



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월09일
(11) 등록번호 10-1284446
(24) 등록일자 2013년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06T 15/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0044552

(22) 출원일자 2012년04월27일

심사청구일자 2012년04월27일

(56) 선행기술조사문헌

논문(2012.3)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

최수미

서울특별시 송파구 풍납2동 한강극동아파트 106동 1501호

김현중

서울특별시 마포구 망원1동 484-4번지 302호

정중필

인천광역시 남구 주안7동 1335-2 세기빌라 302호

(74) 대리인

민영준, 최관락, 송인호

전체 청구항 수 : 총 11 항

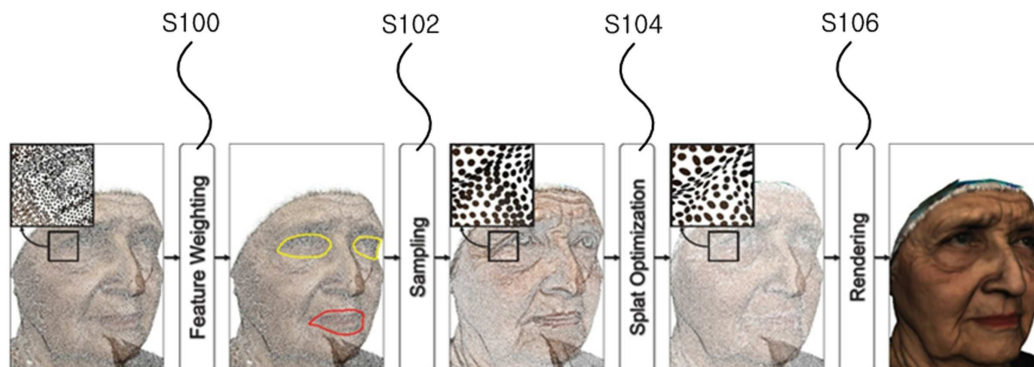
심사관 : 박금옥

(54) 발명의 명칭 3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅 방법 및 장치를 개시한다. 본 발명에 따르면, 컴퓨팅 장치에서 3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅(surface splatting)하는 방법으로서, (a) 상기 3차원 객체 영상의 하나의 이상의 특징 영역 및 색상 변화 정보를 고려한 스펙트럴 샘플링(spectral sampling)을 통해 상기 3차원 객체 영상을 간략화하기 위한 포인트 분포를 결정하는 단계; 및 (b) 상기 결정된 포인트 분포에 따라 각 포인트에 상응하는 타원형 스플랫의 크기 및 모양을 결정하는 단계를 포함하는 적응형 표면 스플래팅 방법이 제공된다. 본 발명에 따르면 대용량의 3차원 얼굴 모델에 대해 적은 계산량으로 고품질의 렌더링이 가능하다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	R2011090039_00000001
부처명	문화체육관광부
연구사업명	콘텐츠산업기술지원사업
연구과제명	3D 페이스 아바타 기반 실감분장 시뮬레이션 기술 개발
주관기관	한국전자통신연구원
연구기간	2011.11.01 ~ 2012.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

컴퓨팅 장치에서 3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅(surface splatting)하는 방법으로서,

(a) 상기 3차원 객체 영상의 하나 이상의 특징 영역 및 색상 변화 정보를 고려한 스펙트럴 샘플링(spectral sampling)을 통해 상기 3차원 객체 영상을 간략화하기 위한 포인트 분포를 결정하는 단계; 및

(b) 상기 결정된 포인트 분포에 따라 각 포인트에 상응하는 타원형 스플랫의 크기 및 모양을 결정하는 단계를 포함하되,

상기 타원형 스플랫은 위치 정보, 색상 정보 및 두 개의 접선 벡터로 정의되며,

상기 (b) 단계는 상기 포인트의 분포, 굴곡 및 색상 변화 정보를 이용하여 상기 타원형 스플랫의 접선 벡터를 결정하는 적응형 표면 스플래팅 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 3차원 객체 영상은 얼굴 모델이며, 상기 특징 영역은 눈, 입술, 눈썹 및 피부 중 하나를 포함하며, 각 특징 영역에 서로 다른 가중치가 부여되는 적응형 표면 스플래팅 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 3차원 객체 영상의 각 포인트는 위치 정보, 법선 벡터, 색상 정보 및 상기 가중치로 정의되는 적응형 표면 스플래팅 방법.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 (a) 단계는 상기 3차원 객체 영상을 위한 전체 포인트의 수, 굴곡 부분을 위한 포인트 수 및 상기 색상 변화에 따른 포인트의 수를 결정하는 적응형 표면 스플래팅 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 (a) 단계는 상기 컴퓨팅 장치의 처리 능력에 따라 상기 전체 포인트의 수, 굴곡 부분을 위한 포인트 수 및 상기 색상 변화에 따른 포인트의 수를 결정하는 적응형 표면 스플래팅 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 특징 영역에 가중치를 부여하는 단계를 더 포함하되,

상기 부여된 가중치에 의해 상기 특징 영역에 포인트의 밀도가 높아지는 적응형 표면 스플래팅 방법.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 결정된 포인트 분포에 의해 상기 3차원 객체 영상의 소정 포인트는 위치가 변경되며, 상기 변경된 위치의 포인트의 색상 정보는 아래의 수학적식에 의해 반복 계산되어 결정되는 적응형 표면 스플래팅 방법.

[수학식]

$$\mathbf{c}^{k+1} = \frac{\sum_i \mathbf{c}_i k(\mathbf{x}^k, \mathbf{x}_i)}{\sum_i k(\mathbf{x}^k, \mathbf{x}_i)}$$

여기서, $\mathbf{c}^{k+1}$ 은 새로운 현재 포인트의 추정된 색상 정보, $\mathbf{x}^k$ 는 현재 포인트, $\mathbf{x}_i$ 는 $\mathbf{x}^k$ 의 주변 포인트, $\mathbf{c}_i$ 는 $\mathbf{x}_i$ 의 색상 정보임

청구항 8

삭제

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 타원형 스플랫에 의해 덮이지 않은 홀에 대해 홀 주변 정보를 선형 보간하여 홀의 색상 정보를 결정하는 단계를 더 포함하는 적응형 표면 스플래팅 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

제1항에 따른 방법을 수행하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 12

3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅(surface splatting) 장치로서,

상기 3차원 객체 영상의 하나의 이상의 특징 영역 및 색상 변화 정보를 고려한 스펙트럴 샘플링(spectral sampling)을 통해 상기 3차원 객체 영상에 대한 포인트 분포를 결정하는 샘플링부; 및

상기 결정된 포인트 분포에 따라 각 포인트에 상응하는 스플랫의 크기 및 모양을 결정하는 스플랫 최적화부를 포함하되,

상기 스플랫은 각 포인트에 대해 서로 다른 크기를 갖는 타원형 스플랫이며, 상기 타원형 스플랫은 위치 정보, 색상 정보 및 두 개의 접선 벡터로 정의되며, 상기 스플랫 최적화부는 상기 포인트의 분포, 굴곡 및 색상 변화 정보를 이용하여 상기 타원형 스플랫의 접선 벡터를 결정하는 적응형 표면 스플래팅 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 3차원 객체 영상은 얼굴 모델이며, 상기 특징 영역은 눈, 입술, 눈썹 및 피부 중 하나를 포함하며, 상기 샘플링부는 각 특징 영역에 부여된 가중치를 고려하여 상기 포인트의 분포를 결정하는 적응형 표면 스플래팅 장치.

