 영상이다. 기상청 제공 이미지에는 구름의 수직적인 분포에 대한 정보가 담겨있지 않으나, 온도가 높은 구름은 어둡게, 온도가 낮은 구름은 밝게 보이도록 제공되고 있다. 또한, 가시채널을 적색으로, 적외채널을 청록색으로 변환하여 중첩시킨 상태이므로, 색조가 적색에 가까울수록 가시채널의 밝기 레벨이 높고 청록색에 가까울수록 적외 영상의 밝기 레벨이 높은 것으로 간주할 수 있다. 따라서 이 합성 영상의 색상을 분석하여 구름의 높낮이를 추정할 수 있다.

적색 채널과 청록색 채널은 컴퓨터 영상에서 서로 보색관계에 있으므로 두 색이 섞이면 흰색이 되어 채도가 낮아진다. 합성 영상에서 적색 채널의 채도가 높은 부분은 청록색 채널의 레벨이 낮은 것이며, 합성하여 청록색 채널의 채도가 높은 부분은 적색 채널의 레벨이 낮다. 두 채널의 레벨이 모두 높은 부분은 합성 후 흰색에 가까워지며, 두 채널의 레벨이 모두 낮으면서 두 채널의 레벨이 비슷할 경우 검정색에 가까워진다. 적색에 가까운 부분은 적색 레벨이 높고 청록색 레벨이 낮으므로 구름의 양이 많고, 구름의 온도가 높으므로 구름의 고도가 낮은 지역에 해당한다. 진한 분홍색은 하층운을 나타내며 투명하게 푸른색은 상층운을 나타낸다. 무채색 혹은 채도가 낮은 색은 하층부터 상층까지 수직적으로 발달한 적운으로 간주할 수 있

다. 이러한 특징을 고려하여 구름의 수직 높이를 결정할 수 있으며, 이로부터 구름의 3차원 형태를 사실적으로 모델링 하는데 필요한 구름의 z축 방향의 위치 정보를 얻을 수 있다.

적색채널의 농도 R 과 청록색채널의 농도 C 에 대하여 구름 중심부의 높이 h 는 구름의 최대 높이 h_{\max} 와 최소 높이 h_{\min} 을 사용하여 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$h = \frac{R}{R_{\max}} h_{\max} + \frac{C}{C_{\max}} h_{\min} \quad [\text{식 7}]$$

R 과 C 는 서로 보색 관계에 있으므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

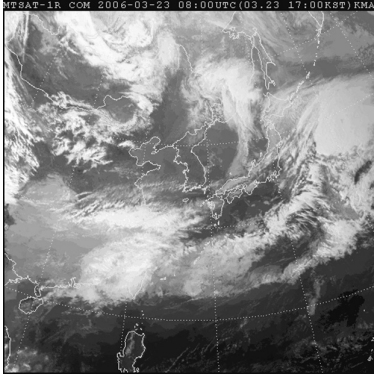
$$\frac{R}{R_{\max}} = 1 - \frac{C}{C_{\max}} \quad [\text{식 8}]$$

또한, 구름의 밀도 d 와 구름 중심부로부터 수직적으로 분포된 수직분포 범위 r 에 대해서는 다음과 같은 근사식을 적용할 수 있다.

$$d = \frac{R+C}{R_{\max} + C_{\max}} (d_{\max} - d_{\min}) \quad [\text{식 9}]$$

$$r = \frac{2\sqrt{RC}}{R+C} (r_{\max} - r_{\min}) \quad [\text{식 10}]$$

즉, 청록색에 가까운 부분은 청록색 레벨 C 가 높고 적색 레벨 R 이 낮으므로 구름의 고도가 높은 상층운에 해당하며, 이 지역의 명도가 높으면 구름의 밀도 d 가 높고 명도가 낮으면 밀도가 낮다고 간주할 수 있다. 밝은 회색으로 표현된 부분은 구름의 양이 비교적 많고 (d 값이 큰 지역) 수직적으로 발달된 지역 (r 값이 큰 지역), 어두운 회색으로 표현된 부분은 구름의 양이 적고 수직적으로 발달된 지역을 나타낸다.



