

확대 영상의 몽롱화 현상을 제거하기 위한 보간 알고리즘 연구

이준호*

(논문접수일 2010. 1. 5, 심사완료일 2010. 6. 16)

A Study on the Interpolation Algorithm to Improve the Blurring of Magnified Image

Jun-Ho Lee*

Abstract

This paper analyzes the problems that occurred in the magnification process for a fine input image and investigates a method to improve the blurring of magnified image. This paper applies a curve interpolation algorithm in CAD/CAM for the same test images with the existing image algorithm in order to improve the blurring of magnified image. As a result, the nearest neighbor interpolation, which is the most frequently applied algorithm for the existing image interpolation algorithm, shows that the identification of a magnified image is not possible. Therefore, this study examines an interpolation of gray-level data by applying a low-pass spatial filter and verifies that a bilinear interpolation presents a lack of property that accentuates the boundary of the image where the image is largely changed. The periodic B-spline interpolation algorithm used for curve interpolation in CAD/CAM can remove the blurring but shows a problem of obscuration, and the Ferguson's curve interpolation algorithm shows a more sharpened image than that of the periodic B-spline algorithm. For the future study, hereafter, this study will develop an interpolation algorithm that has an excellent improvement for the boundary of the image and continuous and flexible property by using the NURBS, Ferguson's complex surface, and Bezier surface used in CAD/CAM engineering based on the results of this study.

Key Words : Magnified image(확대영상), Nearest neighbor(최근접 이웃), Gray level(그레이레벨), Low pass filter(로우 패스 필터), Bilinear(쌍일차), Interpolation(보간)

* 한국폴리텍I대학 서울정수캠퍼스 LCD반도체시스템과 (leeyj@chol.com)
주소: 140-823 서울 용산구 보광동 238

1. 서론

사람의 형상 인식 능력은 망막에 맺히는 영상이 배율에 독립적이다. 이 원리에 따라 기존의 고정된 형상 판독을 이용하지 않고, 형상 판독에 유리한 여러 방법을 사용하여 성능을 향상시키려는 연구가 진행되고 있다. 아주 미세한 입력 영상의 구성 요소를 자세히 표현하고자 할 때, 가장 보편적인 방법으로는 영상을 확대하는 것이다. 그러나 단순히 입력 영상을 임의의 표본 비율로 변화시키는 방법으로 확대하면 구역이나 윤곽선 표현이 잘못되어 제대로 인식할 수 없는 문제가 발생된다. 특히, 생산 제품을 자동으로 검사하여 합격 여부를 판단하는 자동 영상 검사 시스템인 경우 이러한 문제는 심각하다⁽¹⁻⁴⁾. 이 문제를 줄이는 방법으로 확대 영상을 다른 표본비율로 변화시키는 보간 알고리즘이 적용된다. 보간 알고리즘은 이산표본으로부터 연속 신호의 중간값들을 추정하는 과정으로 영상을 확대 또는 축소할 때 공간적 왜곡을 정정할 때 적용된다. 영상 보간 알고리즘으로 그레이레벨 데이터를 가진 영상과 윤곽선만 도출된 영상으로 최근접 이웃 보간과 영상 주파수 특성을 이용하는 고주파 차단 공간 보간과 입력 영상 화소에 이웃한 4개 화소 중에서 가장 인접한 화소로부터 영향을 받는 방향성 구조로 보간하는 쌍일차 보간 알고리즘이 있다⁽⁵⁾.

