

Hough 변환 필터 배열을 이용한 광학적 특징 추출

장주석^{1*} · 신동학¹ · 강영수²

부경대학교, ¹전자컴퓨터정보통신공학부, ²화학과

Ⓣ 608-737 부산시 남구 대연3동 599-1

김병규

부산대학교 고분자공학과

Ⓣ 609-735 부산시 금정구 장전동 산 30번지

(2000년 9월 15일 받음, 2000년 12월 26일 수정본 받음)

광학적 Hough 변환 필터 배열을 이용하여 입력영상의 특징을 추출할 수 있는 방법을 제안한다. 여기서는 입력 영상의 부분들이, 대응되는 필터 배열의 요소들에 의해, 독립적으로 동시에 Hough 변환된다. 하나의 광학적 Hough 변환 필터를 사용하여 입력영상 전체에 대한 변환 결과를 얻는 기존의 방식에 비해, 제안한 방법은 입력 영상에 존재하는 선소 특징의 대략적 위치 정보를 함께 얻을 수 있고, 복잡한 입력영상에 대해서도 광학적 변환의 정확성을 높일 수 있다. 이 방식을 실험적으로 입증하기 위해, 5×5 Hough 변환 필터 배열을 제작하고 기초적인 실험을 수행하였다.

Keyword : IP.010.

I. 서 론

Hough 변환(Hough transform: HT)은 2차원 영상을, 추출하고자 하는 직선이나 곡선 또는 도형의 파라미터 공간(벡터공간)으로 투사시키는 것으로, 입력영상의 특징들을 효율적으로 검출하는데 사용하고 있다.^[1,2] 직선의 특징들은 도로나 건물 등과 같은 많은 영상들에서 쉽게 나타나기 때문에 화상처리, 움직임 추적, 자동차량안내, 자동악보인식 등의 시스템에 사용되어 왔다.^[3-5] 일반적으로 HT를 이용하여 직선 특징을 추출하는 경우가 많은데, 복잡한 도형이나 곡선을 추출하는 데에도 확장되어 사용될 수 있다.^[1] 디지털 컴퓨터를 사용하여 이 HT를 실시간적으로 수행하는 것은 요구되는 메모리와 계산속도의 한계로 작은 패턴으로 제한된다. 이러한 문제를 극복하기 위해 광의 병렬성을 이용한 광학적 HT가 연구되고 있다.^[6-16]

HT를 광학적으로 구현하기 위한 방법들로는 Dove 프리즘을 이용하거나 혹은 직접적으로 입력패턴을 회전시키는 방법 등이 있는데 이들 시스템은 회전을 위한 기계적인 동작이 필수적이며 빠른 처리가 힘들다.^[6,7] 또한, CGH를 이용한 HT 방법이 많이 연구되었는데 이들의 경우에는 필터를 제작하는 과정이 복잡하다는 단점이 있다.^[8-12] 최근 두께가 얇은 홀로그램 기록매질의 작은 면적에 많은 수의 홀로그램을 기록할 수 있는 방법으로 회전다중방법이 제안되었고,^[13] 이 방법을 이용하여 방향선소 특징들을 추출할 수 있는 HT 필터를 제작한 연구와 간단한 패턴인식에서의 사용 가능성을 보인 연구들이 있었다.^[14-16]