[그림 3] MTSAT-1R 위성의 가시채널과 적외채널의 합성 영상

이와 같이 구름의 형태는 구름의 높이 및 양과 밀접하게 연관되어 있으며, 계절이나 풍향, 기압 등의 여러 가지 요소와도 관련이 있다. 본 연구에서는 이러한 구름의 고도별 형태와 특징을 시각적으로 구현하여 수직방향의 구름 분포 밀도를 각각의 경우에 적합하게 표현할 수 있도록 한다.

5. 구름 가시화

구름 위치의 변형으로부터 실시간 렌더링을 하기 위하여 먼저 구름의 분포 밀도를 볼륨 데이터로 정의한다. 이렇게 구해진 3차원 밀도 분포를 가시화하기 위하여 적은 샘플링 데이터로부터도 하드웨어 텍스처를 이용하여 고속, 고화질의 렌더링이 가능한 선적분 볼륨 렌더링 기법[19]을 사용한다. 인접한 볼륨 데이터 슬라이스의 색상과 불투명도는 미리 적분되어 2차원 하드웨어 텍스처 메모리에 저장되어 렌더링 시 사용된다. 슬라이스 간 색상과 불투명도가 무시되는 기존 방식과 달리 선적분 볼륨 렌더링은 빠른 시간에 더 적은 양의 슬라이스로도 더욱 사실감있는 영상을 만들어낸다.

선적분 볼륨 렌더링을 위하여 i 번째 광선 부분의 방출 색상 \tilde{C}_i 에 그 부분의 불투명도 α_i 를 곱한다. 이 때, 렌더링된 각 픽셀의 색상은 다음과 같이 주어진다.

$$I = \sum_{i=0}^N \tilde{C}_i \prod_{j=1}^{i+1} (1 - \alpha_j) \quad [\text{식 11}]$$

각 복셀의 밀도는 s 로 정의되고, 복셀 간 밀도는 보간된다. i 번째 광선 부분에 대하여 앞쪽의 스칼라 값은 $s_f = s(x(id))$ 이고, 뒤쪽의 스칼라 값은 $s_b = s(x((i+1)d))$ 이다. i 번째 부분의 불투명도는 다음과 같이 주어진다.

$$\alpha_i = 1 - \exp\left(-\int_{id}^{(i+1)d} \tau(s(x(\lambda)))d\lambda\right) \approx 1 - \exp\left(-\int_0^1 \tau((1-w)s_f + ws_b)ddw\right) \quad [\text{식 12}]$$

여기서 λ 는 시점으로부터의 거리이고, $x(\lambda)$ 는 공간 좌표이고, $\tau(s(x(\lambda)))$ 는 소멸 밀도이다. i 번째 광선 부분에 대한 방출 색상은 다음과 같이 주어진다.

$$\tilde{C}_i \approx \int_0^1 \tilde{c}((1-w)s_f + ws_b) \exp\left(-\int_0^w \tau((1-w')s_f + w's_b)ddw'\right)ddw \quad [\text{식 13}]$$

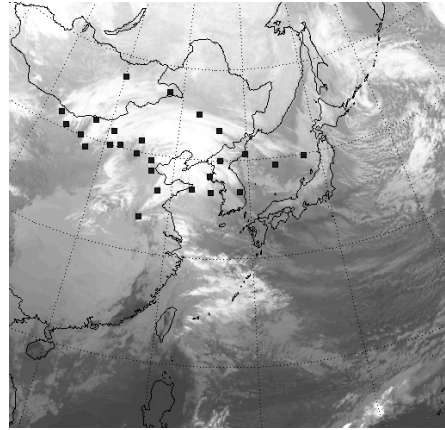
여기서 $\tilde{c}(s(x(\lambda)))$ 는 $x(\lambda)$ 의 색상이다. 거리 d 가 상수로 주어진다면, 색상 \tilde{C}_i 와 불투명도 α_i 는 s_f 와 s_b 의 함수로 나타내질 수 있고, 매번 적분을 수행하지 않고, 2차원 텍스처 메모리에 저장된다. 2차원 텍스처 메모리의 참조 테이블을 사용하여 색상과 불투명도 계산이 가속될 수 있다.