청구항 14

삭제

명세서

기술분야

본 발명은 3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅 방법 및 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 계산량을 줄여 다양한 기기에서 대용량의 영상 데이터를 효과적으로 렌더링할 수 있도록 하는 적응형 표면

[0001]

스플래팅 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 사람들은 얼굴의 특징으로 타인을 식별하고, 표정을 통해 감정을 파악하기 때문에 얼굴의 미세한 변화에도 다른 물체보다 시각적으로 민감하게 반응한다. 이러한 이유로 컴퓨터 그래픽스 분야에서 사실적인 얼굴 표현은 지금도 중요한 도전과제이다. 또한 그 응용 분야도 다양하여 영화나 게임에서는 보다 자연스러운 휴먼 인터페이스를 제공할 수 있고, 의료 분야에서는 정확한 시뮬레이션을 하는데 활용될 수 있어 산업적으로도 매우 중요하다.
- [0003] 실제 사람과 거의 동일한 디지털 얼굴을 생성하기 위해서는 첫째, 얼굴의 기하정보를 잘 표현해야 한다. 이를 위해서 콧등이나 턱과 같은 얼굴의 윤곽을 명확하게 보여주어야 할 뿐만 아니라 얼굴의 잔주름과 같은 얼굴의 미세한 기하정보까지도 보여줄 수 있어야 한다. 둘째, 사람들은 타인의 표정을 파악하기 위해서 입술, 눈, 눈썹 등과 같은 부분에 더욱 주의를 집중하므로, 이처럼 시각적으로 중요한 특징의 색상정보가 변화되는 부분에서 에러가 없이 시각화 할 수 있어야 한다.
- [0004] 얼굴 데이터를 획득하는 방식은 응용 목적에 따라 다르지만, 보다 세밀한 형상을 고속으로 간편하게 얻는 형태로 진화하고 있다. 널리 사용되는 레이저 기반 3차원 스캐너는 고해상도의 형상과 칼라 정보를 얻을 수 있지만 스캐닝 시간이 오래 걸리고 노이즈가 생긴다. 최근에는 여러 대의 카메라로 촬영한 영상으로부터 주름, 모공과 같은 미세한 특징을 포함한 순간적인 얼굴 표정을 캡처할 수 있다.
- [0005] 또한 물리적으로 정확한 렌더링을 하기 위해 특수 계측 장비들을 이용해 피부에서 빛이 반사되고, 산란되는 정도를 측정하여 사용한다.
- [0006] 그러나 사실적인 디지털 얼굴을 생성하기 위해 더욱 세밀한 형상과 텍스처, 추가적인 측정치들을 이용할수록 처리해야 할 데이터 양은 점점 더 늘어나게 된다. 또한 스캐너를 통해 얻은 세밀한 데이터에는 최종적인 렌더링 결과에 반영되지 않는 불필요하거나 중복되는 데이터 역시 포함되어 있다.
- [0007] 따라서 일반 데스크탑 컴퓨터에서의 렌더링 속도를 높일 뿐만 아니라 최근 그래픽 처리 능력이 향상된 태블릿 PC나 스마트폰에서 이러한 데이터를 사용할 수 있도록 하기 위해서는 얼굴의 중요한 특징을 잘 유지하면서 데이터를 간략화하여 렌더링하는 방법이 필요하다.
- [0008] 데이터 간략화를 통한 렌더링을 위해, 근래에 포인트 기반 렌더링 방법에 제안되고 있다.
- [0009] 포인트 기반 렌더링은 폴리곤 기반 렌더링과는 다르게 구조화 되지 않은 포인트 집합 자체의 정보만을 이용하여 렌더링 작업을 수행한다. 렌더링 과정에서 포인트 사이의 연결정보가 필요하지 않다는 특징 때문에 모델을 구성하는 정보의 잦은 재구조화나 재표본화가 요구되는 작업에 적합하고, 고해상도의 모델일수록 효율적인 렌더링 방법으로 평가 받고 있다.
- [0010] 한편, 표면 스플래팅(surface splatting)은 포인트 기반 렌더링으로 재구성된 모델 표면에서의 엘리어싱(aliasing) 문제를 해결하기 위한 렌더링 방법이다. 이 방법은 이론적으로 면적을 갖지 않는 포인트 대신에 스플랫(splat)이라는 포인트의 위치정보, 법선 벡터, 반지름을 갖는 디스크 형태의 렌더링 기본요소를 사용한다.
- [0011] 포인트 기반의 3차원 얼굴 모델을 표면에 홀(hole) 없이 완전하게 렌더링하기 위해서 디스크 형태의 스플랫을 중첩하고 이 영역에 가우시안 필터 커널을 적용하여 포인트 사이의 정보들을 보간한다. 그리고 이미지 공간상에서 각 스플랫들이 누적된 정보에 정규화(normalization) 커널을 수행함으로써 텍스처 필터링과 안티엘리어싱이 적용된 포인트 기반 렌더링을 가능하게 하였다.
- [0012] 이 연구는 이후의 포인트 기반 연구들에 많은 영향을 주었고, 표면 스플래팅에 기반한 다양한 알고리즘들이 포인트 기반 렌더링의 속도를 높이기 위하여 GPU 기반으로 개발되었다.
- [0013] 대부분의 포인트 기반의 간략화 방법들은 포인트 집합의 기하정보만을 고려하여 모델의 표면을 정확하게 재구성하는데 초점을 맞추었다. 하지만 이 때문에 현재의 모바일 장치에서 사용 가능한 정도로 포인트의 숫자를 줄이게 되면 포인트 기반 렌더링 환경에서는 3차원 얼굴 모델을 시각적으로 충분한 품질로 렌더링할 수 없게 된다.
- [0014] 샘플링은 3차원 얼굴 모델의 기하정보를 재구성(reconstruction)하거나 렌더링하기 위한 작업의 핵심 과정이다. 대다수의 샘플링 알고리즘은 이러한 재구성 과정에서 모델이 가진 중요한 정보를 유지하면서도 표본의 수를 줄이기 위한 방법에 초점을 맞추고 있다. 일반적인 샘플링 방법은 각 연산의 변화에 따른 스코어링 시스템에 기반하여 포인트를 반복적으로 추가하거나 제거하는 과정으로 수행된다. 이러한 방법들은 하드웨어의 처리능력과 메

모리가 클수록 좋은 결과를 보이지만 모델 표면의 오류를 제거하기 어렵다는 단점이 있다.

[0015] 3차원 얼굴 모델을 좋은 품질로 렌더링하기 위해서는 3차원 표면을 구성하는 포인트가 잘 분포되어야 한다. 이를 위해서 일반적으로 모델 표면의 포인트들을 반복적으로 이동시켜 포인트의 분포를 최적화 하는 방법이 사용된다. 이들 방법은 inter-point forces나 로이드(Lloyd) 알고리즘의 변형, advancing front 알고리즘, 스플래팅 기반의 특징을 기반으로 포인트를 분포시킨다. 이 방법들 중 일부는 포인트를 방향에 따라 균일하게 분포시키거나 다르게 분포시키는 두 방법을 모두 지원한다. 하지만 이들 방법의 대부분이 좋은 결과를 얻기 위해서는 처음부터 좋은 분포를 가진 모델을 필요로 하고, 입력하는 매개변수에 따라 결과에 많은 차이를 보인다. 또한 기하정보에만 초점을 두고 있기 때문에 샘플링 후의 결과에서 얼굴의 특징이나 색상과 같은 추가적인 정보를 함께 고려한 정보를 얻기 힘들다는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해 본 발명은 데이터를 간략화하면서도 3차원 얼굴 모델과 같은 객체 영상을 높은 품질로 렌더링할 수 있는 3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅 방법 및 장치를 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0017] 상기한 목적을 달성하기 위해 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면, 컴퓨팅 장치에서 3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅(surface splatting)하는 방법으로서, (a) 상기 3차원 객체 영상의 하나의 이상의 특징 영역 및 색상 변화 정보를 고려한 스펙트럴 샘플링(spectral sampling)을 통해 상기 3차원 객체 영상을 간략화하기 위한 포인트 분포를 결정하는 단계; 및 (b) 상기 결정된 포인트 분포에 따라 각 포인트에 상응하는 타원형 스플랫의 크기 및 모양을 결정하는 단계를 포함하는 적응형 표면 스플래팅 방법이 제공된다.

[0018] 상기 3차원 객체 영상은 얼굴 모델이며, 상기 특징 영역은 눈, 입술, 눈썹 및 피부 중 하나를 포함하며, 각 특징 영역에 서로 다른 가중치가 부여될 수 있다.

[0019] 상기 3차원 객체 영상의 각 포인트는 위치 정보, 접선 벡터, 색상 정보 및 상기 가중치로 정의될 수 있다.

[0020] 상기 (a) 단계는 상기 3차원 객체 영상을 위한 전체 포인트의 수, 굴곡 부분을 위한 포인트 수 및 상기 색상 변화에 따른 포인트의 수를 결정할 수 있다.

