

## 짝수 홀수 분해 기반의 가중 선형 보간법을 위한 커널 분석

오은주<sup>1</sup> · 유훈<sup>2\*</sup>

### Kernel Analysis of Weighted Linear Interpolation Based on Even-Odd Decomposition

Eun-ju Oh<sup>1</sup> · Hoon Yoo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Media Software, SangMyung University, Seoul 03016, Korea

<sup>2\*</sup>Department of Electronics, SangMyung University, Seoul 03016, Korea

#### 요 약

본 논문은 짝수 홀수 분해법에 기초한 가중된 선형 보간법(weighted Linear Interpolation; WLI) 커널 분석을 제안한다. 짝수 홀수 분해법은 기존에 알려진 CCI 보간법보다 복잡도가 낮고 개선된 화질을 제공해준다는 점에서 장점을 가지고 있다. 하지만 기존에는 EOD에 대한 커널이 부재했을 뿐 더러, 그에 대한 분석이 이루어지지 않았기에 본 논문은 EOD에 대한 커널 식을 제공한다. EOD에 의해 짝·홀수로 나누어진 벡터에 대한 커널 식을 제공하고 최종적으로 두 벡터의 합인 EOD 커널식을 제공한다. 최종적으로 유도된 EOD의 커널 식은 매개변수  $w$ 에 의해 정의된다.  $w$ 에 의해 정의된 커널 식이 WLI이며, 여기서  $w$ 는 보간 과정에 있어 성능을 좌우하는 역할로 사용된다. 또한 매개변수의 변화에 따른 커널의 형태의 변화에 관한 것도 제시한다. 또한, 매개변수에 대한 이해와 해당되는 커널의 형태 변화를 이해하기 위해서 실험과 토론을 제시한다.

#### ABSTRACT

This paper presents a kernel analysis of weighted linear interpolation based on even-odd decomposition (EOD). The EOD method has advantages in that it provides low-complexity and improved image quality than the CCI method. However, since the kernel of EOD has not studied before and its analysis has not been addressed yet, this paper proposes the kernel function and its analysis. The kernel function is divided into odd and even terms. And then, the kernel is accomplished by summing the two terms. The proposed kernel is adjustable by a parameter. The parameter influences efficiency in the EOD based WLI process. Also, the kernel shapes are proposed by adjusting the parameter. In addition, the discussion with respect to the parameter is given to understand the parameter. A preliminary experiment on the kernel shape is presented to understand the adjustable parameter and corresponding kernel.

**키워드**: 가중된 선형 보간법, 짝수 홀수 분해법, 영상 보간법, 영상 처리

**Keywords**: weighted linear interpolation, even odd decomposition, image interpolation, image processing

Received 1 August 2018, Revised 7 August 2018, Accepted 10 August 2018

\* Corresponding Author Hoon Yoo(E-mail:hunie@smu.ac.kr, Tel: +82-2-2287-5494)

Department of Electronics, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.11.1455>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

영상 보간법은 현대에서 사용되는 이미지 디스플레이, 영상 압축, 컴퓨터 그래픽 등 다양한 소프트웨어 프로그램에서 필수적인 기술이다[1-19]. 이미지 디스플레이, 특히 휴대용 단말기에서 줌 인 기능을 사용하는 등 영상을 확대하거나 기하학적인 변형을 가할 때 보간법의 사용은 불가피하다. 그 외에도 다양한 영상처리 분야에서 사용되는데, 그러한 이유로 수많은 영상 보간법에 관한 연구들이 이루어져 왔고, 그 중, 가장 보편적으로 사용되는 방법은 선형 보간법(linear interpolation; LI)과 3차 보간법(cubic convolution interpolation; CCI)이다 [7-9], [20-22].

최근에는 CCI보다 화질을 개선하고 복잡도를 떨어 트리는 짝수 홀수 분해법(even - odd decomposition; EOD)이 연구되었다[21][22]. EOD는 보간 과정에서 입력된 벡터를 짝수 벡터와 홀수 벡터로 나누고 각각에 부합하는 보간법을 통해 보간된 함수를 도출하는 신호 분해법이다. 분해된 짝수 벡터와 홀수 벡터는 대칭의 속성을 가지고 있고, 이 대칭성은 보간 과정에 있어 연산 비용을 줄여줄 뿐만 아니라 화질 개선에도 영향을 미칠 수 있다. 이 특징을 이용하여 EOD와 선형 보간법을 활용하여 가중된 선형보간법(weighted linear interpolation; WLI)을 제안한 연구도 진행되고 있다[21][22].

