

## 확대 영상의 윤곽선 보간 알고리즘 비교

이용중<sup>o</sup>, 김기대, 조순조

### Interpolation Algorithm Comparison for Contour of Magnified Image

Lee, Yong-Joong Kim, Kee-Dae Cho, Sun-Jo

#### Abstract

When a input image is extensively magnified on the computer system, it is almost impossible to replicate the original shape because of mismatched coordinates system. In order to resolve the problem, the shape of the magnified image has been reconfigured using the bilinear interpolation method, low pass special filtering interpolation method and B-spline interpolation method, Ferguson curve interpolation method based on the CAD/CAM curve interpolation algorithm. The computer simulation main result was that. Nearest neighbor interpolation method is simple in making the interpolation program but it is not capable to distinguish the original shape. Bilinear interpolation method has the merit to make the magnified shape smooth and soft but calculation time is longer than the other method. Low pass spatial filtering method and B-spline interpolation method has an effect to immerge the intense of the magnified shape but it is also difficult to distinguish the original shape. Ferguson curve interpolation method has sharpening shape than B-spline interpolation method.

#### 1. 서 론

사람의 형상 인식 능력은 망막에 맺히는 영상이 배율에 독립적이라는 원리에 따라 기존의 고정된 형상 판독을 이용하지 않고, 형상 판독에 유리한 여러 방법을 사용하여 성능을 향상시키려는 연구가 진행되고 있다[1]. 아주 미세한 입력 영상의 구성 요소를 자세히 표현하고자 할 때, 가장 보편적인 방법으로는 입력영상을 확대하는 것이다. 그러나 단순히 입력영상을 임의의 표본 비율로 변화시키는 방법으로 확대하면 구역이나 윤곽선 표현이 잘못되어 제대로 인식할 수 없는 문제가 발생된다. 특히, 제품의 품질을 자동으로 검사하여 합격 여부를 판단하는 자동 화상 검사 시스템인 경우

이러한 문제는 심각하다[2, 3, 4].

따라서 본 연구에서는 미세한 입력 영상을 확대하는 과정에서 발생하는 문제점들을 분석하고, 개선하는 방법을 모색하기 위하여 기존의 영상처리 알고리즘에서 도출된 영상 보간과 CAD/CAM에서 곡선을 보간하는 방법을 적용하였다[5, 6]. 기존의 영상 보간에서는 그레이레벨 데이터를 가진 영상과 윤곽선만 도출된 영상으로 최근접 이웃(nearest neighbor) 보간과 영상 주파수 특성을 이용하는 고주파 차단 공간(low-pass spatial)필터링과 입력 영상 화소에 이웃한 4개 화소의 그레이레벨 데이터를 대상으로 보간하는 쌍일차(bilinear) 보간이 있고, 곡선 보간에서는 인접한 표본화 데이터들을 연결하는 다항식들의 집합으로 보간하는 매개변수 B-스플라인 곡선과 단위 곡선의 양 끝점과 양 끝점에 대한 접선 벡터 및 매개 변수로 표시되는 퍼거슨 곡선과 같은 알고리즘이 있다[7, 8, 9]. 특히 매개변수 B-스플라인 중에서 비주기적(개방형 : non-periodic) B-스플라인 블렌딩 함수는 위치에 따라 달라지므로 곡선의 계산이나 수정이 불편하여 영상 보간에 적용하지 못하였고, 임의의 구간에서도 항상 주기성을 가지는 주기적(폐쇄형 : periodic) B-스플라인 블렌딩 함수는 적용할 수 있었다.

실험 결과 기존의 영상 보간 중에서 최근접 이웃 보간으로 처리하면 확대 영상의 식별이 거의 불가능하였으며, 쌍일차 보간은 경계 성분을 강조하는 특성이 부족함 등의 비교적 바람직하지 못한 결과를 도출하였다. 또한 주기적 B-스플라인은 블러화 현상은 제거되었지만 흐릿한 문제가 있었으며 퍼거슨 곡선은 B-스플라인에 비하여 보다 샤프닝된 영상을 구할 수 있는 장점을 가지고 있었다. 이와 같이 영상 확대에 관한 내용을 정리하고 실험으로 비교, 분석하였으며 이 결과를 보다 양호한 경계 향상과 유연성을 가지는 알고리즘을 개발하기 위한 기반을 구축하게 되었다. 본 연구 결과를 미세 부품에 대한 확대 영상을 대상으로 형상 인식 자동 검사용 비전 시스템에 적용시켜 생산 공정에 적용하므로 제품의 품질 향상과 생산품의 균일화를 향상시켜 기업의 생산 원가 절감과 기술 경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것이다.

