

논문 2014-51-6-12

## 입자추적기반의 불꽃 모델링 기법

(Fireworks Modeling Technique based on Particle Tracking)

조창우\*, 김기현\*, 정창성\*\*

(ChangWoo Cho, KiHyun Kim, and ChangSung Jeong<sup>©</sup>)

### 요약

입자 시스템은 물리적 현상을 모델링하기 위해 자주 사용된다. 특히, 3차원 공간에서의 풍경, 구름, 파도, 안개, 비, 눈, 불꽃 등의 모델링에 적합하다. 시뮬레이션 모델링에는 다양한 전통적인 방법이 존재하지만 본 논문에서는 입자 시스템을 사용하여 불꽃 입자 추적을 기반으로 한 새로운 불꽃 모델링 기법을 제시하였다. 이 방법은 불꽃 추적을 통해 발사 및 분산한 입자들을 인식하고, 스테레오 기법을 이용함으로써 3D 깊이 값을 구하여 비교적 정확한 3차원적 위치를 추출할 수 있다. 그러므로 불꽃 입자의 위치, 속도, 색상 및 수명 등의 파라미터를 불꽃 추적을 통해 산출하였고 이를 이용하여 3D 시뮬레이션을 재연할 수 있다. 본 연구는 빠른 입자 추출 및 노이즈에 의한 허위 입자 추출을 방지하기 위해 관심 영역을 사용하였고, 발사 단계에서 견고성을 향상시키기 위해 칼만 필터를 사용하였다. 또한, 입자의 이동 방향을 예측하여 효율적인 추적을 위해 입자의 최대 이동 범위를 고려한 새로운 불꽃 입자 추적 방법을 제안하였다. 그리고 3D 공간에서 입자의 속도는 불꽃의 회전 각도를 찾는으로써 얻어질 수 있다. 본 논문에서는 불꽃추적에서 자주 사용되는 구, 원, 국화, 하트 이 네 가지 불꽃 유형에 대하여 각각 모델링에 필요한 파라미터를 불꽃 추적을 통해 구하였고 추적에 대한 속도와 정확도를 측정하였다.

### Abstract

A particle system is used for modeling the physical phenomenon. There are many traditional ways for simulation modeling which can be well suited for application including the landscapes of branches, clouds, waves, fog, rain, snow and fireworks in the three-dimensional space. In this paper, we present a new fireworks modeling technique for modeling 3D firework based on Firework Particle Tracking (FPT) using the particle system. Our method can track and recognize the launched and exploded particle of fireworks, and extracts relatively accurate 3D positions of the particles using 3D depth values. It can realize 3D simulation by using tracking information such as position, speed, color and life time of the firework particle. We exploit Region of Interest (ROI) for fast particle extraction and the prevention of false particle extraction caused by noise. Moreover, Kalman filter is used to enhance the robustness in launch step. We propose a new fireworks particle tracking method for the efficient tracking of particles by considering maximum moving range and moving direction of particles, and shall show that the 3D speeds of particles can be obtained by finding the rotation angles of fireworks. Also, we carry out the performance evaluation of particle tracking: tracking speed and accuracy for tracking, classification, rotation angle respectively with respect to four types of fireworks: sphere, circle, chrysanthemum and heart.

**Keywords**: 불꽃, 입자추적, 3D 모델링, 스테레오 비전

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 고려대학교 영상정보처리  
(Division of Internet & Multimedia Engineering, Korea University)

© ChangSung Jeong(E-mail: csjeong@korea.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 ICT 연구센터 육성·지원사업(NIPA-2013-H0301-14-1001)과, 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보·컴퓨팅기술개발사업의 지원(NRF-2013043678)과, 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2012년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음(R2012030096).

접수일자: 2014년04월07일, 수정일자: 2014년05월13일, 수정완료: 2014년05월26일

## I. 서 론

컴퓨터 시뮬레이션은 특히 움직이는 구름, 안개, 연기, 눈, 물과 불<sup>[1-6]</sup>과 같은 자연 현상 등 다양한 분야에서 이용되고 있다. 이러한 현상들은 입자 시스템으로 잘 표현할 수 있다. 입자 시스템은 입자 생성, 성장, 노화 과정 및 소멸로 수명주기가 구성되어 있다. 입자의 속성을 업데이트 하여 각 프레임마다 이동 및 변환된다.