[0021] 상기 (a) 단계는 상기 컴퓨팅 장치의 처리 능력에 따라 상기 전체 포인트의 수, 굴곡 부분을 위한 포인트 수 및 상기 색상 변화에 따른 포인트의 수를 결정할 수 있다.

[0022] 상기 특징 영역에 부여된 가중치에 의해 상기 특징 영역에 포인트의 밀도가 높아질 수 있다.

[0023] 상기 결정된 포인트 분포에 의해 상기 3차원 객체 영상의 소정 포인트는 위치가 변경되며, 상기 변경된 위치의 포인트의 색상 정보는 아래의 수학식에 의해 반복 계산되어 결정될 수 있다.

[0024] [수학식]

$$c^{k+1} = \frac{\sum_i c_i k(\mathbf{x}^k, \mathbf{x}_i)}{\sum_i k(\mathbf{x}^k, \mathbf{x}_i)}$$

[0025]

[0026] 여기서, c^{k+1} 은 새로운 현재 포인트의 추정된 색상 정보, $\mathbf{x}^k$ 는 현재 포인트, $\mathbf{x}_i$ 는 $\mathbf{x}^k$ 의 주변 포인트, c_i 는 $\mathbf{x}_i$ 의 색상 정보임

[0027] 상기 타원형 스플랫은 위치 정보, 색상 정보 및 두 개의 접선 벡터로 정의되며, 상기 (b) 단계는 상기 포인트의 분포, 굴곡 및 색상 변화 정보를 이용하여 상기 타원형 스플랫의 접선 벡터를 결정할 수 있다.

[0028] 상기 타원형 스플랫에 의해 덮이지 않은 홀에 대해 홀 주변 정보를 선형 보간하여 홀의 색상 정보를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0029] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 컴퓨팅 장치에서 3차원 얼굴 모델 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅(surface splatting)하는 방법으로서, (a) 상기 컴퓨팅 장치의 처리 능력에 따라 상기 3차원 얼굴 모델의 특징 영역, 굴곡 및 색상 변화 정보를 위한 포인트 수를 결정하는 단계; 및 (b) 상기 결정된 포인트 분포에 따라 각 포인트에 상응하는 스플랫의 크기 및 모양을 결정하는 단계를 포함하는 적응형 표면 스플래팅 방법이 제공된다.

[0030] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 상기한 방법을 수행하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체가 제공된다.

[0031] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 3차원 객체 영상 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅(surface splatting) 장치로서, 상기 3차원 객체 영상의 하나의 이상의 특징 영역 및 색상 변화 정보를 고려한 스펙트럴 샘플링(spectral sampling)을 통해 상기 3차원 객체 영상에 대한 포인트 분포를 결정하는 샘플링부; 및 상기 결정된 포인트 분포에 따라 각 포인트에 상응하는 스플랫의 크기 및 모양을 결정하는 스플랫 최적화부를 포함하는 적응형 표면 스플래팅 장치가 제공된다.

발명의 효과

[0032] 본 발명에 따르면, 3차원 객체 영상의 특징 영역을 지정하고, 특징 영역에 서로 다른 가중치를 부여함으로써 특징 영역의 잘 보존하면서 간략화할 수 있다는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 적응형 표면 스플래팅의 전체적인 처리 과정을 도시한 순서도.

도 2는 본 실시예에 따른 타원형 스플랫의 구조를 도시한 도면.

도 3은 본 실시예에 따른 홀 필터링 과정의 알고리즘을 나타낸 도면.

도 4는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치의 블록도.

도 5는 얼굴 모델의 주름이나 얼굴의 특징을 결정하는 부분의 샘플링 결과를 나타낸 도면.

도 6은 피부 색상과 컬러 공간을 변경함에 따라서 달라지는 결과를 나타낸 도면.

도 7은 포인트 수의 급격한 변화에 따른 렌더링 결과와 얼굴 특징이 유지되는 정도를 비교하여 나타낸 도면.

도 8은 원 얼굴모델과 스플랫 최적화가 수행된 이후 얼굴모델의 포인트의 형태, 크기, 분포를 비교하여 나타낸 도면.

도 9는 RGB 컬러공간과 HSV 컬러공간, YCbCr 컬러공간을 사용하여 포인트가 집중되는 정도와 수를 비교한 도면.

도 10은 본 실시예에 따른 정보손실복원과정의 효과(홀 필터링 과정)를 검증하기 위해 일반적인 표면 스플래팅을 적용한 결과와 스플랫으로 구성된 3차원 표면에 생긴 빈 공간을 채우기 위해서 스플랫의 크기를 키우는 대신 본 실시예에 따른 정보손실복원 과정을 적용한 결과를 비교한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[0035] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면 번호에 상관없이 동일한 수단에 대해서는 동일한 참조 번호를 사용하기로 한다.

[0036] 본 발명은 3차원 객체 영상의 렌더링을 위한 적응형 표면 스플래팅에 관한 것이다.

[0037] 본 발명은 3차원으로 획득된 얼굴 모델에 유용하게 적용될 수 있다. 본 발명은 3차원 얼굴 모델을 처리하기 위한 샘플링 알고리즘으로 확장된 스펙트럴 알고리즘을 이용하는 것으로서, 하기에서는 표면 스플래팅 및 스펙트

럴 샘플링에 관하여 우선 설명한다.

- [0038] 전술한 바와 같이, 표면 스피래팅은 면적을 갖지 않는 포인트 대신에 스피라트이라는 기본요소를 사용한다. 스피라트는 포인트의 법선 벡터에 수직인 디스크 형태의 렌더링 기본요소로써 포인트의 위치와 이를 중심으로 하는 디스크 표면의 색상, 법선 벡터, 반지를 정보를 포함하는 자료구조이다.
- [0039] 스피라트를 이용한 표면 스피래팅 과정에서는 스피라트의 집합을 이미지 공간으로 매핑하고 중첩된 부분의 색을 보간하여 모델 전체의 색을 부드럽게 표현한다. 이를 위해 각 스피라트가 이미지 공간으로 투영된 프래그먼트(fragment)에 가중치를 곱한 뒤 버퍼에 누적함으로써 모델 표면의 색을 보간한다. 각 스피라트의 프래그먼트에 곱해지는 가중치는 스피라트의 중점으로부터 프래그먼트까지 오브젝트 공간상의 거리에 비례한 가우시안 가중치를 구하여 적용한다.
- [0040] 이후 버퍼 안의 한 픽셀에 누적된 프래그먼트들의 색상을 누적된 가중치로 나누어 정규화함으로써 모델 표면 스피라트들의 색이 보간된 결과를 구할 수 있다. 이때 다른 스피라트들에 의해 가려진 스피라트들의 가중치가 함께 계산되는 것을 방지하기 위해 가시성 테스트를 수행한다.
- [0041] 이 방법은 시점에서 가장 가까이 있는 스피라트로부터 일정거리보다 뒤에 있는 스피라트를 렌더링 과정에서 제거하는 방법이다.
- [0042] GPU 가속을 사용하는 대부분의 포인트 기반 렌더링 방법들은 아래의 세가지 과정을 순차적으로 수행함으로써 결과 영상을 생성한다.
- [0043] 세가지 과정 모두 프로그래밍 가능한 셰이더(programmable shader)를 사용한다.
- [0044] 첫 번째와 두 번째 과정은 3차원 얼굴 모델의 기하정보를 입력값으로 사용하고 세 번째 과정은 앞의 두 과정의 결과 만들어진 2차원 데이터를 입력값으로 사용한다.
- [0045] 첫 번째 과정은 시점으로부터 스피라트가 이루는 표면까지의 정확한 깊이값을 계산하고 이를 깊이 버퍼에 저장한다. 그리고 두 번째 과정에서는 깊이값을 바탕으로 모델 표면의 색상과 법선 벡터를 보간하여 음영 연산을 위해 필요한 2차원 영상을 얻는다. 두 번째 과정에서 얻어진 보간된 색상과 법선 벡터가 버퍼에 누적된 결과 영상을 정규화하고 이를 이용하여 음영 연산을 수행하고, 이를 통해 결과 영상을 생성한다.
- [0046] 한편 스펙트럴 샘플링은 포인트 집합으로 구성된 3차원 표면을 간략화하고 재표본화하기 위한 기법이다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 열 방정식(heat kernel)의 근사화를 통해 Laplace-Beltrami 스펙트럼을 결정함으로써 3차원 얼굴 모델(표면) 위의 포인트가 영향을 미치는 범위를 측정하게 된다. 따라서 하나의 포인트로 인한 Laplace-Beltrami 스펙트럼의 변화를 측정함으로써 스피라트로 중첩된 3차원 얼굴 모델을 렌더링하는 작업과 모델을 재구성하는 과정에 동일한 커널을 사용할 수 있다.
- [0047] 스펙트럴 샘플링은 효율적인 렌더링을 위해 필수적인 3차원 얼굴 모델의 LOD(Level of Detail)을 지원하고 3차원 얼굴 모델을 재구성하는 단계에서 포인트의 중복을 최대한 피할 수 있다. 또한 고품질의 렌더링을 위해서는 3차원 얼굴 모델의 오류를 제거할 수도 있다. 이처럼 스펙트럴 샘플링을 통해서 만들어진 포인트의 분포는 고품질의 블루 노이즈(blue noise) 특성과 3차원 얼굴 모델을 잘 커버하는 분포를 가진다. 또한, 포인트의 분포가 균일한 패턴을 가지지 않고 기하정보 외의 사용자가 제공하는 다른 정보를 지원할 수 있다. 스펙트럴 샘플링의 이러한 특징을 이용하면 고해상도의 3차원 얼굴 모델을 엘리어싱이나 블러링과 같은 오류 없이 고품질로 렌더링할 수 있다.
- [0048] 본 발명에서는 다양한 장비에서 동작하는 고품질의 3차원 얼굴 모델 렌더링을 수행하기 위한 부표본화, 재표본화 과정에서 스펙트럴 샘플링을 이용하여 최적화된 3차원 얼굴 모델을 획득한다. 이를 위해 하나의 포인트에 의한 Laplace-Beltrami 스펙트럼의 변화량을 측정한다. 변화량을 측정하기 위한 알고리즘의 커널은 다음의 수학적식 1에 의해 정의된다.