## II. 본 론

### 1. 기존의 영상 보간

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.

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

여기서  $a, b$ 는 각각  $x, y$  방향의 인수이다. 또한 임의의 입력 영상을 확대할 경우, 다음 그림과 같이 입력 영상의 화소  $p, q, r$ 은 출력 영상의 화소  $p', q', r'$ 에 각각 맵핑된다.

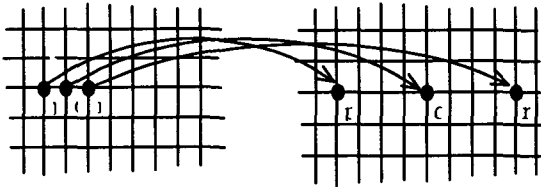
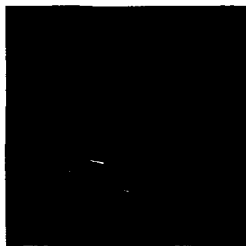


Fig. 1. Magnification of the image

그러나, 실제 영상 확대 과정에서 문제점을 보면 자동 화상 검사 시스템인 경우 빠른 판독을 위하여 입력 영상의 그레이레벨 데이터 전부를 처리하지 않고 윤곽선 또는 다른 특징점으로 합격 여부를 판단할 때 문제가 더욱 심각하다. 그림 2 (a)와 같이 원화상을  $3 \times 3$  컨벌루션 그레디언트 연산자로 필터링하여 윤곽선만 도출하고, 그림 2 (b)와 같이  $1/4$ 의 크기로 축소한 다음, 그림 2 (c)와 같이 원래 크기로 복원하면 거의 식별이 불가능하게 된다. 이것은 그림 1과 같이  $a, b$ 를  $a=b=2$ 와 같은 정수 배율로 확대할 경우, 맵핑된  $p', q', r'$ 은 인접 화소인  $p$ 와  $q$ 사이 또는  $q$ 와  $r$ 사이의 그레이레벨 값을 결정하지 못하므로 맵핑된 화소의 그레이레벨 데이터에 대한 연속성이 크게 감소되므로 이러한 블록화 현상이 발생한다[10]



(a) Gradient contour image



(b) 1/4 reduction of (a)



(c) Restoration to (a)

Fig.2. Restoration after 1/4 reduction of origin image

이것은 다음 식과 같이 인접 화소에 대하여 그레이 레벨 데이터를 적용하는 최근접 이웃 보간법을 적용하여도 이와 유사한 블록화 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 컨벌루션 마스크는 표 1과 같이 9개의 계수로 구성된다.

Table. 1. Convolution mask

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

표 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.