구름의 색감은 불투명도 전이 함수에서 특정한 밀도값에 대하여 색상과 불투명도를 설정하여 변경할 수 있다. 설정된 밀도값 사이의 밀도값들에 대해서는 설정된 색상과 불투명도를 보간하여 사용한다. 불투명도 전이 함수를 조절하여 다양한 시각적 효과가 가능하다.

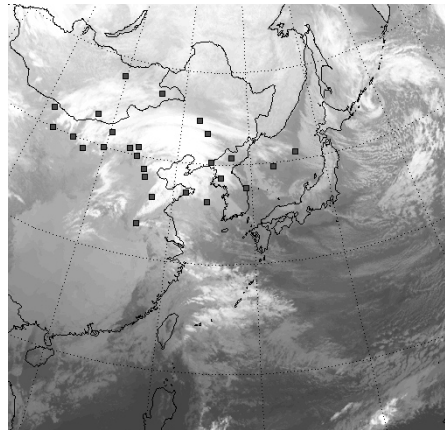
6. 실험 결과

실험은 인텔 코어 i7 린필드 2.8GHz 에 8GB 주 메모리를 갖는 시스템에서 수행되었다. 그래픽스 하드웨어는 ATI 라데온 HD 5770 D5을 사용하였고, Visual Studio 2005 환경에서 개발하였고, OpenMP를 이용한 병렬 처리 기법으로 알고리즘을 가속화하였다. 입력 기상 위성 영상의 크기는 512×512 이고, 3차원으로 재구성된 볼륨 데이터의 크기는 $64 \times 64 \times 16$ 이었다.

[그림 4]는 시간차를 두고 촬영된 기상 영상들과 두 영상들에 사용자에게 의하여 입력된 26개의 제어점을 보여주었다. 박판 스플라인 해석에 필요한 인자인 $\lambda = 0.5$ 로 설정하였다. [그림 4]에서와 같이 사용자는 관심 구름의 주변에 다수의 제어점을 입력하면, 관심 구름의 움직임을 박판 스플라인 해석을 통하여 분석할 수 있었다. 두 기상 영상들 사이의 움직임 분석에는 평균 약 0.1초 정도의 계산 시간이 소요되었다.



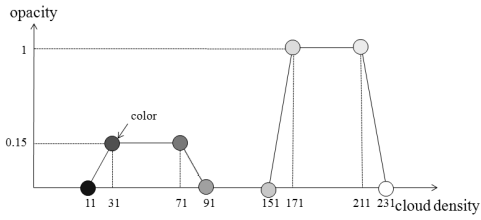
(a)



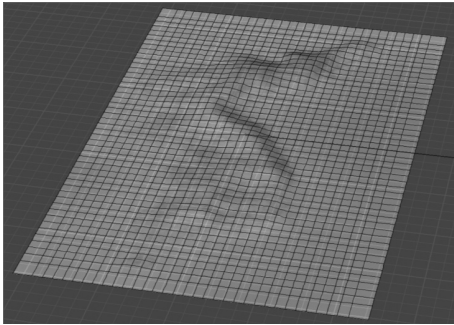
(b)