본 논문에서는 가중된 선형 보간법에서 사용되는 짝수 홀수 벡터에 대한 커널 식을 제공하고, 최종적으로 짝수 홀수 벡터의 합인 EOD에 대한 커널 식을 제공한다. 최종적으로 유도된 EOD 식은 매개변수  $w$ 에 의해 정의되고,  $w$ 의 값에 따라 보간의 성능이 좌우된다. 제안되는 가중된 선형 보간법은 기존의 CCI보다 복잡도가 떨어질 뿐만 아니라, EOD 방법보다 우수한 보간 성능을 보여준다는 점에서 기존의 방법보다 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 보간법과 EOD에 관한 기본 개념을 소개하고, 3절에서는 EOD와 짝수 홀수 벡터의 커널에 대한 분석 및 유도를 설명한다. 4절에서는 매개변수와 커널과의 관계에 대해 분석하고 마지막으로 5절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

## II. 기본 공식

### 2.1. Convolution에 기초한 보간법 개요

$f(x_k)$ 를 연속 함수  $f(x)$ 의 샘플이라고 가정하자. 사논의 정리는 만약 샘플 주파수가  $f(x)$ 의 최대 주파수보다 2배 높을 때 sinc를 이용한 보간은 완벽하게 샘플  $f(x_k)$ 로부터 연속함수  $f(x)$ 를 복원한다는 것을 보여주고 있다.  $f(x)$ 와 샘플  $f(x_k)$ 의 관계식은 다음 식 (1)과 같다.

$$f(x) = \sum_k f(x_k)\beta(x - x_k) = \sum_k f(k)\beta(x - k) \quad (1)$$

여기서  $\beta(x)$ 는 보간 커널이다. 만약 샘플이 균일하게 구성되어 있다면  $x_k$ 는  $k$ 로 대체가 가능하다. sinc 보간에서  $\beta(x)$ 는 sinc 함수의  $\sin(\pi x)/\pi x$ 로 정의된다. 하지만 sinc 함수는 무한한 영역을 가지고 있기 때문에 현실적으로 사용이 되는 데에 문제가 있다. 그렇기에 유한한 영역의 보간 커널이 연구되고 있다[1][6]. 짧은 영역의 보간 커널에서, 선형 보간 커널은 화질 대비 복잡도가 작기 때문에 가장 보편적으로 사용되고 있다. 선형 보간 커널은 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\beta_{Lin}(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & 0 \leq |x| < 1 \\ 0, & elsewhere \end{cases} \quad (2)$$

선형 보간법은 1차식으로 이루어져있기 때문에 완벽한 보간에 있어 문제점이 있었고, 그 점을 해결하기 위해 많은 연구가 이루어졌다. 그렇게 개선된 방법에는 3차식을 이용한 CCI 보간 커널이 있고 다음 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\beta_{CCI}(x) = \begin{cases} (\alpha + 2)|x|^3 - (\alpha + 3)|x|^2 + 1, & 0 < |x| \leq 1 \\ \alpha|x|^3 - 5\alpha|x|^2 + 8\alpha|x| - 4\alpha, & 1 < |x| \leq 2 \\ 0, & elsewhere \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서 매개변수  $\alpha$ 는 조절 가능하며 [1]에서는 -1/2를 권장하고 있다.

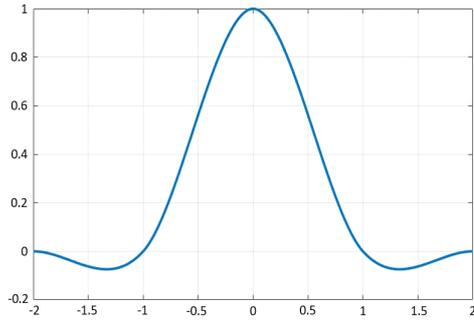


Fig. 1 Kernel of CCI

CCI커널은 이미지 화질에 있어 선형 보간 커널보다 더 나은 결과를 도출한다. 그러나 그림 1과 같이 선형 보간 커널에 비해 영역이 4로 늘어났고, 메모리가 2배로 사용되고 선형 보간 커널보다 연산 비용이 훨씬 많이 든다는 점에서 여전히 문제점이 존재한다.