입자 시스템은 비디오 게임과 컴퓨터 시뮬레이션에 사용되어 왔다<sup>[7]</sup>. Reeves(1983)는 처음으로 입자 시스템을 도입 하였다. 또한, Loke는 입자 시스템을 이용한 실제 불꽃 애니메이션 렌더링 기술을 소개하였으며<sup>[8]</sup>, Ding은 입자 시스템 기반의 동적 불꽃 디스플레이 시뮬레이션 방법을 제안 하였다. 이는 실시간과 현실의 요구에 응할 수 있도록 설계되었다<sup>[9]</sup>. Xiao는 GPGPU를 불꽃 장면의 현실감을 높이고 실행 효율을 향상시키기 위해 다수의 입자를 사용한 시뮬레이션을 제공하였다<sup>[10]</sup>. 이 방법은 많은 양의 데이터를 처리하기 위해 GPGPU의 병렬 처리를 이용하였다. 하지만 본 논문에서는 입력 불꽃 영상으로부터 입자들을 추적하여 불꽃을 재 구현하는데 필요한 데이터를 추출하고 계산하여 시뮬레이션 하는데 그 목적이 있다.

## II. 본 론

본 논문에서는 입자 시스템을 사용하여 불꽃 입자 추적을 기반으로 한 새로운 불꽃 모델링 기법을 제시 하였다.

본 방법은 그림 1과 같이 불꽃 추적을 통해 발사 및 분산한 입자들을 인식하고, 스테레오 기법을 이용하여 3D의 깊이 값을 구하여 비교적 정확한 3차원 위치를 추출 할 수 있다. 그러므로 불꽃 입자의 위치, 속도, 색상 및 수명 등의 추적 정보를 이용하여 3D 시뮬레이션을 재연할 수 있다. 발사 단계에서 빠른 입자 추출 및 노이즈에 의한 허위 입자 추출을 방지하기 위해 관심영역인 Region of Interest(ROI)를 사용하였고, 불꽃 추적의 견고성을 향상시키기 위해 칼만 필터를 사용하였다. 추적 단계에서는 입자의 이동 방향을 예측하여 입자의 최대 이동 범위를 고려한 새로운 불꽃 입자 추적 방법인 Firework Particle Tracking(FPT)을 제안했다. 그리

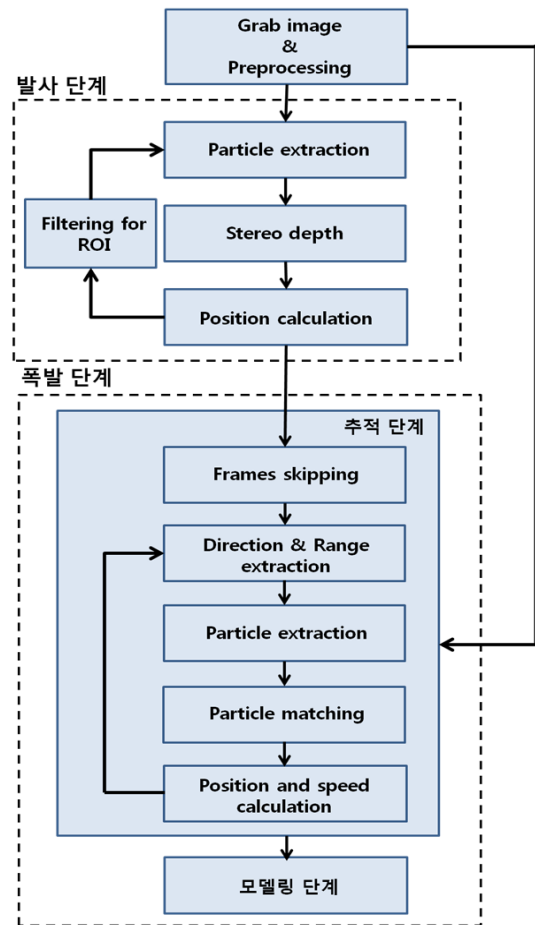


그림 1. 3D 불꽃 모델링의 흐름도  
Fig. 1. The workflow of 3D fireworks modeling.

고 3D 공간에서의 입자 속도는 불꽃의 회전 각도를 찾음으로써 얻어 질 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 모델링 단계에서 재 구현한다.