곡선을 보간하는 방법으로 인접 표본화 데이터를 연결하는 다항식의 집합을 이용하는 매개변수 B-스플라인 알고리즘과 단위 곡선의 시작점과 끝점에 대한 접선 벡터와 매개변수를 이용하는 퍼저슨 알고리즘이 있다⁽⁶⁾. 기존의 확대 영상 보간하는 연구 사례를 보면 Hou가 노이즈 스무딩 B-스플라인 알고리즘을 개발하여 영상 확대에 응용한 결과 다른 보간 방법보다 뛰어나다는 것을 컴퓨터 시뮬레이션으로 입증하였다⁽⁶⁾. keys는 3차회선 보간 함수가 최근접 이웃보간 알고리즘과 선형보간 알고리즘 보다 정확하다는 것을 실험을 통하여 구현하였다⁽⁷⁾. Parker와 Mealand는 제한된 확장회선 함수를 결정하기 위해서 최근접 이웃보간, 선형, 3차 B-스플라인, 고 분해 3차 스플라인 알고리즘을 비교하고 그 타당성을 소개하였다^(8,9). 따라서 본 연구에서는 입력 영상을 확대하는 과정에서 발생하는 문제점들을 분석하고 개선하는 방법을 찾기 위하여 기존의 보간 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션으로 실험한다^(5,10-12). 이 실험 결과를 이용하면 양호한 경계 향상과 유연성을 가지는 알고리즘을 개발할 수 있다.

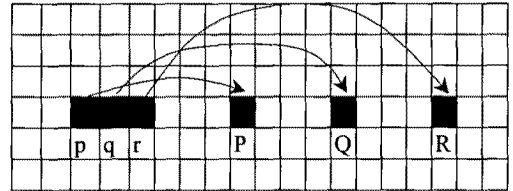


Fig. 1 Magnification of an input image

2. 기존 보간 알고리즘

영상을 확대하거나 축소시키기 위하여 입력 영상에 있는 임의의 화소(x, y)를 출력 영상의 화소(x_n, y_n)로 바꿀 때, 두 화소의 공간적 관계는 다음과 같다⁽¹¹⁾.

$$x_n = ax, y_n = ay \quad (1)$$

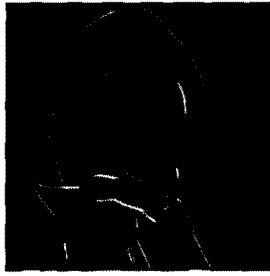
여기서 a, b 는 각각 x, y 방향의 인수이다. 또한 임의의 입력 영상을 확대할 경우, 다음 Fig. 1과 같이 입력 영상의 화소 p, q, r 은 출력 영상의 화소 P, Q, R 에 각각 맵핑된다.

그러나 실제 영상 확대 과정에서 문제점을 보면 자동 영상 검사 시스템인 경우 빠른 판독을 위하여 입력 영상의 그레이레벨 데이터 전부를 처리하지 않고 윤곽선 또는 다른 특징점으로 합격 여부를 판단할 때 문제가 더욱 심각하다. Fig. 2 (a)와 같이 원 영상을 3x3 컨벌루션 그레이디언트 연산자로 필터링하여 윤곽선만 도출하고, Fig. 2 (b)와 같이 1/4의 크기로 축소한 다음, Fig. 2 (c)와 같이 원래 크기로 복원하면 거의 식별이 불가능하게 된다.

이것은 Fig. 1과 같이 a, b 를 $a=b=4$ 와 같은 정수 배율로 확대할 경우, 맵핑된 p, q, r 은 인접 화소인 p 와 q 사이 또는 q 와 r 사이에서 그레이레벨 값을 결정하지 못하므로 맵핑된 화소의 그레이레벨 데이터에 대한 연속성이 크게 감소되므로 이러한 몽롱화 현상이 발생한다⁽¹¹⁾. 이것은 다음 식과 같이 인접 화소에 대하여 그레이레벨 데이터를 적용하는 최근접 이웃 보간법을 적용하여도 이와 유사한 몽롱화 현상이 발생한다.

$$x_n = (x_{float} + 0.5), y_n = (y_{float} + 0.5) \quad (2)$$

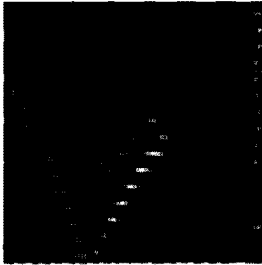
한편, 고주파 차단 공간 필터는 영상이 밝기 변화가 느린 저주파에서 밝기 변화가 빠른 고주파에 이르는 주파수 성분으로 구성된 특성을 이용한다. 고주파 차단 공간 필터용 컨