그런데 광학적 구현 방법들을 포함하여 지금까지의 HT를 수행한다고 함은, 입력영상 전체에 대한 HT를 의미하는 것이었다. 그러나 입력 영상이 복잡해지면 여러 가지 형태소에 대한 HT 결과 역시 복잡해지고 영상 잡음에 민감해지는 단점이 있다. 따라서 영상잡음의 영향을 피하기 위해서는 HT 결과에서 높은 세기값만을 특징으로 사용할 수 있다. 하지만 이 경우에는 입력영상에 대해 위치정보를 잃어버리게 되어서 위치가 서로 다른 패턴일지라도 같은 HT 결과를 얻게되는 경우가 발생한다. 더욱이 곡선 등의 패턴은 선소를 추출하기 위한 HT 필터를 이용해서는 검출의 정확성이 낮아지므로 이 패턴을 잘 인식할 수 있는 특정한 패턴이 필터로 제작되어야 한다. 사실 이런 특정한 패턴은 입력패턴에 의존적이라 결정하기가 힘들다. 따라서 본 논문에서는 이런 기존의 HT 필터의 사용시의 몇몇 문제점을 극복할 수 있는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 광학적 HT 필터 배열을 사용한다. HT 필터배열은 입력영상을 2차원으로 잘게 분할하고 이를 각 영역에서 독자적으로 선분만의 특징을 추출한다. 그러면 입력영상이 복잡하다 하더라도 분할된 영상은 선소 또는 그 조합의 단순한 형태소로 분리될 수 있다. 따라서 선소만의 특징을 추출하여도 이런 복잡한 패턴을 구별할 수 있는 특징을 얻을 수 있다.

제안하는 선소특징추출 방법은 고등동물의 초기시각에서 선소를 추출하는 것을 닮아있다. 고등동물의 시각 피질에서는 여러 가지 방향의 선소에 반응하는 신경세포들이 존재한다. 이들 세포들이 입력영상의 각 영역에서 인식을 위한 특징을 추출한다고 알려져 있다. 이러한 의미로 이 시스템은 고등동물의 초기 시각 피질을, 비록 조잡하지만, 광학적으로 흉내낸 것으로 볼 수 있다.

본 논문에서는 제안하는 HT 필터 배열을 광학적으로 구현

*E-mail: jsjang@pknu.ac.kr

하는 방법을 제시하고, 실제 실험으로 몇몇 패턴들에 대해 특징을 추출할 수 있음을 보였다.

II. Hough 변환과 광학적 특징추출

2.1. 단일 HT 필터의 제작 및 특징추출

2차원 입력패턴 $f(x, y)$ 에 대한 HT $F(\rho, \theta)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$F(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \quad (1)$$

여기서 ρ 는 투사축이고 θ 는 투사각도이며, δ 는 Dirac의 델타함수이다. 만약 입력패턴 $f(x, y)$ 가 Hesse의 표준방정식으로 표현된 어떤 직선 $x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0 = \rho_0$ 를 따라 유한 크기의 값이라면, $F(\rho, \theta)$ 는 $\rho = \rho_0, \theta = \theta_0$ 인 극좌표의 한 지점에 무한히 큰 값의 펄스(pulse)가 된다. 일반적으로 $f(x, y)$ 는 여러 가지 길이의 선분모양으로 나눌 수 있으므로 $F(\rho, \theta)$ 는 여러 유한 크기의 펄스의 합으로 나타난다.

실제적인 문제에 있어서 작은 간격을 가지는 이산적인 투사각 θ 에 대해 변환을 수행하며, HT의 대칭적 성질때문에 θ 의 범위는 0° 에서 360° 전 범위를 사용하지 않고 0° 에서 180° 범위내에서 수행하는 것이 일반적이다.

우리는 이전의 논문에서 회전다중 방법을 사용하여 N 개의 선소패턴 $h_i(x, y)$ 들을 기록한 다중 Vander Lugt 필터^[4]를 제작하여 HT를 얻을 수 있음을 실험적으로 보였다. 즉 그림 1(a)에서와 같이 기준빔을 일정한 각으로 회전시키면서 $h_i(x, y)$ 의 푸리에 변환을 차례대로 기록하는 것이다. 이렇게 만들어진 필터에 임의의 입력패턴 $f(x, y)$ 가 인가되면 저장된 패턴들과의 상호상관(cross-correlation) 항을 병렬적으로 얻을 수 있으며 이는 다음과 같이 표현된다.