### 1. 불꽃 발사 단계

#### 가. 불꽃의 3D 위치 측정

스테레오 비전은 그림 2와 같이 특정 거리의 두 대의 카메라로부터 얻어진 좌측 및 우측 영상에 동일하게 찍힌 두 점 사이의 영상차이를 통해 해당 점의 깊이 값을 계산하는 방법이다<sup>[11]</sup>.

두 대의 카메라로 불꽃 연출을 촬영한 뒤, 해당 불꽃의 깊이 값을 식 1로 계산하여 최종적으로 불꽃입자에 3D좌표를 할당하였다<sup>[12-13]</sup>.

$$Z = \frac{f \cdot B}{x_L - x_R} \quad (1)$$

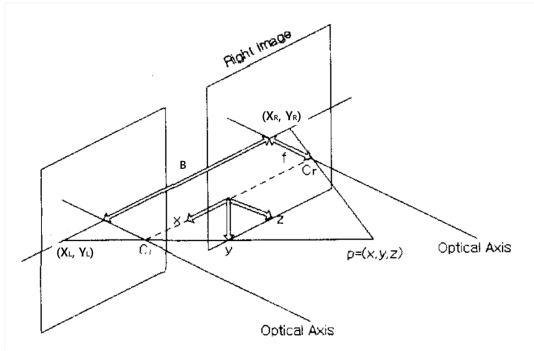


그림 2. 스테레오 이미지의 기하 구조  
Fig. 2. Geometry of the stereo images.

여기서  $x_L$ 과  $x_R$ 은 각각 좌우 이미지에서 매치된 불꽃의 가로픽셀 값이고  $f$ 는 카메라의 초점거리이며,  $B$ 는 두 카메라사이의 거리이다.

나. 관심 영역(Region of Interest)

본 연구에서는 빠른 입자 추출 및 노이즈에 의한 거짓 입자 추출을 예방하기 위해 관심영역인 ROI을 설정하였다. 발사 입자가 추출되면 초기위치를 설정하고 ROI의 크기를  $10 \times 10$  픽셀로 정의하였다. 그런 다음 ROI의 위치는 칼만 필터에 의해 결정된다.

ROI에 대한 필터링 시스템에서, 칼만 필터는 시스템의 확률적인 모델과 측정값을 이용하여 시스템의 상태 변수를 찾아내는 최적의 추정기법이다. 즉, 상태식에 의한 시간전과와 측정식에 의한 개선을 통하여 상태 값을 추정하게 되며, 실제 상태 값과 추정된 상태 값의 오차 공분산을 최소화하는 방법이다<sup>[14~15]</sup>.

2. 불꽃 폭발 단계

불꽃 모양에는 수많은 종류가 있지만 불꽃 축제에서 사용하는 불꽃은 구, 원, 국화, 하트 등의 모양이 주로 사용되기 때문에, 그림 3과 같은 가장 일반적인 기본적인 불꽃 모양을 본 논문에서 다루게 되었다. 본 논문에서

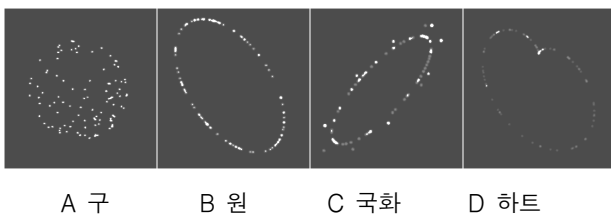


그림 3. 다른 유형의 불꽃모양  
Fig. 3. Different types of fireworks shapes.

서는 각 입자의 속도를 제어하여 각 모양의 3D 모델링을 구현하였다. 폭발 단계에서 3D 불꽃 모델링 알고리즘을 추적과 모델링 두 단계로 나눌 수 있다.

가. 추적 단계

폭발 공정의 초기 단계에서 다수의 입자가 불꽃의 폭발 직후 서로 중첩되므로 각각의 불꽃 입자를 구별하기 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 충분히 확산된 입자 이미지를 얻기 위해 우선 폭발 감지 후 처음 몇 개의 프레임을 건너뛴다. 그런 다음 본 논문에서 제안한 불꽃 입자 추적방법인 FPT를 사용하여 생성된 입자의 무리를 추적 할 수 있다

신속하고 정확한 추적을 위해, 본 연구에서는 다음과 같은 두 가지 요인을 가정하였다.