[그림 4] 기상 위성 영상과 입력된 제어점의 예 (a) 시간 t에 촬영 (b) 시간 t + Δt 에 촬영

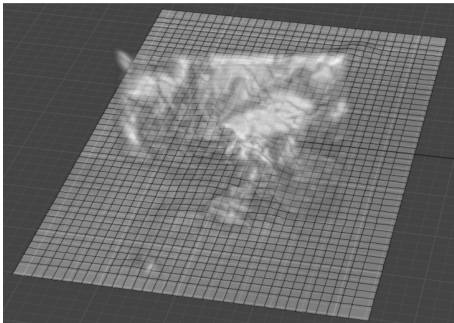
[그림 5] (a)는 x축의 구름 밀도와 원 내부의 구름 색상과 y축의 불투명도 간의 관계를 나타내는 불투명도 전이함수이다. [그림 5] (b)는 구름 애니메이션에 적용된 배경 영상이고, [그림 5] (c), (d)는 제안 기법에 의한 3차원 구름 애니메이션 영상이다. 그림에서와 같이 사용자의 관심 구름에 대한 입체적인 구름 애니메이션이 가능하였다. 다양한 입력 영상들에 대하여 3차원 구름 애니메이션의 처리 속도를 측정한 결과 평균 약 10 fps(frame per second)의 속도를 보여주었다.



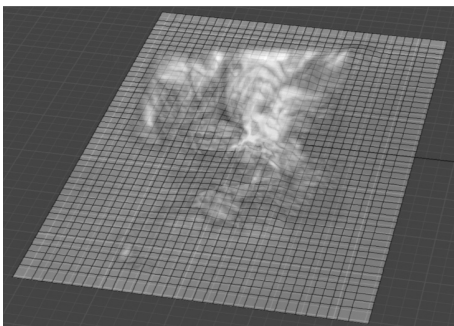
(a)



(b)



(c)



(d)

[그림 5] 3차원 구름 애니메이션 (a) 불투명도 전이 함수의 예 (b) 배경 영상 (c), (d) 애니메이션 영상

7. 결 론

본 논문에서는 기상 위성으로부터 얻어진 2차원 구름 영상을 박판 스플라인 워핑 기법을 이용하여 분석하고 이를 3차원 영상으로 재구성하는 구름 애니메이션 기법을 제안하였다. 기상 위성으로부터 수신된 2차원 구름 분포 위성 영상에 박판 스플라인 워핑 해석을 통해 일련의 영상 사이에서 구름의 움직임을 모델링하였다. 가시채널과 적외채널 영상으로부터 구름의 양과 높낮이 정보를 추출하여 사실적인 입체감을 가진 3차원 구름을 모델링하였다. 본 논문에서 제안한 구름 모델링 기법을 사용하여 2차원 기상 영상들로부터 입체적이고, 사실적인 정보를 가시화하는 연속적인 3차원 구름을 구현할 수 있었다. 제안 기법은 사용자와 상호작용이 필요한 게임과 애니메이션 콘텐츠 제작에 응용될 수 있다.

참고문헌

- [1] S. A. Albers, J. A. McGinley, D. L. Birkenheuer, J. R. Smart, "The local analysis and prediction system (LAPS): Analyses of clouds, precipitation, and temperature", *Weather and Forecasting*, Vol. 11, No. 3, pp. 273-287, 1996.
- [2] 안명환, 김금란, "기상인공위성의 현황과 계획: 정지궤도 통신해양기상위성의 기상분야 요구상에 관하여", *대기*, 12권, 4호, pp. 20-42, 2002.
- [3] 김용상, 박옥란, 이용희, "중규모 모델의 구름 자료 초기화를 위한 3차원 구름 분석", *대기*, 13권, 1호, pp. 224-227, 2003.
- [4] W. T. Reeves, "Particle systems - a technique for modeling a class of fuzzy objects", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 2, No. 2, pp. 91-108, 1983.
- [5] R. Fedkiw, J. Stam, H. W. Jensen, "Visual Simulation of Smoke", *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001*, pp. 15 - 22, 2001.
- [6] G. Gardner, "Visual simulation of clouds", *Proceedings of ACM SIGGRAPH 1985*, pp. 297-304, 1985.

