

# 증강 책을 위한 적응형 키프레임 기반 트래킹 (Adaptive Keyframe-Based Tracking for Augmented Books)

유재상<sup>†</sup>      조규성<sup>\*\*</sup>  
(Jaesang Yoo)      (Kyusung Cho)

양현승<sup>\*\*\*</sup>  
(Hyun S. Yang)

**요약** 증강 책(Augmented book)이란, 컴퓨터 그래픽 기술로 생성된 3D 물체, 동영상, 소리영상과 같은 멀티미디어 요소들을 증강현실 기술을 이용하여 실제 책에 증강시킨 책을 말한다. 증강 책은 책을 읽는 독자들에게 흥미를 유발시키고, 책에 좀 더 몰입할 수 있도록 하여, 교육 및 엔터테인먼트 효과를 증대시키는 것이 목적이다. 증강 책을 위한 기술은 크게 페이지 인식 그리고 페이지 트래킹으로 나눌 수 있는데, 본 논문에서는 페이지가 인식된 후, 정교한 페이지 트래킹을 위한 카메라의 6 자유도 자세를 추정하기 위해 적응형 키프레임 기반 페이지 트래킹 기술을 제안한다. 페이지가 인식된 이후에는 트래킹을 위해 가장 알맞은 키프레임을 선정된 후 coarse-to-fine의 두 단계에 걸쳐 트래킹을 수행하였다. 결과적으로 본 논문에서 제안된 트래킹 방법은 시점 변화와 조명 변화에 좀 더 강인하고 실시간성을 보장한다.

**키워드**: 증강 책, 마커리스 트래킹, 적응형 키프레임

**Abstract** An augmented book is an application that augments such multimedia elements as virtual 3D objects generated by computer graphics, movie clips, or sound

clips to a real book using AR technologies. It is intended to bring additional education and entertainment effects to users. For augmented books, this paper proposes an adaptive keyframe-based page tracking method to estimate the camera's 6 DOF pose in real-time after recognizing a page and performing wide-baseline keypoint matching. For a page tracking, proposed method in this paper chooses a proper keyframe and performs a tracking in two step of coarse-to-fine stage. As a result, the proposed method in this paper guarantees a robust tracking to view-point and illumination variations and real-time.

**Key words**: Augmented Book, Marker-less Tracking, Adaptive Keyframe

## 1. 서론

최근에 기존의 물리적인 책 페이지에 디지털 정보들을 첨부하기 위한 여러 가지 접근법들이 나왔다. 예를 들면, 그림 1과 같이 증강현실 기술을 접목하여 책 페이지에 가상의 물체나 정보를 증강시키는 것을 들 수 있는데, 앞으로 이러한 어플리케이션들을 증강 책(augmented book)이라 부른다. 증강 책은 기존의 책에서는 나타낼 수 없는 정보들을 컴퓨터 3D 그래픽 기술로 생성된 가상의 정보나 물체를 실제 책에 증강시킴으로써, 사용자의 호기심을 유발시키고, 이해를 증대시켜 교육 [1,2], 엔터테인먼트[3], 아트[4] 그리고 광고 등에 이용되고 있다.

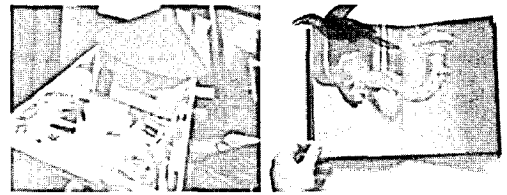


그림 1 증강 책의 예제

다른 증강현실 어플리케이션들과 마찬가지로, 증강 책에서 가장 중요한 기술은 가상과 실제의 정합이라고 할 수 있다. 증강 책에서는 현재의 페이지를 인식할 뿐만 아니라 현재 카메라의 6 자유도의 자세를 추정할 수 있는 비주얼 트래킹 기술이 요구된다. 그리고 이러한 것들이 실시간(최소 25fps)으로 수행되어야 하기 때문에, 비주얼 트래킹 기술에 어려움이 따른다.