구간별 보간법(piecewise interpolation)은 입력 신호를 구간별로 나누어 보간하는 방법이다. 한 구간 내에서 보간 신호 범위를  $0 \leq s < 1$ 로 두고 연속 함수  $f(s)$ 로 보간한다. 샘플로부터 연속 함수의 한 부분을 복원하는 이 방법은 식 (1)을 다시 정의하여 아래 식 (4)로 나타낼 수 있다. 여기서  $f(k)$ 는 구간별로 나뉘어진 입력 신호의 샘플이다.

$$f(s) = \sum_k f(k)\beta(s - k) \quad (4)$$

예를 들어, 식 (4)에 CCI 커널 식 (3)을 대입하면 식 (5)를 정의할 수 있다. 이 때, 앞서 권장하고 있는 매개변수  $\alpha = -1/2$ 를 함께 대입한다.

$$f(s) = f(-1)(-s^3 + 2s^2 - s)/2 + f(0)(3s^3 - 5s^2 + 2)/2 + f(1)(-3s^3 + 4s^2 + s)/2 + f(2)(s^3 - s^2)/2 \quad (5)$$

여기서  $\{f(-1), f(0), f(1), f(2)\}$ 는 구간별 보간 과정에서 입력되는 벡터로 볼 수 있다.

## 2.2. 짝수 홀수 분해법 (even-odd decomposition)

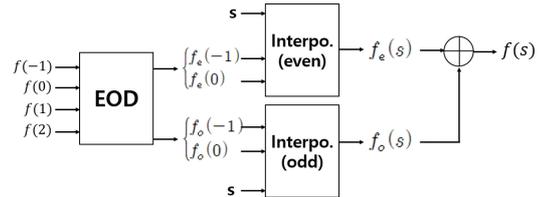


Fig. 2 Basic concept of EOD

그림 2와 같이 짝수 홀수 분해법(EOD)이란 구간별로 입력된 벡터를 짝수 벡터와 홀수 벡터로 분해하는 것이다. 분해된 짝수 벡터와 홀수 벡터에 대하여 각각 그에 맞는 보간법을 적용한다[21].

입력 벡터  $f = \{f(-1), f(0), f(1), f(2)\}$ 를 구간별 보간법 과정에서의 샘플로 가정해보자. 짝수 홀수 분해법에 의해 입력 벡터는 짝수 벡터  $f_e$ 와 홀수 벡터  $f_o$ 로 나누어진다. 각각의 벡터들은 다음 식 (6)과 같이 정의된다.

$$f_e(i) = \frac{f(i) + f(1-i)}{2} \quad (6)$$

$$f_o(i) = \frac{f(i) - f(1-i)}{2} = f(i) - f_e(i)$$

여기서  $f_e(i)$ 와  $f_o(i)$ 는  $i=-1$  to 2의 범위를 갖는다. 또한  $f_e(i)$ 와  $f_o(i)$ 는 각각 짝수 벡터, 홀수 벡터이고 짝수 벡터에 의해 보간된 함수를 짝수 함수  $f_e(s)$ 라 하고, 홀수 벡터에 의해 보간된 함수를 홀수 함수  $f_o(s)$ 라고 한다. 최종적으로 얻어지는 연속 함수  $f(s)$ 는 짝수 함수와 홀수 함수의 합으로 이루어지고 다음 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다[21].

$$f(s) = \sum_k f(k)\beta(s - k) = \sum_k (f_e(k) + f_o(k))\beta(s - k)$$

$$= \sum_k f_e(k)\beta(s - k) + \sum_k f_o(k)\beta(s - k)$$

$$= f_e(s) + f_o(s) \quad (7)$$

EOD분해법에 의해 분해된 짝수 벡터와 홀수 벡터에 동일한 커널을 적용 시킬 수 있지만, 각각 벡터의 성질이 다르기 때문에 각각의 벡터에 적합한 커널을 적용하는 것이 보다 바람직하다.

