

광신호처리 기술동향

姜玟鏞*, 金弘晩**

韓國電子通信研究所 光通信開發部

責任研究員*, 研究員**

I. 서 론

할 수 있다(그림 1).

광신호처리 기술은 빛을 매개체로 사용하여 각종 정보의 표현과 변환(representation and transformation), 전송(transmission), 인식(recognition), 재생과 회복(reconstruction and recovery) 및 저장(storage) 등의 유용한 기능을 행하는 것을 말한다. 기술의 발달 과정에서 볼 때 광신호처리의 배경에는 홀로그래피, 공간 필터링, Fourier 광학에 의한 아날로그 영역의 광신호처리 기술이 자리잡고 있으며 레이저 응용^{(1),(2)} 기술과도 깊은 연관을 갖고 있다. 고출력 레이저를 사용하는 가공기술을 제외한 대부분의 레이저공학적 이용기술이 넓은 의미의 광신호처리와 기술적 공통점을 지니고 있다 하여도 무방할 것이다. 그러나 광신호처리 기술을 이용한 광학시스템은 광이 갖는 고속성과 높은 병렬성을 잘 지니고 있지만 대부분 아날로그 영역의 신호 처리에 의한 정밀도의 결핍, 반복적인 처리 능력의 부족, 융통성의 부족등 단점을 가지고 있어서 실제의 산업적 응용이 제한되어 온 것이 사실이다. 그러나 최근에 광통신 기술의 획기적 발달,⁽³⁾ 우수한 품질을 가진 반도체 레이저의 상용화, 실온에서 동작 가능한 광쌍안정소자 개발⁽⁴⁾ 등 광전자(opto electronics) 기술의 발달과, 디지털 신호처리에 적합한 다양한 신호처리 방식 개발에 힘입어, 광신호처리 대상 영역의 확대와 함께 효용의 증대를 이룩하고 있다.

본 해설에서는 광신호처리의 주류를 형성하고 있는 광영상처리(optical image processing) 분야와 광계산(optical computing) 분야에 국한하여 그 기술적 배경과 응용에 관하여 기술하고자 한다.

II. 광영상처리

모든 기술 발달이 그렇듯이 광영상처리 분야 역시 주변 기술, 특히 레이저 기술의 영향을 많이 받고 있으며 홀로그래피기술이 그 직접적인 동기가 되었다고

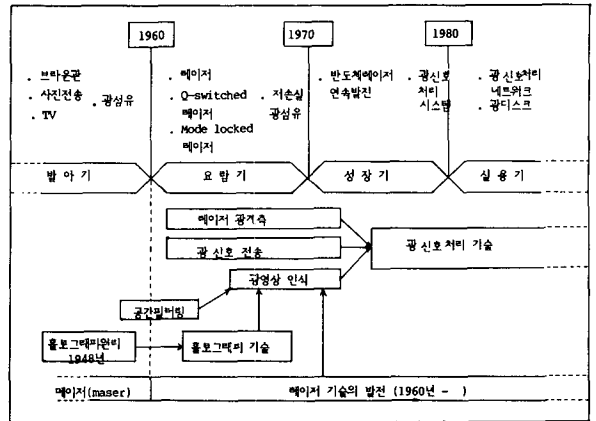


그림 1. 광신호처리 기술의 발달 경과⁽⁵⁾

그러나 이러한 홀로그래피 기술이 영상인식을 위한 도구로써 주목을 받게 된것은 1964년 Vander Lugt가 가간섭성 광원(coherent light source)을 이용하여 광진폭과 위상 정보를 동시에 기록한 정합필터(matched filter) 제작 방식을 제시 함으로써 시작되었다.⁽⁶⁾ 임의의 2차원 분포를 갖는 입력 영상에 대하여 정합필터에 기록된 영상과의 correlation 정도를 입력 영상의 변위에 무관하게(space invariant) 밝은 광점으로 출력면에 나타내므로 입력영상내에 찾고자 하는 영상의 존재 유무와 위치에 대한 정보를 알 수 있다. 그러나 이 방식은 비교하고자 하는 두 영상 사이에 크기 변화가 있거나 회전되어 있는 경우 출력면에서 신호의 S/N 비가 급격하게 감소되는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 광학적 영상인식 시스템에서는 다음과 같은 특성들이 요구되고 있다.⁽⁷⁾

1) 입력 영상의 위치, 크기, 각도 변화에 대해 출력

이 불변일 것

- 2) 동일한 class 내의 입력 영상 변화에 대해 인식특성이 동일해야 할 것과 서로 다른 class 간의 영상 변화에 대해 분리 식별이 용이할 것
- 3) 잡음에 의한 특성의 변화가 적을 것