그 동안의 많은 증강 책 어플리케이션들은 기점 마크(fiducial mark)를 이용한 트래킹 방법을 많이 사용하였다[1,3]. 하지만, 인위적인 마크를 사용함으로써 사용자에게 시각적인 불편함을 주고, 마크의 크기 및 가림현상(occlusion)에 취약한 단점이 있다.

· 이 논문은 제36회 추계학술발표회에서 'Augmented Books을 위한 적응형 키프레임 기반 트래킹의 제복으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 학생회원 : KAIST 전산학과  
jsyoo@paradise.kaist.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 비 회원 : KAIST 전산학과  
qtboy@paradise.kaist.ac.kr

<sup>\*\*\*</sup> 정 회원 : KAIST 전산학과 교수  
hsyang@paradise.kaist.ac.kr

논문접수 : 2009년 12월 22일

심사완료 : 2010년 1월 28일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제4호(2010.4)

따라서 최근에는 마커리스 트래킹 방법을 많이 사용하는데, 마커리스 트래킹 방법은 기점 마크와 같은 인위적인 마커를 사용하지 않고 실제 페이지에서 추출된 자연스러운 특징점들을 사용하여 페이지의 자세를 계산할 수 있다[2,4].

본 논문에서는 wide-baseline 매칭을 통해 페이지를 인식한 후 마커리스 비주얼 트래킹을 하여 카메라의 6 자유도 자세를 추정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존 관련연구들을 설명하고, 3장에서는 증강 책을 위한 비주얼 트래킹 시스템의 전체적인 설명을 한다. 4장에서 이 논문에서 제시하는 증강 책을 위한 적응형 키폰트 기반 트래킹을 설명하고, 5장에서는 페이지 트래킹 결과와 키폰트 기반이 제대로 업데이트 되었는지 평가하고, 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

트래킹을 하는 방법에는 사전 정보(맵, 모델, 환경 등)를 알고 있는냐의 유무에 따라 크게 다음과 같이 두 가지 그룹으로 나눌 수 있다. 첫 번째는, 트래킹을 할 모델이 미리 주어진 모델 기반(Model-based) 트래킹이고, 두 번째는 슬램 기반(SLAM-based) 트래킹이다. 모델 기반 방법[5,6]에서는 트래킹 스테이지와 트레이닝 스테이지가 확연히 구분이 된다. 트레이닝 스테이지에서는 트래킹 스테이지에서 트래킹을 할 대상(물건, 건물)을 미리 정의하고, 학습시켜 모델을 미리 생성한다.

그러나, 슬램 기반 방법들[7,8]에서는, 트레이닝 스테이지가 따로 존재하는 것이 아니라 트래킹을 하는 동시에 지도의 모델을 생성하므로, 미리 정의되지 않은 환경에서도 트래킹을 수행할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 두 가지 일을 동시에 수행을 하기 때문에 계산량이 많아진다.

본 논문에서 다루는 증강 책에서는 책 페이지를 인식하고 그 페이지에 알맞은 콘텐츠를 증강시켜야 하기 때문에, 이러한 콘텐츠를 미리 제작하기 위한 트레이닝 스테이지가 필수적이므로 모델 기반 방법이 더 적합하다고 할 수 있다. 하지만 증강 책의 특성상 오프라인으로 제작된 트레이닝 스테이지와 온라인으로 수행되는 트래킹 스테이지는 서로 독립적인 환경에서 수행되기 때문에, 오프라인에서 제작된 트레이닝 스테이지의 정보들을 이용하여 다른 환경에서 트래킹을 하면 트래킹의 정확도가 떨어질 수 있다. 예를 들어, 증강 책을 제공하는 사업자가 오프라인으로 미리 각 페이지에 대한 모델을 생성해 놓았다더라도, 실제 사용하는 사용자가 다른 환경(ex. 다른 카메라)에서 트래킹을 수행하게 되면, 트래킹의 성능이 저하될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 슬램 기반 방법의 아이디어를 빌려, 트레이닝 스테이지의 오프라인 정보 뿐 아니라 트래킹 스테이지의 온라인 정보를 모두 사용하여 페이지를 추적한다. 즉, 트래킹을 할 때 초기 카메라의 자세는 트레이닝 스테이지에서 미리 만들어진 키폰트와 모델을 사용하지만, 그 후에는 키폰트를 새로이 업데이트 하여 현재의 환경에 알맞은 모델을 구성한다. 자세한 사항은 4장에서 설명한다.

