파티클 집단 최적화를 이용한 가려짐에 강인한 마커 기반 증강현실

Occlusion-Robust Marker-Based Augmented Reality Using Particle Swarm Optimization

박한훈, Hanhoon Park*, 최준영, Junyeong Choi**, 문광석, Kwang-Seok Moon***

요약 증강현실을 구현하기 위해서는 카메라 포즈를 효율적, 효과적으로 계산할 수 있어야 하는데, 마커(marker)를 사용하는 방법(예, ARToolkit)이 널리 활용되고 있다. 그러나 마커를 사용하는 방법은 가려짐에 취약하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 파티클 집단 최적화를 사용하여 현재 프레임에서의 카메라 포즈를 반복적으로 추정하는 하향식 방법을 제안한다. 실험을 통해 제안된 방법을 사용함으로써 심하게 가려진 마커에 대해서도 효과적으로 증강현실 구현이 가능함을 확인하였다.

Abstract Effective and efficient estimation of camera poses is a core method in implementing augmented reality systems or applications. The most common one is using markers, e.g., ARToolkit. However, use of markers suffers from a notorious problem that is vulnerable to occlusion. To overcome this, this paper proposes a top-down method that iteratively estimates the current camera pose by using particle swarm optimization. Through experiments, it was confirmed that the proposed method enables to implement augmented reality on severely-occluded markers.

핵심어 : Marker-based camera tracking, occlusion handling, model-based marker tracking, particle swarm optimization, Chamfer distance, ARToolkit

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음.

* 주저자 : 부경대학교 전자공학과 부교수
** 공동저자 : 현대자동차 인간편의연구팀 연구원
*** 교신저자 : 부경대학교 전자공학과 교수; e-mail: ksmoon@pknu.ac.kr

■ 접수일 : 2015년 11월 10일 / 심사일 : 2015년 11월 21일 / 게재확정일 : 2016년 1월 11일

1. 서론

증강현실(augmented reality)은 실제 환경에 가상(virtual) 객체나 정보를 합성하여 원래 환경에 존재하는 것처럼 보이도록 하는 기술로서, 최근 스마트폰이 널리 보급되면서 본격적인 상업화 단계에 들어섰으며 의료, 방송, 건축, 제조, 게임, 모바일 솔루션, 교육 등 폭넓은 분야에서 활용되고 있으며 다양한 응용 제품들이 개발되고 있다[1].

증강현실 구현하기 위해서는 실제 환경을 촬영한 카메라의 위치 및 회전(흔히, 포즈라고 함)를 추정하는 기술이 필요한데, 컴퓨터 비전을 활용한 기술은 크게 마커 기반과 비마커(markerless) 기반으로 나누어진다. 최근 연구 동향을 살펴보면, 비마커 기반 기술에 집중되고 있지만, 마커 기반 기술 역시 여전히 게임을 포함한 다양한 분야에서 활용되고 있으며[2,3], 이를 개선하기 위한 연구 또한 필요하다. 특히, 비마커 기반의 경우, 관성 센서, GPS 등과 같은 센서를 사용하거나 장면(scene) 내의 특징점을 추적하게 되는데, 이는 센서의 정확도에 크게 영향을 받거나 텍스처가 풍부한 장면에 제한된다는 한계를 가진다. 반면, 마커 기반 방법들은 미리 고안된 형태와 색상을 가진 마커를 실제 환경에 배치해 둠으로써, 카메라 입력 영상으로부터 쉽고 빠르게 마커를 검출, 인식하여 카메라 포즈를 추정할 수 있다[4-6]. 그러나 마커는 인위적으로 배치된 객체이기 때문에 실제 장면과 시각적으로 괴리감을 가질 수 있으며, 대부분의 마커 기반 방법들은 마커가 온전히 보일 때만 마커를 검출, 인식, 추적하는 것이 가능하기 때문에 마커의 가려짐에 취약하다는 문제가 있다. 시각적 괴리감은 적외선 마커[7]를 사용하거나 후처리[8] 등을 통해 어느 정도 완화될 수 있다. 반면, 가려짐의 경우 멀티 마커를 사용[9]하거나 마커리스 방법이나 센서 기반 방법을 융합[10,11]하는 방법들이 제안되었으나, 단일 마커만을 사용하는 환경에는 적용할 수 없다. 최근, 단일 마커를 사용한 마커 기반 방법만을 사용하는 환경에서 마커의 가려짐에 대응하기 위해 Hough 변환을 이용[12,13]하거나 경계선 추적[14] 등을 통해 마커의 네 변을 찾고, 각 변들의 교점으로부터 마커를 검출하는 방법이 제안되었으나, Hough 변환은 계산 효율성이 낮고, 마커의 한 변이 모두 가려질 경우에는 대응하지 못하는 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 단일 마커를 사용하는 마커 기반 방법에 대해 가려짐에 대응할 수 있는 보다 효과적이고 효율적인 방법을 제안한다. 기존 방법들의 경우, 영상 처리 단계에서 가려짐에 대응하기 위한 상향식(bottom-up) 방안을 모색했지만, 본 논문에서는 카메라 포즈 추정 단계에서 파티클 집단화(PSO: particle swarm optimization)를 도입함으로써 하향식(top-down) 방안을 모색한다. [10,15]에서 이와 유사한 방법이 제안되었으나, 가려짐 대응이 아니라 정확도 개선을 목적으로 하거나 카메라의 위치 추정을 위해 제한적으로 사용될 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 제안하는 가려짐에 강인한 마커 기반 증강현실을 구현하기 위해 사용된 기반 기술들에 대해 설명하고, 3 장에서는 제안하는 가려짐에 강인한 마커 기반 증강현실을 구현하는 방법에 대해 설명한다. 4 장에서는 실험 결과 및 분석을 제시하고, 5 장에서는 결론 및 추후 과제를 제시한다.