수학적식 1

$$k(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = e^{-\|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2}$$

- [0050] 여기서, $\mathbf{x}$ 는 커널에서 처리하기 위한 원 모델 포인트의 정보(위치 정보, 법선 벡터, 색상 정보, 가중치

등)이고, y 는 x 주변 포인트의 정보(위치 정보, 법선 벡터, 색상 정보, 가중치 등)이다.

[0051] 본 발명에서는 고품질의 3차원 얼굴 모델의 렌더링을 위해 3차원 얼굴 모델을 구성하는 포인트의 위치 정보뿐만 아니라 법선 벡터와 색상 정보, 얼굴의 특징 영역에 대한 마스킹 정보를 이용한다.

[0052] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 적응형 표면 스플래팅의 전체적인 처리 과정을 도시한 순서도이다.

[0053] 본 실시예에 따른 적응형 표면 스플래팅은 데스크탑, 태블릿 PC 및 이동 단말기(스마트폰)과 같이 소정 어플리케이션이 실행되면서 영상을 처리할 수 있는 단말에서 수행될 수 있으며, 하기에서는 이러한 과정이 수행되는 장치를 컴퓨팅 장치라 정의한다.

[0054] 도 1을 참조하면, 컴퓨팅 장치는 우선 3차원 얼굴 모델을 최적화하는 과정에서 중요하게 다루어져야 하는 부분(이하, '특징 영역'이라 함)에 가중치를 부여한다(Feature Weighting, 단계 100).

[0055] 가중치가 부여된 이후, 스펙트럴 샘플링을 이용하여 3차원 얼굴 모델을 간략화하고 포인트의 분포를 얼굴의 특징 영역에 맞추어 최적화한다(Sampling, 단계 102)

[0056] 이후 렌더링 품질을 높이기 위해 스플랫의 형태를 포인트 집합의 분포에 맞추어 최적화한다(Splat Optimization, 단계 104).

[0057] 마지막으로 최적화된 스플랫을 이용하여 결과 영상을 렌더링한다(Rendering, 단계 106).

[0058] 하기에서는 도 1에서의 각 단계에 대해 상세하게 설명한다.

[0059] (1) Feature Weighting(단계 100)

[0060] 사람의 얼굴에서 눈, 코, 입 등의 부분들은 얼굴의 특징을 결정하기 때문에 고품질의 3차원 얼굴 렌더링을 위해 중요하게 다루어져야 한다.

[0061] 따라서 본 발명에서는 3차원 얼굴 모델을 구성하는 정보의 기하와 색상의 변화 외에도 얼굴을 중요 부분을 지정하는 마스킹 정보를 이용하여 눈, 코, 입 등과 같은 얼굴의 특징 영역에 가중치를 부여한다.

[0062] 얼굴의 특징 영역의 검출은 자동 검출 알고리즘을 통해 이루어질 수 있다.

[0063] 눈과 입술 영역을 자동으로 검출하기 위해서는 3차원 얼굴 모델의 정면 영상을 프레임 버퍼에 투영한 뒤, AdaBoost 알고리즘을 사용한다. 그 후에 검출된 영역에 대해서 다른 영역보다 높은 가중치를 할당하고, 이 가중치 정보를 2차원에 투영된 3차원 얼굴 모델의 위치정보를 이용하여 다시 3차원 얼굴 모델의 포인트에 역투영한다. 눈썹 영역은 눈의 위치보다 위쪽의 영상을 잘라낸 뒤, 흑백 영상에서 픽셀의 인텐시티(intensity) 기반의 영상처리 알고리즘을 이용하여 검출한다.

[0064] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 사용자의 조작에 따라 수동으로 마스킹 영역을 결정하는 방법이 사용될 수도 있다.

[0065] 또한, 사용자가 자동 검출 알고리즘을 통해 찾아낼 수 없는 영역을 강조하고 싶은 경우, 해당 영역을 사용자 조작에 의해 흥미영역(region of interest, ROI)으로 지정할 수도 있다.

[0066] 이를 위해 상기한 방법과 마찬가지로 프레임 버퍼에 투영된 3차원 얼굴 모델의 정보를 이용하여 흥미영역을 결정한 후 이를 3차원 얼굴 모델의 포인트에 역투영한다.

[0067] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면, 눈과 입술, 눈썹, 피부에 각각 다른 가중치를 가지는 라벨을 부여한다.

[0068] 이때, 가중치 w 는 3차원 얼굴 모델의 각 포인트에 추가정보로써 할당된다. 따라서 얼굴 특징 영역 검출 과정 이후, 3차원 얼굴 모델의 각 포인트 $\mathbf{x}_i = (\mathbf{p}_i, \mathbf{n}_i, \mathbf{c}_i, w_i)$ $\mathbf{x}_i = (\mathbf{p}_i, \mathbf{n}_i, \mathbf{c}_i, w_i)$ 는 위치 정보(위치 벡터) p_i , 법선 벡터 n_i , 색상 정보 c_i , 가중치 w_i 를 갖는다.

[0069] (2) Sampling(단계 102)

[0070] 3차원 얼굴을 사실적으로 렌더링하기 위해서는 샘플링 단계에서 3차원 얼굴 모델을 구성하는 텍스처와 중요 특징 영역에 대한 정보를 잘 보존해야 한다. 따라서 이를 위한 샘플링 알고리즘은 3차원 얼굴 표면의 색상 정보의

변화와 얼굴 특징 영역의 중요도를 고려하여 포인트 분포를 결정해야 한다. 이를 위해 본 발명에서는 스펙트럴 샘플링 알고리즘을 확장하여 샘플링 단계에서 3차원 얼굴 모델의 색상과 얼굴의 특징 영역을 처리한다.

[0071] 스펙트럴 샘플링의 본래 알고리즘에서 포인트의 위치 정보 외에 법선 벡터를 고려하여 샘플링 커널에서 사용되는 포인트는 $\mathbf{x} = [\mathbf{p}/\sigma_p \ \mathbf{n}/\sigma_n]^T$ 의 형태를 가진다.