(a) Image of a gradient outline



(b) Reduced by 1/4 for the image (a)



(c) Restoration image for the image (a)

Fig. 2 Reduction and restoration of the image

Table 1 Convolution mask

1/9	1/9	1/9
(x-1, y-1)	(x, y-1)	(x+1, y-1)
1/9	1/9	1/9
(x-1, y)	(x, y)	(x+1, y)
1/9	1/9	1/9
(x-1, y+1)	(x, y+1)	(x+1, y+1)

별루션 마스크는 Table 1과 같이 9개의 계수로 구성된다.

Table 1은 다음 식과 같이 중심 화소와 이웃 8개 화소는 컨벌루션 마스크와 화소의 그레이레벨 데이터에 대한 평균화 처리를 하며 전체 가중 값의 합은 항상 1이 된다.

$$O(x_n, y_n) = \frac{1}{9} [I(x-1, y-1) + I(x, y-1) + I(x+1, y-1) + I(x-1, y) + I(x, y) + I(x+1, y) + I(x-1, y+1) + I(x, y+1) + I(x+1, y+1)] \quad (3)$$

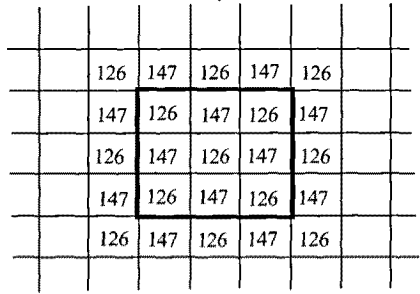
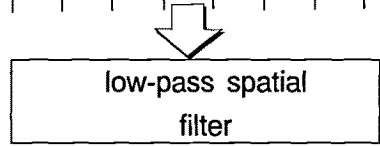
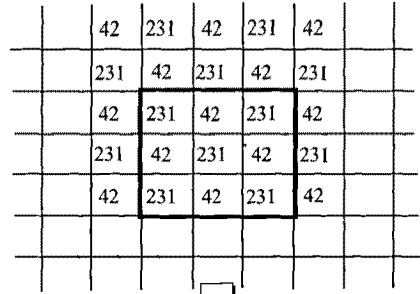


Fig. 3 Low-pass spatial filter

여기서 $O(x_n, y_n)$ 는 출력영상이며 $I(x, y)$ 는 입력 영상이며 영상 안에서 가장 빠른 주파수는 1, 2개 화소 안에서 그레이레벨 데이터가 0에서 255로 급격하게 변하는 에지나 점으로 존재하므로 Fig. 3과 같이 영상내의 고주파 성분을 약화시키고, 저주파 성분만 강화하는 방법으로 확대 영상을 보간한다⁽¹¹⁾.

따라서 고주파 차단 공간 필터의 특성은 일정한 그레이레벨 데이터를 가진 3×3 크기 그룹인 경우에는 화소의 값이 변하지 않는다. 즉, 이것은 공간 주파수가 0이 되어 구간 내 화소에 대한 그레이레벨 데이터의 변화가 없는 것을 의미한다. 그러나 이것의 단점은 영상의 구간별 특성을 고려하지 않으므로 연속성이 감소되는 문제점이 있다. 쌍일차 보간법은 다음 Fig. 4와 같이 입력 영상 화소 (x, y) 에 이웃한 4개 화소의 그레이레벨 데이터를 대상으로 보간한다.

$$O(x_n, y_n) = (1-a)(1-b)I(x, y) + (1-a)bI(x, y+1) + a(1-b)I(x+1, y) + abI(x+1, y+1) \quad (4)$$

