

# 복부 CT 영상에서의 그레이 수준 형태 기반 보간법 구현과 성능 평가

성 원\*, 박종원\*\*

\*충남대학교 컴퓨터공학과

\*\*충남대학교 정보통신공학과

e-mail : wseong@ce.cnu.ac.kr

## A Method and Analysis of Gray Level Shape-Based Interpolation in Medical CT Image

Won Seong\*, Jong-Won Park\*\*

\*Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

\*\*Dept. of Information and Communication Engineering, Chungnam National University

### 요약

오늘날 CT 나 MR 등을 통한 의학 영상 기술과 컴퓨터 성능의 향상으로 인체 내부 장기의 영상을 비교적 용이하게 얻을 수 있으며 얻어진 영상 정보는 컴퓨터로 수치화 되므로 데이터의 조작 및 가공이 용이하다. 그러나, 이렇게 얻어진 의학 영상들은 보통 2 차원적 슬라이스 image 형태로 얻어진다. 일반적으로 슬라이스 사이의 간격은 조사량 등 여러 문제 때문에, 항상 동일한 간격을 유지하고 있지 않은 경우가 많으며 슬라이스 사이 간격이 슬라이스 내의 픽셀 간격보다 큰 경우가 대부분이다. 이러한 image 로부터 3 차원적 디스플레이나, 조작, 분석을 하기 위해서는 같은 간격의 image 를 얻어야 한다. 이러한 이유로 인하여 보간(Interpolation) 기법이 의학 영상 분야에서 많이 사용된다. 본 논문은 형태-기반 보간 방법을 gray-scale image 에 적용이 가능하도록 확장한 그레이 수준 형태 기반 보간 알고리즘을 구현하였다. 그리하여, 본 논문이 제안한 알고리즘을 슬라이스 간격이 큰 2 차원 복부 CT 영상에 적용시켜 다른 보간법들보다 향상된 결과를 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

오늘날, 의료 기기의 발달로 인해 MR, CT 같은 인체 내부의 사진을 쉽게 얻게 되었고, 이를 이용하여 많은 정보를 얻을 수 있게 되었다. 이들 2 차원 image 로부터 얻어진 정보를 이용하여 특정 장기나 인체의 특정 부분을 3 차원 image 로 구성할 수 있다. medical image 는 보통 2 차원적 슬라이스 image 형태로 얻어진다. 일반적으로 슬라이스 사이의 간격은 조사량 등 여러 문제 때문에, 항상 동일한 간격을 유지하고 있지 않은 경우가 많으며[1] 슬라이스 간 간격이 슬라이스 내의 픽셀 간격보다 큰 경우가 대부분이다. 이러한 image 로부터 3 차원적 디스플레이나, 조작, 분석을 하기 위해서는 같은 간격의 image 를 얻어야 한다[2]. 그러나 동일한 image 간격을 갖게 되면 image 의 크기가 기하 급수적으로 증가하게 된다[1]. 그리고 가지고 있는 기존의 image 정보가 항상 우리가 원하는 특정 간격의 슬라이스 image 라는 요구 조건을 만족시켜줄 수 없는 경우가 많다. 보간(Interpolation) 연산은 이러한 문제를 해

결하기 위해 의학 영상 분야에서 많이 사용된다.

보간 연산은 image 처리, 컴퓨터 그래픽, medical image 등에 자주 사용되는 연산으로 동일한 간격의 image 를 얻거나, 다양한 형식으로 존재하는 CT, MR 등과 같은 object 에 대한 정보를 합성하거나, 격자 시스템을 변환하거나 바꾸기 위해 사용한다[1]. 본 논문에서 사용되는 목적은 medical image 처리에서 요구되는 등간격의 image 를 얻기 위해서이다.

Interpolation 방법은 크게 scene-based 방식과, object-based 방식으로 나뉜다[1]. 이들 방식은 선형 보간(linear interpolation), 스플라인 보간(spline interpolation), 거리 정보를 이용하는 형태-기반 보간 등의 여러 방법들로 나뉘질 수 있는데 그 중 보다 좋은 결과를 보이는 방법이 형태-기반 보간 방법이다. 형태-기반 보간법은 기본적으로 object 로부터 계산되는 거리 정보를 이용하는 방법으로서 오브젝트가 분명히 구분되는 binary image 에만 적용된다[2]. 따라서 일반적으로 오브젝트의 구분이 선행되어지지 않는다면 그레이 수준의 슬라이스 image 에 직접 적용하기에 부적합하게 된다. 때문에 그레이 수준의 보간에 적

용하기 위해서는 별도의 처리가 요구된다. 본 논문에서는 형태-기반 보간 방법을 gray-scale image 에 적용 가능하도록 확장 알고리즘을 구현하였고, 그 결과 image 를 linear 보간법, cubic spline 보간법 각각의 결과 image 와 비교하였다.