1. SDF (synthetic discriminant function)를 이용한 광영상 인식

Vander Lugt의 발표 이후 이러한 바람직한 특성을 갖춘 광학적 영상인식 방법의 개발을 위하여 집중적인 연구가 이루어졌다. 그 결과, 공간좌표변환 기법⁸⁾을 이용하거나 예상되는 크기나 각도 변화에 대해 중첩된 홀로그래프 필터를 사용하는 방법⁹⁾ 등이 제시되었으나 위의 특성을 완전히 만족 시킬 수 있는 방법은 아직 이루어 지지 않은 형편이다. 한편 Casasent 등은 SDF (synthetic discriminant function)을 도입함으로써 특히 위 2)의 특성 개선을 시도하였다.¹¹⁾ 이것은 정합 필터 제작시 예상되는 class내 (within class) 및 class간 (between class) 입력 영상의 변위량 (variation)에 대해 인위적으로 최적화 시킨 정합 필터 함수를 구하기 위하여 대상 영상의 크기 변화, 각도의 변화, 찌그러진 정도 혹은 통계적인 영상의 변위를 포함시킨 훈련집단 (training set)을 자료로서 이용할 수 있어 Vander Lugt 방법에 비하여 많은 융통성 (flexibility)을 부여할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

다음 그림 2는 SDF를 이용한 광영상 인식 시스템을 도식화 한 것이다.

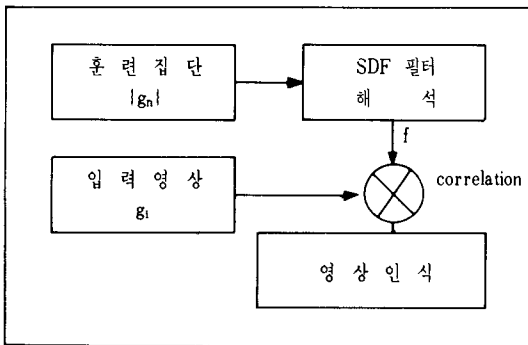


그림 2. SDF를 이용한 영상인식 구조

그러나 이 방식은 훈련집단의 수가 많아지면 SDF 필터 해석이 복잡하게 되며 필터의 높은 공간·대역폭 값 (space-bandwidth product)이 요구된다. SDF 필터

의 제작면에서 보면 SDF 필터 해석에 컴퓨터에 의한 계산이 요구되므로 CGH (computer generated hologram)를 사용하는 것이 필터 제작시 재현성 측면에서 보다 유리할 것으로 생각된다.

2. 불변모멘트 (invariant moment)를 이용한 광영상 인식

또 다른 광학적 영상 인식의 접근 방법으로서 광학적으로 구해진 영상의 기본모멘트 (basic moment)를 조합하여 위치, 크기, 각도, 변화에 불변인 새로운 모멘트 집합 (invariant moment set)을 구하여 디지털 영상 처리 알고리즘에 의해 해석하는 방법이 있다.¹¹⁾ 여기서 영상함수 $f(x, y)$ 에 대한 m, n 차 모멘트 G_{mn} 은 다음과 같이 표현된다.

$$G_{mn} = \int \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) x^m y^n dx dy$$

이러한 방법은 1962년 M. K. Hu에 의해서 처음 제시되었는데 주어진 영상 정보를 몇개의 모멘트 값으로 효율적으로 압축할 수 있어 디지털 신호처리 분야에서 영상인식의 한 방법으로 이용되어 왔다. 그러나 실시간적으로 영상인식에 사용되기 위해서는 대단히 많은 양의 계산량이 요구되어 컴퓨터의 계산속도에 의한 제약을 받게 된다. 광학적으로 이러한 기본 모멘트를 구하기 위한 방법으로는 각 모멘트에 해당하는 중첩 홀로그래프 필터 (multiplexed hologram filter)를 만들고 이것과 입력 영상과의 correlation 값이 어레이 (array) 광 검출기로 읽혀지도록 한 방법이 알려져 있다. 이때 기준 모멘트는 광학적인 방법으로 구하여 지지만 이것들의 결합으로 불변 모멘트 집합을 구하기 위해서는 컴퓨터의 도움을 받아야 하므로 전체 시스템은 다음 그림 3과 같이 하이브리드 형태가 된다.