2. 기반 기술

2.1 마커 기반 증강현실

마커 기반 증강현실은 그림 1에서 보는 것처럼 마커(일반적으로 사각형 모양을 가짐)를 사용함으로써, 쉽고 빠르게 카메라 포즈를 추정하여 마커 위에 가상 정보를 삽입한다.

그림 1. ARToolkit을 이용한 마커 기반 증강현실 구현. (a) 입력 영상에 가상 정보 삽입 결과, (b) 마커를 기준으로 카메라의 상대적인 포즈를 표시한 결과, (c) 입력 영상 이진화 및 사각 영역 검출 결과

마커 기반 증강현실을 구현하는 과정은 마커의 모양, 마커를 검출, 인식하는 방법에 따라 다를 수 있는데, ARToolkit은 다음과 같은 과정을 수행한다[4](그림 1 참조). 카메라 영상으로부터 마커를 검출하기 위해 영상을 이진화하고, 연결 요소 분석(connected component analysis)을 통해 다수의 사각 영역을 검출한 후, 각 사각 영역 내의 패턴을 미리 알고 있는 마커의 패턴과 비교하여 일치하는 사각 영역을 마커 영역으로 판단하고, 마커 영역의 네 변의 교점을 이용하여 네 코너를 계산한다. 마커 영역의 네 코너가 주어지면 마커를 기준으로 하는 카메라의 상대적인 포즈를 계산할 수 있으며[4-6], 계산된 카메라 포즈를 사용하여 가상 정보를 마커 위에 삽입할 수 있다.

2.2 파티클 집단 최적화

파티클 집단 최적화는 새나 물고기 등이 무리를 지어 움직이는 것과 같은 사회적 행동 양식을 모방한 최적화 기법이다[16].

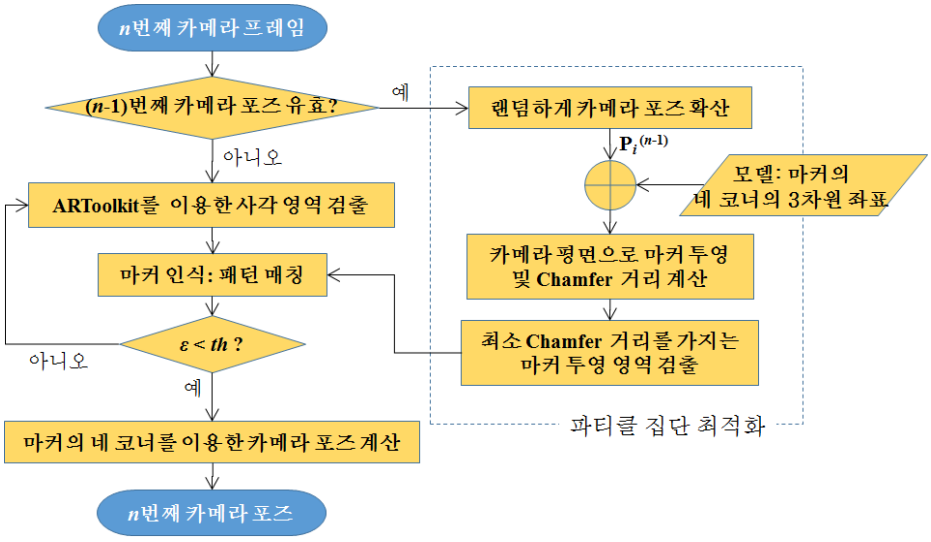

그림 2. 제안 방법의 처리 과정

파티클 집단 최적화는 파티클(particle)이라고 부르는 잠재해의 집단(swarm)을 가진다. 각 파티클은 반복적으로 최적화 탐색 공간 상에서 비용 함수 값이 작은 위치로 이동하는데, 이때 각 파티클은 이전 반복까지 찾아낸 각 파티클의 최적해($\mathbf{p}$)와 집단 최적해($\mathbf{g}$)를 사용한다. 즉, f를 최소화하기 위한 N 차원 비용 함수라고 하고 S 개의 파티클로 구성된 집단이라고 가정할 때, t 시점에서의 파티클의 위치($\mathbf{x}^t$)는 다음과 같이 계산된다.