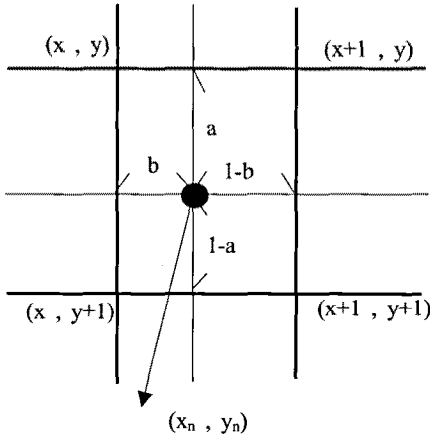


Fig. 4 Bilinear interpolation

여기서 a, b 는 가중 데이터로서 각각 $x_{float} - floor(x)$, $y_{float} - floor(y)$ 이다. 이 방법은 보간 대상 화소가 인접 4개 화소로부터 영향을 받기 때문에 경계 강조 기능은 부족하다⁽¹¹⁾.

3. 곡선 보간 알고리즘 제안

일반적으로 CAD/CAM공학에서 형상을 표현하는 방법으로 매개 변수식과 비매개 변수식을 적용한다. 비매개 변수식은 양함수와 음함수로 나누어 해석을 쉽게 할 수 있는 편리한 장점이 있으나 형상에 관한 식이 좌표계로 변환될 때 종속적으로 되고, 좌표계가 달라지면 형상 표현이 어렵게 되며, 형상에 포함되는 곡선이나 곡면이 평면에 있지 않거나 경계가 있을 경우 표현이 불가능한 등의 단점을 안고 있다. 매개 변수식은 한 개의 벡터형 매개변수로 형상을 쉽게 표현할 수 있는 장점이 있으므로 CAD/CAM 공학에서는 곡선, 곡면을 보간할 때 주로 매개 변수식을 적용한다⁽¹²⁾. 2개의 인접한 표본화 데이터 사이의 위치와 일차 미분 연속인 경사와 곡률의 연속성인 이차 미분 연속을 보장할 수 있는 최소 차수 다항식은 3차 다항식이다. 매개변수 B-스플라인 곡선은 인접한 표본화 데이터들을 연결하는 다항식의 집합으로 곡선을 보간하며 비주기적과 주기적으로 구분하며 표본화 데이터가 Q 일 때 다음과 같이 된다.

$$R(u) = \sum_{i=0}^n Q_i N_{i,k}(u) \quad (5)$$

Table 2 Knot vectors of the blending function

k	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
1	0	1	2	3	4	5	6	6	6
2	0	0	1	2	3	4	5	5	5
3	0	0	0	1	2	3	4	4	4
4	0	0	0	0	1	2	3	3	3

여기서 $N_{i,k}(u)$ 는 B-스플라인의 블렌딩 함수로서 cox-deboor 알고리즘을 이용하여 정의하면 다음과 같은 순환적 특성을 가진다⁽¹²⁾.

$$\begin{cases} N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 : t_i < u < t_{i+1} \\ 0 : \text{the others} \end{cases} \\ N_{i,k}(u) = \frac{(u-t_i)N_{i,k-1}(u)}{t_{i+k-1}-t_i} + \frac{(t_{i+k}-u)N_{i+1,k-1}(u)}{t_{i+k}-t_{i+1}} \end{cases} \quad (6)$$

여기서는 k 는 $(k-1)$ 차 다항식을 표현하며 t_i 는 knot 벡터로서 $k=5, n=5$ 이다. 비주기적 B-스플라인 블렌딩 함수의 $(k-1)$ 차 다항식과 knot 벡터의 관계는 다음과 같다.

