

모바일 카메라를 이용한 경량 3D 모델링

주 승 환* · 서 희 석** · 한 성 휴***

Light 3D Modeling with mobile equipment

Ju Seunghwan · Seo Heesuk · Han Sunghyu

〈Abstract〉

Recently, 3D related technology has become a hot topic for IT. 3D technologies such as 3DTV, Kinect and 3D printers are becoming more and more popular. According to the flow of the times, the goal of this study is that the general public is exposed to 3D technology easily. we have developed a web-based application program that enables 3D modeling of facial front and side photographs using a mobile phone.

In order to realize 3D modeling, two photographs (front and side) are photographed with a mobile camera, and ASM (Active Shape Model) and skin binarization technique are used to extract facial height such as nose from facial and side photographs. Three-dimensional coordinates are generated using the face extracted from the front photograph and the face height obtained from the side photograph. Using the 3-D coordinates generated for the standard face model modeled with the standard face as a control point, the face becomes the face of the subject when the RBF (Radial Basis Function) interpolation method is used. Also, in order to cover the face with the modified face model, the control point found in the front photograph is mapped to the texture map coordinate to generate the texture image. Finally, the deformed face model is covered with a texture image, and the 3D modeled image is displayed to the user.

Key Words : 3D Modeling, Mobile Camera, Image-Processing, Virtual Reality

I. 서론

오늘날 3D프린터관련 소프트웨어 시장선점 경쟁이 치열하다. 현재 3D프린터 소프트웨어는 프린터

업체가 자체 개발하는 소프트웨어와 오픈 소스 업체, 기존 그래픽 업체가 경쟁을 벌이고 있다.

시장조사업체 카날리스(Canalys)에 따르면 전 세계 3D 프린터 시장은 2013년 7억 1100만 달러이며, 이는 2012년 대비 109% 성장한 수치다. 카날리스는 올해 3D 프린터 부문이 79% 증가한 13억달러, 2018년에는 53억달러 시장으로 성장할 것으로 전망하고

* 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 박사과정

** 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수

*** 한국기술교육대학교 문리HRD학부 부교수(교신저자)

있다. 이 수치는 단순 3D 프린터 자체 시장만 집계한 것으로, 이와 관련된 서비스와 3D 개체를 만드는데 사용되는 소재, SW부문은 하드웨어 시장의 2배 ~ 2.5배로 예상된다. 활용 범위도 항공 우주, 국방, 의료 등 다양한 분야에서 활용된다.

실제로 NASA에서는 국제우주정거장(ISS)의 부품 조달을 위해 3D프린팅 기술을 적극 도입하였고 덴마크의 레고에서는 맞춤형 브릭, 피규어 생산에 이 기술을 도입할 예정이다. 이와 같이 3D 프린팅 기술을 사용하는 분야는 점점 더 늘어날 것이다[1].

이러한 장점에도 불구하고 주변에서 흔히 발견하기 쉽지 않다. 이는 높은 3D 프린터 가격과 3D 모델링 툴 사용의 어려움으로 일반인이 사용하기 어렵기 때문이다.

이에 우리는 이러한 3D 프린팅 기술을 다양한 분야에서 많은 사용자가 사용할 수 있도록 사용하기 용이한 모바일 카메라를 이용하여 3D 모델링을 구현하고자 한다.

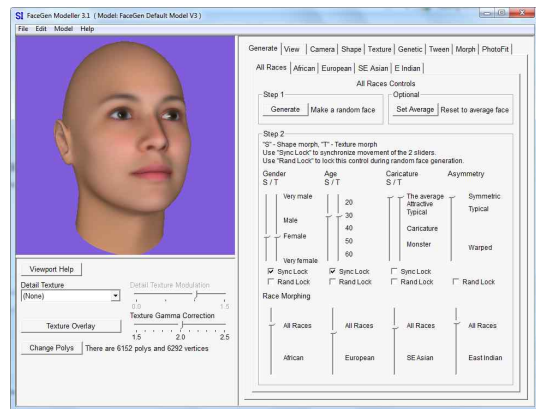
사용자는 모바일 카메라를 활용하여 사람의 얼굴을 정면과 측면에서 촬영하여 얻은 2장의 사진을 촬영한다. 촬영한 2장의 사진은 서버에 저장되고 각 사진을 ASM[2-4] 및 피부 이진화 기법[5-6]을 이용해 3D 좌표 생성에 필요한 정보를 얻어낸다. 이 정보로 표준 얼굴 모델을 RBF 보간법을 활용해 변형시키고 정면 사진에서 검출된 제어점을 이용해 변형된 오브젝트의 텍스처 이미지를 생성한다. 모든 작업을 마친 뒤 생성된 3D 얼굴 모델 및 이미지는 웹 브라우저에서 3D 모델링 결과로 나타난다[7-8].