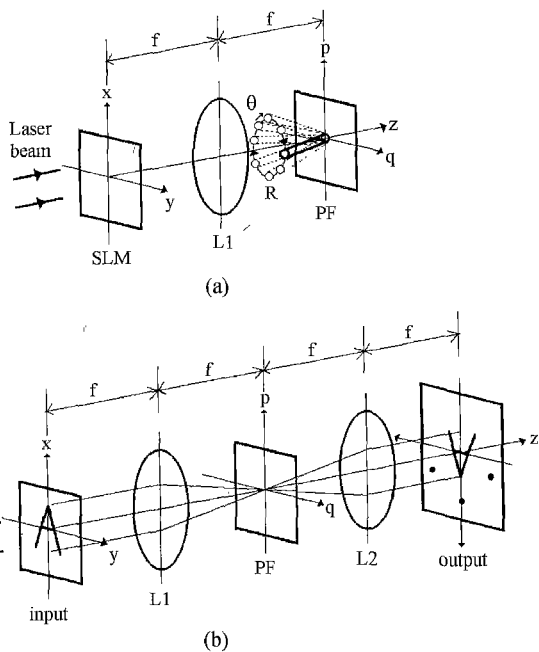


그림 1. 단일 HT 필터의 (a) 제작 방법. (b) 특징추출 방법.

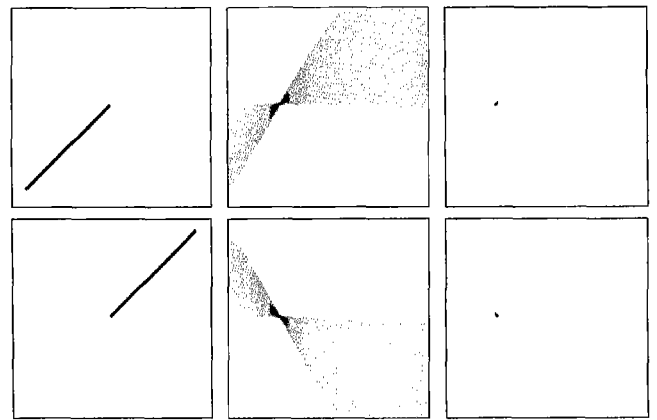


그림 2. 기존의 HT를 사용할 경우에 분별하기 어려운 패턴.

$$\int \int h_i^*(u-x, v-y) f(u, v) du dv = c_i(x, y) \quad (2)$$

여기서 첨자 i 는 $1, 2, 3, \dots, N$ 를 나타내고, *는 복소공액(complex conjugate)을 의미하며 u 와 v 는 적분 변수이다. 입력영상 $f(x, y)$ 와 선소 패턴 $h_i(x, y)$ 의 상호 상관 $c_i(x, y)$ 의 결과는 모든 i 에 대해 병렬적으로 얻어지며, 회전다중으로 기록하였으므로 투과빔 주위로 둥글게 나타난다.

광학적 실험에서 식 (1)의 HT의 투사각은 이산적으로 사용되어진다. 사실 그림 1과 같은 방식의 HT 필터제작 방법에서는 HT의 결과는 상호상관값이 나타나는 범위와 동일하다. 따라서 이들을 구분하여 검출하기 위해서는 이 범위 이상으로 떨어진 곳에서 또 다른 다중화를 하여야만 한다. HT 결과의 범위를 결정하는 요소로 기록매질의 두께가 중요한 의미를 갖는다. 두께가 얇을수록 이 범위는 더 넓어진다. 그러나 너무 두꺼운 매질은 변위불변성(shift invariance)이 존재하지 않는 문제점을 가진다. 따라서 이들 사이에는 절충점이 있으므로 실험목적에 맞게 사용하여야 한다.

광학적으로 HT 필터를 이용하여 특징을 검출하는 방법에서 광학적 잡음의 영향 때문에 낮은 세기값을 정확하게 얻기 어렵다. 따라서 보통의 경우에는 변환결과에서 광세기값이 높은 첨두값들을 찾는다. 하지만 이런 높은 빛세기 첨두값들을 찾을 경우 다음과 같은 문제점이 존재할 수 있다. 그림 2에서 보여지듯이 선소의 방향이 동일하고 선소의 위치가 이동된 패턴들의 경우에서 그 첨두값의 위치만을 추출하여서는 구분이 힘들다. 사실 선소의 위치 정보는 낮은 광세기값들에 포함되어 있는데 이들을 제거했기 때문에 이런 두 패턴을 구분할 수 없다.