$$\mathbf{x}_i^t = \mathbf{x}_i^{t-1} + \mathbf{v}_i^{t-1}, \tag{1}$$

where

$$\mathbf{v}_{i,d}^t = \mu\left(\mathbf{v}_{i,d}^{t-1} + \alpha(\mathbf{p}_{i,d}^{t-1} - \mathbf{x}_{i,d}^{t-1}) + \beta\alpha(\mathbf{g}_d^{t-1} - \mathbf{x}_{i,d}^{t-1})\right), \tag{2}$$

$i = 1, 2, \cdots, S,\ d = 1, 2, \cdots, N.$

여기서, $\mathbf{v}$는 파티클의 속도, μ는 미리 결정된 상수, α, β는 균일확률분포를 가지고 랜덤하게 결정된다. 그리고, $f(\mathbf{x}_i^t) < f(\mathbf{x}_i^{t-1})$ 이면, $\mathbf{p}_i^t = \mathbf{x}_i^t$가 되고, $f(\mathbf{p}_i^t) < f(\mathbf{g}^{t-1})$ 이면, $\mathbf{g}^t = \mathbf{p}_i^t$가 된다. 결과적으로, 반복 종료 조건(최대 반복 횟수나 일정 이하의 비용 함수 값)을 만족할 때의 $\mathbf{g}$가 최적해가 된다.

2.3 모델 기반 카메라 추적

모델 기반 카메라 추적은 객체(혹은 장면)의 3차원 모델 정보($\mathbf{M}$)와 이전 프레임에서의 카메라 포즈($\mathbf{P}^{t-1}$)가 주어졌을 때, 이전 프레임에서의 카메라 포즈를 사용하여 객체의 3차원 모델을 투영하여 계산된 객체의 위치($\mathbf{m}^{t-1}$)와 현재 프레임에서 검출된 객체의 위치($\mathbf{o}^t$) 사이의 오차를 정의하는 비용 함수(h)로 두고, 이를 최소화하는 과정을 통해 현재 프레임에서의 카메라 포즈를 추정하는 방법이다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\mathbf{P}^t = \mathbf{P}^{t-1}\Delta\mathbf{P} \quad \text{where} \quad \Delta\mathbf{P} = \min h(\mathbf{m}^{t-1}, \mathbf{o}^t). \tag{3}$$

사용되는 모델 정보, 현재 프레임에서 객체를 검출하는 방법, 비용 함수의 종류, 비용 함수를 최소화하는 방법 등에 의해 다양한 방법들이 제안되어 왔다[17]. 모델 기반 카메라 추적은 마커를 사용하지 않기 때문에 마커 사용으로 인한 불편함을 해소할 수 있고 객체의 일부분만 검출되더라도 추적이 가능하며, 정확한 모델 정보를 사용하기 때문에 마커를 사용하지 않는 다른 방법들에 비해 정확하고 안정적으로 카메라 추적이 가능하다[17].

2.4 Chamfer 거리

Chamfer 거리는 모양 기반 객체 검출을 위한 효율적인 방법으로[18], 거리 변환(distance transform)을 사용한다. 카메라 입력 영상에 찾고자 하는 객체가 포함되어 있다고 가정하자. 카메라 입력 영상으로부터 에지를 검출한 후, 에지 영상에 거리 변환을 적용하면, 변환 영상은 각 픽셀로부터 가장 가까운 에지 점까지의 거리를 밝기로 가진다. 찾고자하는 객체의 모양(외각선) 부분만 '1'로 하고 나머지 픽셀은 '0'의 값을 가지는 템플릿(template) 영상을 거리 변환 영상 상에서 움직이면서 템플릿 영상에서 '1'을 가지는 픽셀과 중첩되는 변환 영상의 픽셀 값을 더한다. 픽셀 값의 합이 최소가 되는 지점이 객체의 위치가 된다.

객체의 회전이나 크기 변환에 불변성을 가지지 못하지만, 거리 변환만 주어지면 단순한 합 연산만 수행하기 때문에 고속으로 객체 검출이 가능하다.