[0072] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 포인트는 색상 정보를 추가되어 $\mathbf{x} = [\mathbf{p}/\sigma_p \ \mathbf{n}/\sigma_n \ \mathbf{c}/\sigma_c]^T$ 과 같은 형태를 가진다. 여기서, 매개변수 σ_p 를 조절하면 3차원 얼굴 모델의 전체 포인트의 밀집 정도(전체 포인트수)를 조절할 수 있고, 매개변수 σ_n 를 조절하면 3차원 얼굴 모델의 굴곡 부분에 포인트의 밀집 정도를 조절할 수 있으며, 매개변수 σ_c 를 조절하면 샘플링 단계에서 3차원 얼굴 모델의 색상 정보의 변화에 따라 포인트가 밀집되는 정도를 조절할 수 있다.

[0073] 본 실시예에서 사용되는 확장된 스펙트럴 샘플링 알고리즘을 이용하게 되면 원 모델의 3차원 얼굴 모델의 포인트 수를 목표하는 장치의 처리 능력에 따라 최적화되고 얼굴의 특징 정보들을 잘 유지할 수 있도록 포인트의 분포가 변경된다.

[0074] 이때, 3차원 얼굴 모델의 색상 정보는 2차원 영상 텍스처를 사용하지 않고 각 3차원 포인트에 할당되어 있기 때문에, 3차원 포인트의 위치가 변경됨에 따라 새로운 위치의 포인트 $\mathbf{x}$ 의 색상 정보 $\mathbf{c}(\mathbf{x})$ 는 다음의 수식을 반복적으로 사용하여 유도된다.

수학적식 2

$$\mathbf{c}^{k+1} = \frac{\sum_i \mathbf{c}_i k(\mathbf{x}^k, \mathbf{x}_i)}{\sum_i k(\mathbf{x}^k, \mathbf{x}_i)},$$

[0075]

[0076] 여기서, $\mathbf{c}^{k+1}$ 은 새로운 현재 포인트의 추정된 색상 정보, $\mathbf{x}^k$ 는 현재 포인트, $\mathbf{x}_i$ 는 $\mathbf{x}^k$ 의 주변 포인트, $\mathbf{c}_i$ 는 $\mathbf{x}_i$ 의 색상 정보이다.

[0077] 색상 정보를 유도하기 위한 과정은 시작 단계에서 매개변수 σ_c 를 ∞ 로 설정한 후 특정값으로 수렴할 때까지 반복적으로 수행된다. 이러한 과정을 통해 3차원 얼굴 모델 표면의 색상 정보 사이의 연결 정보가 없음에도 새로운 위치의 정확한 색상 정보를 유도할 수 있다. 이후 새로 유도된 색상 정보 $\mathbf{c}$ 를 이용하여 재샘플링 과정을 수행하고, 결과 모델의 포인트 정보 $\mathbf{x}$ 를 구성한다.

[0078] 본 실시예에서 사용하는 확장된 스펙트럴 샘플링의 최종 결과는 사람의 얼굴을 시각적으로 인지할 때 중요한 부분의 위치 정보를 마스크의 형태로 포함한다. 이때 포인트 $\mathbf{x}$ 의 마스킹 정보 $\mathbf{m}(\mathbf{x})$ 는 샘플링 결과 모델의 포인트 밀도를 결정하는 매개변수 σ_p 에 적용되는 가중치 w 를 생성한다. 포인트에 적용되는 매개변수 σ_p 에 1.0보다 낮은 가중치를 적용함으로써 선택된 영역을 주변 영역보다 세밀하게 샘플링할 수 있다.

[0079] 따라서, 본 실시예의 샘플링 커널에서 사용하는 포인트는 $\mathbf{x} = [\mathbf{p}/(\sigma_p w) \ \mathbf{n}/\sigma_n \ \mathbf{c}/\sigma_c]^T$ 의 형태를 가진다. 여기서 마스크의 가중치 w 는 눈, 입술, 눈썹과 같이 중요한 특징 영역에 적용된다.

[0080] 본 실시예에서는 사람의 얼굴을 인지할 때 중요한 영역의 정보를 보존하기 위해 경험적으로 피부에 해당하는 영역의 가중치는 $w=1$ 로 설정하고, 얼굴의 특징 영역은 $w=0.5$ 로 설정한다.

[0081] (3) Splat Optimization(단계 104)

[0082] 표면 스플래팅은 포인트 간의 연결 정보 없이 각 포인트를 중심으로 한 스플랫 평면의 중첩으로 모델의 표면을 표현한다. 이때 하나의 포인트가 가지는 평면의 형태에 따라 모델 표면을 표현하기 위해 필요한 전체 포인트의 수와 중첩되는 영역의 크기가 달라지기 때문에 렌더링 품질과 처리속도를 높이기 위해서는 적절한 스플랫 평면 형태를 결정하는 과정이 필수적이다.

- [0083] 일반적으로 사각형 보다는 원형의 평면이 불필요하게 중첩되는 영역을 줄일 수 있고, 굴곡이 있는 모델 표면의 경우에는 원형보다는 타원형의 평면을 사용할 때 더욱 적은 수의 포인트로 모델 표면을 표현할 수 있다.
- [0084] 사실적인 3차원 얼굴 모델은 주름이나 점, 수염, 눈썹 등과 같이 다양한 특징 영역들로 구성되어 있으며, 이러한 특징 영역의 포인트들은 주변 포인트와 비교하였을 때 색상이나 법선 벡터처럼 표면을 구성하는 정보들이 급격하게 변화한다.
- [0085] 본 실시예에서는 모델 표면의 굴곡(curvature)과 색상 정보의 변화를 효과적으로 표현하기 위해 최적화된 타원형의 스플랫을 사용한다.
- [0086] 도 2는 본 실시예에 따른 타원형 스플랫의 구조를 도시한 도면이다.
- [0087] 도 2에 도시된 바와 같이, 타원형 스플랫은 각 포인트의 위치를 중심점으로 한 타원형 평면으로써 위치 정보(p)와 색상(c), 법선 벡터(n), 접선 벡터(u, v) 정보를 가진다. 두 개의 접선 벡터 u, v는 서로 수직하며 스플랫 평면의 법선 벡터와도 수직한다. 또한, 두 접선 벡터의 길이에 의해 스플랫의 타원 형태와 크기가 결정된다. 따라서 스플랫 최적화 과정에서 샘플링 이후에 결정된 모델의 포인트 분포와 굴곡, 색상 정보의 변화에 최적화된 스플랫의 형태 및 크기를 계산하고, 이를 두 접선 벡터(u,v)에 반영한다.
- [0088] 본 실시예에서, 스플랫의 최적화된 형태를 결정하기 위해 이전 간략화 과정에서 사용된 스펙트럴 샘플링의 커널을 이용한다.
- [0089] 그 결과 색상이나 굴곡이 변화하는 방향으로 좁은 타원형의 스플랫의 형태를 얻을 수 있게 되고, 이는 정보가 변화하는 영역에서의 중복을 줄이고 윤곽을 뚜렷하게 하는 효과를 보여 렌더링 결과를 향상시킨다.
- [0090] 본 실시예에 따르면, 일정한 반경의 일반적인 디스크를 사용하는 대신, 각 축 및 각 샘플 포인트에 대해 서로 다른 크기의 타원 모양을 갖는 스플랫을 사용한다. 각 스플랫은 법선 벡터에 직교하고, 중심축 u와 v 그리고 스플랫의 색인 C를 가지고 샘플 포인트의 위치 p를 중심으로 하는 타원형의 디스크이다. 여기서 u와 v의 길이는 해당 방향으로 타원의 범위를 정의한다.
- [0091] 상기한 방식으로 스플랫의 형태를 정의하면 각 샘플 포인트에 대한 매개변수 u, v를 스플랫의 최적화 단계를 줄일 수 있다. 디스크는 직관적으로 주어진 샘플 포인트 x 주위에 분포된 x_i 들의 샘플 포인트를 따라 접선 평면에 있는 굵은 커널들을 캡처해야 한다. 커널 형태의 주요 중심축을 캡처하려면 접선 평면에서 투영되는 방향 벡터의 가중치 합을 사용해야 한다.
- [0092] 첫 번째, 접선 평면에서 벡터 $x-x_i$ 의 투영을 계산한다.