본 연구는 성형분야, 피규어 제작, 얼굴 복원 등에서 활용될 수 있다. 성형외과에서 환자를 수술하기 이전에 가상으로 성형을 하여 수술 후의 변화된 모습을 미리 예측해 볼 수 있는 데에 활용하여 환자가 수술 후의 모습을 먼저 볼 수 있을 것이다. 또한 기존의 피규어에서 자신의 얼굴을 모델링 하여 피규어

의 얼굴 부분에 합치는 것도 가능할 것으로 보인다. 사용자는 모바일 카메라를 이용하여 어디서든 특별한 장치 없이 자신의 얼굴을 3D로 모델링 할 수 있다. 향후 기술이 더 발전한다면 얼굴 뿐 아니라 사물의 3D 모델링도 가능해져서 여러 분야에서 응용할 수 있을 것으로 보인다.

II. 관련연구

2.1 페이스젠(FaceGen)



<그림 1> 페이스젠

페이스젠은 얼굴 사진을 업로드 하고 얼굴의 윤곽의 포인트만 잡아주면 3D 모델링을 결과를 보여 준다. 원래는 3차원 모델링을 위해서 총 3장의 사진이 필요하지만 정면 사진만 있어도 결과를 얻는 것이 가능하다. 단, 페이스젠은 수백만원대의 프로그램으로 일반 사용자가 구입하기에는 부담이 있다. 하지만 페이스젠 공식홈페이지에 체험판 프로그램이 존재하므로 일반 사용자들이 간단하게 자신의 얼굴이나 혹은 지인들의 얼굴을 3D 모델링하고 BMP 이미지 파일로 컴퓨터에 저장할 수 있다.

하지만 사진을 업로드하고 특정 점들을 사용자가 스스로 지정해야 하는 불편함이 있다.

2.2 가상 성형 어플리케이션

최근에 성형열풍이 불면서 많은 사람들이 자신의 가상성형 후 모습을 상상해 보기도 한다. 이러한 사람들 중에서는 포토샵을 이용하여 <그림 2>의 사진과 같이 가상 성형을 직접 구현한 사람도 있다. 하지만 포토샵을 이용할 경우 시간도 많이 소용되고 포토샵을 다루는 방법을 모르는 사람들은 쉽게 가상성형을 경험하기가 어렵다. 강남의 한 성형외과에서는 이러한 문제점들을 보완하기 위하여 3D 가상성형 어플리케이션을 이용한다. 병원을 찾아오는 손님들의 정면 2D 사진으로 짧은 시간 안에 3D 얼굴 모델링을 구현한 후 눈,코,입 등을 변형하여 가상 성형 기능을 이용하고 있다. 자신의 성형 후 모습을 예측할 수 있다는 장점이 있지만, 모델링 결과가 정확하지 않고 아바타처럼 나타난다.



<그림 2> 가상 성형

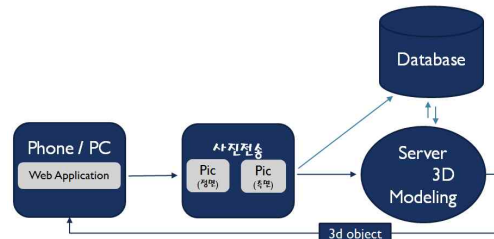
III. 모바일 카메라를 이용한 3D 모델링

3.1 시스템 구성

모바일 기기로 웹페이지에 접속하여 사람의 얼굴

을 정면과 측면 2가지 각도로 촬영하여 전송하거나 PC의 저장된 정면과 측면 사진을 선택하여 전송한다.

사진은 서버의 데이터베이스에 저장되고 서버가 데이터베이스에 처리할 이미지가 도착했다는 신호를 감지하면 데이터베이스에 접근하여 전송된 사진을 받아 영상처리 함수를 실행한다.