## 2. 방법

이 장에서는 형태-기반 보간 방법을 gray-scale image 에 적용이 가능하도록 확장한 알고리즘을 설명한다. 전체적인 과정은 다음과 같다.

형태-기반 보간법은 object-based 알고리즘이다. 따라서 선행되는 과정이 입력 image 로부터 관심 영역 즉 오브젝트를 구별하는 처리가 필요하다. 처리가 된 후 거리를 계산하는 shape-based 고유의 과정을 거치게 되는데, 이 과정을 거치게 되면 더 이상 image 의 픽셀은 본래 gray 값을 잃어버린다. 따라서 입력 image 의 고유 값 gray-level 을 변형하지 않고 전체 image 를 interpolation 하는 과정에 shape-based interpolation 은 적용시킬 수 없게 된다.

본 논문은 gray-level 의 2 차원 입력 image 에 형태-기반 보간법을 적용 가능하도록 Grevera, Udupa 등이 gray-level image 의 크기를 변환하기 위해 사용했던 과정을 응용하여 처리과정을 추가하고자 한다[3][4][5]. 처리과정은 크게 lifting, chamfering, 보간, collapsing 으로 이루어진다.

### 2.1 Lifting

Lifting 과정은 n 차원의 gray scene( $V, f$ )을 n+1 차원의 binary scene( $V_L, f_L$ )로 변환하는 것을 말한다.

$$V_L = V \times M \quad \text{여기서 } M = \{1, l+1, \dots, h-1, h\}$$

l, h 는 각각 ( $V, f$ )에서의 최소, 최대 밀도이다.

$$\begin{aligned} \text{For all } v < v_1, v_2, \dots, v_n > \in V \text{ and } m \in M \\ f_L(< v_1, v_2, \dots, v_n, m >) = 1 \text{ iff } f(< v_1, v_2, \dots, v_n >) \geq m \\ \text{otherwise, } f_L(< v_1, v_2, \dots, v_n, m >) = 0 \end{aligned}$$

Lifting 처리과정은 stacking 필터를 이용한 threshold 분할 작업 또는 stacking 연산의 n 차원 일반화로 생각할 수 있다.

위 식으로 얻어진 binary image 각각은 바로 형태-기반 보간법에 적용될 수 있다.

### 2.2 Chamfering

얻어진 binary image 를 일반 shape-based interpolation 처리 오브젝트와 나머지 영역으로 구분한다. 거리를 계산하는 과정은 shape-based interpolation 에서 소개했던 chamfer 처리 과정을 이용하였으며, 사용한 템플릿은 near-optimal 3X3 이다. Near-optimal 템플릿 3X3 와 5X5 두 가지의 결과

비교에서 둘 사이의 성능의 차이가 매우 작고, 대신 복잡도에서 5X5 가 복잡하기 때문에 3X3 를 사용하였다[6].

#### 2.2.1 phantom image 를 통한 distance MAX 값 결정

일반적으로 복부 CT image 를 대상으로 하였는데, 복부 CT image 의 특성상 두 슬라이스 image 사이의 거리가 10mm 인 경우가 대부분이었다. 이 경우 위 슬라이스와 아래 슬라이스에 공통으로 나타나는 특정 장기 영역이 많은 편차를 보이게 된다. 따라서 기존에 소개 하였던 chamfering 과정에서 몇 가지 파라미터를 보정해 주었다. 이 과정에서 간단한 모형 image 를 만들어 image 에서 볼 수 있는 편차의 크기별 오차를 구하여 chamfering 연산시 초기화하는 적절한 최대 최소 임계 거리 값을 구하였다.

일반적으로 복부 CT image 에서 볼 수 있는 오브젝트의 심한 편차는 약 50 픽셀 가량이며, 이 경우를 간단한 테스트 image 로 chamfering 과정 후 interpolation 한 결과 최대 최소 초기화 거리가 -500 ~ 500 범위의 값을 갖는 경우 중간 슬라이스의 경계 값이 가장 정확했다. 따라서 본 논문에서 구현된 chamfering 과정에서 사용된 모든 경우에 고정적인 값 -500 ~ 500 으로 거리 값의 범위를 보정하였다. 나머지 chamfering 과정은 [6]에서 소개한 과정을 따랐다.

### 2.3 보간

Linear interpolation 과 spline interpolation 두 가지 방법이 가능하였으나 lifting 과정의 이후 알고리즘의 시간에 대한 비용 증가가 크기 때문에, linear interpolation 을 사용하였다. 실제 cubic spline interpolation 을 shape-based 과정에 적용하였을 때 좀 더 우수한 결과를 얻을 수 있음이 밝혀져 있다[6].