- [0093] $P(x-x_i)$: 행렬 P에서 공간 범위를 넘어가는 모든 구성요소를 0 으로 설정하고, $y_i = (I - nn^T)(p - p_i)$ 를 줄이기 위해 p위치를 접선 평면에 투영한다. 이렇게 투영된 벡터와 커널에 의한 가중치를 사용하여 다음과 같은 공분산 행렬을 얻을 수 있다.

수학식 3

$$C = \sum_i y_i y_i^T k(x, x_i).$$

- [0094]
- [0095] 상기과 같은 공분산 행렬을 0 고유값과 두 개의 다른 양의 고유값 a_1 과 a_2 와 해당 고유 벡터 e_1 과 e_2 를 가진다.
- [0096] 상기한 고유값들은 해당 방향에 있는 커널 모양의 범위에서 얻어진다.
- [0097] 두 번째, 각각의 스플랫 모양의 크기 요소는 국부적인(locally) 적응형 방법으로 결정된다. 각 스플랫을 위해 가장 가까운 거리의 스플랫이 계산된다. 그런 다음 평균적으로 가까운 거리에 이 거리의 비율을 다음 수식에 의해 주어지는 u와 v의 길이에 대한 local scale factor(전역 크기 인자값)로 사용된다.

수학식 4

$$h_i = \frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{x}^c\|}{n^{-1} \sum_{i=1}^n \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_i^c\|}$$

[0098]

[0099] 전역 크기 인자값 g 를 사용하여 모든 스피켓의 크기는 지속적으로 렌더링된 이미지를 만들며 증가한다.

[0100] 전역 크기 인자값과 h_g 인자값을 함께 사용하여 $\mathbf{u} = h_i h_g \alpha_1^2 \mathbf{e}_1$ and $\mathbf{v} = h_i h_g \alpha_2^2 \mathbf{e}_2$ 를 얻을 수 있다.

[0101] (4) Rendering(단계 106)

[0102] 본 실시예에서는 상기와 같이 방법으로 모양 및 크기가 결정된 타원형 스피켓을 이용하여 3차원 얼굴 모델 표면의 연결된 정보를 표현한다.

[0103] 그러나, 단순히 타원형의 평면을 나열하면 스피켓으로 덮이지 않은 영역이 홀(hole)이 생긴다. 따라서 홀을 없도록 하기 위해서는 홀을 덮을 만큼 전체적으로 스피켓의 크기를 증가시켜야 하며, 이 과정에서 인접한 스피켓들이 서로 중첩되는 영역 역시 증가한다. 스피켓의 중첩에 의해 렌더링 결과에 아티팩트(artifact)가 생기게 된다.

[0104] 종래의 표면 스피래팅 방법에서는 EWA(Elliptical Weighted Average) 필터 등의 방법으로 중첩된 영역의 스피켓 정보를 보간하였다. 따라서 스피켓의 중첩 영역이 증가하면 보간을 수행하기 위한 처리량도 증가하게 되고, 보간에 의해 색상 정보가 블러링(Blurring)되는 영역도 증가하게 된다. 즉, 스피켓의 중첩 영역이 증가하는 것은 렌더링 속도와 품질을 저하시킨다.

[0105] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면 아래의 3단계 처리 과정을 통해 홀을 제거하면서 스피켓의 중첩 영역을 최소화한다. 이 과정에서 홀 필링(hole filling) 과정을 추가하여 렌더링 품질을 향상시킨다.

[0106] 홀 필링 과정은 임계 크기 이하의 홀의 색상을 결정하는 과정으로 이미지 공간에서 홀 주변의 정보를 선형 보간하는 과정이다. 표면 스피래팅의 2단계까지 수행하게 되면 색상과 normal map을 얻을 수 있는데, 마지막 세 번째 단계에서 정규화(normalization)이후 색상과 normal map에 대해 홀 필링을 수행한다.

[0107] 이 과정은 속성(attribute) 스피래팅 이후에 정규화 과정에서 색상과 normal map 정보가 저장된 버퍼를 대상으로 수행한다. 각 버퍼를 대상으로 세로와 가로 라인을 따라 스피켓에 의해 정보가 채워지지 않은 영역 중 임계값 이하의 크기를 가진 홀이 있으면 홀의 주변 정보를 선형 보간하여 홀을 채운다. 도 3은 본 실시예에 따른 홀 필링 과정의 알고리즘을 나타낸 도면이다.

[0108] 도 4는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치의 블록도이다.

[0109] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 렌더링을 위한 컴퓨팅 장치는 특징 영역 검출부(400), 가중치 할당부(402), 샘플링부(404), 스피켓 최적화부(406) 및 렌더링부(408)를 포함할 수 있다.

[0110] 특징 영역 검출부(400)는 3차원 얼굴 모델에서의 하나 이상의 특징 영역을 검출한다. 전술한 바와 같이, 특징 영역은 자동 또는 수동으로 검출될 수 있으며, 이처럼 검출된 특징 영역이 마스킹 정보로서 저장된다.

[0111] 가중치 할당부(402)는 각 특징 영역에 대한 가중치를 부여한다. 본 실시예에 따르면, 특징 영역의 가중치는 특징 영역의 중요도에 따라, 그리고 컴퓨팅 장치의 처리 능력에 따라 다르게 부여될 수 있다.

[0112] 샘플링부(404)는 특징 영역에 부여된 가중치 및 3차원 얼굴 모델의 색상 변화 정보를 고려하여 3차원 얼굴 모델에 대한 포인트를 간략화한다. 포인트의 간략화는 초기 얻어진 3차원 얼굴 모델이 대용량 데이터인 경우, 컴퓨팅 장치의 처리 능력에 맞게 특징 영역은 잘 보존하면서 포인트의 수는 줄이는 것으로서, 본 실시예에 따른 샘플링부(404)는 색상 변화 정보를 추가로 포함하는 확장된 스펙트럴 샘플링을 통해 3차원 얼굴 모델의 포인트 분포를 결정한다.

[0113] 스피켓 최적화부(406)는 포인트의 분포를 고려하여 각 포인트에 대한 스피켓의 크기 및 모양을 결정한다. 바람직하게, 스피켓은 타원형 스피켓일 수 있으며 포인트의 분포를 고려하여 타원형 스피켓의 접선 벡터를

결정한다.