<그림 3> 3D 모델 시스템 구조

함수를 실행하면 먼저 ASM 알고리즘을 활용하여 정면 사진에서 77개의 얼굴 특징점들을 추출하고, 측면 사진에서는 피부색 이진화 기법을 이용해 측면 얼굴의 높낮이 정보를 얻는다. 두 사진에서 얻은 정보를 합하여 3차원 좌표를 생성하고 생성된 좌표로 RBF 보간법을 이용해 표준 얼굴 모형을 변형시킨다. 변형된 얼굴 모형을 데이터베이스에 저장하고 사용자에게 전송되어 3D 모델을 볼 수 있다.

3.2 알고리즘

1) ASM (Active Shape Model)

본 시스템은 2D 이미지의 얼굴을 3D 영상으로 변환하는 과정이 가장 중요하다.

그렇기 때문에 얼굴을 정확히 검출해내는 비율이 작품의 질과 밀접한 연관이 있다. 처음 제작 과정에서는 코드를 직접 작성하여 얼굴의 특징점들을 검출했었지만, 더 나은 얼굴 검출을 위해 ASM(Active Shape Model) 알고리즘을 변형하여 사용하였다.

ASM은 점 분포 모델(point distribution model)로 입력 영상에서 특정 영역을 가장 잘 표현한 점 분포를 찾는 알고리즘 기술이다. 초기 형태를 사람의 얼굴로 설정하고, 사용자로부터 얻은 정면 사진에 적용하여 얼굴의 특징점들을 잡도록 하였다. ASM의 결과로 나오는 특징점들은 총 77개로 각 점들을 얼굴을 나타내는 고유한 위치에 나타난다. 아래의 표는 각 특징점별 위치를 군집화 하여 나타냈다.

<표 1> 디자인패턴의 분류[5]

위치	특징점 번호
얼굴형(턱, 이마 포함)	0번 ~ 15번
왼쪽눈썹	22번 ~ 27번
오른쪽눈썹	16번 ~ 21번
왼쪽 눈	29번 ~ 39번
오른쪽 눈	28번, 40번 ~ 47번
코	48번 ~ 58번
입	59번 ~ 76번

2) 피부 이진화 기법

3D영상은 3개의 축으로 이뤄진 좌표를 사용한다. 하지만 한 장의 2D 이미지를 사용하게 되면 x축, y축의 2차원 영역 정보밖에 얻을 수 없다.

z축의 정보를 측면 사진에서 이미지의 높낮이 정보로 해결할 수 있다. 측면에서 촬영한 사진을 피부색으로 이진화한 영상과 에지검출 영상을 활용하여 측면 얼굴을 검출한다. 측면의 높낮이를 구하기 위해 필요한 기준점을 코의 가장 높은 점으로 하여 계산하여 쉽게 측정할 수 있게 설계하였다.

3) RBF (Radial Basis Function)보간법

자연스러운 3D 얼굴을 구현하기 위해선 표준 얼굴 모형을 전송된 2장의 이미지에 나타난 얼굴로 변형해야한다. 표준 얼굴 모형은 1999개의 점으로 구

성되어있는데 일반적인 방법을 사용하면 얼굴의 변형이 부자연스럽게 변형될 수 있다.

이에 우리는 77개의 제어점에 RBF보간법을 적용하여 약 2000개의 점들을 자연스럽게 변환하도록 하였다.

RBF보간법은 기본 RBF보간법과 확장된 RBF보간법으로 구분할 수 있다[9]. 먼저 기본 RBF보간법과 확장된 RBF보간법에 대하여 설명한 후 본 논문에서 사용한 RBF보간법에 대하여 기술한다.

3-1) 기본RBF보간법

정의 (기본 RBF보간법) : n개의 서로 다른 데이터

$$\{\vec{x}_j\}_{j=1}^n \text{ 과 이에 대응하는 데이터 값 } \{f_j\}_{j=1}^n$$

에 대하여 기본 RBF보간식을 다음과 같이 정의한다:

$$s(\vec{x}) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \phi(\|\vec{x} - \vec{x}_j\|),$$

여기서 $\phi(r)$ 은 특정 radial 기저 함수이다 ($r \geq 0$). λ_j 는 주어진 값의 쌍 $s(\vec{x}_j) = f_j, j = 1, \dots, n$ 에 의하여 결정된다. 따라서 다음과 같은 행렬 방정식에 의하여 풀 수 있다:

$$A \lambda = f,$$

여기서 행렬 $A = [a_{j,k}], a_{j,k} = \phi(\|\vec{x}_j - \vec{x}_k\|), (1 \leq j, k \leq n)$, 열벡터 $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n]^T$ 이고, 열벡터 $f = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$ 이다.