(1) 최대 이동 범위

입자의 최대 속도가  $V$ 인 경우, 짧은 시간  $\Delta t$ 동안 입자의 최대 이동 범위는  $\Delta t * V$  이다. 따라서 현재 이미지에 있는 입자가 다음 이미지에서 표시되는 범위를 제한할 수 있다. 즉, 입자의 최대 이동 범위가 설정한 특정 임계 값 범위를 넘어 설수 없다. 최대 이동 범위는 그림 4에 등근 원  $D$ 로 표시하였다.

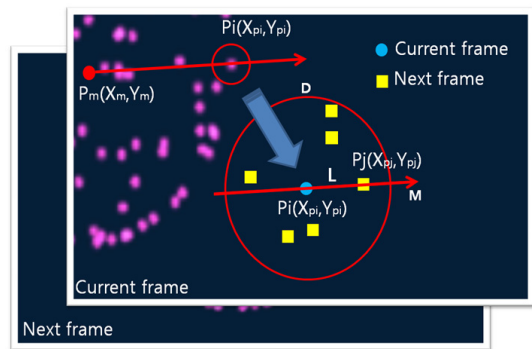


그림 4. 최대 이동 범위와 이동 방향  
Fig. 4. Maximum moving range and moving direction.

(2) 이동 방향

크기가 매우 작은 입자는 외부의 영향을 거의 받지 않는다. 또한, 입자의 이동 방향은 짧은 기간 동안 변화가 거의 없다. 그림 4는 입자  $P_i(X_{pi}, Y_{pi})$ 의 이동 방향을 화살표  $M$ 으로 나타내었다.

FPT는 두 개의 연속적인 프레임들을 비교함으로써 각 입자들의 위치와 속도를 계산해 낼 수 있다. 우선,

초기 설정된 값과 추적을 통해 계산한 값들로 입자들의 최대 범위  $D$ 과 방향  $M$ 을 계산한다. 다음으로 그림 4의 사각형 입자들과 같이 다음 프레임에서 동일한 범위  $D$  내에 존재하는 입자들을 찾아내고, 그 다음으로 방향  $M$ 에 최적으로 일치하는 입자를 추출한다. 마지막으로 두 이미지의 입자를 매치시켜 다음 두 장의 연속 이미지에 사용할  $D$ 과  $M$ 를 계산하기 위해 입자의 위치와 속도를 계산한다.

그러나 모든 불꽃의 입자를 추적하기 위해서는 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 논문에서는 실시간 모델링을 위해 2D 이미지 평면에서 불꽃의 폭발 위치로부터 가장 먼 입자와 가장 가까운 입자를 추적 하였다. 다음의 모델링 단계에서 자세히 설명하겠지만 이 두 개의 입자를 추적함으로써 구할 수 있는 입자들의 위치, 속도, 수명 등의 파라메타를 이용하여 불꽃을 모델링하기에 충분하였다.

#### 나. 모델링 단계

이 단계는 추적 단계에서 추출한 입자의 파라메타로 계산되어진 위치와 속도로 정의되어진 불꽃 모양의 3D 모델을 생성하는 단계이다. 불꽃 발사 단계에서 스테레오 비전에 의해 입자의 발사 위치와 폭발의 위치를 추출 하고, 시작 단계의 상승 소요 시간을 통해 발사 속도를 계산하였다. 또한, 4가지 모양의 불꽃은 다음의 방법으로 속도를 구하였다.

##### (1) 구

구형 불꽃에 포함되어진 모든 입자 속도의 크기는  $|V_{far}|$ 이며, 속도의 방향은 폭발 위치로부터 임의의 방향으로 확산 된다. 3차원 구형 불꽃의 입자 속도는 다음과 같이 주어진다<sup>[16]</sup>.

$$Zspeed_{3D} = V_{far} * \cos(\Phi) \quad (2)$$

$$Xspeed_{3D} = V_{far} * \sin(\Phi) * \cos(\beta) \quad (3)$$

$$Yspeed_{3D} = V_{far} * \sin(\Phi) * \sin(\beta) \quad (4)$$

$Xspeed_{3D}$ ,  $Yspeed_{3D}$ ,  $Zspeed_{3D}$ 는 x, y, z 축 방향의 입자 속도를 제어하고,  $V_{far}$ 은 폭발위치로부터 가장 먼 입자의 속도로 사용된다.  $\Phi$ 와  $\beta$ 의 범위는 0에서  $2\pi$ 이며 입자의 움직임의 방향을 제어하는데 사용된다.