### III. 제안하는 방법

#### 3.1. 짝수 벡터와 홀수 벡터에 대한 특징 및 WLI 유도

짝수 벡터와 홀수 벡터를 보간했을 때 얻어지는 짝수 함수와 홀수 함수의 특징을 살펴보면, 짝수 함수  $f_e(s)$  는  $s=1/2$ 에 대해 대칭이고, 홀수 함수  $f_o(s)$ 는 점(1/2,0)에 대해 대칭이다. 그렇기에 한 구간만 보간 하여도 좌우를 대칭시킴으로써 음수 구간을 쉽게 도출해 낼 수 있다. 추가적으로, 홀수 벡터의 대칭성 때문에  $f_o(s)$ 는 항상 (1/2,0)을 지나기 때문에 그에 해당하는 에너지는 짝수 벡터에 비해 현저히 작다. 더 나아가, 홀수 벡터는 짝수 벡터에 비해 잡음이 훨씬 크다. 대체적으로 잡음은 보간 결과에 있어 영향을 미친다. 그래서 고차원의 보간법은 홀수 벡터의 설계에 있어 지양되는 부분이다.

앞서 식 (7)의 보간 함수  $f(s)$ 를 커널화 시키기 위해선 다음의 과정이 필요하다. 식 (4)에 식 (7)을 대입하여 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$f(s) = \sum_k f(k)\beta_{WLI}(s-k) \quad (8)$$

여기서  $\beta_{WLI}(s-k)$ 는  $\beta_{WLI}(x)$ 로 대체 가능하고  $\beta_{WLI}(x)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta_{WLI}(x) = \beta_{odd}(x) + \beta_{even}(x) \quad (9)$$

#### 3.2. 홀수 벡터에 대한 커널의 유도

홀수 벡터를 보간하기 위해 고안된 방법은, 단순하게 선형 보간법을 적용시키는 것이다. 그렇기에 홀수 함수  $f_o(s)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} f_o(s) &= (1-s)f_o(0) + sf_o(1) \\ &= (1-2s)f_o(0) \end{aligned} \quad (10)$$

이 때  $s$ 는  $0 \leq s \leq 1$ 의 범위를 가진다. 식 (6)에 구간별 보간 과정에서 사용되는 샘플 벡터  $\{f(-1), f(0), f(1), f(2)\}$ 를 적용하여 각 샘플별 벡터 값을 구하고 그 값을 식 (10)에 적용시켜 홀수 벡터의 꼴을 유추할 수 있다.

식 (6)을 이용해 구한  $1 < |x| \leq 2$ 구간에서의  $f_o(0)$

값은 0이므로 보간 식은 결과적으로 0이 된다.  $0 < |x| \leq 1$  구간에서는  $f_o(0)$  값이 음수 구간에서는 -1/2, 양수 구간에서는 1/2이다. 이를 적용하여 커널 식을 구하면 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$\beta_{odd}(x) = \begin{cases} 0.5 - |x|, & 0 < |x| \leq 1 \\ 0, & 1 < |x| \leq 2 \\ 0, & elsewhere \end{cases} \quad (11)$$

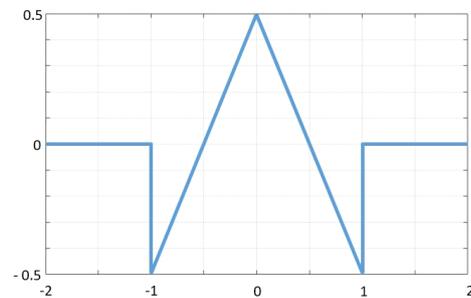


Fig.3 kernel of odd vector

그림 3을 살펴보면  $-1 < x \leq 1$ 구간이 기존의 선형 보간법에 비해  $x$  축이 0.5 아래로 치우친 꼴이 나오는 것을 확인할 수 있다.