위에서 기술한 radial 기저 함수 $\phi(r)$ 에는 다양한 종류가 있다. 아래 표 2에 주로 사용되는 몇 가지 예를 제시하였다.

<표 2> 자주 사용되는 radial 기저 함수

radial 기저 함수	$\phi(r), (r \geq 0)$
Gaussian(GA)	$e^{-(\epsilon r)^2}$
Inverse quadratic(IQ)	$\frac{1}{1 + (\epsilon r)^2}$
Inverse multiquadratic(IMQ)	$\frac{1}{\sqrt{1 + (\epsilon r)^2}}$
multiquadratic(IMQ)	$\sqrt{1 + (\epsilon r)^2}$
Linear	r
Cubic	r^3
Thin Plate Spline(TPS)	$r^2 \log r$

3-2) 확장된 RBF보간법

확장된 RBF보간법의 정의를 소개하기 위하여 다음의 정의가 먼저 필요하다.

정의($\Pi_m(R^d)$): $\Pi_m(R^d)$ 를 변수가 d 개이고 차수가 m 보다 같거나 작은 모든 다항식으로 이루어진 공간이라고 정의하고, M 을 $\Pi_m(R^d)$ 의 차원이라 하자.

위의 정의로부터 $M = \binom{m+d}{m}$ 임을 알 수 있다. 이제 확장된 RBF보간법에 대하여 알아보자.

정의(확장된 RBF보간법): n 개의 서로 다른 데이터 $\{\vec{x}_j\}_{j=1}^n$ 과 이에 대응하는 데이터 값 $\{f_j\}_{j=1}^n$ 에 대하여 확장된 RBF보간식을 다음과 같이 정의한다:

$$s(\vec{x}) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \phi(\|\vec{x} - \vec{x}_j\|) + \sum_{k=1}^M \gamma_k P_k(\vec{x}),$$

여기서 $\vec{x} \in R^d$ 이고, $\phi(r)$ 은 특정 radial 기저

함수이다($r \geq 0$). 그리고 $\{P_k(\vec{x})\}_{k=1}^M$ 은 $\Pi_m(R^d)$ 의 기저이다. 또한 다음의 제한 조건이 추가된다:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j P_k(\vec{x}_j) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, M.$$

λ_j 와 γ_k 는 위의 제한 조건과 주어진 값의 쌍 $s(\vec{x}_j) = f_j, j = 1, \dots, n$ 에 의하여 결정된다. 따라서 다음과 같은 행렬 방정식에 의하여 풀 수 있다:

$$\begin{bmatrix} A & P \\ P^T & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \\ O \end{bmatrix},$$

여기서 행렬 $A = [a_{j,k}]$, $a_{j,k} = \phi(\|\vec{x}_j - \vec{x}_k\|)$, ($1 \leq j, k \leq n$)이고 P 는 $n \times M$ 행렬로써 $P_k(\vec{x}_j)$ 를 원소로 갖는다($j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, M$). 벡터

$\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n]^T$, $\gamma = [\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n]^T$ 이고, 열벡터 $f = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$ 이고, O 는 영벡터이다.

3-3) 본 논문에서 사용한 RBF보간법

본 논문에서는 기본 RBF보간법을 사용했고, radial 기저함수으로써 Gaussian 함수를 사용했다. 좀 더 자세히 설명하면 다음과 같다.

2D영상에서 얻은 3차원 좌표에서 $\vec{x} = \langle x, y, z \rangle$ 의 값을 $\vec{u} = \langle u, v, w \rangle$ 로의 변환하는 식은 다음과 같다.

$$\vec{u} = T(\vec{x}) = [f_1(x), f_2(y), f_3(z)],$$

$$f_k(\vec{x}) = \sum_{i=1}^n A_{ik} \phi(r_i),$$

$$\phi(r_i) = e^{-1/r_i^2},$$

$$r_i = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]$$

f 는 각 축의 초기 정점에서 목적 정점에서의 변위를 나타내는 함수, A_{ik} 는 각 축별 제어점들의 가

중치, σ 는 매개변수 그리고 x_i, y_i, z_i 는 2D 이미지에서 얻은 3차원 특징점 좌표다. 제어점과 객체의 시작정보, 목적정보를 알고 있으므로 가중치를 구하고 매개변수를 조정하여 표준 얼굴 모형의 수식을 구할 수 있다.

