

論 文

光相關器를 이용한 컴퓨터用 光文字認識에 관한 研究

準會員 朴 賢 澈* 正會員 宋 宇 永** 正會員 朴 漢 奎***

A Study on the Optical Character Recognition
using Optical Correlators Computer

Hyun Cheol PARK, Associate Member and Woo Young SONG,
Han Kyu PARK, Regular Members

要 約 N 개의 문자를 인식하기 위해 $\log_2 N$ 번의 이진측정만을 요구하는 주요문자형태 (principal components)를 컴퓨터에 의해 계산, 제작하였고 비간섭성 광상관기 (incoherent optical correlator)를 구성하여 상관계수를 측정하였다. 종래의 최적 필터를 사용한 애널로그 상관계수 측정법보다 뛰어난 식별능력을 보였다.

ABSTRACT Only $K = \log_2 N$ reference patterns called principal components are sufficient to identify one out of N characters, calculated by computer and fabricated. An incoherent optical correlator is used for correlation coefficient measurements and it is shown that that this method has better discrimination ability than analog measurements using matched filter.

1. 序 論

광문자 인식은 2차원 신호를 並列處理함과 그 빠른 처리속도에 장점을 지니고 있는 光信號處理의 한 예이다. 이러한 인식은 광상관기 (optical correlator)에 기초하고 있다. 광상관기는 1932년 Goldberg에 의해 고안되었고 1964년 Vander-Lugt가 복소 필터 이론을 발표함에 따라 완성되었다. 本論文에서는 비간섭성 광원을 이용한 광상관기를 구성, 미지문자를 인식하고자 한다. 비간섭성⁽¹⁾ 광원 (Incoherent light source)은 레이저와 같은 干涉性光源에 비해 먼지나 외부신호와의 간섭 등에 영향을 덜 받고 다양한 入力分布를 가질 수 있고 필터裝置가 용이하다는 점에서 유리하다. 또한 종래의 N 개의 문자인식을 위해 애널로그 상관계수를 구해 가장 큰 값을 구하는 방법

과는 달리 각 문자에 2진⁽²⁾ 코우드를 부여하고 주요문자형태 (principal component : PC)라는 기준 패턴을 만들어 出力값이 2진 형태로 나타남으로써 인식할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 非干涉性光信號處理

2.1 非干涉性和 干涉性

간섭성 처리방식은 볼록 렌즈의 푸리에 변환 능력과 변위 불변 선형 시스템 이론을 직접 광 시스템에 적용시킬 수 있고 複素數데이터 처리 능력을 지니고 있다. 반면에 간섭성 처리 시스템은 몇 가지 제약을 안고 있는데 첫째, 入力端의 光分布가 複素振幅形態를 가져야 한다. 이것은 photo-transparency에 평행한 레이저광을 비추어서 얻어지지만 emulsion이나 필름 베이스의 두께 변화에 따라 位相이 영향을 받으므로 잘 조절해야 한다. 또한 처리되는 정보가 photo-transparency 형태로 적합하지 않거나 실시간 처리를 위해서는 공간 광변조기 (spatial light modulator)를 사용해야 하나 가격이 비싼 단점이 있다. 두번째는 먼지와 렌즈를 비롯한 광소자에 흠이나 긁힌 상

* ** *** 延世大學校工科大學電子工學科
Dept. of Electronic Engineering Yonsei University,
Seoul 120 Korea
論文番號 : 84 - 24 (1984. 11. 21)

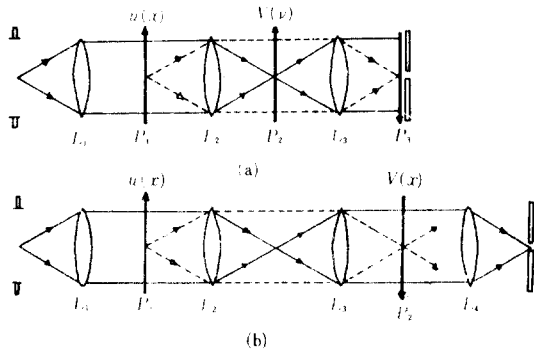


그림 1 비간섭성 광상관계기
(a)필터 방식 (b)직접 상관 방식
Incoherent optical correlator.
(a)filter correlation (b)direct correlation