Table 2와 같이 비주기적 B-스플라인의 블렌딩 함수는 위치에 따라 달라지는 비주기성을 강요하고, 곡선을 계산하고 수정하는 것이 불편하므로 영상 보간에 적용하는 것은 어렵다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 주기적 B-스플라인은 $k=5$ 인 경우 knot 벡터는 $t_i = i-4$ 가 되므로 다음과 같이 임의의 구간에서도 주기성을 가질 수 있다⁽¹²⁾.

$$\begin{aligned} \textcircled{0} \text{area} : & N_{i+0,1} \text{---} | N_{i+0,2} \text{---} \\ \textcircled{1} \text{area} : & N_{i+1,1} \text{---} | N_{i+0,3} \text{---} \\ & | N_{i+1,2} \text{---} | N_{i+0,4} \\ \textcircled{2} \text{area} : & N_{i+2,1} \text{---} | N_{i+1,3} \text{---} \\ & | N_{i+2,2} \text{---} | N_{i+1,4} \\ \textcircled{3} \text{area} : & N_{i+3,1} \text{---} | N_{i+2,3} \text{---} \\ & | N_{i+3,2} \text{---} | N_{i+2,4} \\ \textcircled{4} \text{area} : & N_{i+4,1} \text{---} | N_{i+3,3} \text{---} \\ & | N_{i+4,2} \text{---} | N_{i+3,4} \\ \textcircled{5} \text{area} : & N_{i+5,1} \text{---} | N_{i+4,3} \text{---} \\ & | N_{i+5,2} \text{---} \\ \textcircled{6} \text{area} : & N_{i+6,1} \text{---} \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 식 (7)의 과정으로 구한 주기적 B-스플라인 블렌딩 함수는 다음과 같다.

$$N_{0,4} = \frac{1}{3}[(u+4)N_{0,3}(u) + (-u)N_{1,3}(u)]$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \textcircled{1} \text{ area} : \frac{1}{6}(u^3 + 12u^2 + 48u + 64) \\ \textcircled{2} \text{ area} : -\frac{1}{6}(u^3 + 10^2 + 32u + 32) \\ \textcircled{3} \text{ area} : \frac{1}{6}(u^3 + 3u^2 + 3u) \\ \textcircled{4} \text{ area} : \frac{1}{6}(u^3 + u^2) \end{cases} \quad (8)$$

$$N_{1,4} = \frac{1}{3}[(u+3)N_{1,3}(u) + (1-u)N_{2,3}(u)]$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \textcircled{1} \text{ area} : \frac{1}{6}(u^3 + 9u^2 + 27u + 27) \\ \textcircled{2} \text{ area} : -\frac{1}{6}(3u^3 + 15u^2 + 21u + 5) \\ \textcircled{3} \text{ area} : \frac{1}{6}(u^3 - 4u^2 - 6u + 1) \\ \textcircled{4} \text{ area} : \frac{1}{6}(-u^3 + 3u^2 - 3u + 1) \end{cases} \quad (9)$$

$$N_{2,4} = \frac{1}{3}[(u+2)N_{2,3}(u) + (2-u)N_{3,3}(u)]$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \textcircled{2} \text{ area} : -\frac{1}{6}(2u^3 - 4u^2 + 4u) \\ \textcircled{3} \text{ area} : \frac{1}{6}(u^3 + 6u^2 + 12u + 8) \\ \textcircled{4} \text{ area} : \frac{1}{6}(3u^3 - 6u^2 + 4) \\ \textcircled{5} \text{ area} : -\frac{1}{6}(u^3 - 6u^2 + 8u - 8) \end{cases} \quad (10)$$

$$N_{3,4} = \frac{1}{3}[(u+2)N_{3,3}(u) + (2-u)N_{4,3}(u)]$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \textcircled{3} \text{ area} : \frac{1}{6}(u^3 + 4u^2 + 5u + 2) \\ \textcircled{4} \text{ area} : -\frac{1}{6}(3u^3 + 4u^2 - u - 6) \\ \textcircled{5} \text{ area} : -\frac{1}{6}(2u^3 - 9u^2 + 11u - 14) \\ \textcircled{6} \text{ area} : -\frac{1}{6}(u^3 - 7u^2 + 21u - 18) \end{cases} \quad (11)$$

한편, 퍼저슨 곡선은 다음과 같이 접선 벡터와 매개 변수로 표시된 블렌딩 함수로 구성된다.