## 3. 시스템 도식도

트래킹을 하기 위한 특징점을 추출하기 위해 고속 검출기(FAST detector)[9]을 이용하였다. 고속 검출기는 이미지에서 임의의 픽셀 p에서 거리가 3인 원 위에 있는 16개의 픽셀 값을 그 둘이 주위 보다 밝은지 어두운지로 p를 특징점으로 쓸 것인지를 판단하므로 연산 속도가 빠르고 효율적이다.

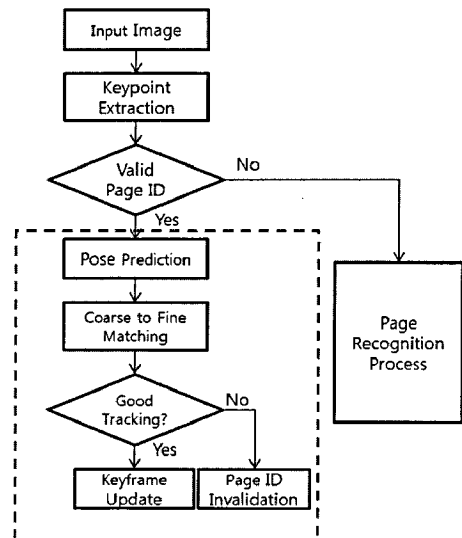


그림 2 마커리스 비주얼 트래킹 시스템 도식도

그림 2와 같이 마커리스 비주얼 트래킹 시스템은 크게 페이지 트래킹과 페이지 인식 프로세스로 나눌 수 있다. 페이지 인식은 현재 페이지의 ID를 알 수 없을 때, 그 페이지의 ID를 알아내기 위해 수행되고, 자세한 사항은 [10]에 설명되어 있다. 일단 페이지가 인식되면, 페이지 트래킹이 실패할 때까지 페이지 트래킹 프로세스가 실행된다. 본 논문에서는 그림 2에서 점선 박스로 표시된 페이지 트래킹 프로세스에 대해 다룬다.

## 4. 페이지 트래킹 프로세스

일단 페이지가 인식되면, 페이지 트래킹 프로세스가

시작된다. 두 단계(coarse and fine)에 거쳐 맵 포인트를 이미지로 프로젝션하고 매칭 한 후, 그 매칭 결과를 정제하면서 카메라의 자세를 추정한다. 이 부분은 4장 1절에서 좀 더 자세히 알아볼 것이다.

새로운 페이지가 인식되면, 그 페이지를 트레이닝 하는데 사용된 이미지가 카메라 자세 추정을 위한 초기 키프레임으로 사용된다. 하지만, 이 트레이닝 이미지는 다른 환경에서 다른 카메라에 의해 찍힌 이미지기 때문에, 트레이닝 이미지를 카메라 자세 추정을 위한 키프레임으로 사용하는 것은 트래킹 안정성적인 측면에서 위험한 일이 될 수 있다. 따라서, 기존의 키프레임보다 현재의 페이지를 더 잘 표현할 수 있는 현재 프레임을 키프레임으로 업데이트할 필요가 있다. 이 키프레임 업데이트는 4장 2절에서 보여지는 점수 계산법에 의해 결정된다. 그리고 이렇게 새로운 키프레임이 업데이트된 이후에는, 그 키프레임으로부터 새로운 맵 포인트를 추출하여 월드맵에 추가하여 트래킹 성능을 높일 수 있도록 한다.