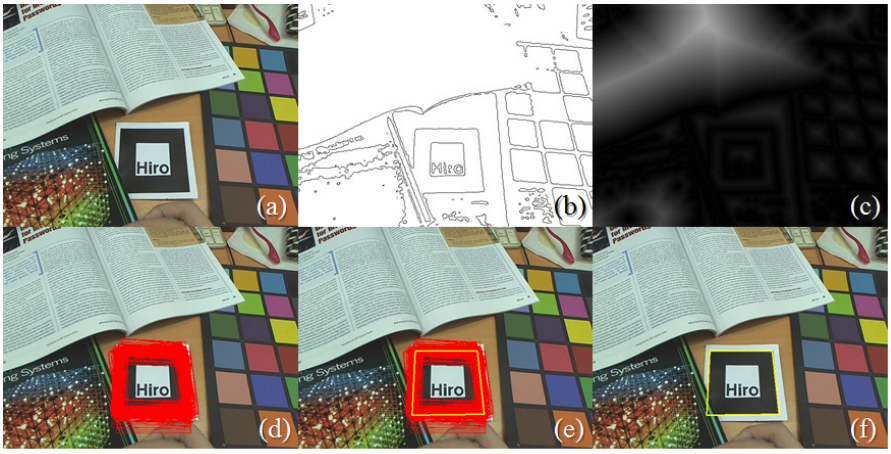

그림 3. 파티클 집단 최적화를 이용한 마커 영역 검출
(a) 입력 영상, (b) 에지 영상, (c) 거리 변환 영상, (d) 각 파티클에 의해 마커의 모델 정보를 투영한 영상, (e) 최소 Chamfer 거리를 가지는 파티클(노란 사각형)을 찾은 영상, (f) 최종 검출된 마커 영역을 표시한 영상

3. 가려짐에 강인한 마커 기반 증강현실

본 논문에서 제안하는 방법의 처리 과정은 그림 2와 같다. 마커가 온전히 나타나는 카메라 입력 영상이 주어지면, ARToolkit을 사용하여 마커 영역 검출 및 카메라 포즈 추정을 수행한다. ARToolkit을 사용한 마커 검출 및 카메라 포즈 추정이 한번 완료되면, 이후 입력 영상에 대해서는 모델 기반 카메라 추적 기법과 파티클 집단 최적화 기법을 결합하여 카메라 포즈를 추정한다. 즉, 그림 3에서 보는 것처럼 이전 프레임에서 추정된 카메라 포즈로부터 랜덤성을 가지고 확산된 여러 카메라 포즈(파티클)를 사용하여 마커의 3차원 모델(네 코너의 3차원 좌표)을 카메라 평면으로 투영하고, 각 파티클에 대해 현재 프레임에서의 Chamfer 거리를 측정한 후, 각 파티클의 최적해 및 최소 Chamfer 거리를 가지는 파티클로부터 집단 최적해를 찾는다. 이러한 과정을 주어진 중지 조건(최대 반복 수와 문턱값 이하의 Chamfer 거리)만큼 반복 수행한 후 얻어진 집단 최적해를 현재 프레임에서의 마커 영역 및 카메라 포즈로 결정한다. 이러한 과정은 매 프레임 반복되며, 다만 검출된 마커 영역 내의 패턴을 분석하여 미리 주어진 마커의 패턴과 일치하지 않을 경우, 더 이상 카메라 포즈 추정이 어렵다고 판단하고 ARToolkit을 사용한 마커 영역 검출 및 카메라 포즈 추정 과정을 다시 수행한다.

결국, 파티클 집단 최적화 기법을 도입함으로써 마커의 일부가 가려지더라도 마커의 모델 정보와 이전 프레임에서 계산된 카메라 포즈를 기반으로 현재 프레임에서의 마커 영역을 포함하는 탐색 공간을 얻을 수 있으며(그림 3-(d) 참조), 탐색 공간 내에서 Chamfer 거리를 사용해 효율적으로 마커 영역(탐색 공간 상에서 최적해의 위치는 마커의 가려짐에 크게 영향을 받지 않음)을 검출할 수 있다.

4. 실험 결과 및 분석

제안된 방법의 성능을 검증하기 위해 ARToolkit만을 사용하는 방법과 경계선 추적을 이용한 방법[14]에 의한 결과와 비교, 분석한다. 앞서 설명한 것처럼, 증강현실은 마커의 네 코너가 주어지면 ARToolkit을 이용하여 구현될 수 있으므로, 본 장에서는 각 방법에 의한 마커 검출 성능을 분석하는데 초점을 둔다.

경계선 추적을 이용한 방법을 대략적으로 설명하면 다음과 같다. 이전 프레임에서 검출된 마커 영역의 네 변을 각각 일정한 간격으로 샘플링(본 논문에서는 30개의 점으로 샘플링 됨)한 후, 각 변의 수직 방향으로 대응 에지를 검출하고, 각 변의 대응 에지점들을 라인 피팅(line fitting)하여 현재 프레임에서의 마커의 네 변을 포함하는 직선을 찾고, 직선의 교점을 통해 현재 프레임에서의 마커 영역을 결정한다[14]. 제안된 방법에서 사용된 파티클의 수는 25, 반복 중지 조건인 최대 반복 수와 Chamfer 거리 문턱값은 각각 100, 0.1로 설정되었다.