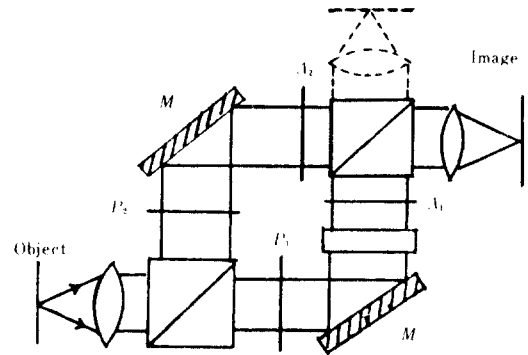


그림 2 2-pupil 공간 필터링 시스템
2-pupil spatial filtering system.

차 등에 의한 중력단에 의한 집중문제이다. 이 집중의 진화와 감소를 일으키는 중력단의 映像의 집중을 떨어뜨린다. 반면에 비간섭성을 이러한 제약이 없다. 입력분포가 빛의 세기뿐만 나타나므로 TV 화면¹⁾, 2-D LED 배열, 반사된 물체 등도 入力으로 사용될 수 있고 비간섭성 광처리 시스템은 광소자의 번거로움에도 당 영향을 받는다. 그러나 비간섭성 광원을 사용시 양의 집중값만을 입·출력에서 갖게 되므로 부소값이나 음수값을 처리하기 위해 전자회로 등과 결합한 여러 가지 복잡방식이 필요하다.

2.2 非干渉性處理시스템

비간섭성 처리 시스템을 제기에 대한 선형 필터 동작으로 생각할 수 있다. 전달함수는 pupil함수 $\tilde{P}(v)$ 의 autocorrelation함수로 표시되고

$$\tilde{F}(v) = \int \tilde{P}(v+\nu)\tilde{P}(\nu) d\nu \quad (1)$$

다시 정규화시키면 함수 $\tilde{F}(v)$ 를 광전달 함수(Optical Transfer Function: OTF)라고 한다. 시스템 응답함수 혹은 제기 점분포 함수 $F(x)$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} F(x) &= \int \tilde{F}(v) \exp(2\pi i v x) dv \\ &= |P(x)|^2 \\ P(x) &= \int \tilde{P}(v) \exp(2\pi i v x) dv \end{aligned} \quad (2)$$

즉 $F(x)$ 는 간섭성 시스템의 임펄스 응답의 선대값의 세곱으로 나타낼 수 있다. 신호 $I(x)$ 를 갖기 위한 최적 필터 역할을 하는 pupil함수 $\tilde{P}(v)$ 를 갖기 위해 다음과 같은 관계를 가진다.

$$I(x) \rightarrow I(-x) = F(x) \rightarrow [F(x)]^{1/2} = |P(x)|$$

$$P(x) = |P(x)| \exp i\phi(x) \quad \phi(x) : \text{랜덤 위상} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \tilde{P}(v) &= \int P(x) \exp(-2\pi i v x) dx \\ \therefore \tilde{P}(v) &= \int [I(-x)]^{1/2} \exp[i\phi(x)] \exp(-2\pi i v x) dx \end{aligned} \quad (4)$$

비간섭성 최적 필터링을 위한 $\tilde{P}(v)$ 를 그림 1 (a)의 P_2 면에 놓으면 원하는 신호를 추출하기 위한 비간섭성 광상관계기를 구성할 수 있다. 또한 직접 상관방식을 이용한 경우 식(3)을 이용하여 얻을 수 그림 1 (b)의 P_2 면에 놓으면 된다.