#### 4.1 페이지 트래킹

이 절에서는 페이지가 인식된 후 3D 월드맵이 이미 구성되어 있다는 가정하에서 키프레임 기반 트래킹 프로세스에 대해 설명한다. 맵 프레임마다 다음과 같은 과정을 수행한다.

- 1) 정의된 모션 모델로부터 사전 자세(prior pose)를 예측한다.
- 2) 월드맵의 맵 포인트들을 1)에서 예측된 카메라 자세로 이미지상에 프로젝션한다.
- 3) 60개의 맵 포인트들로 코스 서치(coarse search)를 한 후 매칭된 결과로 카메라 자세를 재조정한다.
- 4) 최대 500개의 맵 포인트들로 좀더 정교한 서치(fine search) 후 매칭된 결과로 최종 카메라 자세를 계산한다.

##### 4.1.1 카메라 모션

카메라 모션  $M$ 은 [11]에 언급된 익스포넨셜 맵(exponential map)을 이용하여 6개의 매개 변수 벡터  $\mu$ 로 나타낼 수 있다. 6개 매개 변수 중 처음의 3개는 카메라의 이동을 의미하고, 뒤의 3개 변수는 카메라의 회전을 의미한다. 따라서 카메라의 자세  $P$ 를 알고, 카메라의 모션  $M$ 을 안다면, 카메라의 다음 새로운 자세  $\hat{P}$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{P} = MP = \exp(\mu)P \quad (1)$$

여기서  $P = [Rt]$ 이고  $R$ 은 카메라 회전을 나타내는  $3 \times 3$  행렬이고,  $t$ 는 카메라의 평행이동을 나타내는 벡터이다.

이 논문에서는 새로운 변화가 측정된 것이 없을 때 서서히 속도가 감소하다 결국 멈추는 감쇠 속도 모션 모델(decaying velocity motion model)이 사용되었다.

##### 4.1.2 패치 서치

월드맵의 맵 포인트와 현재 이미지 프레임에서 검출

된 특징점들의 매칭관계를 알아내기 위해 맵 포인트  $X$ 는 아래 식에 의해 이미지 좌표계상의 점  $x$ 로 프로젝션 된다.

$$x = K[Rt]X = K[Rt] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$x$ 는 이미지 좌표계 상의 2D 포인트이고,  $K$ 는 카메라의 내부 변수를 나타내는  $3 \times 3$  행렬이다.

키프레임으로부터 얻은  $8 \times 8$  이미지 패치를 현재 카메라의 관점으로 어파인 워핑(affine warping)한다. 어파인 워핑 행렬의 크기는 결국 이미지 패치가 찾아질 이미지 피라미드 레벨을 결정한다. 자세한 내용은 [8]을 참조한다.

##### 4.1.3 점진적 매칭(Coarse-to-fine matching)

급격한 카메라의 움직임에도 강한 페이지 트래킹을 하기 위해, 패치 서치와 자세 업데이트를 코스-파인(coarse-to-fine)의 두 단계에 걸쳐 수행한다. 처음에는 현재 이미지 프레임의 이미지 피라미드의 가장 높은 레벨에서부터 60개의 맵 포인트를 선정한 후 코스 서치(coarse search)를 수행한다. 코스 서치에서는 서치 범위를 비교적 넓게 잡고 패치 서치를 한 후 매칭된 결과로 카메라의 자세를 대략적으로 보정한다. 자세는 재투영 에러(reprojection error)를 최소화하는 방향으로 보정되는데, 이때 투키의 차별중량 목적 함수(Tukey biweight objective function)[12]를 이용한다.