### 2.4 Binary conversion

Interpolation 과정 다음에 다시 원래의 gray-level image 로 변환하기 위해 각 binary image 로서 interpolation 결과 image 를 얻어야 한다. 본 논문에서는 시간적인 면을 고려하여 binary image 로 변환하는 과정을 생략하고 곧바로 거리 gray 값을 가진 결과 image 로부터 gray-level image 로 collapsing 하는 과정으로 구현하였다.

### 2.5 Collapsing

lifting 의 반대되는 처리 과정으로 n+1 차원의 binary scene 으로부터 n 차원의 gray-level scene 를 얻는 과정이다.

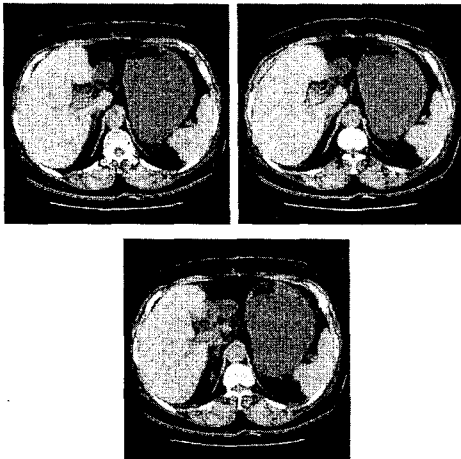
n+1 차원의 binary scene 를 ( $V_B, f_B$ ), n 차원 gray-level scene 를 ( $V_U, f_U$ )라 하면 collapsing 방법은 다음과 같다

$$\begin{aligned} V_U = \{ < v_1, v_2, \dots, v_n > | < v_1, v_2, \dots, v_n, m > \in V_B \} \\ \text{and for all } < v_1, v_2, \dots, v_n > \in V_U \\ f_U(< v_1, v_2, \dots, v_n >) = \max \{ m | f_B(< v_1, v_2, \dots, v_n, m >) = 1 \} \end{aligned}$$

### 3. 실험 결과

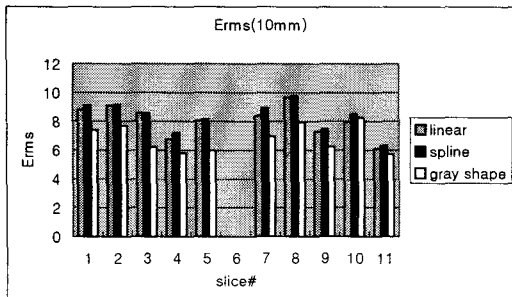
입력 image 는 복부 CT image 로 하였으며, 256 그레이 수준 512 \* 512 크기이다. 보간 알고리즘으로 linear, cubic spline(natural cubic spline)[7], 그레이 수준 형태-기반 보간(near-optimal 3\*3, linear)를 사용하였다. 결과 image 의 비교 방법은 다음과 같다.

중간 슬라이스에 해당하는 실제 image 를 제외시키고, 그 중간 슬라이스와 인접한 위 아래 슬라이스를 입력 image 로 하여, 각각의 알고리즘에 적용한 결과 image 를 얻었다. 이 결과 image 와 중간 슬라이스 image 를 서로 비교하여 Erms, SNRrms, SNRpeak 값을 구하여 각 알고리즘 간의 결과 image 의 정확도를 비교하였다.



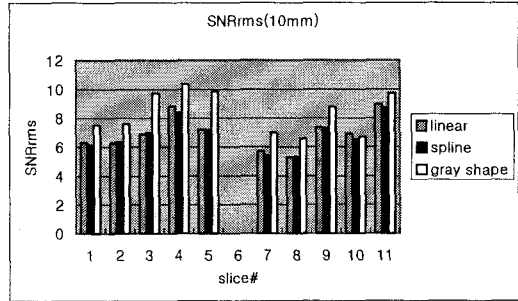
[그림 1] 인접한 두 슬라이스와 보간된 슬라이스(아래)

그림 1 은 인접한 두 슬라이스와 그레이 수준 형태-기반 보간법으로 생성시킨 결과 슬라이스를 보여주고 있다. 직관적으로도 완벽한 보간은 이뤄지지 않음을 알 수 있다. 그러나, 그레이 수준 형태-기반 보간법은 그림 2 에서처럼

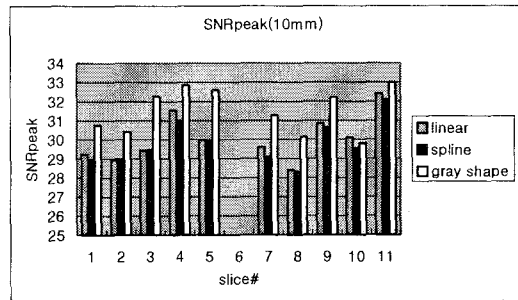


[그림 2] Erms 를 통한 세 보간법 비교

다른 두 보간법과의 Erms 에서 더 나은 결과를 보임을 알 수 있었다. 여기서 사용되는 Erms 값은 더 작은 경우가 원 image 에 더 가까운 image 임을 말해주는 것이다 [8].