2.3 2-pupil⁵⁾ OTF 합성법

간섭성 처리방식에 비해 비간섭성 처리방식은 시스템 응답함수 $F(x)$ 가 영의 집중값만 갖게 되어 비간섭성 공간 필터링에는 대역폭과 필터링을 할 수 없다. 이러한 제약은 영상개선, 코우드 변환, Wiener 필터링, 영상 미분 등의 연산을 수행할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법 중 하나가 두 pupil transparency를 이용하여 조력 빛의 세기를 영과 음의 값을 갖는 신호로 바꾸는 방법이다. 두 pupil함수 P_1, P_2 를 결합한 새로운 pupil함수

$$P(u) = A_1 \tilde{P}_1(u) \exp(i\phi) + A_2 \tilde{P}_2(u) \quad (5)$$

(A_1, A_2 : 영의 실수)

의 형태로 나타낼 수 있고 광전달 함수

$$\begin{aligned} F(u) &= A_1^2 [\tilde{P}_1(u) \otimes \tilde{P}_1(u)] \\ &+ A_2^2 [\tilde{P}_2(u) \otimes \tilde{P}_2(u)] \\ &+ A_1 A_2 [\tilde{P}_1(u) \otimes \tilde{P}_2(u) \exp(i\phi) \\ &+ [\tilde{P}_2(u) \otimes \tilde{P}_1(u)] \exp(-i\phi)] \end{aligned} \quad (6)$$

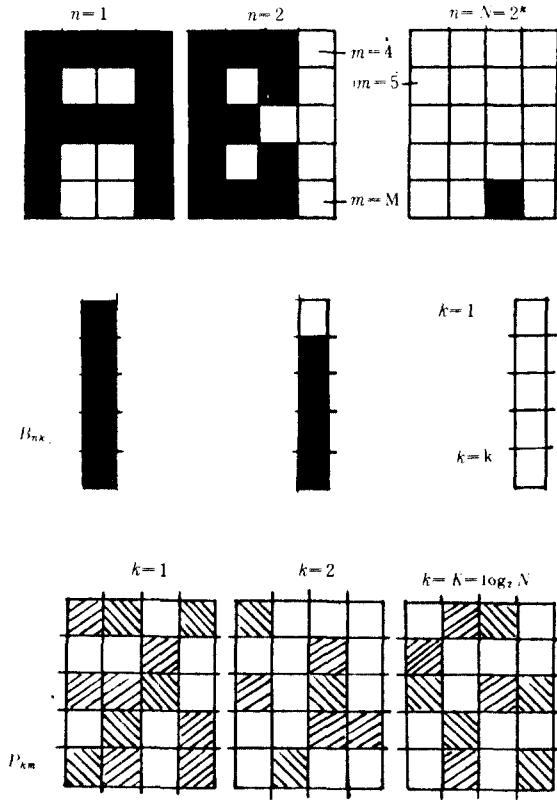


그림 3 (a) 입력 (b) 이진출력 (c) PC패턴
(a)input (b)binary output (c)PC pattern.

가 되고 시스템 응답함수

$$F(x) = A_1^2 |P_1(x)|^2 + A_2^2 |P_2(x)|^2 + A_1 A_2 [P_1(x) P_2^*(x) \exp(i\phi) + P_1^*(x) P_2(x) \exp(-i\phi)] \quad (7)$$

로 된다. 식(6), (7)에서 알 수 있듯이 새로운 광 전달 함수는 대역 필터 형태를 갖게 되고 시스템 응답함수는 음수도 표시하게 된다. 그림 2는 이러한 2 pupil공간 필터 시스템을 나타낸 것이다.