2.2. HT 필터 배열의 제작과 특징추출

단일 HT 필터를 사용하여 특징을 추출할 경우의 문제점들을 극복하기 위해 광학적 HT 필터 배열을 사용하는 방법을 제안한다. 제안하는 HT 필터 배열을 이용하는 시스템의 원리는 그림 3과 같이 이해할 수 있다. 그림 3(a)는 일반적인 HT 변환에서 선소에 대한 특징을 찾아내는 방법을 설명하고 있다. 어떤 특정한 입력패턴 전체에 대해 추출하고자 하는 특

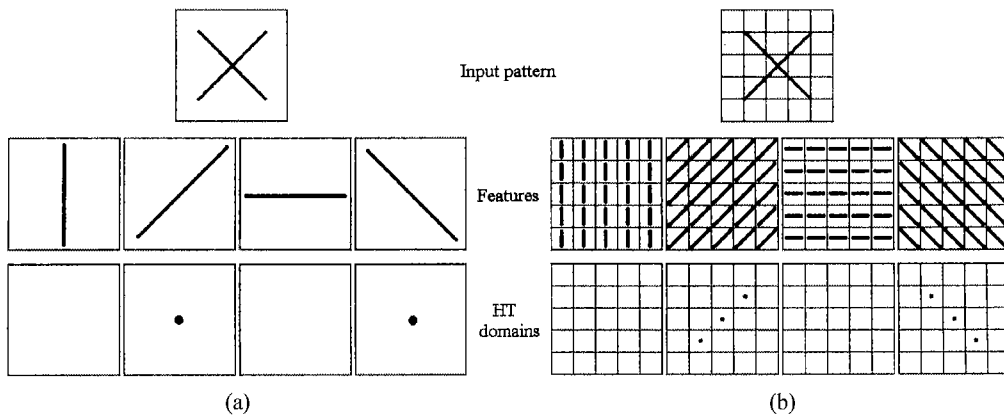


그림 3. (a) 기존의 HT의 과정. (b) 제안하는 방식의 HT 배열의 과정.

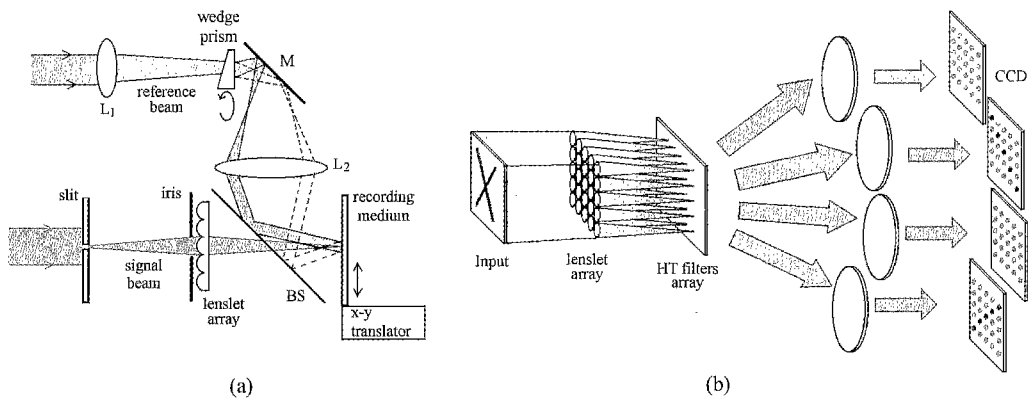


그림 4. (a) HT 필터 배열을 제작하기 위한 광학적 시스템. (b) 제작된 필터 배열을 이용한 특징 추출.

징이 있을 경우에는 그 특징값이 얻어지게 된다. 반면에 그림 3(b)에서는 광학적으로 구현하려는 HT 필터 배열에 의해 수행되는 방식을 설명하고 있다. 즉, 입력패턴이 작은 영역들로 분할되어 각 영역에 해당하는 작은 특징들의 조합에 의해 해당하는 추출결과가 얻어짐을 보여준다.