- [7] Y. Dobashi, K. Kaneda, H. Yamashita, T. Okita, T. Nishita, “A simple, efficient method for realistic animation of clouds”, Proceedings of the 27th annual conference on computer graphics and interactive techniques, pp. 19–28, 2000.
- [8] J. Kniss, S. Premoze, C. Hansen, D. Ebert, “Interactive translucent volume rendering and procedural modeling”, Proceedings of the conference on Visualization 2002, pp. 109–116, 2002.
- [9] B. K. P. Horn, B. G. Schunck, “Determining optical flow”, Artificial Intelligence, Vol. 17, pp. 185–203, 1981.
- [10] Z. Xie, G. E. Farin, “Image registration using hierarchical B-splines”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 10, No. 1, pp. 85 – 94, 2004.
- [11] J. F. Blinn, “Light reflection functions for simulation of clouds and dusty surfaces”, Proceedings of ACM SIGGRAPH 1982, pp. 21 - 29, 1982.
- [12] H. W. Jensen, P. H. Christensen, “Efficient simulation of light transport in scenes with participating media using photon maps”, Proceedings of ACM SIGGRAPH 1998, pp. 311–320, 1998.
- [13] M. Levoy, “Efficient Ray Tracing of Volume Data”, ACM Transactions on Graphics, Vol. 9, No. 3, pp. 245–261, 1990.
- [14] R. Yagel, Z. Shi, “Accelerating volume animation by space-leaping”, Proceedings of IEEE Visualization 1993, pp.62–69, 1993.
- [15] J. Danskin, P. Hanrahan, “Fast algorithms for volume ray tracing”, Workshop on Volume Visualization, pp. 91–98, 1992.
- [16] S. Rottger, M. Kraus, T. Ertl, “Hardware-accelerated volume and isosurface rendering based on cell-projection”, Proceedings of IEEE Visualization 2000, pp. 109–116, 2000.
- [17] F. L. Bookstein, “Principal warps: thin-plate splines and the decomposition of deformations”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 6, pp. 567 - 585, 1989.
- [18] K. Rohr, H. S. Stiehl, R. Sprengel, T. M. Buzug, J. Weese, M. H. Kuhn, “Landmark-based elastic registration using approximating thin-plate splines”, IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 20, No. 6, pp. 526–534, 2001.
- [19] K. Engel, M. Kraus, T. Ertl, “High-quality pre-integrated volume rendering using hardware-accelerated pixel shading”, Proceedings of ACM Siggraph/Eurographics Workshop on Graphics Hardware 2001, pp. 9–16, 2001.



이 정 진 (Jeongjin Lee)

2000년 2월 서울대학교 기계항공학부 학사
2002년 2월 서울대학교 컴퓨터공학부 석사
2008년 8월 서울대학교 컴퓨터공학부 박사
2007년 10월-2009년 2월 울산대학교 의과대학 영상
의학과 연구교수
2009년 3월-현재 가톨릭대학교 디지털미디어학부 전임
강사

관심분야 : 영상 정합, 영상 분할, 가상 내시경, 컴퓨터
애니메이션, 소셜 컴퓨팅



이 호 (Ho Lee)

2000년 8월 숭실대학교 전자전기정보통신공학부 학사
2002년 8월 숭실대학교 정보통신공학과 석사
2009년 2월 서울대학교 컴퓨터공학부 박사
2009년 3월-2009년 8월 서울대학교 컴퓨터공학부BK21
박사후연구원
2009년 9월-현재 스탠포드대학교 방사선종양학과 박사
후연구원

관심분야 : 삼차원 재구성, 영상 정합, 의료 영상 처리,
컴퓨터 그래픽스



강 문 구 (Moon Koo Kang)

1991년 2월 서울대학교 기계공학과 학사
1993년 2월 서울대학교 기계공학과 석사
1997년 8월 서울대학교 기계공학과 박사
1997년-1998년 UCLA Post-doctor
1998년-2000년 서울대학교 정밀기계설계공동연구소
특별연구원
2001년 3월-2006년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부
BK21 조교수
2006년 3월-현재 (주)차밍 대표이사

관심분야 : 열유체공학, microfluidics, MEMS 공정,
실시유체 효과 시뮬레이션 및 렌더링



신 병 석 (Byeong-Seok Shin)

1990년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1992년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
1997년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
2000년-현재 인하대학교 컴퓨터공학부 부교수

관심분야 : 실시간 렌더링, 볼륨 그래픽스, 의료 영상