3. 主要文字形態 (PC)發生앨거리덤

3.1 PC패턴

1964년 Vander Lugt는 N 개의 문자를 인식하기 위해 각 문자에 대한 최적 필터를 제작, 각각에 대해 상관을 취하여 인식하였다. 1965년 Gabor는 "코우드變換方法"을 통해 N 번의 애널로그 측정대신 이진 측정방법을 제시하였다. Gabor의 이론을 더욱 발전시킨 것이 PC앨거리덤이다. 일렬

로 정렬해 있는 32개의 물체의 위치를 파악하는데 5번의 측정만이 필요하듯이 32개의 문자 중 하나를 인식하는데 5번의 2진측정으로 충분하다는 것이다. 즉 미지⁽⁴⁾의 문자 $U_n(x)$ ($n=1, 2, \dots, N$)와 K 개의 주요문자형태 $F_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, K=\log_2 N$)와의 상관값을 1 아니면 0이 나오게 설계한다. 따라서 K 비트의 코우드 B_{nk} 가 각 문자 $U_n(x)$ 에 할당되고 식으로 표시하면

$$\int U_n(x) F_k^*(x) dx = B_{nk} \quad (8)$$

이 된다. 주요문자형태를 찾기 위한 앨거리덤은 각 문자와 PC패턴을 그림 3과 같이 M 개의 pixel로 나타낼때 線型方程式의 解로 나타난다.

$$\sum_{m=1}^M U_{nm} F_{km} = B_{nk} \quad (n=1, 2, \dots, N \quad k=1, 2, \dots, K=\log_2 N) \quad (9)$$

(c)의 PC패턴의 화소가 다르게 출처 있는 것은 0과 1뿐 아니라 연속적인 양수 또는 음수값으로 나타나는 것을 말한다.

2.2 앨거리덤

각 문자와 주요문자 형태가 M 개의 점에서만 알고 있을 때

$$U_n(x) = \sum_{m=1}^M U_n(m/W) \text{sinc}(x-m/W)$$

$$F_k(x) = \sum_{m=1}^M F_k(m/W) \text{sinc}(x-m/W) \quad (10)$$

이코 비간섭성 광원을 고려하여 식(8)을 다시 쓰면

$$\int U_n(x) F_k^*(x) = B_{nk} = I_{nk}(0)$$

이코

$$I_{nk}(0) = \sum_{m=1}^M U_n(m/W) F_k^*(m/W) \quad (11)$$

로 쓸 수 있다. 모든 입력을 포함하는 U 는 $M \times N$ 매트릭스 $[U_1, \dots, U_N]$ 로 표시하고 식(11)은

$$U^* \cdot F_k = I_k^* \quad (k=1, \dots, K) \quad (12)$$

(+ : Hermitian Conjugate)

와 같이 M 개의 미지수 F_{mk} 를 갖는 N 개의 선형 방정식이다. 만약 PC패턴이 모든 N 개의 문자로 구성되어 있다고 하면

$$E_k = r_k \cdot U \quad (13)$$

이코 식(12)에 대입하면 $r_k = (U^* \cdot U)^{-1} I_k^*$ 가 되어



그림 4 입력 패턴
Input pattern.

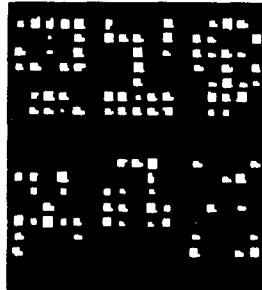


그림 5 PC패턴
PC patterns.

$$F_k = U(U^T \cdot U)^{-1} I_k^* \quad (14)$$

가 된다. 만약 문자가 서로 유사한 경우 매트릭스 U 는 거의 singular하게 되고 $U(U^T \cdot U)^{-1}$ 과 식(14)의 F_k 는 매우 불안정하게 된다. 따라서 입력 신호의 작은 변동 δU_n 이 출력 신호

$$\delta I_{nk}^* = \delta U_n^T \cdot F_k = \delta U_n^T U(U^T \cdot U)^{-1} I_k^* \quad (15)$$