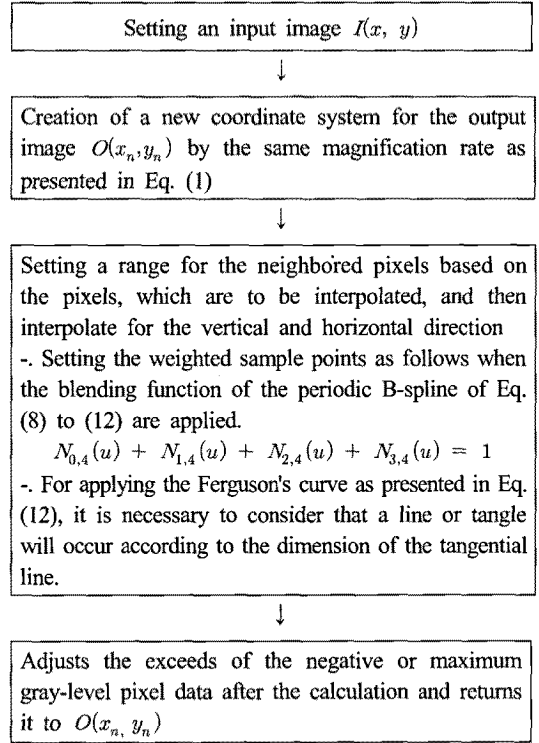


Fig. 5 Application of the curve interpolation algorithm used in CAD/CAM

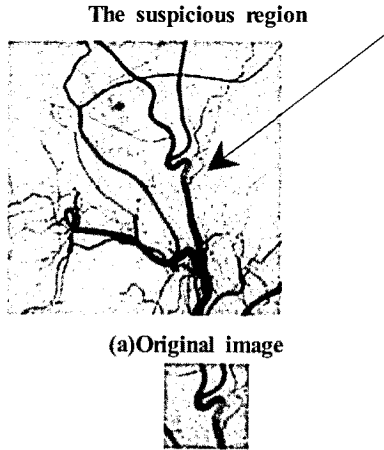
$$R(u) = (2u^3 - 3u^2 + 1)R(0) + (-2^3 + 3^2)R(1) + (u^3 - 2u^2 + u)R_u(0) + (u^3 - u^2)R_u(1) \quad (12)$$

여기서 $R(0)$ 와 $R(1)$ 는 단위곡선의 시작점과 끝점 벡터이며, $R_u(0)$ 와 $R_u(1)$ 는 단위곡선에 대한 접선의 시작점과 끝점 벡터이다. 도출된 곡선 보간 알고리즘을 영상 보간에 적용할 때 국부적 특성을 유지하기 위하여 다음과 같이 적용한다⁽⁵⁾.

4. 컴퓨터시뮬레이션과 고찰

실험 영상은 본 연구의 타당성을 입증하기 위하여 심장병을 앓고 있는 환자가 심장 혈관을 촬영한 MRI 영상을 병원 심장외과에 협조를 부탁하여 입수하였다⁽⁵⁾.

Fig. 6의 (a)에서 담당의사는 화살표로 표시한 흐리게 촬영된 혈관 부분에 대한 판단을 해야 한다. 이 부분을 자세하게 관찰하기 위하여 마우스로 Fig. 6의 (b)와 같이 분리하고,



(b) Separated image of the suspicious region
 Fig. 6 MRI Image for the inspection of blood vessel