그림 3(b)에서의 방식을 구현하기 위한 HT 필터 배열을 제작하기 위한 광학적 시스템의 구조를 그림 4(a)에 나타내었다. 하나의 필터를 제작하기 위해서는 먼저 추출하고자 하는 선소들을 렌즈릿 어레이에 있는 하나의 렌즈를 통과하게 하여 Fourier 변환을 시킨다. 이때 조리개(iris)는 다른 렌즈릿 어레이로 빔이 입사되는 것을 차단하기 위해 사용하였다. 렌즈릿을 통과한 선소패턴은 다른 경로로 입사되는 기준빔과 함께

홀로그램을 제작한다. 추출하고자 하는 선소 수만큼 기준빔의 각도를 달리하며 반복적으로 수행한다. 기준빔의 방향을 제어하기 위해서는 췌기 프리즘을 이용하여 회전다중 방식을 사용한다.^[17,18] 그러면 하나의 HT 필터가 완성된다.

HT 필터 배열 제작을 위해 기록매질은 공간적으로 이동이 가능하도록 x-y축 이동기(translator)에 놓였다. 원하는 필터 배열의 크기에 맞도록 x 또는 y 축으로 이동기를 이동하며 앞에서의 기록과정을 반복한다. 이 때 필터사이의 간격은 사용할 렌즈릿 어레이의 각 렌즈사이의 거리만큼 이동하여 제작한다. 그림 4(b)는 완성된 HT 필터배열에 입력영상을 입력시키고 출력을 얻는 방법을 보여주고 있다.

HT 필터 배열에서 입력패턴으로부터 선소 특징을 잘 찾아

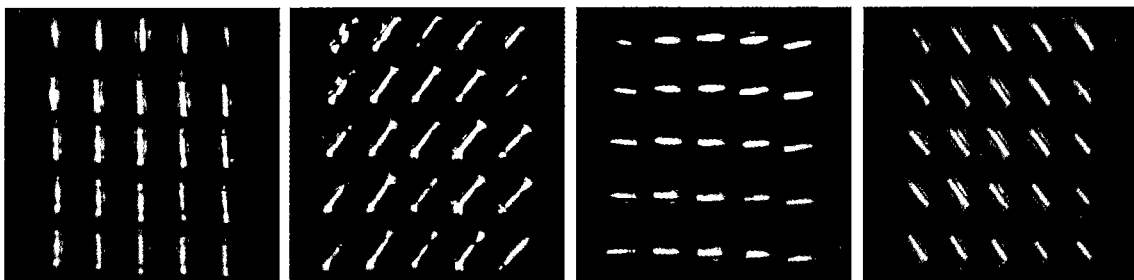


그림 5. 제작된 HT 필터 배열에 단순평면파가 입사된 경우의 출력 결과.



그림 6. 여러 단순 선소 형태의 패턴이 입사했을때의 출력 결과.