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

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

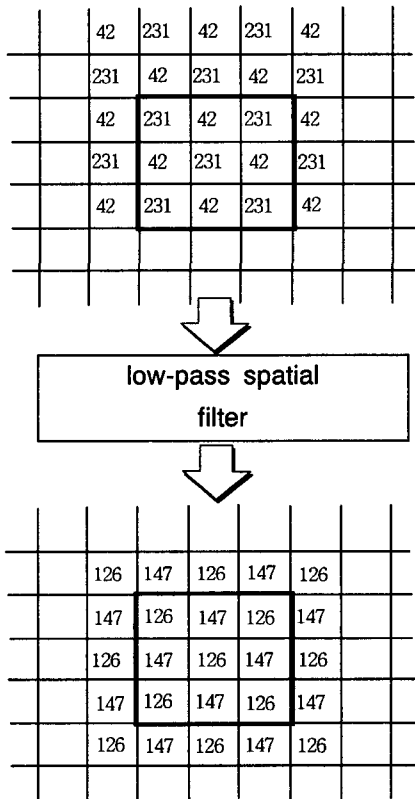


Fig. 3. Low-pass spatial filter

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

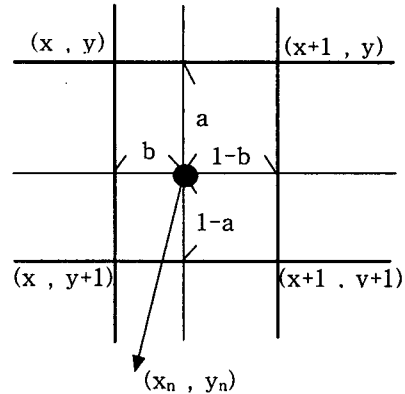


Fig. 4. Bilinear interpolation

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

여기서  $a, b$ 는 가중 데이터로서 각각  $x_{float} - floor(x)$   $y_{float} - floor(y)$ 이다. 이것은 보간하는 화소에 인접하는 4개의 화소 중에서 가장 인접한 화소로부터 영향을 받는 방향성 구조로 되어 있으므로 사람의 시각특성을 고려할 때 영상의 변화가 많은 경계 성분을 강조하는 특성이 부족한 문제점이 있다.

## 2. 곡선 보간을 영상 보간에 적용

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[14]. 그러나 매개 변수식은 한 개의 벡터형 매개변수로 형상을 쉽게 표현할 수 있으며, 특히 CAM에서 부드러운 곡면 가공 프로그램을 개발할 때 쉽게 적용할 수 있다. 따라서 CAD/CAM 공학에서는 곡선, 곡면을 보간할 때 주로 매개 변수식을 적용하며 2개의 인접한 표본화 데이터 사이의 위치와 경사(일차 미분 연속)와 곡률의 연속성(이차 미분 연속)을 보장할 수 있는 최소 차수 다항식은 3차 다항식이다. 매개변수 B-스플라인 곡선은 인접한 표본화 데이터들을 연결하는 다항식의 집합으로 곡선을 보간하며 비주기적

과 주기적으로 구분하며 표본화 데이터가  $Q_i$ 일 때 다음과 같이 된다.

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

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

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

여기서는  $k$ 는  $(k-1)$ 차 다항식을 표현하며  $t_i$ 는 knot 벡터로서  $k=5$   $n=5$ 일 때 비주기적 B-스플라인 곡선은 다음과 같다[14].

$$N_{0,4}(u) = \frac{1}{2} u (1-u) [(4-3u)N_{2,1}(u) + (2-u)^2 N_{3,1}(u)] \quad (7)$$

$$N_{1,4}(u) = \frac{1}{2} [(-4u^3 + 6u^2)N_{2,1}(u) + (u^4 - 2u^3 - 8u^2 + 15u - 6)N_{3,1}(u) + (u^3 + 4u^2 - 21u + 18)N_{4,1}(u)] \quad (8)$$

$$N_{2,4}(u) = \frac{1}{2} [u^2 N_{1,1}(u) + (-2u^2 + 6u - 3)N_{2,1}(u) + (3-u)^2 N_{3,1}(u) + \frac{1}{6}(3-u)(u-1)[(u-1)N_{3,1}(u) + (3-u)N_{4,1}(u)]] \quad (9)$$

$$N_{3,4}(u) = \frac{1}{6} \{ u(u-1)[(u-1)N_{3,1}(u) + (3-u)N_{4,1}(u)] + (4-u)[(u-2)N_{4,1}(u) + (4-u)N_{5,1}(u)] + \frac{1}{2}(3-u)[(u-3)^2 N_{5,1}(u)] \} \quad (10)$$

$$N_{4,4}(u) = \frac{1}{2} \{ (u-1)[(u-3)^2 N_{5,1}(u)] + (3-u)[(u-3)^2 N_{5,1}(u)] \} \quad (11)$$

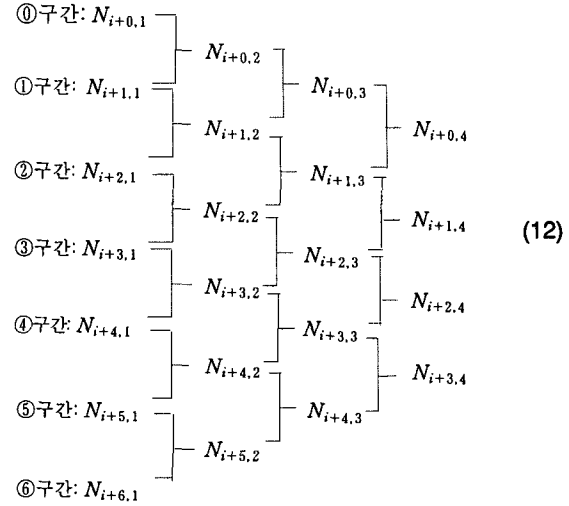
따라서 식 (7)-(11)을 구하는 과정을 정리하여 비주기적 B-스플라인 블렌딩 함수의  $(k-1)$ 차 다항식과 knot 벡터의 관계는 다음과 같다.