##### (2) 원, 국화, 하트

이러한 모양들은 상기에서 언급한 불꽃의 폭발 단계에서 매치한 입자를 통하여 이미지 평면에서의 속도를 구하고, 계산되어진 속도를 x, y축으로 회전시켜 각 모양에 대한 3D 속도를 구할 수 있다. 2D 이미지 평면에서의 입자 속도는 다음과 같이 주어진다<sup>[17]</sup>.

원:

$$Xspeed_{2D} = V_{far} * \cos(\Phi) \quad (5)$$

$$Yspeed_{2D} = V_{far} * \sin(\Phi) \quad (6)$$

국화:

$$Xspeed_{2D} = 0.97 * V_{far} * \cos(\Phi) \quad (7)$$

$$Yspeed_{2D} = 0.97 * V_{far} * \sin(\Phi) \quad (8)$$

If(loop%3)

$$Xspeed_{2D} = V_{far} * \cos(\Phi) \quad (9)$$

$$Yspeed_{2D} = V_{far} * \sin(\Phi) \quad (10)$$

하트:

$$Xspeed_{2D} = V_{far} * (2 * \cos(\Phi) - \cos(2 * \Phi)) \quad (11)$$

$$Yspeed_{2D} = V_{far} * (2 * \sin(\Phi) - \sin(2 * \Phi)) \quad (12)$$

$Xspeed_{2D}$ 와  $Yspeed_{2D}$ 는 이미지 평면에서의 x, y축에 대한 속도이다. loop는 불꽃 입자의 번호이다. 상기한 이미지 평면에서의 입자 속도를 다음의 공식에 대입을 통해 3D 속도를 얻을 수 있다.

// Y축에 대하여 회전

$$Zspeed_{3D} = Xspeed_{2D} * \sin(a_y) \quad (13)$$

$$Xspeed_{3D} = Xspeed_{2D} * \cos(a_y) \quad (14)$$

// Z축에 대하여 회전

$$temp_x = Xspeed_{3D} * \cos(\alpha_z) - Yspeed_{2D} * \sin(\alpha_z) \quad (15)$$

$$Yspeed_{3D} = Xspeed_{3D} * \sin(\alpha_z) + Yspeed_{2D} * \cos(\alpha_z) \quad (16)$$

$$Xspeed_{3D} = temp_x \quad (17)$$

2D 불꽃 형상을 y, z축에 대해 회전시킴으로써 3차원 공간에서의 x, y, z축에 대한 속도를 구할 수 있다.  $\alpha_y$ 와  $\alpha_z$ 는 y, z축에 대한 회전 각도이다. 회전 각도는 식 18, 19에 의해 계산된다.

$$\alpha_y = \cos^{-1} \frac{\sqrt{(x_n - x_m)^2 + (y_n - y_m)^2}}{R} \quad (18)$$

$$\alpha_z = \cos^{-1} \frac{y_f - y_m}{R} \quad (19)$$

R은 입자 폭발 위치인  $P_{mid}(X_m, Y_m)$ 로 부터 가장 먼 입자  $P_{far}(X_f, Y_f)$ 의 거리를 나타내며,  $P_{near}(X_n, Y_n)$ 는 가까운 입자의 투영된 위치를 나타낸다.

### III. 실험

물체 추적 성능 평가는 추적 품질(정확도) 평가와 추적 속도 평가로 구분한다. 추적 품질은 추적 대상의 Re-projection error를 RMSE로 계산한 오차로 평가 한다<sup>[15]</sup>. 추적 속도는 각 프레임 당 소요시간(ms)으로 평가한다. 프로그램 개발 환경과 성능 측정을 위한 컴퓨터 환경은 표 1과 같다. 실제 불꽃 이미지를 대량으로 나타내기 힘들기 때문에 인위적으로 만든 불꽃 환경에 의해 불규칙적으로 생성된 각 모양의 불꽃 이미지를 실험에 사용 하였다. 생성된 불꽃 이미지는 각 모양 당 100개 이미지를 사용하였고, 멀티 불꽃 이미지는 겹치는 경우와 그렇지 않는 경우를 각각 50개 씩 만들어 사용했다.