보정된 자세를 이용하여 파인 서치(fine search)를 수행한다. 이때는 코스 서치 때보다 많은 최대 500개의 맵 포인트로 좀 더 좁은 범위에 대해서 패치 서치를 수행한다. 마찬가지로 파인 서치 후 매칭의 결과를 이용해 카메라의 최종 자세를 계산하고, 초기의 카메라 자세와 매칭 결과로 계산된 카메라의 자세의 차이를 이용해 현재 프레임에서의 카메라의 모션을 정의하고, 이 모션은 카메라의 그 다음 프레임에서의 초기의 자세를 예측하는데 사용된다.

##### 4.1.4 트래킹 성능 평가

이미지의 동작 번짐(motion blur), 가림현상(occlusion), 잘못된 자세 예측 또는 페이지의 이동으로 인해 추적이 실패한다. 이 논문에서는 만약 특징점 매칭(key-point matching)의 결과가 일정 비율보다 떨어지게 되면 위의 원인으로 인해 추적이 실패한 것으로 간주하고, 페이지 인식 프로세스에서부터 다시 수행한다.

##### 4.2 키프레임 업데이트

페이지 트래킹 프로세스에서 키프레임에서 추출된 이미지 패치로 카메라의 자세를 추정하였기 때문에 트래킹이 얼마나 잘 되었느냐는 결국 키프레임이 얼마나 그

페이지를 잘 설명하느냐로 결정된다. 그러나 각 페이지의 초기 키프레임은 증강 책 콘텐츠 제작자에 의해 미리 정해져 있는 이미지이고, 증강 책의 특성상 콘텐츠 제작자와 콘텐츠 사용자가 동일하지 않아 서로 다른 카메라와 환경에서 증강 책을 수행할 것이기 때문에, 다른 카메라와 환경에서 콘텐츠 제작자가 미리 지정해 놓은 초기 키프레임을 이용하여 트래킹을 수행하게 되면 특징점 매칭의 결과가 부정확하여 트래킹 성능이 저하되어 예기치 않은 트래킹 실패가 빈번히 발생할 수 있다. 그러므로 현재 실행 환경을 잘 반영할 뿐만 아니라 현재 페이지를 가장 잘 나타낼 수 있는 이미지를 선정하여 키프레임으로 업데이트할 필요가 있다. 현재 페이지를 잘 나타내는 이미지를 선정하기 위해 다음의 네 가지 조건이 충족되어야 한다.

- 1) 동작 번짐(Motion blur)이 발생하지 않아야 한다.
- 2) 이미지상에서 페이지가 나타난 면적이 넓어야 하고, 최대한 페이지의 많은 부분이 이미지에 나타나야 한다.
- 3) 이미지에 나타난 페이지 평면이 카메라가 보는 방향과 수직으로 만나야 한다.
- 4) 이미지에 나타난 페이지에 가림 현상(occlusion)이 없어야 한다.

위의 조건을 만족하는 이미지를 키프레임으로 선정하기 위해 위의 조건들을 점수화 하여 각 점수를 가중합(weighted sum)하여 기존의 키프레임보다 점수가 높으면 키프레임을 업데이트 한다.

t번째 이미지의 전체 점수 함수  $Score_{total}(I_t)$  은 아래와 같이 위의 네 조건을 점수화한  $Score_{area}(I_t)$ ,  $Score_{ortho}(I_t)$ ,  $Score_{match}(I_t)$  의 가중합(weighted sum)으로 나타난다.

$$Score_{total}(I_t) = \omega_1 Score_{ZMSSD}(I_t) + \omega_2 Score_{area}(I_t) + \omega_3 Score_{ortho}(I_t) + \omega_4 Score_{match}(I_t) \quad (3)$$

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$  그리고  $\omega_4$  는 각 서브 함수(sub-function)의 중요도를 나타내는 가중치(weight factor)이다.