- [0114] 렌더링부(408)는 최적화된 스피켓을 이용하여 3차원 얼굴 모델을 렌더링한다. 렌더링부(406)는 타원형 스피켓에 의해 덮이지 않는 홀에 대해 홀 필링 과정을 수행한 후 렌더링을 수행한다.
- [0115] 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 일 실시예들의 동작을 수행하기 위해 적어도 하나의 소프트웨어 모듈로서 동작하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0116] 하기에서는 본 실시예에 따른 적응형 표면 스피클래팅의 성능 시험한 결과를 설명한다.
- [0117] 실험을 위해 얼굴의 피부색과 주름의 정도에 따라서 각 얼굴에 다르게 나타나는 특성 차이를 비교하기 위하여 젊은 동양인 남자와, 나이는 백인 남자와 여자 얼굴 모델을 사용하였다.
- [0118] 스펙트럴 샘플링의 매개변수 σ_p , σ_n , σ_c 의 값을 변경하면 모델 표면의 기하정보에 의한 간략화 정도를 조절할 수 있다. σ_p 를 조작하면 전체적인 포인트의 밀도를 조절할 수 있고, σ_n 을 조작하면 모델 표면의 굴곡 부분에 포인트를 집중 시키거나 균일하게 분포시킬 수 있다. 도 5의 a, b, c는 얼굴 모델의 주름이나 얼굴의 특징을 결정하는 부분의 샘플링 결과를 나타낸다.
- [0119] 기하정보에 대하여 주로 주름과 같은 눈가나 입술 주변에 생기는 미세한 굴곡을 잘 유지하면서 전체적인 포인트 데이터를 얼마나 간략화시킬 수 있는지를 실험하기 위해서 σ_p 와 σ_c 의 값을 0.01과 0.9로 고정하고 σ_n 에 대한 변화를 실험하였다. 도 5의 d, e, f는 얼굴의 색상 변화에 따른 샘플링 결과를 나타낸다.
- [0120] 이를 위해서 σ_p 과 σ_n 을 0.01과 0.9로 고정하고 σ_c 를 조절하여 샘플링 과정 중에서 얼굴 특징 부위 색상의 고주파 성분이 얼마나 잘 유지 되는지를 실험하였다. 결과를 σ_c 값을 변화시킴에 따라 달라지는 전체 포인트의 수와 포인트가 집중되는 정도, 렌더링된 결과를 비교하였다.
- [0121] 본 실시예에 따른 방법의 기하정보에 대한 간략화를 수행한 결과, 얼굴 주름에 대한 렌더링 품질을 유지하면서 전체 포인트 숫자를 최대 95%이상 줄일 수 있었다.
- [0122] 도 6은 피부 색상과 컬러 공간을 변경함에 따라서 달라지는 결과를 나타낸다. 피부 색상 별 변화를 실험하기 위해서 아시아인, 아프리카인, 유럽인의 얼굴 데이터를 이용하였다. 이 때 각 매개변수는 $\sigma_p=0.0006$, $\sigma_n=0.9$, $\sigma_n=0.1$ 로 고정하였다.
- [0123] 그 결과 피부 색상에 따라 미세한 차이는 있지만 전체적으로 눈, 코, 입술처럼 얼굴의 특징을 결정하는 부분의 정보를 잘 유지함을 알 수 있다.
- [0124] 3차원 공간에서의 위치를 나타내고 직관적으로 비교 가능한 직교 좌표계와 달리 RGB 색상 공간은 색을 합성하기 위해서 만들어졌기 때문에 피부에서 보여지는 색의 경계를 효과적으로 구분하기 위한 작업에는 적합하지 못하다. 따라서 도 9의 실험에서는 RGB 컬러공간과 HSV 컬러공간, YCbCr 컬러공간을 사용하여 포인트가 집중되는 정도와 수를 비교하였다. 그 결과 도 6의 c, g 및 k에서 나타나는 것과 같이 HSV(hue, saturation, value) 컬러 공간에서 눈동자나, 눈썹, 입술 윤곽과 같은 특징을 더욱 잘 유지하였다.
- [0125] 태블릿 PC나 스마트폰의 어플리케이션에서 대용량의 3차원 얼굴 모델을 사용하기 위하여, 본 실험에서는 각각 다른 수의 포인트를 가진 얼굴 모델에 적응형 서피스 스피클래팅을 적용하였다.
- [0126] 도 7은 포인트 수의 급격한 변화에 따른 렌더링 결과와 얼굴 특징이 유지되는 정도를 비교하여 나타낸다. 도 7a는 원 모델의 렌더링 결과이고, 도 7b, c 및 d는 각각 원 모델의 50%, 81%, 97%를 간략화한 모델의 렌더링 결과

이다.

[0127] 도 8은 원 얼굴모델과 스피랫 최적화가 수행된 이후 얼굴모델의 포인트의 형태, 크기, 분포를 비교하여 나타낸다.

[0128] 도 9에서는 본 실시예에 따른 방법과 다른 표면 스피래팅의 렌더링 결과를 비교하여 본 방법의 품질을 평가한다. 도 9a는 1,004,000개의 포인트를 가진 원 모델의 렌더링 결과이다. 도 9b는 원 모델 대비 15%의 크기로 균일하게 샘플링된 얼굴 모델에 일반적인 표면 스피래팅을 적용한 결과이다. 도 9c는 3차원 얼굴 모델의 기하와 색상정보를 고려하도록 확장된 스펙트럴 샘플링을 사용한 얼굴모델의 렌더링 결과이고, 도 9d는 적응형 표면 스피래팅이 적용된 결과이다.

[0129] 도 9c와 d는 원 모델 대비 15%의 크기로 간략화 되었다. 도 9의 b, c, d의 세 결과를 비교하였을 때, 본 방법이 적용된 d가 눈썹과 같은 얼굴 특징을 잘 유지하고 있는 결과를 볼 수 있다.

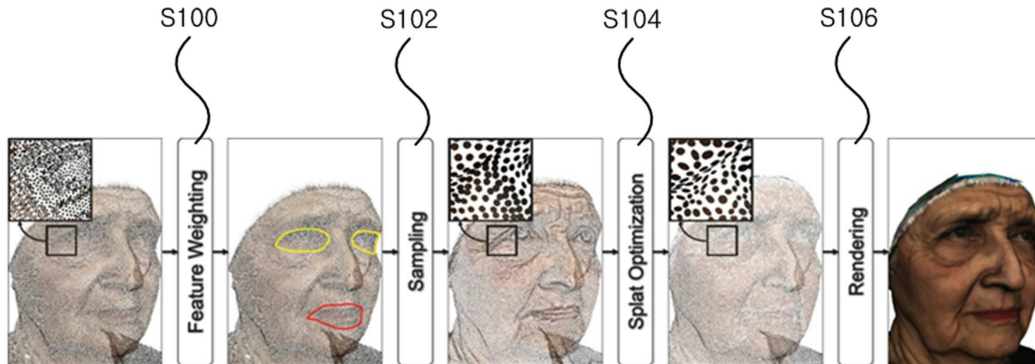
[0130] 도 10에서는 본 실시예에 따른 정보손실복원과정의 효과(홀 필링 과정)를 검증하기 위해 일반적인 표면 스피래팅을 적용한 결과와 스피랫으로 구성된 3차원 표면에 생긴 빈 공간을 채우기 위해서 스피랫의 크기를 키우는 대신 본 실시예에 따른 정보손실복원 과정을 적용한 결과를 비교한다.

[0131] 얼굴 모델의 세부적인 정보가 잘 표현되는지 정확하게 비교하기 위해서 결과 영상은 색상정보를 제거하고 음영연산만을 적용하였다. 일반적인 표면 스피래팅으로 렌더링한 도 10c와 본 방법의 렌더링 결과를 비교하였을 때, 도 10d에서 세부적인 기하정보를 더 잘 표현하고 있음을 알 수 있다.

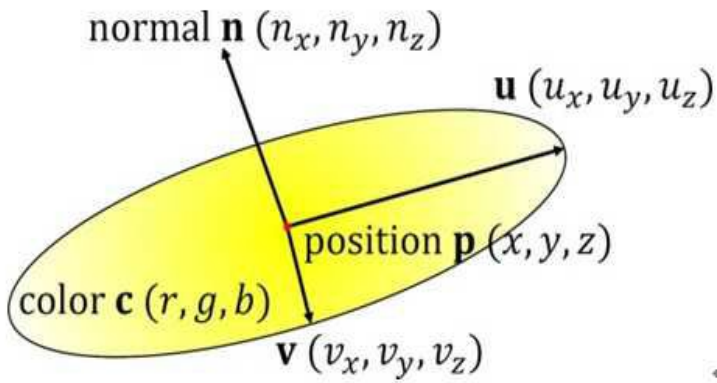
[0132] 상기한 본 발명의 바람직한 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대해 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

도면1



도면2



도면3

알고리즘 1 깊이값 기반의 정보손실복원 방법.

Input: 3차원 얼굴 모델 색상정보의 렌더링 영상 C , 법선벡터의 투영 영상

N , 깊이값의 투영 영상 D ,

깊이값의 임계값 th_d ,

영상의 가로 픽셀 수 w , 세로 픽셀 수 h ,

정보손실복원 필터사이즈 s_h .

Output: 복원된 색상 정보 영상 C^s , 법선벡터 정보 영상 N^s .

for $((i,j) = (0,0)$ to (w,h) ,

if $(D_{ij}$ is 0.0 and $isHoleInsideModel(i,j)$,

$C_{ij}^s = N_{ij}^s = g_s = 0.0$,

for each (k,l) with $|k-i| < s_h, |l-j| < s_h$,

if $(|D_{kl} - D_{ij}| < th_d)$,

$C_{ij}^s += C_{kl} g(i-k, j-l)$,

$N_{ij}^s += N_{kl} g(i-k, j-l)$,

$g_s += g(i-k, j-l)$,

end.

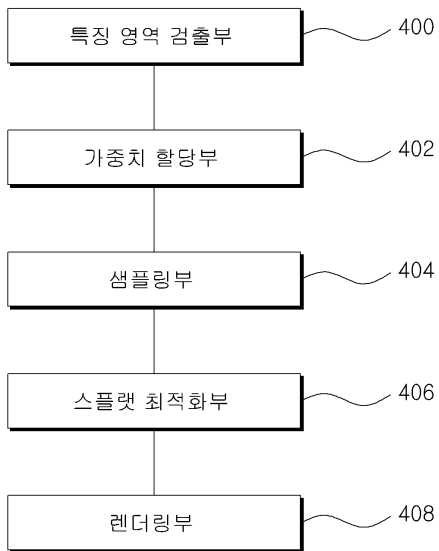
end.