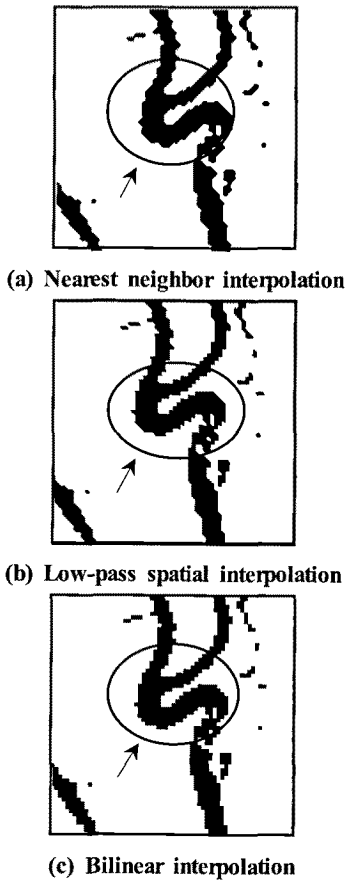


Fig. 7 Results of the image interpolation

Fig. 6의 (C)처럼 이치영상으로 처리하여 선명하게 한다. 이 이치영상을 확대하여 자세하게 관찰할 수 있게 환경을 만들어야 한다. 본 연구에서는 이렇게 확대한 영상을 기존의 영상처리 알고리즘을 이용하여 보간하여 그 결과를 비교한다.^(13,14)

Fig. 7의 (a)는 최근접 이웃 보간 알고리즘은 적용한 것으로 원 내부에 심한 모자이크 발생으로 식별이 불가능하다. Fig. 7의 (b)는 중간 그레이레벨 데이터로 보간한 것으로 원 내부에 화살표를 보면, 고주파 성분은 제거되었으나 몽롱화 현상이 발생하여 식별이 어렵다. Fig. 7의 (c)는 화소 1개당 3개로 일차 보간하는 쌍일차 보간 알고리즘을 적용하였다. 그 결과 Fig. 6의 (a), (b)보다 좋은 화질을 가지나 경계 성분을 강조하는 특성이 부족하여 굵은 혈관이 몽롱하게 되는 문제점이 남아 있다. 다음 Fig. 8은 곡선 보간 알고리즘을 적용한 것이다.

Fig. 8의 (a)는 3차 다항식을 이용한 주기적 B-스플라인을 적용한 것이다. 고주파 차단 공간 필터처럼 중간 그레이레벨 데이터로 보간하므로 몽롱화 현상은 제거되었다. 그러나 원 내부에 의심이 가는 혈관 부근에서 모자이크 현상으로 뾰족한 돌출부가 발생하는 문제가 있다. Fig. 8의 (b)는 퍼저슨 곡선으로 식 (8)의 매개변수 범위를 $-1 \sim 0$ 의 사이 값에서 Parker가 제시한 -0.5 값을 적용하였다. 그 결과 Fig. 8 (b)의

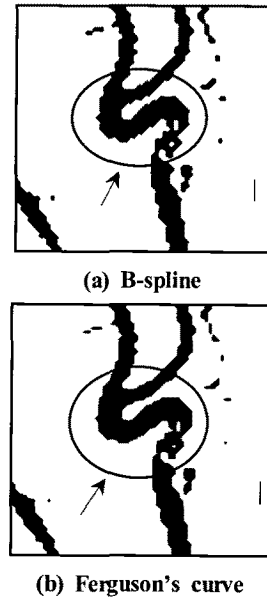


Fig. 8 Results of the application of a curve interpolation algorithm used in CAD/CAM

원 내부가 가장 원형에 가까운 영상을 보간된 영상을 구할 수 있다. 이 Fig. 8 (b)의 결과를 심장외과에 적용할 수 있다면 담당의사는 많은 경험을 쌓지 않더라도 진료하는 심장병 환자들에게 보다 객관적인 진료 결과를 제시할 수 있을 것으로 사료된다⁽⁵⁾.

5. 결론

본 연구 결과를 미세 부품을 확대하여 검사하는 인식 자동화 시스템에 접목시키면 제품의 품질을 향상시켜 기업의 생산 원가 절감과 기술 경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것이다. 컴퓨터 시뮬레이션에 대한 방법을 비교하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 최근접 이웃 보간은 확대 영상에 대한 식별이 거의 불가능하다.
- (2) 고주파 차단 공간 필터는 중간 그레이레벨 데이터로 보간 되었다.
- (3) 쌍일차 보간은 영상의 변화가 많은 경계 성분을 강조하는 특성이 부족하다.
- (4) 주기적 B-스플라인은 뭉통화 현상은 제거되었지만 모자이크 현상이 발생하는 문제가 있다.
- (5) 퍼저슨곡선은 가장 원형에 가까운 영상을 구할 수 있음을 알 수 있다^(15,16).