모든 알고리즘은 병렬처리 없이 C++로 구현되었으며, i7-3770 3.4GHz CPU, 8GB RAM을 탑재한 PC에서 수행되었다. 입력 영상의 크기는 640 × 480이었다.

4.1 가려짐 대응

세 방법에 의한 결과는 그림 4, 5, 6, 7과 같다. 마커가 가려지지 않은 상황에서는 세 방법의 결과는 큰 차이가 없지만(그림 4 참조), 마커가 가려질 경우 세 방법의 결과는 큰 차이를 보였다.

마커가 약하게 가려진 경우: 그림 5-(b)에서 마커가 가려지면 ARToolkit은 마커 영역 검출에 실패했으나, 경계선 추적을 이용한 방법은 이전 프레임에서의 마커 영역을 기준으로 마커가 가려지지 않은 부분에서 각 샘플점들은 정확하게 현재 프레임에서의 마커 영역과 일치하는 대응점을 찾음으로써(그림

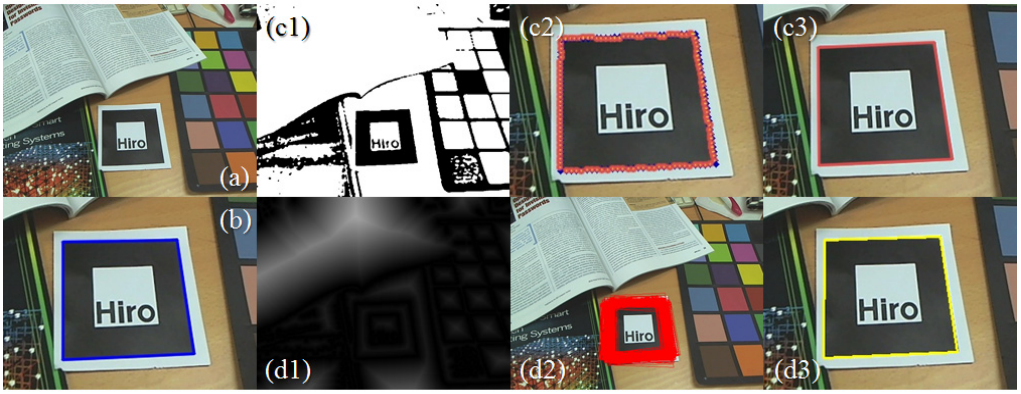

그림 4. 마커 추적 결과(가려짐이 없는 경우)
(a) 입력 영상, (b) ARToolkit 결과, (c) 경계선 추적 방법 결과, (d) 제안된 방법 결과. (c2)에서 파란 점들이 이전 프레임에서의 샘플점이고, 빨간 점들이 경계선 추적을 통해 찾아진 현재 프레임에서의 대응점을 나타낸다. (b), (c2), (c3), (d3)는 확대한 영상이다. (b), (c3), (d3)에서 사각형이 각 방법에 의해 최종 검출된 마커 영역을 나타낸다.

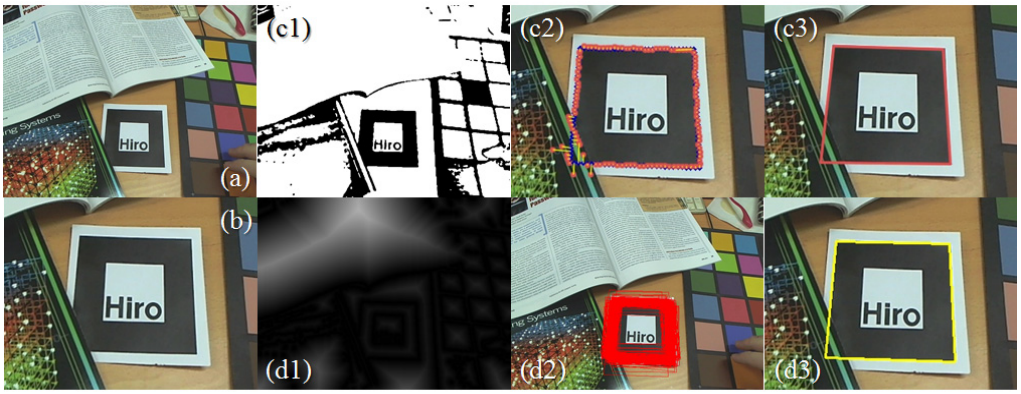

그림 5. 마커 추적 결과(가려짐이 약한 경우)
(a) 입력 영상, (b) ARToolkit 결과, (c) 경계선 추적 방법 결과, (d) 제안된 방법 결과. (c2)에서 파란 점들이 이전 프레임에서의 샘플점이고, 빨간 점들이 경계선 추적을 통해 찾아진 현재 프레임에서의 대응점을 나타낸다. (b), (c2), (c3), (d3)는 확대한 영상이다. (b), (c3), (d3)에서 사각형이 각 방법에 의해 최종 검출된 마커 영역을 나타낸다.