$Score_{ZMSSD}(I_t)$  은 시간상으로 인접한 두 이미지 프레임( $I_{t-1}$  와  $I_t$ )이 얼마나 비슷한가를 측정하는 척도로써 동작 번짐이 없다면 두 이미지 간의 ZMSS(zero-mean squared sum)이 비슷할 것이기 때문에, 다음과 같이 점수화할 수 있다.

$$Score_{ZMSSD}(I_t) = 1 - \frac{ZMSSD(BI_t, BI_{t-1})}{ZMSSD_{max}} \quad (4)$$

$Score_{area}(I_t)$  는 페이지가 t번째 이미지 프레임에서 얼마나 잘 보여지는지를 측정하는 척도로써 이미지 전체에서 페이지 부분이 차지하는 면적과 페이지 전체 면적 중 이미지에 나타나는 면적의 가중합으로 나타난다.

$$Score_{area}(I_t) = \omega_5 \frac{Area_t}{imageSize} + \omega_5 \frac{Area_t}{AreaCfPage_t} \quad (5)$$

$Area_t$  는 t번째 이미지 프레임에서 보여지는 페이지의 픽셀 수이고  $AreaOfPage_t$  는 t번째 이미지 프레임에서 보여지지 않는 부분도 포함된 페이지 전체의 사이즈를 의미한다.  $AreaOfPage_t$  는 페이지의 네 개의 경계 점을 t번째 카메라의 자세로 이미지 프레임에 투영된 면적으로 계산한다.

$Score_{ortho}(I_t)$  는 페이지가 카메라의 z 벡터 방향과 직교하는지를 판단하는 척도이다. 이것은 단순히 카메라 z 벡터( $CamZ_{z,t}$ )와 t번째 카메라 자세로 카메라 좌표계로 투영된 페이지의 법선 벡터( $PageNorm_{z,t}$ )를 비교하여 계산된다.

$$Score_{ortho}(I_t) = 1 - |CamZ_{z,t} + PageNorm_{z,t}| \quad (6)$$

$Score_{match}(I_t)$  는 월드 맵 포인트 중 t번째 카메라 자세로 이미지 프레임으로 투영된 점 중 매칭률로 계산되고, 매칭률이 높을수록 페이지에 가림 현상이 없는 것으로 간주된다.

위에서 계산된  $Score_{total}(I_t)$  가 높은 이미지를 키프레임으로 지정할수록 페이지 트래킹 프로세스의 성능은 향상될 것이다.

### 5. 실험결과

본 논문에서 실험을 위해 2.2GHz Core 2 Duo CPU, 2GB 메모리, ATI Mobility Radeon HD 2400 그래픽 카드를 탑재한 노트북이 사용되었다. 그리고 로지텍 울트라 웹캠이 사용되었다. 카메라로부터 입력되는 모든 영상은 640 × 480이고, 고속 검출기(FAST detector)를 사용하여 이미지로부터 특징점을 추출하였다.

페이지가 올바르게 트래킹 되는 것을 보여주기 위해, 트래킹 되고 있는 페이지의 외곽선을 표시하였고, 카메라 자세에 따라 가상의 캐릭터를 페이지 위에 증강시켰다.

그림 3은 카메라의 시점(첫 번째 줄)이나 카메라 영상에 나타나는 책의 크기 변화(두 번째 줄), 조명 변화(세 번째 줄)와 부분적인 가림 상황(네 번째 줄), 그리고 지저분한 주위 환경(다섯 번째 줄)에서도 트래킹이 올바르게 되어, 카메라의 6 자유도 자세가 올바르게 추정되고 있음을 나타낸다.

그림 4는 11페이지짜리 책의 페이지를 트래킹 하는데 걸리는 시간을 시간-프레임 축의 그래프로 나타낸 것이다. 1270 프레임을 트래킹하는데 소요된 시간은 평균적으로 8.61ms이고, 중간중간에 시간이 튀는 부분은 페이지가 변경되어 페이지 인식에 소요된 시간이고, 빨간 동그라미 부분이 트래킹하는데 소요된 시간이다.