본 연구에서 비교, 검토한 결과를 기반으로 향후에는 NURBS 곡면, 퍼저슨의 복합 곡면, 베지어 곡면 등을 이용하여 확대 영상에 대하여 양호한 경계 향상과 연속적이고 유연한 보간 알고리즘을 개발하는 것이다.

참고 문헌

- (1) Taylor, P. M., Selke, K. W., and Taylor, G. E., 1981, "Closed loop control of an industrial robot using visual feedback from a sensory gripper," *11th ISIR*, pp. 79~86.
- (2) Lee, Y. J. and Lee, Y. B., 1997, "An implementation of the automation of labeling for rolled coil using robot vision," *The Institute of Control, Automation and Systems Engineers, Korea*, Vol 3, No 4, pp. 497~502.
- (3) Lee, Y. J., 1997, "An algorithm for the inspection of a chassis in the environment of a uneven light," *Fall Conference of The Institute of Control, Automation and Systems Engineers, Korea*, pp. 1469~1471.
- (4) Lee, Y. J., 1998, "A study on the distance measurement using a stereo camera and laser pointer," *Fall Conference of The Institute of Control, Automation and Systems Engineers, Korea*, pp. 1469~1471.
- (5) Lee, Y. J., 2005, "Application of Curve Interpolation Algorithm in CAD/CAM to Remove the Blurring of Magnified Image," *A treatise in the Spring Congress in 2005 by KSMTE; The Korean Society of Machine Tool Engineers*. pp. 115~124.
- (6) Hou, H. S. and Andrews, H. C., 1978, "Cubic spline for image interpolation and digital filtering," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Processing*, Vol. 26, pp. 508~517.
- (7) Keys, R. G., 1981, "Cubic convolution interpolation for digital image processing," *IEEE Trans, Acoustic, Speech and Signal Processing*, Vol. 29, No. 6, pp. 1153~1160.
- (8) Parker, J. A., Kenyon, R. V., and Troxel, D. E., 1983, "Comparison of interpolation methods for image re sampling," *IEEE trans. Medical Imaging*, Vol. 2, No. 1, pp. 53~61.
- (9) Mealand, E., 1988, "On the comparison of interpolation methods," *IEEE Trans. Medical Imaging*, Vol. 7, No. 3, pp. 213~217.
- (10) Lee, B. K. and Ha, Y. H., 1990, "Space variant spline functions for image interpolation," *Joint Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (JTC-CSCC 90)*, Cheju, Korea, pp. 408~413.
- (11) Lee, Y. J., 1996, *Application of the image processing technology*, Daeyoung-Sa Book Publishing, Republic of Korea, pp. 37~108.
- (12) Lee, C. S., 1997, *From the CAD/CAM shape modeling to the NC processing*, Turbo-Tech Book Publishing, Republic of Korea, pp. 80~123.
- (13) Lee, Y. J., 2000, "A Study on the Development of Aluminum Table Plane Inspection Algorithm using

- Computer Vision System,” *A treatise in the Spring Congress in 2000 by KSMTE; The Korean Society of Machine Tool Engineers*, pp. 115~120.
- (14) Lee, Y. J., 2000, “A Study on the Development of Body Panel Automatic Inspection System using Visual Sensor,” *A treatise in the Autumn Congress in 2000 by KSMTE; The Korean Society of Machine Tool Engineers*, pp. 51~56.
- (15) Tian, Y., Wang, Y., Hao, C., and Chen, S., 2007, “3-D Interpolation of Medical Image Based on the Optimal Cubic Convolution Kernel,” *Second IEEE Conference on Industrial Electronic and Applications*, pp. 112~117.
- (16) Zhang, L. and Wu, X., 2007, “An Edge Guided Image Interpolation Algorithm via Directional Filtering and Data Fusion,” *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 15, No. 8, pp. 2226~2238.