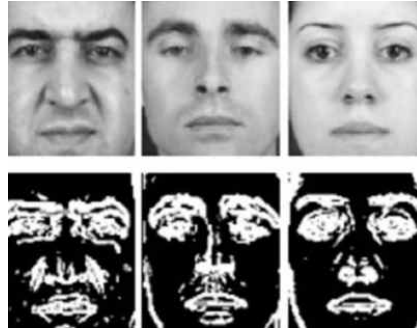
3.2 얼굴의 특징점 추출

```
<OpenCV>
CVAPI(CvMat*) cvGetAffineTransform ()
CVAPI(void) cvWarpAffine ()
```

표준 얼굴 모형의 텍스처 맵은 고정된 좌표를 가지고 있다. 따라서, 정면 사진의 특징점을 설정된 텍스처 맵의 좌표로 대응하는 행렬식을 이용하여 생성한다.

이 작업을 원활하게 수행하기 위해 OpenCV의 cvGetAffineTransform() 함수와 cvWarpAffine() 함수를 사용하였다. cvGetAffineTransform()는 원본 이미지의 꼭지점과 목적 이미지의 꼭지점을 파라미터로 변환 행렬식을 만들어 준다. cvWarpAffine()는 이 행렬식을 이용해 텍스처 맵에 정면사진을 매핑한다.

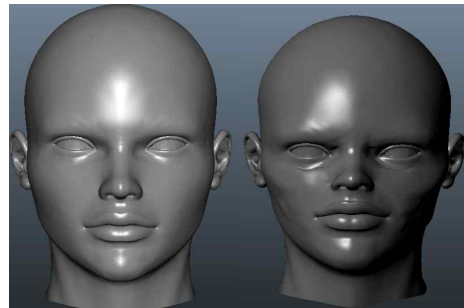
1) 얼굴의 특징점 및 높낮이 추출



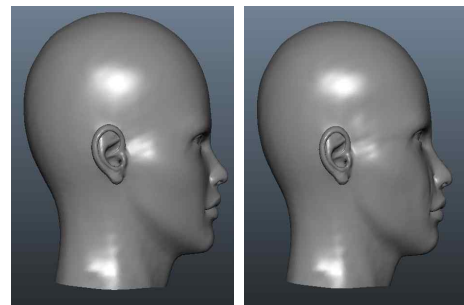
<그림 4> 얼굴 특징점 추출 및 엣지 검출

<그림 4>의 위 그림은 정면사진에서 ASM 알고리즘을 활용하여 얼굴 특징점들을 검출한 결과를 나타낸 것이고, <그림 4>의 아래 그림은 피부 이진화 기법과 엣지 검출을 나타낸 결과이다.

(2) 표준 얼굴 모델 변형



<그림 5> 표준 얼굴 모델 변형 예(정면)



<그림 6> 표준 얼굴 모델 변형 예(측면)

정면사진의 특징점과 측면사진의 높낮이 값을 활용하여 3차원 좌표를 생성하고 RBF 보간법을 이용하여 표준 얼굴 모델을 사진의 얼굴형으로 변환한다.

(3) 텍스처 맵 생성



<그림 7> 텍스처 생성

정면 사진에서 검출된 특징점을 텍스처 맵에 대응하도록 설정하고 특징점들의 폴리곤을 텍스처 좌표내의 폴리곤으로 변환하여 텍스처 맵을 생성한다.



<그림 8> 텍스처를 활용해 완성한 3D 모델

생성된 텍스처 맵을 두상 모델에 덮어 씌우는 작업을 수행하면 얼굴의 3D 모델이 완성된다.

IV. 결론

본 시스템은 특별한 장치 없이 오직 모바일 카메라를 이용하여 3D 모델링을 구현한다. 고가의 장비가 필요하고 높은 난이도 때문에 일반인들이 쉽게 접할 수 없었던 기존의 3D 모델링과는 달리 일반인

들도 쉽게 사용할 수 있는 모바일 카메라를 활용하므로 더 많은 사람들이 3D 모델링을 접할 수 있을 것이다.