#### 1. 추적 속도

추적단계에서의 각 스텝별 추적 속도 평가 결과는 표 2와 같다. 추적 속도(ms)는 불꽃 모양의 밀집도와 복잡성에 따라 간단할수록 빠른 속도를 나타냈다.

표 1. 실험 환경

Table 1. Test bed.

OS	Windows 7
TOOL	Microsoft Visual Studio 2008
Library	OpenCV, OpenGL
CPU	Intel Core i5-2500
RAM	4GB

표 2. 폭발단계에서의 추적 속도 (단위:ms)

Table 2. Tracking speed of explosion step.

	Particle matching	Particle extraction	Direction & range extraction
원	4.88	13.58	7.3
국화	4.9	14.16	7.5
하트	4.91	15.95	7.7
구	4.89	22.53	11.1

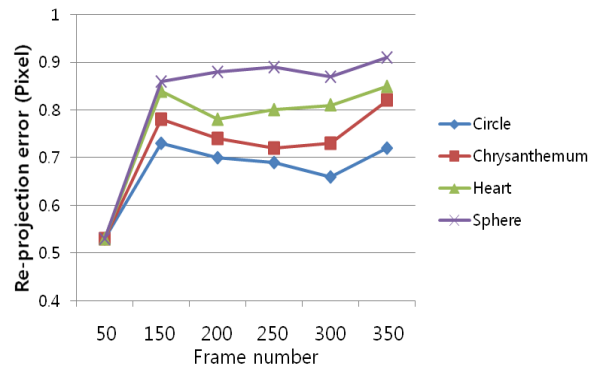


그림 5. 단일 불꽃의 Re-projection  
Fig. 5. Re-projection error of single fireworks.

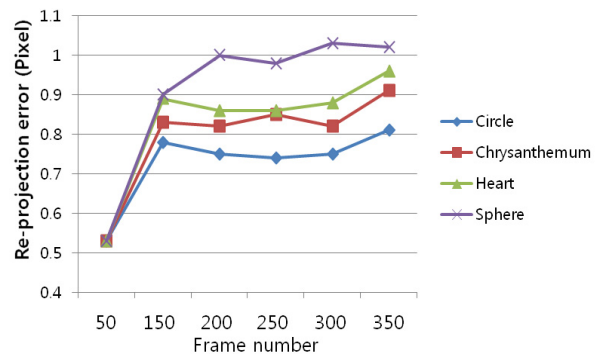


그림 6. 겹치지 않는 다중 불꽃의 Re-projection  
Fig. 6. Re-projection error of non-overlapping fireworks for multiple fireworks.

#### 2. 추적 정확성

단일 및 다중 불꽃의 경우에 대해 발사 단계(50

frame)와 폭발 과정(150~350 frames)에서의 Re-projection error로 평가한다. 단일 불꽃에 대한 Re-projection error는 그림 5와 같다. 각 모양의 Re-projection error는 발사 단계에서 하나의 입자로 같은 모양으로 이루어져 있어 동일하며, 이후 폭발 과정에서 원 모양의 추적 위치의 오차가 제일 작게 나타나 구 모양이 가장 컸다.

각 모양에 대한 다중 불꽃의 Re-projection error를 겹치는 경우와 겹치지 않는 경우로 나누어 측정하였다. 그림 6은 겹치지 않는 두 개의 불꽃을 동시에 추적하여 Re-projection error를 구하였다. 추적 위치의 오차는 단일 불꽃의 결과와 비슷하지만 약간 더 증가한 것을 볼 수 있다.

하지만, 그림 7과 같이 겹치는 경우 다중 불꽃의 Re-projection error는 위의 결과와 다르게 모두 오차가 컸으며, 특히 구형이 겹치는 경우 추적 정확도에 더 큰 영향이 미치는 것을 확인 할 수 있다.