홀수 함수  $f_o(s)$ 에 선형 보간법을 사용하는 이유는 홀수 함수  $f_o(s)$ 는 전체 보간 과정에 미미한 영향을 미치고, 홀수 구간은 잡음에 예민하기 때문이다. 그렇기에 상대적으로 단순한 선형 보간법을 적용시키는 것이다. 게다가 선형보간법은 연산 구조에 있어 복잡도를 떨어트리는 역할을 한다.

#### 3.3. 짝수 벡터에 대한 커널의 유도

기존에 알려진 짝수 벡터에 대한 식은 다음과 같다.

$$f_e(s) = f_e(0) + (f_e(0) - f_e(-1))ws \quad (12)$$

이때, 짝수 벡터에서는  $s \geq 1/2$ 일 때  $s = 1-s$ 를 적용한다. 이 보간 공식은 선형으로 나타나며, 가중치  $w$ 가 적용되어있다.

홀수 벡터와 마찬가지로 식 (6)을 이용하여 구간별 샘플 벡터  $\{f(-1), f(0), f(1), f(2)\}$ 의 값을 구한 후, 구간별 커널 식을 유도할 수 있다. 짝수 벡터는  $y$  축을 기

준으로 좌우 대칭이므로 양수 구간만 유도하도록 한다.  
 $1 < |x| \leq 2$  구간에서의  $f_e(-1)$  과  $f_e(0)$  은 각각  $1/2$  과  $0$  의 값을 가진다.  $0 < |x| \leq 1$ 에서는  $f_e(-1)$  과  $f_e(0)$  에서 각각  $0$  과  $1/2$ 의 값을 가지고 있다. 이 벡터값을 식 (12)에 적용하면 구간별로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\beta_{even}(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1}{2}w \cdot |x| & , 0 < |x| \leq 0.5 \\ w(-\frac{1}{2}|x| + \frac{1}{2}) + \frac{1}{2} & , 0.5 < |x| \leq 1 \\ w(-\frac{1}{2}|x| + \frac{1}{2}) & , 1 < |x| \leq 1.5 \\ w(\frac{1}{2}|x| - 1) & , 1.5 < |x| \leq 2 \\ 0 & , elsewhere \end{cases} \quad (13)$$

우리는 다음과 같은 보간 과정을 짝수 벡터의 가중 선형보간법 (weighted linear interpolation; WLI)이라고 부른다[21]. 매개변수  $w$ 는 각각의 방법이나 실험에 따라 결정 가능하며, 매개변수  $w$ 를 결정하기 위한 방법은 대개 연산 비용을 증가시킨다는 단점이 있다. 짝수 커널은 그림 4와 같이  $x$  구간별 좌우 대칭을 이루는 특징을 가지고 있다.

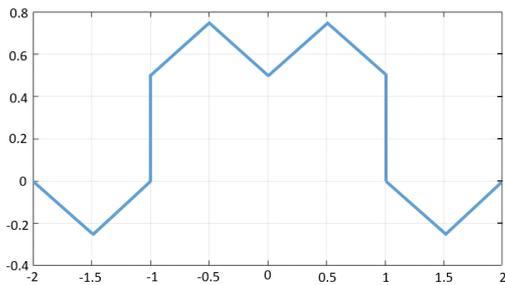


Fig. 4 kernel of even vector

#### IV. 실험 및 토의

식 (9)에 의해 최종적으로 짝수 벡터  $\beta_{even}(x)$ 와 홀수 벡터  $\beta_{odd}(x)$ 의 합은 다음과 같이 이루어진다.

$$\beta_{WLI}(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}w|x| - |x| + 1 & , 0 < |x| \leq 0.5 \\ w(-\frac{1}{2}|x| + \frac{1}{2}) - |x| + 1 & , 0.5 < |x| \leq 1 \\ w(-\frac{1}{2}|x| + \frac{1}{2}) & , 1 < |x| \leq 1.5 \\ w(\frac{1}{2}|x| - 1) & , 1.5 < |x| \leq 2 \\ 0 & , elsewhere \end{cases} \quad (14)$$