5-(c2) 참조), 가려진 부분에서 잘못되거나 찾지 못하는 대응점이 있더라도 라인 피팅을 통해 현재 프레임에서의 마커 영역을 성공적으로 검출할 수 있었다(그림 5-(c3) 참조). 또한, 제안된 방법 역시 마커가 가려지더라도 파티클 집단 최적화 기법을 통해 현재 프레임에서의 카메라 포즈를 예측하고(그림 5-(d2) 참조) Chamfer 거리를 이용해서 최적해를 찾음으로써, 성공적으로 마커 영역을 검출할 수 있었다(그림 5-(d3) 참조).

마커가 심하게 가려진 경우: 그림 6-(b)에서 보는 것처럼 ARToolkit은 역시 마커 영역 검출에 실패했다. 경계선 추적을 이용한 방법은 마커 영역 검출에는 성공했으나, 앞서 약하게 가려진 경우와 달리 대응점을 찾는 데 실패하거나 잘못된 대응점을 찾은 샘플점의 수가 많아져서, 라인 피팅 후의 마커 영역은 실제 위치와는 일치하지 않았다(그림 6-(c3) 참조). 반면, 제안된 방법은 가려진 영역이 많아지더라도 전체적인 Chamfer 거리는 크게 영향을 받지 않기 때문에 파티클 집단 최적화를 통해 현재 프레임에서의 마커 영역을 정확하게 검출할 수 있었다.

마커의 두 코너가 함께 가려진 경우: 그림 7-(b)에서 보는 것처럼 ARToolkit은 마커 영역 검출을 검출할 수 없었다. 경계선 추적을 이용한 방법은 마커의 두 코너가 함께 가려지면 가려짐 정도에 상관없이 마커 검출에 실패했다. 이는 경계선 추적을 이용한 방법의 근원적인 문제로서, 각 샘플점들의 대응점을 찾은 후 라인 피팅을 통해 각 변의 직선의 방정식을 찾고, 네 직선의 교점을 통해 마커 영역을 최종적으로 결정하기 때문에, 두 코너가 함께 가려질 경우 한 변의 모든 샘플점들이 대응점을 찾는 데 실패함으로써(그림 7-(c2) 참조) 한 변에 대한 직선의 방정식을 찾을 수 없고, 결국 가려진 두 코너의 위치를 계산할 수 없기 때문이다. 그림 7-(c3)에서 보는 것처럼, 일부 샘플들이 잘못된 대응점이라도 발견했을 경우 가려진 두 코너의 위치가 큰 오차를 가지고 검출되었다. 반면, 제안된 방법에 대해서는 앞선 가려짐의 경우와 다르지 않은 상황이기 때문에, 정확하게 마커 영역을 검출할 수 있었다.

결과적으로, ARToolkit은 가려짐에 전혀 대응할 수 없었으며, 경계선 추적을 이용한 방법은 라인 피팅에 기반한다는 근원

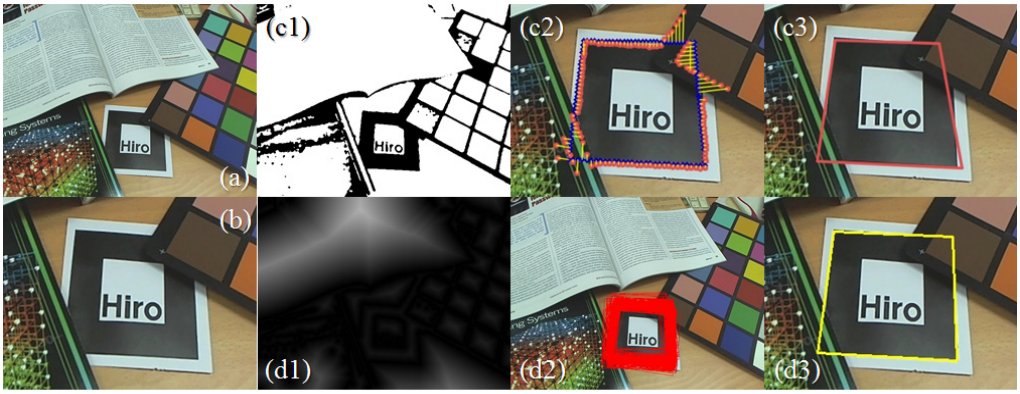

그림 6. 마커 추적 결과(가려짐이 강한 경우)
(a) 입력 영상, (b) ARToolkit 결과, (c) 경계선 추적 방법 결과, (d) 제안된 방법 결과. (c2)에서 파란 점들이 이전 프레임에서의 샘플점이고, 빨간 점들이 경계선 추적을 통해 찾아진 현재 프레임에서의 대응점을 나타낸다. (b), (c2), (c3), (d3)는 확대한 영상이다. (b), (c3), (d3)에서 사각형이 각 방법에 의해 최종 검출된 마커 영역을 나타낸다.