에 큰 영향을 미치게 되어 부정확한 코우드의 해석이 내려지게 된다. 따라서 최적조건은 PC패턴과 코우드 벡터 I_k 를 잘 조정해서 信號의 標準 偏差 σ 가 신호의 범위 $\Delta I = (I_{max} - I_{min})$ 보다 훨씬 작게 해야 한다. 이러한 조건 아래 다시 방정식 (12)를 출력신호의 variance를 최소화하는 조건으로 풀면

$$\sigma_k^2 = 1/N \sum_{n=1}^N |\delta I_{nk}^*|^2 = 1/N \langle \delta I_k^T \delta I_k^* \rangle$$

$\langle \quad \rangle$: 기대값

$$= 1/N F_k^T \langle \delta U \cdot \delta U^T \rangle F_k = 1/N F_k^T \Sigma^2 F_k \quad (16)$$

가 된다. 앞에서 구해준 PC패턴 F_k 를 최적조건 하에서 다시 풀면 입력신호의 preprocessor를 고려할 때 갖아낼 수 있다. 선형 operator V 로 표시되는 이러한 preprocessor는 PC패턴과 상관을 취하기 전 입력 데이터 U 를 $V \cdot U$ 로 바꾸어 주는 역할을 한다. V 를 C 라고 선택하면 PC패턴과 출력신호의 variance는 다음과 같이 표시할 수 있다.

표 2 각 비트에서의 Variance 값
Variance values at each bit.

k :	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1 :	1.0111569	1.431741E-03	1.03178E-03
2 :	-1.431741E-03	9.33303E-03	8.96254E-04
3 :	1.03178E-03	8.96254E-04	7.8914E-04

표 1 각 문자에 할당된 코우드
Cords assigned to each characters.

	A	β	X	1	Φ	9	인	식
비트 2	0	0	0	0	1	1	1	1
비트 1	0	0	1	1	0	0	1	1
비트 0	0	1	0	1	0	1	0	1

$$F_k = \Sigma^{-2} U(U^T \Sigma^{-2} U)^{-1} I_k^* \\ \sigma_k^2 = 1/N I_k^T (U^T \Sigma^{-2} U)^{-1} I_k^* \quad (17)$$

3.3 PC패턴製作方法

비간섭성 광원은 사용시 문제점은 앞서서도 지적했듯이 계산된 F_k 가 음수를 가질 때이다. 이것을 해결하기 위해 F_k 를 양수부와 음수부로 나누어

$$F_k = F_k^+ - F_k^- \quad (F_{mk}^+, F_{mk}^- \geq 0 \quad m=1, 2, \dots, M) \quad (18)$$

입력문자는 F_k^+ 와 F_k^- 를 분리해서 상관을 취한 후 결과치는 배치 최종결과를 얻는다. 필터를 사용하여 인식코자 할 때는 pupil함수 $P(\nu)$ 를 F_k^+ 의 푸리에 홀로그램으로 얻을 수 있고 직접 상관인 경우 $P_k^+ = [F_k^+]^2$ 를 transparency로 나타낼 수 있다.

4. 實驗 및 結果考察

非干渉性光源을 이용한 광상관기를 구성함에 있어서 본 논문에서는 직접 상관방식을 취하였다. 입력문자에 대한 PC패턴을 식(17)에 의해 구하였다. 입력문자는 8개의 문자를 각 7×5 pixel로 나타내었고 그 패턴은 그림 4에 나타나 있다. 각 문자에 할당된 코우드는 표 1에 나타내었고 그림 5는 구해진 PC패턴이다. 식(17)에 구해진 각 pixel에서의 값을 컴소용 변조방식에 의해 구하였다. 위 부분은 양수부이고 아래는 음수부이다.

전체 실험도는 그림 6과 같다. 비간섭성 광원

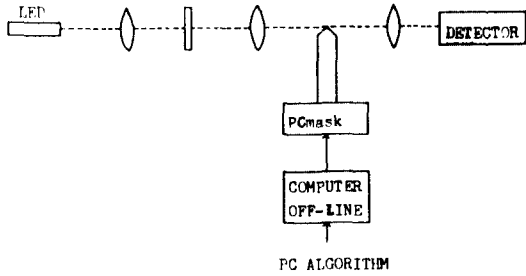


그림 6 전체 실험도
Experimental set up.