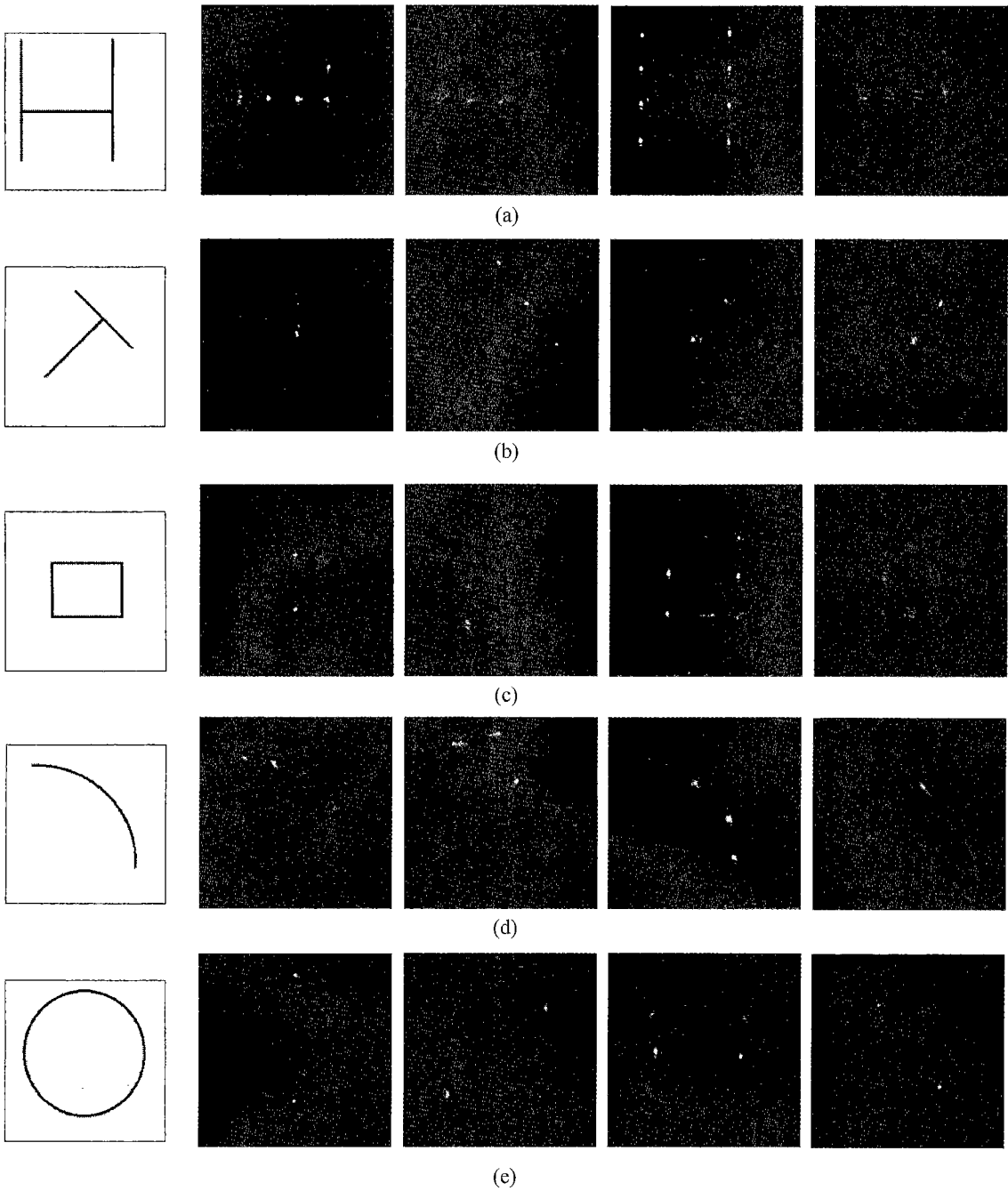


그림 7. 여러 복잡한 패턴이 입사되었을때의 결과.

내기 위한 조건은 얼마나 많은 선소들의 방향이 필터에 저장 되는가에 의존한다. 그러나 무작정 많은 선소들을 다중기록할 수 없다. 왜냐하면 필터배열에서 나오는 각각의 특징들이 존재하는 범위가 만들어지기 때문에 이 범위 이상의 범위를 벗어나서 다음 선소들을 기록해야 한다. 이들 범위를 줄이기 위해서는 렌즈렛 어레이의 전체크기를 줄이거나 특징추출을 위한 검출 부분의 렌즈의 초점거리가 길어야 한다. 또는 기준빔이 입사되는 각이 크면 이 범위를 줄일 수 있다. 따라서 이런 항목들을 고려한 시스템 디자인이 필요하다.