$C_{ij}^s / = g_s, N_{ij}^s / = g_s$,

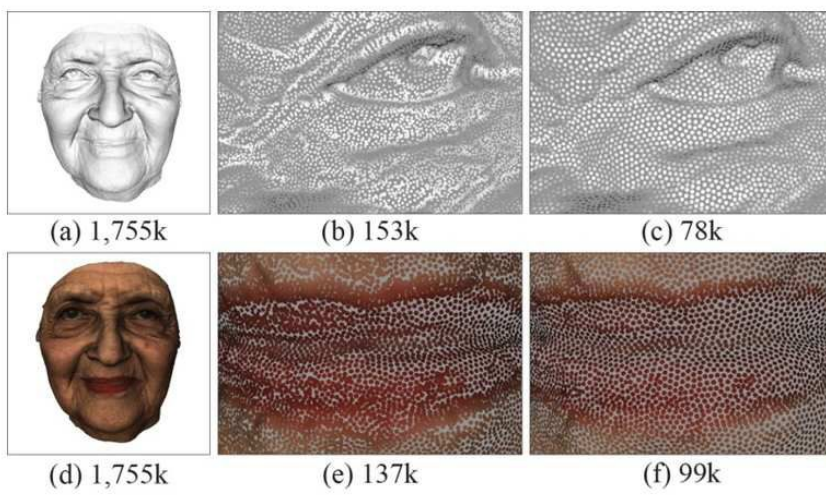
end.

end.

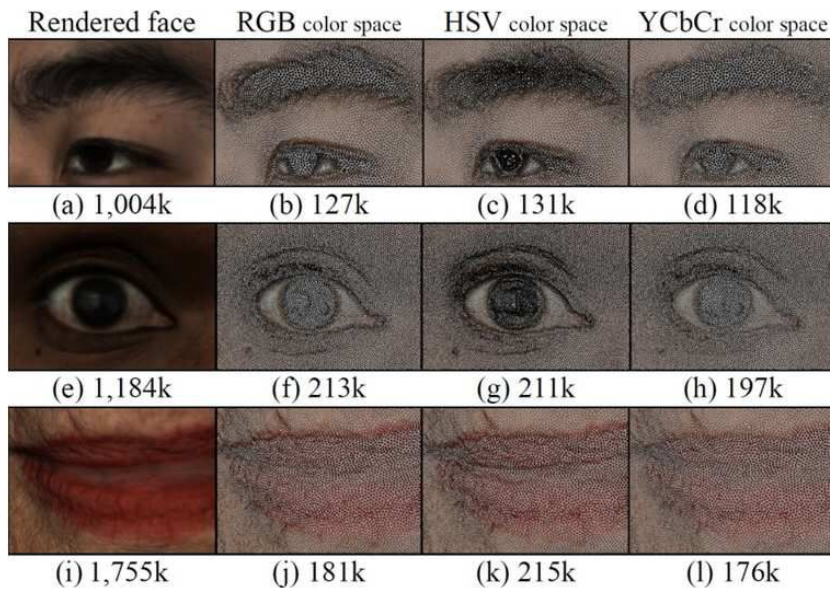
도면4



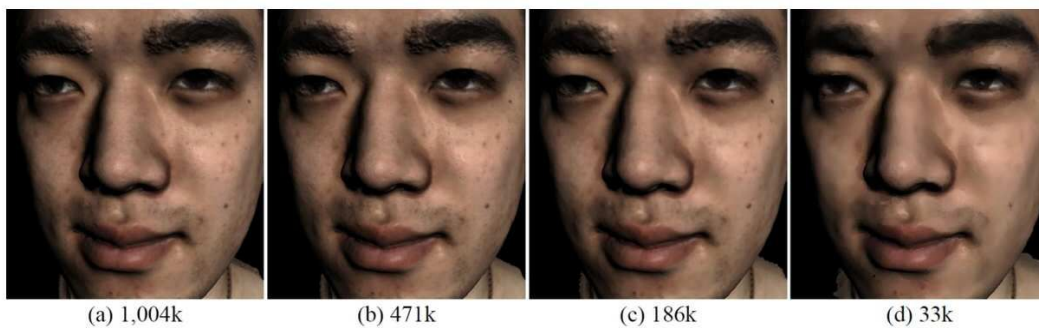
도면5



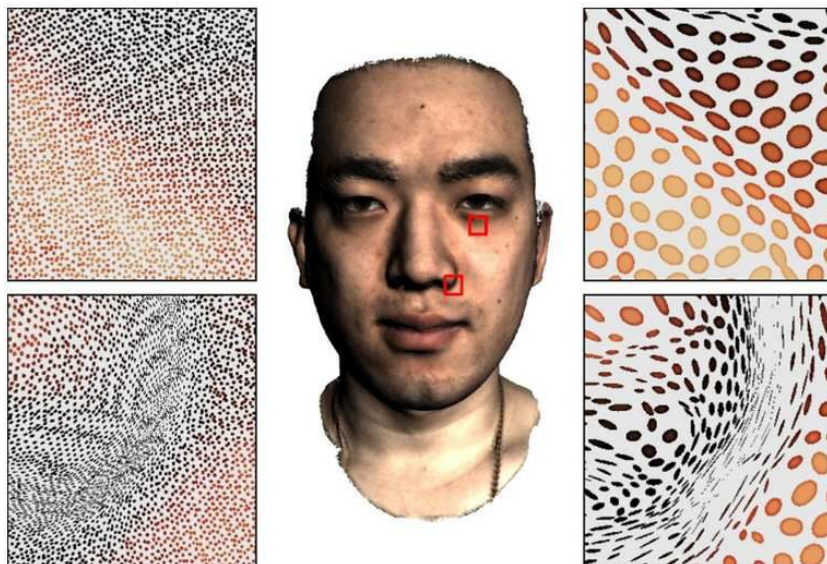
도면6



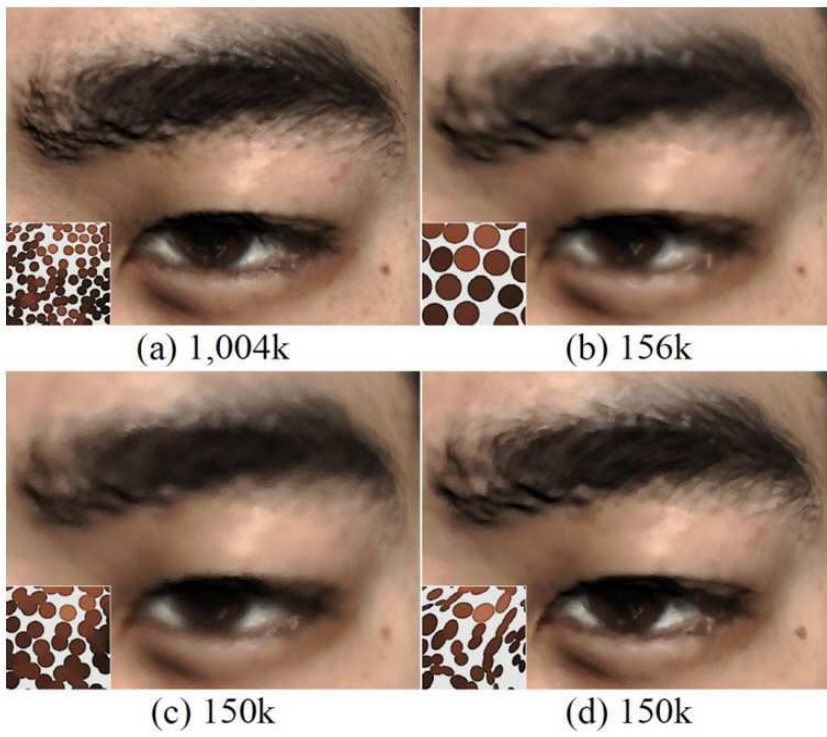
도면7



도면8



도면9



도면10