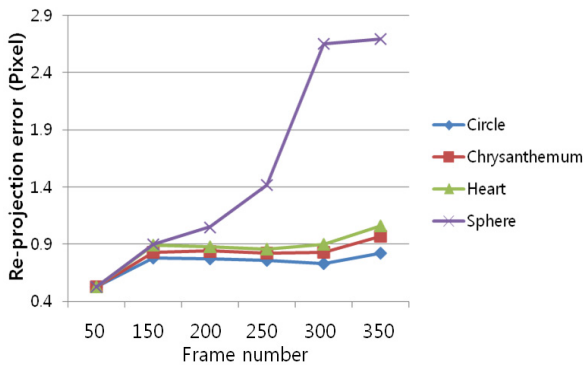


그림 7. 겹치는 다중 불꽃의 Re-projection  
Fig. 7. Re-projection error of overlapping fireworks.

### 3. 시뮬레이션 결과

입력 이미지의 입자 추적을 통해 추출한 데이터를 토대로 시뮬레이션 한 결과, 입자의 속도, 수명 및 불꽃의 발사, 폭발에 3D 위치가 원 불꽃의 이미지와 거의 동일한 것을 볼 수 있었다. 하지만 폭발 단계에서 실시간으로 추적하기 위해 최소한의 입자만 추적하여 데이터를 추출한다. 따라서 그림 8과 같이 원래의 이미지와 시뮬레이션 결과에 차이는 존재하지만 전체적인 불꽃연출에 있어서는 충분하였다.

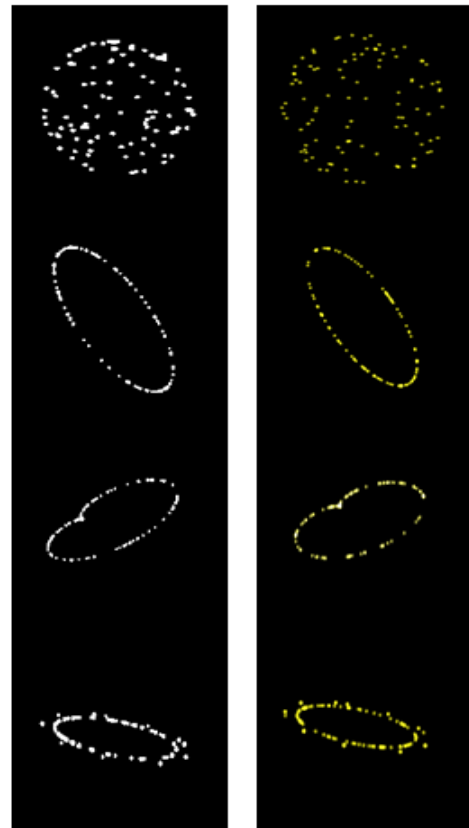


그림 8 A: 각 불꽃 모양의 원본이미지 B: 시뮬레이션 결과  
Fig. 8. A: Original fireworks images of each shape.  
B: Results images using tracking information.

## IV. 결론

본 논문에서는 입자 시스템을 사용하여 불꽃 입자 추적 기반의 3D 모델링 기법을 제시 하였다. 3D 불꽃 모델링 기법은 전처리, 발사, 폭발 단계의 세 단계로 구성되었다. 발사 단계에서 스테레오 비전 3D 깊이 값을 이용하여 불꽃 입자의 3D 발사 위치와 폭발 위치를 구하였고, 빠른 입자 추출 및 노이즈에 의한 허위 입자 추출 방지하기 위해 ROI를 사용 하였다. 또한, 폭발 단계는 추적과 모델링 단계로 구성 하였다. 폭발 과정에서 FPT를 통해 효율적인 불꽃 입자 추적을 하였고, 입자들의 3D 속도는 회전 각도를 찾음으로써 얻어 질 수 있다는 것을 보여 주었다. 불꽃 연출에 있어서 자주 사용되는 대표적인 모양인 구, 원, 국화, 하트 이 네 가지 불꽃 유형에 대하여 실험하였고, 각 모양에 대한 추적 속도와 정확도를 통하여 입자 추적 성능 평가를 수행하였다. 본 연구의 실험을 바탕으로 불꽃추출 영상에서 불

꽃의 파라미터를 추출할 수 있으며, 불꽃제조 시 추출한 파라미터 값을 통하여 실제로 사용되어지는 화학의 양이나 구조 등의 요소들을 유동적으로 조절할 수 있을 것이다.