Table. 2. Knot vector of bernstein 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

표 2와 같이 비주기적 B-스플라인의 블렌딩 함수는 위치에 따라 달라지는 비주기성을 강요하고 곡선의 계산이나 수정에 불편하므로 영상 보간에 적용하는 것은 어렵다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 주기적 B-스플라인은  $k=5$ 일 경우 knot 벡터는  $t_i = i-4$  되므로 다음과 같이 임의의 구간에서

도 주기성을 가질 수 있다.



따라서 식 (12)의 과정으로 구한 주기적 B-스플라인 블렌딩 함수는 다음과 같다

$$N_{0,4} = \frac{1}{3} [(u+4)N_{0,3}(u) + (-u)N_{1,3}(u)] \quad (13)$$

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

$$N_{1,4} = \frac{1}{3} [(u+3)N_{1,3}(u) + (1-u)N_{2,3}(u)] \quad (14)$$

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

$$N_{2,4} = \frac{1}{3} [(u+2)N_{2,3}(u) + (2-u)N_{3,3}(u)] \quad (15)$$

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

$$N_{3,4} = \frac{1}{3} [(u+2)N_{3,3}(u) + (2-u)N_{4,3}(u)] \quad (16)$$

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

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

$$R(u) = (2u^3 - 3u^2 + 1)R(0) + (-2^3 + 3^2)R(1) + (u^3 - 2u^2 + u)R_u(0) + (u^3 - u^2)R_u(1) \quad (17)$$

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.

이러한 CAD/CAM 공학에서 도출된 곡선 보간 알고리즘을 영상 보간에 적용할 때 국부적 특성을 유지하기 위하여 다음과 같이 제안한다[10, 11].

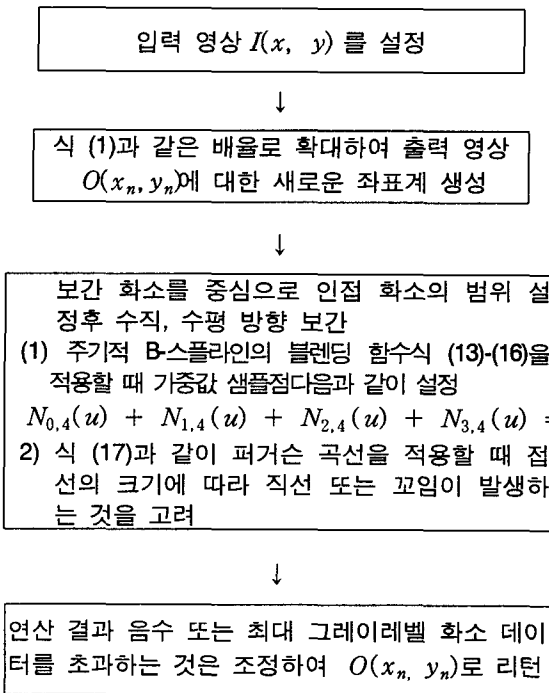


Fig. 5. Proposal image interpolation

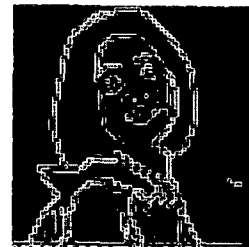
### III. 실험 및 고찰

본 연구는 유폴선으로 합격 여부를 빠르게 판단하는 시스템을 구현할 때의 문제점을 분석하기 위한 것이므로 실험 영상은 그림 2 (b)와 같이 축소된 영상을 선정하여 그림 5와 같은 순서로 확대하면서 실험한다. 그림 6은 기존의 영상 보간으로 그림 6 (a)는 최근접 이웃 보간으로 거의 식별이 불가능하고, 그림 6 (b)는 고주파 차단 공간 필터를 이용하여 보간한 것으로 급격한 에지나 점으로 존재하는 고주파

성분이 상당히 약화되어 중간 그레이레벨 데이터로 보간이 되었다. 그림 6 (c)는 쌍일차 보간으로 화소 1개당 3개의 일차 보간이 된다.