III. 실험결과

HT 필터 배열을 제작하기 위해 실제 실험에서는 기록매질로 38 μm의 DuPont 사의 광폴리머를 사용하였고 광원으로는 514.5 nm의 아르곤이온 레이저를 사용하였다. 그림 4(a)에서 선소패턴을 만들기 위해서 폭이 약 500 μm이고 길이가 5 mm인 슬릿(Slit)을 사용하였다. 사용된 렌즈렛 어레이는 전체가 8×8 크기이고, 하나의 렌즈는 직경이 3 mm, 초점거리는 5 cm이다. 기준빔은 썩기 프리즘을 이용하여 회전다중방식으로 빔이 회전되도록 하였다. 기록매질은 x-y축 이동기에 설치되었고, 하나의 필터가 완성되면 공간적으로 3 mm를 이동시켜서 다음 필터를 제작하였다. 제안한 방식의 유용한 성질을 실험적으로 보이기 위해 5×5 크기의 HT 필터 배열을 제작하였다. 이때 추출하고자 하는 선소들은 수직과 수평 그리고 대각선(45°) 선소 4종류이고, 이들을 기록하기 위한 기준빔은 45도씩 회전하면서 기록하였다. HT 결과 검출을 위해 렌즈는 Kodak 카메라 렌즈를 사용하였고, CCD를 이용하였다. 이때 출력되는 영상의 결과값의 전체 크기가 한 면이 1.2 cm이기 때문에 렌즈로 축소하여 CCD로 검출하였다.

이렇게 제작된 HT 필터 배열에 입력패턴은 렌즈렛 어레이를 통하여 입사시킨다. 입력패턴이 단순한 평면파인 경우의 결과를 그림 5에 나타내었다. 각각의 결과는 이미징 렌즈와 CCD 카메라를 출력측에서 이동시켜 가며 검출하였다. 그림 6은 단순한 여러 선소 패턴들이 입사되었을 때 해당되는 선소에 대해 특징을 얻어진 결과를 보여준다. 그림 7은 여러 가지 복잡한 패턴이 입력되었을 때 얻어진 결과들이다.

IV. 토의 및 결론

HT 필터 배열을 제작할 때, 필터 배열 전체의 크기는 중요한 의미를 가진다. 왜냐하면 필터 배열로부터 얻어지는 결과값의 범위가 필터배열의 크기와 동일하기 때문이다. 이 필터배열의 크기가 크면 이들을 분리하여 검출하기 위한 출력면의 영역이 커지기 때문에 홀로그래를 다중화할 수 있는 개수가 줄어든다. 따라서 이런 점을 고려할 경우에 본 논문에서 수행한 5×5 배열의 크기가 1.2 cm×1.2 cm 이므로 4개 정도의 홀로그래 다중화가 가능했다. 이를 개선하기 위해서는 렌즈렛 어레이의 전체 크기가 작거나 기준빔의 입사각도가 입사축에 대해 커지게 되면 좀 더 많은 다중화를 수행할 수 있을 것이다.

한편 HT 필터배열로부터 얻어지는 결과를 이용하여 패턴인

식에 응용하기 위한 가장 단순한 방법은 각각의 필터로부터 얻어지는 HT 결과의 영역에 대해 단순히 침투값의 개수로 인식하는 방법이다. 본 논문에서 구현한 필터를 이용할 경우에는 4가지의 선소 방향에 대해 각 필터 영역이 5×5이므로 총 200개의 값을 가지고 인식을 수행할 수 있다. 좀 더 정확한 패턴인식을 위해서는 각 필터 결과 영역의 위치정보를 포함하는 방법을 사용할 수도 있다.