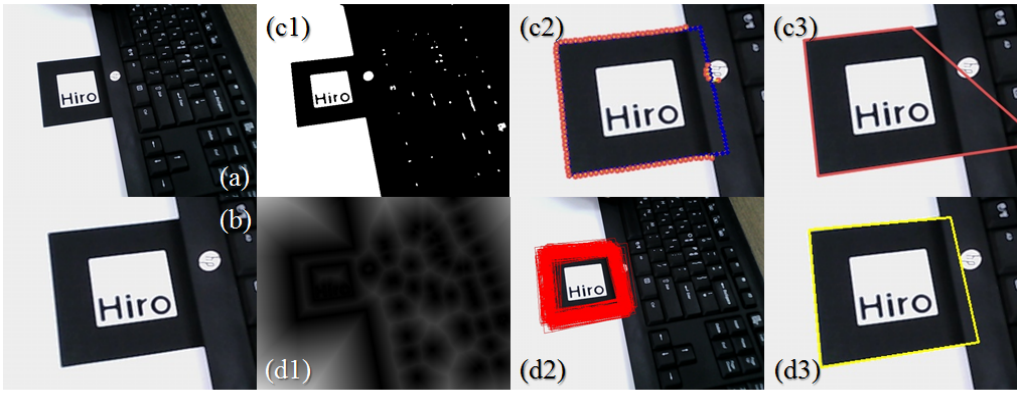

그림 7. 마커 추적 결과(마커의 두 코너가 함께 가려진 경우)
(a) 입력 영상, (b) ARToolkit 결과, (c) 경계선 추적 방법 결과, (d) 제안된 방법 결과. (c2)에서 파란 점들이 이전 프레임에서의 샘플점이고, 빨간 점들이 경계선 추적을 통해 찾아진 현재 프레임에서의 대응점을 나타낸다. (b), (c2), (c3), (d3)는 확대한 영상이다. (b), (c3), (d3)에서 사각형이 각 방법에 의해 최종 검출된 마커 영역을 나타낸다.

적인 이유로, 각 변이 고르게 약하게 가려진 경우에는 효과적으로 대응할 수 있으나, 한 변이 심하게 가려지거나 완전히 가려진 경우에는 전혀 대응할 수 없었다. 제안된 방법의 경우는 가려짐의 정도에 상관없이 일관적으로 정확하게 마커 영역을 검출할 수 있었으며, 가려짐에 대한 대응 성능이 가장 좋았다.

4.2 처리 시간

세 방법의 처리 시간 역시 차이를 보이는데(표 1 참조), ARToolkit만을 사용한 방법, 경계선 추적을 이용한 방법, 제안 방법 순으로 처리 시간이 짧았다. 결국, 가려짐에 대응하기 위한 두 방법은 가려짐에 대한 강인성이 큰 만큼 처리 시간은 증가했다. 그러나 세 방법 모두 일반적인 카메라 프레임율(30 fps) 이내에서 처리가 가능하기 때문에(제안 방법의 경우, 매 프레임 파티클 수와 일정한 반복 수만큼 동일한 연산을 반복 수행함에도 불구하고 Chamfer 거리를 사용함으로써 처리 시간이 크게 감소), 처리 시간 증가의 의미는 크지 않은 것으로 판단된다.

표 1. 프레임 당 처리 시간 [ms]

방법	시간
ARToolkit	3.3
ARToolkit + 경계선 추적 [14]	8.2
제안 방법(ARToolkit + 파티클 집단 최적화)	19.8

5. 결론 및 추후 과제

본 논문에서는 단일 마커 기반 증강현실에서 마커의 가려짐에 대응하기 위한 파티클 집단 최적화에 기반한 하향식 방법을 제안했다. 가려짐 크기나 양상이 다른 입력 영상들을 사용한 비교 실험을 통해, 기존의 ARToolkit과 상향식 방법 중의 하나인 경계선 추적을 이용한 방법에 비해 보다 효과적으로 마커의 가려짐에 대응할 수 있음을 확인했다.