(a) Nearest neighbor



(b) Low-pass spatial filter



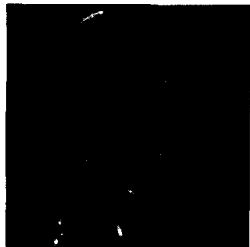
(c) Bilinear

Fig. 6. Interpolation using image processing

그림 7은 곡선 보간을 이용한 영상 보간으로 그림 7 (a)와 같이 주기적 B-스플라인을 적용한 결과 고주파 차단 공간 필터와 같이 중간 그레이레벨 데이터로 보간되며 블록화 현상은 제거되었지만 흐릿한 문제가 있다. 그림 7 (b)는 퍼거슨 곡선으로 식 (13)의 매개변수를 -0.5로 고정한 결과이다. 매개변수 값의 증가함에 따라 보간 곡선이 완만한 상태에서 급격하게 변하므로 유사한 3차 다항식을 적용하는 주기적 B-스플라인에 비하여 보다 샤프닝된 영상을 구할 수 있다.



(a) B-Spline



(b) Ferguson curve

Fig. 7. Image interpolation using curve interpolation

#### IV. 결 론

본 연구에서는 미세한 입력 영상을 확대하는 과정에서 발생하는 문제점들을 분석하고, 개선하는 방법을 모색하기 위하여 기존의 영상 보간과 CAD/CAM에서 곡선을 보간하는 방법을 적용하였다. 이러한 실험적 영상보간에 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) 비주기적 B-스플라인의 블렌딩 함수는 영상 보간에 적용하는 것은 어렵다
- (5) 주기적 B-스플라인은 블록화 현상은 제거되었지만 흐릿한 문제가 있다.
- (6) 퍼거슨곡선은 주기적 B-스플라인에 비하여 보다 샤프닝된 영상을 구한다.

본 연구에서 비교, 검토한 결과를 기반으로 향후에는 CAD/CAM 공학에서 적용하고 있는 NURBS 곡면, 퍼거슨의 복합 곡면, 베지어 곡면 등을 이용하여 확대 영상에 대하여 양호한 경계 향상과 연속적이고 유연한 보간 알고리즘을 개발하는 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P.M Taylor, K. W. Selke, G. E. Taylor " Closed loop control of an industrial robot using visual feedback from a sensory gripper " 11th ISIR. pp 79-86, 1981.
- [2] 이 용중, "로봇비전을 이용한 압연코일의 라벨링 자동화 구현", 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제 3권, 제4호, pp 497-502, 1997.
- [3] 이 용중, "불균등조명환경에서 자동차 차체 자동검사 알고리즘", 제어·자동화·시스템 공학회 추계학술발표회. pp.1469-1471. 1998.
- [4] 이 용중, "스테레오 카메라와 레이저 포인터를 이용한 거리 측정에 관한 연구", 제어·자동화·시스템 공학회 추계학술발표회. pp.1469-1471. 1998.
- [5] J. A. parker, R. V. Kenyon, and D. E. Troxel, "Comparison of interpolation methods for image resampling," IEEE trans. Medical Imaging, vol. 2, no. 1, pp. 53-61, Jan. 1983.
- [6] E. Mealand, "On the comparison of interpolation methods," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 7, no. 3, pp. 213-217, Mar. 1988.
- [7] R. G. keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing," IEEE Trans, Acoustic, Speech, and Signal Processing, vol. 29, no. 6, pp. 1153-1160, Jun. 1981.
- [8] B. K. Lee and Y. H. Ha, "Space-variant spline functions for image interpolation," Joint Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (JTC-CSCC 90), Cheju, Korea, pp. 408-413, Jul. 1990.
- [9] H. S. Hou and H. C. Andrews, "Cubic splines for image interpolation and digital filtering," IEEE Trans. Acoust, Speech, and Signal Processing, vol. 26, pp. 508-517, Dec. 1978.
- [10] 이 용중 영상처리 응용기술, 도서출판 대영사, pp. 37-108. 1996.
- [11] 이 철수, CAD/CAM 형상 모델링에서 NC 가공까지, 도서출판 티보테크사, pp. 80-123. 1997.