인 LED를 사용, 마스크에 비추었다.

표 2는 k 값에 따른 각 비트에서의 variance 값이다.

본 실험에서는 양수부, 음수부를 나누어 측정했지만 2.3에서 설명한 2-pupil 합성법을 구성, 동시에 뺄 수 있는 시스템에 대한 연구가 필요하다.

실험결과는 표 3에 나타내었다. 1과 0을 가르는 기준은 1[nW]이고 뚜렷하게 구별할 수 있었으며 종래의 애널로그 상관 측정법보다 훨씬 뛰어난 식별능력을 가지고 있었으며 정확한 PC 마스크의 整置도 요구되지 않았다.

5. 結 論

N 개의 입력문자에 대해 $\log_2 N$ 번의 2진 상관 측정에 의해 인식할 수 있는 방법을 나타내었고 비간섭성 광원을 이용해 상관기를 구성하였다.

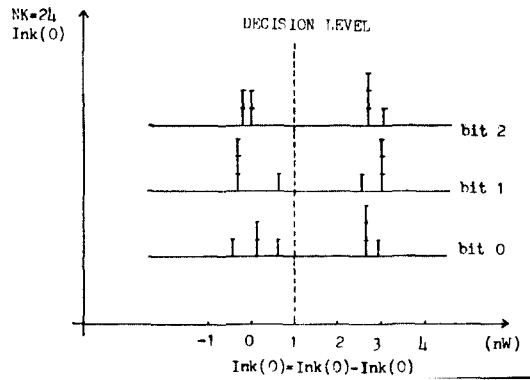
본 시스템은 설치가 간단하고 비용이 저렴하므로 OCR등에 응용할 수 있다.

本論文을 위하여 研究費를 지원하여 주신 韓國學術振興財團에 감사드립니다.

參 考 文 獻

- (1) S. H Lee, "Optical information processing," Springer-Verlag, 1981.
- (2) B. Braunecker et. al, "Character recognition by digital holography," Opt. Commun, vol. 11, no. 2, pp. 141~143, 1974.
- (3) W. Maloney, "Real time holographic filtering of oscilloscope traces," Applied optics, vol. 10, no.11, pp. 2554~2555, 1971.
- (4) B. Braunecker, et. al, "Optical character recognition based on nonredundant correlation measurements," Applied Op-

표 3 실험 결과
Experimental results.



tics., vol. 18, no. 16, pp. 2746~2753, 1979.

- (5) A. W. Lohmann, "Two-pupil thynthesis of optical transfer functions," Applied Optics, vol.17, no.7, pp. 1141~1150, 1978.



朴賢澈 (Hyun Cheol PARK) 正會員
1960年 6月 7日生
1979年 3月~1983年 2月: 연세대 전자공학과 학사
1983年 3月~1985年 2月: 연세대 학원 전자공학과 석사



宋宇永 (Woo Young SONG) 正會員
1954年 6月 3日生
1973年~1977年: 연세대 전자공학과 학사
1979年 8月~1981年 8月: 연세대 대학원 전자과 석사
1982年 3月~현재: 연세대 대학원 전자과 박사과정
1977年 10月~1979年 8月: 금성전기(주)
1982年 3月: 청주대 이공대학 전자과 전임 강사



朴漢奎 (Han Kyu PARK) 正會員
1941年 6月 21日生
1964年 2月: 연세대 대학원 전기공학 석사
1968年 2月: 연세대 대학원 전기공학 석사(工學碩士)
1973年: 불란성 카리대학교(주요노르대학교) 博士課程修了(DEA)
1975年: 불란성 카리대학교(ph. D)
1976年~現在: 연세대 대학원 전기공학 석사