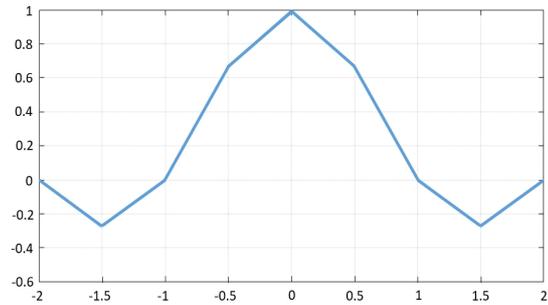


Fig. 5 kernel of WLI ( $w=1$ )

식 (14)에 의해 다음과 같은 가중된 선형 그래프를 구할 수 있다. 예를 들어,  $x=0$ 인 구간은 각 함수의  $x=0$ 인 구간의 합인 1이 매칭되는 것을 확인할 수 있다. 그림 5의 그래프와 같이, 매개변수  $w$  값에 따라  $x=\{-1.5, -0.5, 0.5, 1.5\}$  구간의 꺾은 정도가 달라진다.

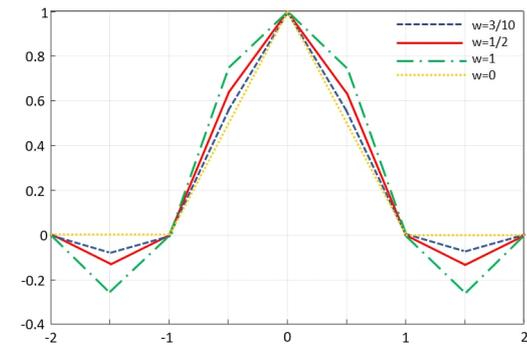


Fig. 6 kernel of WLI according to parameter  $w$

그림 6에서, 매개변수  $w$ 의 값이 작아짐에 따라 그래프의 꺾은 정도가 약해지는 것을 확인할 수 있다. 또한  $w=0$ 일 때에는 기존의 선형보간법(LI)과 동일한 꼴을 띄는 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 효율적인 가중된 선형 보간을 위해 짝수 벡터와 홀수 벡터의 커널 분석 및 가중된 선형 보간식에 대한 커널 식을 제안한다. 이는 보간의 성능을 좌우하는 매개변수  $w$ 로 이루어져 있어 기존의 CCI 방법보다 복잡성이 떨어지고 EOD보다 우수한 보간을 한다는 것을 알 수 있다. 또한, 선형으로 이루어진 보간법이 기 때문에 보다 단순하고 저비용을 요구한다는 점에서 전체적으로 보았을 때 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 가중된 선형 보간법은 고속화된 보간법을 사용해야 하는 휴대용 단말기에서 신속하면서도 우수한 보간을 제공한다는 점에서 유용하게 사용될 수 있다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by basic science research program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (NRF-2016R1D1A1A09917503)