## REFERENCES

- [1] J. Grudziński and A. Dębowski, "Clouds and atmospheric phenomena simulation in real-time 3D graphics," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- [2] V. Biri, S. Michelin and D. Arquès, "Real-time animation of realistic fog," 13th Eurographics workshop on rendering, Pisa, Italy, 2002.
- [3] R. Fedkiw, J. Stam and H. W. Jensen, "Visual simulation of smoke," SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings. ACM Press/ACM SIGGRAPH, pp. 15 - 22, 2001.
- [4] G. P. Lu, D. J. DePaolo, Q. Kang and D. Zhang, "Lattice boltzmann simulation of snow crystal growth in clouds," J. Geophy. Res. 114, D07305, 2009.
- [5] E. Cerezo and F. J. Serón, "Rendering natural water: merging computer graphics with physics and biology," Advances in Modelling, Animation and Rendering (Proceedings of Computer Graphics International 2002), pp. 481 - 498, 2002.
- [6] Sanandanan and Somasekaran, "Using particle system to simulate real-time fire," the university of Western Australia, Australia, 2005.
- [7] W. Reeves, "Particle systems - A technique for modeling a class of fuzzy objects," Computer Graphics 17, 3. pp. 359-376, July 1983.
- [8] T. Loke, D. Tan and H. Seah, "Rendering fireworks displays," IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 33 - 43, May 1992.
- [9] J. Y. Ding, P. Li and S. K. Li, "Dynamic simulation for fireworks display based on OpenGL," Computer Engineering Vol.28, No.4, pp.240 - 241, April 2002.
- [10] H. Xiao and C. L. He, "Real-time simulation of fireworks based on GPU and particle system," 2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science, Mar 2009.
- [11] P. Fua. "A parallel stereo algorithm that produce dense depth maps and preserves image features," Machine Vision Applications, pp.35 - 49, 1993.
- [12] Y.S Kang and Y.S Ho, "Depth Generation Method Using Multiple Color and Depth Cameras", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 48-SP, No.3, pp.13-18, 2011.
- [13] H.H Jung, T.Y Kim and J. Lyou, "3D Image Construction Using Color and Depth Cameras", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 49-SC, No.1, pp.1-7, 2012.
- [14] M. I. Ribeiro, "Kalman and extended kalman filters: Concept, derivation and properties, institute for systems and robotics," Instituto Superior Tecnico, Av. Rovisco Pais, 1, February 2004.
- [15] R. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," Transactions of Journal Basic Engineering, ASME Series, D 82, pp. 35 - 45, 1960.
- [16] W. Dong, X. Zhang and C. Zhang, "Firework simulation based on particle system in virtual scene," International Conference on Multimedia Communications, Hong Kong, August 2010.
- [17] P. Gargallo, E. Prados and P. Sturm, "Minimizing the reprojection error in surface reconstruction from images," IEEE International Conference on Computer Vision, Oct 2007.



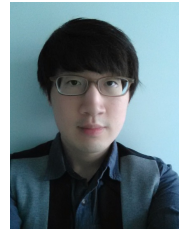
저 자 소 개



조 창 우(학생회원)  
2009년 칭화대학교 자동화공학과  
학사 졸업.  
2013년~현재 고려대학교 영상정  
보처리과정 석사 과정  
<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 영상  
처리 및 인식, 이미지 병렬처리>



정 창 성(평생회원)-교신저자  
1981년 서울대학교 전기공학과  
학사졸업  
1984년 Northwestern University  
전자계산학과 석사 졸업  
1987년 Northwestern University  
전자계산학과 박사 졸업  
1987년~1992년 포항공과대학교 전자계산학과 조  
교수  
1992년~1998년 고려대학교 전자공학과 부교수  
1998년~현재 고려대학교 전자공학과 정교수  
<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 유비쿼터스 컴퓨팅,  
네트워크 가상 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅>



김 기 현(학생회원)  
2010년 강릉원주대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2012년 고려대학교 전기전자전파  
공학과 석사 졸업.  
2014년 고려대학교 전기전자전파  
공학과 박사 수료.  
2014년~현재 고려대학교 전기전자전파공학과  
박사 과정  
<주관심분야 : 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 처리,  
영상처리>