다만 본 논문에서 제시된 실험 결과만을 통해 제안된 방법의 유용성을 판단하기는 쉽지 않을 수도 있다. 향후, 보다 다양한

실험 환경에서 제안된 방법의 성능을 분석하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] 증강현실 in Wikipedia. https://ko.wikipedia.org/wiki/증강현실 [Online; accessed 08-Jan-2016]

[2] AR Play. https://www.playstation.com/en-us/explore/playstationnetwork/ps-vita-app-ar/?cid=entertainment-ar-play-badge-01-us-24oct14 [Online; accessed 08-Jan-2016]

[3] AR games in Android. https://play.google.com/store/search?q=AR&c=apps&hl=ko [Online; accessed 08-Jan-2016]

[4] Kato, H., Billinghurst, M., Poupyrev, I., Imamoto, K. and Tachibana, K. Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment. Proc. of ISAR. pp. 111-119. 2000.

[5] Fiala, M. ARTag, A Fiducial Marker System Using Digital Techniques. Proc. of CVPR. pp. 590-596. 2005.

[6] ALVAR. http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar/ [Online; accessed 27-July-2015]

[7] Park, H. and Park, J.-I. Invisible Marker Tracking for AR. Proc. of ISMAR. pp. 272-273. 2004.

[8] Siltanen, S. Texture Generation over the Marker Area. Proc. of ISMAR. pp. 253-254. 2006.

[9] 김학희. 증강현실 구현을 위한 multi-marker에 관한 기법. 한국컴퓨터정보학회 논문지. 15(11): 109-116. 2010.

[10] 최윤석, 강성일, 홍현기. 모바일 게임을 위한 카메라 및 가속도 센서 기반 증강현실. 한국컴퓨터게임학회 논문지. 제23호. pp. 125-130. 2010.

[11] Marimon, D., Maret, Y., Abdeljaoued, Y. and Ebrahimi, T. Particle Filter-Based Camera Tracker Fusing Marker and Feature Point Cues. Proc. of VCIP. 2007.

[12] 이경호, 김영섭. 증강현실 시스템의 조명환경과 가림현상 문제를 개선한 마커 검출 알고리즘 개발. 반도체디스플레이기술학회지. 11(1): 79-83. 2012.

[13] 박규호, 이행석, 한규필. 증강현실 환경에서 복합특징 기반의 강인한 마커 검출 알고리즘. 정보처리학회 논문지. 17-A(4): 189-196. 2010.

[14] Choi, J., Kim, J., Park, H. and Park, J.-I. Real-Time Marker Pose Tracking Robust to Occlusion. Proc. of ITC-CSCC. pp. 70-71. 2015.

[15] Uematsu, Y. and Saito, H. Improvement of Accuracy for 2D Marker-Based Tracking Using Particle Filter. Proc. of ICAT. pp. 183-189. 2007.

[16] Kennedy, J. and Eberhart, R. Particle Swarm Optimization. Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks. pp. 1942-1948. 1995.

[17] 박한훈, 서병국, 박종일. 모델 기반 카메라 추적 기술 동향. 전자공학회지. 39(2): 66-75. 2012.

[18] Gavrila, D. M. A Bayesian, Exemplar-Based Approach to Hierarchical Shape Matching. PAMI. 29(8): 1408-1421. 2007.

박 한 훈

1996년 3월 ~ 2000년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과 졸업(공학사). 2000년 3월 ~ 2002년 2월 한양대학교 대학원 전자통신전파공학과 졸업(공학석사). 2002년 3월 ~ 2007년 8월 한양대학교 대학원 전자통신전파공학과 졸업(공학박사). 2007년 9월 ~ 2008년 10월 한양대학교 박사후연구원. 2008년 11월 ~ 2011년 10월 NHK 방송기술연구소 박사후연구원. 2011년 11월 ~ 2012년 2월 한양대학교 전기정보통신기술연구소 연구교수. 2012년 3월 ~ 현재 부경대학교 전자공학과 부교수. 관심분야는 증강현실, HCI, 3차원 영상처리/비전임.

최 준 영

2003년 3월 ~ 2007년 2월 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업(공학사). 2007년 3월 ~ 2009년 2월 한양대학교 대학원 전자컴퓨터통신공학과 졸업(공학석사). 2009년 3월 ~ 2015년 2월 한양대학교 대학원 전자컴퓨터통신공학과 졸업(공학박사). 2015년 3월 ~ 2015년 9월 한양대학교 박사후연구원. 2015년 10월 ~ 현재 현대자동차 인간편의연구팀 연구원. 관심분야는 증강현실, HCI, 컴퓨터그래픽스/비전임.

문 광 석

1979년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1981년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1989년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1988년 1월 ~ 1988년 12월 동경대학교 학부연구원. 1997년 8월 ~ 1998년 7월 Jackson State University 객원교수. 1990년 3월 ~ 현재 부경대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 영상신호처리, 적응신호처리임.