본 논문에서는 HT 필터 배열을 이용하여 광학적으로 선소의 특징을 쉽게 찾을 수 있는 시스템을 제안하였다. 실제 실험으로 5×5 크기의 필터 배열을 제작하여 여러 가지 패턴에 대해 특징추출 결과를 보고하였다. 제안한 방식은 광학적 패턴인식을 위한 한 가지 방법으로 사용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 학술진흥재단 협동연구과제(KRF-99-042-D00062-D3001)의 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] R. D. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough transform to detect lines and curves of space-variant holographic filters," *Commun. ACM*, vol. 15, pp. 11-15, 1972.
- [2] L. Feng and Y. Fainman, "Detection of a general ellipse by an optical Hough transform," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 17, pp. 3259-3262, 1992.
- [3] R. M. Inigo, E. S. McVey, B. J. Berger, and M. J. Wirtz, "Machine vision applied to vehicle guidance," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-6, no. 6, pp. 820-826, 1984.
- [4] K. Y. Huanf, K. S. Fu, T. H. Sheen, and S. W. Cheng, "Image processing of seismograms: (A) Hough transformation for the detection of seismic patterns; (B) Thinning processing in the seismogram," *Pattern Recognition*, vol. 18, no. 16, pp. 429-440, 1985.
- [5] K. T. Reed and J. R. Parker, "Automatic computer recognition of printed music," *Proceedings of ICPR'96*, pp. 803-807, 1996.
- [6] W. H. Steier and R. K. Shori, "Optical Hough transform," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 16, pp. 2734-2738, 1986.
- [7] G. Eichmann and B. Z. Dong, "Coherent optical production of the Hough transform," *Appl. Opt.*, vol. 22, no. 6, pp. 830-834, 1983.
- [8] F. S. Roux, "Diffractive optical Hough transform implemented with phase singularities," *Appl. Opt.*, vol. 33, no. 14, pp. 2955-2959, 1987.
- [9] J. Richard, P. Vermeulen, E. Barnard, and D. P. Casasent, "Parallel holographic generation of multiple Hough-transform slice," *Appl. Opt.*, vol. 27, no. 21, pp. 4540-4545, 1988.
- [10] P. Ambs, S. H. Lee, Q. Tian, and Y. Fainman, "Optical implementation of the Hough transform by a matrix of holograms," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 22, pp. 4039-4045,

- 1986.
- [11] K. Mori and R. Ohba, "Optical Hough-transform processor with a two-dimensional array of computer-generated holograms," *Appl. Opt.*, vol. 33, no. 14, pp. 3111-3117, 1994.
- [12] P. S. Wu and M. Li, "Pyramid adaptive dynamic Hough transform to detect edges with arbitrary shapes," *Opt. Eng.*, vol. 36, no. 5, pp. 1425-1430, 1997.
- [13] J.-S. Jang and D.-H. Shin, "Parallel optical-feature extraction by use of rotationally multiplexed holograms," *Opt. Lett.*, vol. 21, no. 19, pp. 1612-1614, 1996.
- [14] D.-H. Shin and J.-S. Jang, "Optical implementation of the Hough transform by use of rotationally multiplexed holograms," *Appl. Opt.*, vol. 37, no. 2, pp. 329-333, 1998.
- [15] D.-H. Shin and J.-S. Jang, "Optical implementation of the generalized Hough transform by use of multiplexed holograms," *Opt. Eng.*, vol. 39, no. 9, pp. 2431-2438, 2000.
- [16] J.-S. Jang and D.-H. Shin, "Shift- and deformation-robust optical character recognition based on parallel extraction of simple features," *The International Society for Optical Engineering, Proceeding of SPIE*, vol. 3703, pp. 265-276, 1997.
- [17] J.-S. Jang and D.-H. Shin, "Implementation of holographic storage system by combined use of rotational, angle, and shift multiplexing methods," *The International Society for Optical Engineering, Proceedings of SPIE*, vol. 3468, pp. 30-37, 1998.
- [18] J.-S. Jang, D.-H. Shin, and Y.-S. Park, "Holographic data storage by combined use of peristrophic, angular, and spatial multiplexing," *Opt. Eng.*, vol. 39, no. 11, pp. 2975-2981, 2000.

Optical feature extraction by use of an array of the Hough transform filters

Ju-Seog Jang^{1†}, Dong-Hak Shin¹, and Young Soo Kang²

¹*Division of Electronics, Computers, and Telecommunications,*

²*Department of Chemistry, Pukyong National University, Pusan 608-737, KOREA*

[†]*E-mail: jsjang@pknu.ac.kr*

Byung Kyu Kim

Department of Polymer Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA

(Received September 15, 2000 ; Revised manuscript received December 26, 2000)

We propose a method to extract features optically from the input pattern by use of an array of Hough transform filters. Here the subparts of the input pattern are Hough-transformed by their corresponding elements of the filter array independently and simultaneously. Compared with the conventional method, in which the whole input pattern is Hough-transformed by a single optical filter, the proposed method not only provides the improved optical transform results when the input pattern becomes complex but also extracts the approximate position information of the line segment features. To show the feasibility of this approach, we fabricated a 5×5 filter array and performed preliminary experiments.

Keyword : IP010.