그림 5는 키프레임이 업데이트되는 순서를 나타낸다.



그림 3 극적인 시점, 크기, 조명 변화와 부분적인 가림 현상과 주위 환경이 복잡할 때의 트래킹

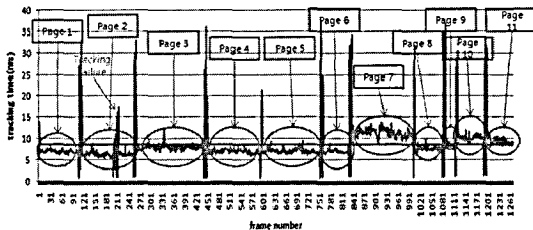


그림 4 11페이지를 트래킹하는 데 소요된 시간



그림 5 키프레임 업데이트(좌측 상단에서 우측 하단)

좌측 상단 그림은 트레이닝 스테이지에서 설정된 키프레임으로써, 초기 카메라의 6 자유도 자세를 추정할 때 키프레임으로 사용된다. 중간 상단에서부터 우측 하단까지의 그림은 키프레임이 점차 어떻게 업데이트 되는지를 보여주고, 각 그림 아래에 나타나는 숫자는 4장 2절에서 계산된  $Score_{total}(I_i)$  값이다. 우측 하단의 키프레임이 4장 2절에서 제시한 네 개의 조건에 부합하는 키프레임을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서 증강 책에 대한 설명과 그것을 구현하기 위한 기반 기술 중 마커리스 비주얼 트래킹 기술에 대해 기술 하였다. 노트북에서 1270 프레임을 트래킹 하는데, 평균 시간은 8.61ms가 소요되었고, 이것은 증강 책을 위한 비주얼 트래킹이 실시간(25fps 이상)을 보장하기에 충분하다.

## 참고 문헌

- [1] Cho K., Lee J., Yang H. S., A Realistic e-Learning System based on Mixed Reality. In *Proc. 13th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, pp.57-64, 2007.
- [2] Taketa N., Hayash K., Kato H., Nishida S., Virtual pop-up book based on augmented reality. In *Proc. HCI*, pp.475-484, 2007.
- [3] Juan M. C., Rey B., Perez D., Tomas D., Alca N. M.: The memory book. In *Proc. 2005 ACM SIG-CHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, pp.379-380, 2005.
- [4] Scherrer C., Pilet V., Fua P., Lepetit V., The haunted book. In *Proc. 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 2008.
- [5] Lepetit V., Fua P., Monocular Model-Based 3D Tracking of Rigid Objects: A Survey. *Computer Graphics and Vision*, vol.1, no.1, pp.1-89, 2005.
- [6] Reitmayr G., Drummond T., Going out: Robust Model-based Tracking for outdoor Augmented Reality. *6th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp.109-118, 2006.
- [7] Davison A.J., Reid I.D., Molton N.D., Stasse O., MonoSLAM: Real-time Single Camera SLAM. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.29, no.6, pp.1052-1067, 2007.
- [8] Klein G., Murray D., Parallel tracking and mapping for small AR workspaces. *6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp.255-234, 2007.
- [9] Rosten E., Drummond T., Machine learning for high-speed corner detection. In *Proc. 9th European Conference on Computer Vision*, pp.430-443, 2006.
- [10] Yang H. S., Cho. K., Soh J., Jung J., Lee J., Hybrid Visual Tracking for Augmented Books. In *Proc. ICEC*, pp.161-166, 2008.
- [11] Varadarajan V., Lie Groups, Lie Algebras and Their Representation. SpringerVerlag, 1974.
- [12] Huber P.: Robust Statistics. Wiley, 1981.