[그림 3] SNRrms 를 통한 세 보간법 비교



[그림 4] SNRpeak 를 통한 세 보간법 비교

그림 3 와 그림 4 에서는 SNRrms 와 SNRpeak 값을 통한 세 보간법 비교를 보여주고 있다. Erms 값이 더 작은 비교 image 가 원 image 에 더 가까운 image 였던 것을 말해주는 것과는 달리, SNRrms 와 SNRpeak 에서는 더 큰 값을 가질수록 비교 image 가 원 image 에 더 가까운 image 임을 말해주는 것이다. 결국, 본 연구에서 제안한 기법이 보간 image 생성에 더 나은 성능을 보임을 알 수 있다. 표 1 은 그림 2,3,4 의 도표에 반영시킨 영상 실험의 평균 값들을 나타내고 있다.

[표 1] 10mm 간격 슬라이스 각 평균

	Erms	SNR <sub>RMS</sub>	SNR <sub>PEAK</sub>
Linear	8.082532	6.974961	30.05525
Spline	8.323332	6.842935	29.7914
Gray Shape	7.73243	7.387891	30.45933

### 4. 결론

의학적 용도로 사용되는 image 의 처리에 있어, 눈으로 보는 시각적 효과 뿐만 아니라 그 정확도는 기타 다른 분야의 image 처리와 달리 매우 중요한 성격을 갖는다.

의학의 발달로 인해 인체의 영상을 얻을 수 있게 되었고, 이들 이차원 슬라이스 image 정보를 이용해 좀 더 실제 모습과 같은 3 차원 image 를 얻을 수 있게 되었다[2]. 그러나 이 과정에서 의학 image 의 특성상 보간 과정이 필요하게 되며, 이것은 정확도와 크게 영향을 미칠 수 있다. 앞서서도 살펴 보았듯이 형태 기반 보간법을 그레이 수준으로 확장시킨 그레이 수준 형태 기반 보간법은 spline, linear 와 같은 gray level interpolation 보다 우수한 결과를 보여주었다. 그러나 보간의 한계상 항상 오차는 존재하며, 그러한 오차가 커지는 상황이 이 알고리즘에도 존재한다. 대표적인 경우로 좁은 영역이 두 슬라이스에서 서로 어긋나 있거나, 또 증가 변화율에서 감소 변화율로 돌아서는 예기치 않는 상황에선 좋지 않은 결과를 나타내기도 한다. 그러나 그레이 수준 형태-기반 보간법은 복부 CT 같이 변화율이 크지만 인접한 슬라이스에 영역이 서로 겹치는 슬라이스 사이의 간격이 큰 경우에 다른 알고리즘의 결과보다 더 좋은 결과를 보였고 특히 간격이 큰 경우엔 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

연구 지원으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] George J. Grevera, Jayaram K. Udupa, "Shape-Based Interpolation of Multidimensional Grey-Level Images", IEEE tran. Medical imaging, Vol 15, No. 6, december 1996
- [2] Gabor T. Herman, Jingsheng Zheng, and Carolyn A. Bucholtz, "Shape-based Interpolation", IEEE computer graphics & applications pp 69-79 1992
- [3] Roberto A. Lotufo, Gabor T. Herman, Jayagram K. Udupa, "Combining shape-based and gray-level interpolation", SPIE Vol. 1808 Visualization in Biomedical Computing 1992 289-298
- [4] SAI PRASAD RAYA, JAYARAM K. UDUPA., "Shape-Based interpolation of Multidimensional Objects", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING. VOL. 9. NO. 1 MARCH 1990 pp 33-42
- [5] W. Higgins, C. Morice and E. Ritman, "New shape-based interpolation technique for three-dimensional image", Proc IEEE int. conf. Acoust speech Signal Process, pp. 1841-1844, 1990
- [6] Scott. E. Umbaugh, *Computer vision and Image Processing: A Practical Approach Using CVIPtools*, Prentice Hall PTR, 1998.
- [7] Sky Mckinley and Megan Levine, "Cubic Spline Interpolation"
- [8] George J. Grevera, Jayaram K. Udupa, "Task-Specific Evaluation of Three-Dimensional Image Interpolation Techniques", IEEE trans. On medical imaging. Vol. 18. No.2 february 1999