졸업작품을 구현하면서 많은 영상처리와 3D에 관련된 기술들을 공부하였다. 많은 학술자료들과 기존에 있던 프로그램들을 분석하면서 이미지에서 얼굴을 추출하여 두상 형태의 모델에 정확하고 현실감 있는 맵핑 방법을 설계하고 구현할 수 있었다.

또한 영상처리 프로그램, 어플리케이션, 서버 간의 통신을 구현하기 위하여 네트워크 분야와 데이터베이스에 관련된 자료들도 많이 접하고 공부하였다.

기능 개선과 유지보수가 이루어진다면 헤어스타일을 추가하여 보다 더 현실감 있고 정확하게 얼굴이 3D 모델링 될 수 있을 것이며, 눈, 코, 입, 얼굴형 등 얼굴을 원하는대로 변형하는 것도 가능할 것이다.

본 논문에서는 기본 RBF보간법을 사용하였고, radial 기저함수로써 Gaussian 함수를 사용했다. 차후 연구에서는 다양한 기저함수와 확장된 RBF보간법을 이용하여 연구를 진행할 것이다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] Su, T. Lv, Z., Gao, S., Li, X. and Lv, H., "3d seabed: 3d modeling and visualization platform for the seabed," In Multimedia and Expo Workshops (ICMEW) 2014 IEEE

International Conference on IEEE, 2014, pp. 1-6.

[2] Compton, Brett G., and Jennifer A. Lewis., "3D-printing of lightweight cellular composites," *Advanced Materials* Vol. 26, No. 34, 2014, pp. 5930-5935.

[3] Van Ginneken, B., Frangi, A. F., Staal, J. J., ter Haar Romeny, B. M. and Viergever, M. A., "Active shape model segmentation with optimal features," *IEEE transactions on medical imaging*, Vol. 21, No.8, 2002, pp. 924-933.

[4] Phung S. L., Bouzerdoum A., and Chai D., "A novel skin color model in YCbCr color space and its application to human face detection," *Image Processing, Proceedings International Conference on IEEE*, Vol. 1, 2002, pp. I-289-I-292.

[5] Mostafa, L. and Abdelazeem, S., "Face detection based on skin color using neural networks," *GVIP 05 Conference*, 2005, pp. 19-21.

[6] Park, I. K., Zhang, H., Vezhnevets, V. and Choh, H. K., "Image-based photorealistic 3-D face modeling," *Automatic Face and Gesture Recognition, Proceedings Sixth IEEE International Conference on IEEE*, 2004, pp. 49-54.

[7] Zhang, M., Ma, L., Zeng, X. and Wang, Y., "Imaged-based 3D face modeling," *Computer Graphics, Imaging and Visualization, Proceedings International Conference on IEEE*, 2004, pp. 165-168.

[8] Bjarne Stroustrup, "The C++ Programming Language SE," Addison-Wesley, 2000.

[9] Wright, G. B., "Radial Basis Function

Interpolation: Numerical and Analytic Developments," Ph. D. Thesis, 2003.

■ 저자소개 ■



주 승 환
Ju Seunghwan

2011년 3월 ~ 현재
한국기술교육대학교 컴퓨터공학과(박사과정)
2011년 2월 한국기술교육대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
2009년 8월 한국기술교육대학교
컴퓨터공학과(공학사)

관심분야 : IoT보안, 보안기술응용
E-mail : judeng@koreatech.ac.kr



서 희 석
Seo Heesuk

2005년 3월 ~ 현재
한국기술교육대학교 컴퓨터공학과(교수)
2009년 8월 성균관대학교
전기전자및컴퓨터공학과(공학박사)
2005년 2월 성균관대학교
전기전자및컴퓨터공학과(공학석사)

관심분야 : 네트워크보안, 보안시뮬레이션, USN
E-mail : histone@koreatech.ac.kr



한 성 휴
Han Sunghyu

2009년 3월~현재
한국기술교육대학교 문리HRD학부(부교수)
2007년 2월 연세대학교 수학과(이학박사)
1999년 2월 연세대학교 수학과(이학석사)
1996년 8월 연세대학교 수학과(이학사)

관심분야 : 암호론, 부호론, Big Data
E-mail : sunghyu@koreatech.ac.kr

논문접수일: 2016년 10월 8일
수정일: 2016년 11월 21일
게재확정일: 2016년 11월 22일