## REFERENCES

- [1] R. G. Keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 29, no. 6, pp. 1153 - 1160, Dec. 1981.
- [2] H. Yoo, "Closed-form least-squares technique for adaptive linear image interpolation," *IET Electronics Letters*, vol. 43, no. 4, pp. 210-212, Feb. 2007.
- [3] W. Dong, L. Zhang, R. Lukac, and G. Shi. "Sparse representation based image interpolation with nonlocal autoregressive modeling," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, no. 4, pp. 1382-1394, Apr. 2013.
- [4] J. J. Huang, W. C. Siu, and T. R. Liu, "Fast image interpolation via random forests," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 24, no. 10, pp. 3232-3245. Oct. 2015.
- [5] Y. Zou, G. Zhang, M. Linderman, and W. Xu, "A comparison among spatial interpolation techniques for daily rainfall data in Sichuan Province, China," *International Journal of Climatology*, vol. 35, no. 10, pp. 2898-2907, Aug. 2015.
- [6] E. H. W. Meijering, "A chronology of interpolation: From ancient astronomy to modern signal and image processing," *Proceedings on the IEEE*, vol. 90, no. 3, pp. 319 - 342, Mar. 2002.
- [7] S. H. Hong, L. Wang, T. K. Truong, T. C. Lin, and L. J. Wang, "Novel approaches to the parametric cubic-spline interpolation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, no. 3, pp. 1233-1241, Mar. 2013.
- [8] H. Yoo, "Closed-form least-squares technique for adaptive linear image interpolation," *IET Electronics Letters*, vol. 43, no. 4, pp. 210-212, Feb. 2007.
- [9] T. Athawale and A. Entezari, "Uncertainty quantification in linear interpolation for isosurface extraction," *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, vol. 19, no. 12, pp. 2723-2732, Dec. 2013.
- [10] H. Yoo and J. Jeong, "Direction-oriented interpolation and its application to de-interlacing," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 48, no. 4, pp. 954-962, 2002.
- [11] D. H. Shin and H. Yoo, "Computational integral imaging reconstruction method of 3D images using pixel-to-pixel mapping and image interpolation," *Elsevier Optics Communications*, vol. 282, no. 14, pp. 2760-2767, 15 July 2009.
- [12] J. E. Bae and H. Yoo, "Efficient image-stitching using preprocessing for a super resolution image," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 9, pp. 1738-1743, Sep. 2017
- [13] H. A. Jung and H. Yoo, "A fast and accurate method of extracting lens array lattice in integral imaging," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 9, pp. 1711-1717, Sep. 2017.
- [14] H.-G. Kim and H. Yoo, "Image enhancement for computed tomography using directional interpolation for sparsely-sampled sinogram," *Elsevier Optik*, vol. 166, pp.227-235, Aug. 2018.
- [15] H. Yoo "Transformations and Their Analysis from a RGBD Image to Elemental Image Array for 3D Integral Imaging and Coding," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 12, no. 5, May 2018.
- [16] Y. Lee and H. Yoo, "Three-dimensional visualization of objects in scattering medium using integral imaging and spectral analysis," *Elsevier Optics and Lasers in Engineering*, vol. 77, no. 2, pp. 31-38, Feb. 2016.
- [17] H. Yoo, D-K Shin, and M. Cho, "Improved depth extraction method of 3D objects using computational integral imaging

- reconstruction based on multiple windowing techniques,” *Elsevier Optics and Lasers in Engineering*, vol. 66, no. 3, pp. 105-111, Mar. 2015 (online 19 Sep. 2014).
- [18] J. H. Lee and D. H. Choi, “Palm Lines Extraction on a High Resolution Image using Mosaic-like Method,” *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 6, No. 3, pp. 9-17, March 2016.
- [19] J. E. Bae, H. J. Cho, H. Yoo, “Geometric symmetry using rotational scanning method for circular form detection,” *Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, Vol.9, pp.1000-1002, 2018.
- [20] H. Yoo, S. P. Lee, and B. C. Jang, “Design of Two-Point Interpolation Filters by Modifying Linear Interpolation Kernel,” *Far East Journal of Electronics and Communications*, vol. 10, no. 2, pp. 131-139, 2013.
- [21] H. Yoo, and B. D. Choi, “Design of Piecewise Weighted Linear Interpolation Based on Even-Odd Decomposition and Its Application to Image Resizing,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, no. 4, pp. 2280-2286, Nov. 2009.
- [22] H. J. Cho and H. Yoo, “Efficient Modifications of Cubic Convolution Interpolation Based on Even-Odd Decomposition,” *The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 63, No. 5, pp. 690-695, May. 2014.



**오은주(EunJu Oh)**

2018년 9월~현재: 상명대학교 컴퓨터과학과 석사과정  
 ※ 관심분야 : 영상처리, 영상 보간법



**유 훈(Hoon Yoo)**

1990~1997 : 한양대학교 전자통신공학과 공학사  
 1997~1999 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사  
 1999~2003 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학박사  
 2003~2005 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원  
 2005~2008 : 동서대학교 컴퓨터정보공학부 조교수  
 2008~2012 : 상명대학교 디지털미디어학부 조교수  
 2012~2017 : 상명대학교 미디어소프트웨어학과 부교수  
 2017~현재 : 상명대학교 융합전자공학과 정교수  
 1997.2.26. : 제3회 삼성전자 휴먼테크 논문상 대회 입상  
 2003~2005 : 삼성전자 위성DMB 폰, 지상파DMB 폰 최초 개발 및 양산  
 ※ 주요관심분야 : 영상처리, 3차원 집적 영상 처리