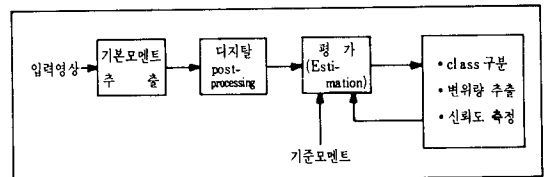


그림 3. 모멘트추출 방식의 하이브리드 영상적인 구조

3. 連想기억 (associative memory) 작용에 의한 광영상인식

광학적 방법의 영상인식에 있어서는 앞에서 보기로 든 두가지 방법과 같이 Vander Lugt 방법 혹은 그 변형된 방법이 주류를 이루어 왔으나 최근에 새로운 방

법의 영상인식 방법이 연구되고 있는데 그 대표적인 것으로는 Hopfield 모델을 이용한 連想기억 작용에 의한 광영상 인식을 들 수 있다.^[12] Hopfield 모델^[13]은 다음 그림 4와 같이 여러개의 벡터 신호들이 저장된 행렬 형태의 신호 저장부의 구조를 갖고 있으며 입력된 신호와 저장된 신호 사이에서 벡터 행렬의 곱셈, 곱셈 결과의 이진(binary)화(+1 혹은 -1), 이진화된 신호를 다시 입력 신호로 케환(feedback) 시키는 작용이 반복적으로 이루어져 출력된 신호는 저장된 신호중 처음 입력된 신호와 가장 가까운(min. Hamming distance) 저장된 신호중 벡터 신호로 점차 수렴하게 된다.

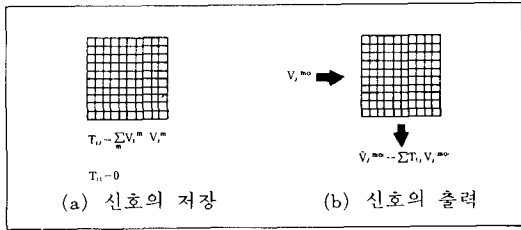


그림 4. Hopfield 모델에서의 신호의 저장과 출력

Hopfield 모델은 몇가지 독특한 특징을 갖고 있는데 입력에 대해 연상기억 작용을 한다는 것 이외에도, 벡터 행렬곱과 같은 선형적 요소와 이진화, 케환과 같은 비 선형적 요소를 모두 갖고 있으며 동일한 작용을 하는 처리 요소들이 상호 강력하게 연결되어 있는 특징과, 신호처리가 비동기적(asynchronous)으로 일어나도 무방하며, 기억 행렬 내의 일부가 파손되어도 전체 시스템의 동작에 큰 영향을 주지 않는다는 특징을 갖고 있다. 광학적으로 Hopfield 모델을 실현하는 방법으로는 홀로그래프 메모리를 이용하는 방법^[14], LED 어레이 혹은 A-O소자(acousto-optic device)와 수광소자 어레이를 이용하는 방법^[15] 등이 제시되었다. 입력 벡터를 2차원 분포를 갖는 행렬로 바꾸고 메모리 역시 4차원 분포함수 형태로 바꾸면 영상을 직접 입력시킬 수 있어 영상인식에의 응용이 가능하다.^[12] 그러나 이러한 방식은 4차원 분포함수를 표현하기 위하여 파장 영역에서의 다중화, 시간영역에서의 다중화 등의 기법이 추가로 필요하다. 또 다른 방법으로는 2차원 영상으로부터 특정 신호를 추출하고 이것을 부호화하여 입력벡터신호로 이용하는 방법도 연구되고 있다.^[16] 한편 메모리 내에 저장될 수 있는 벡터의 수는 벡터 요소(element)의 수 N과 밀접하게 연관되어

있는데 예로서 N이 100일때 약 15개의 벡터가 저장될 수 있으며 25%의 에라 비트(error bit)를 갖는 입력 벡터 신호에 대해서도 정확한 連想기억 작용을 한다는 것이 알려져 있다.^[15] 만약정보 검색 장치에 이러한 Hopfield 모델을 성공적으로 도입할 수 있다면 일부 오자나 누락이 있는 키 워드(key word)로부터 문헌의 검색도 가능할 수 있을 것이며 아울러 정확한 키워드가 무엇이었던지도 사용자에게 알려줄 수 있을 것이다.

4. 광 메모리

광 메모리는 구현하는 방법에 따라 홀로그래프 메모리, 광디스크, 그리고 광쌍안정 성질을 이용한 메모리 소자로 크게 구분할 수 있다.^[17] 광 디스크는 사용 형태에 따라 재생전용, 1회 기록용, 소거 가능형의 세 가지로 다시 구분할 수 있는데 비테오 디스크(VD), 콤팩트 디스크(CD) 등이 재생 전용에 속한다. 현재 1회 기록용 디스크는 상용화가 이루어지고 있으며 소거 가능형도 거의 상용화 단계까지 진전되어 있다.

홀로그래프 메모리는 대량의 정보를 고밀도로 저장하고자 할 때 사용되며 오래전 부터 연구가 되어 왔다. 최근에 홀로그래프 메모리를 이용한 홀로그래프 카드가 카드식 공중 전화기 용으로 상용화된 것이 있는데 이것은 특히 위조 방지의 일환으로 고안된 것이며 자성 카드와는 달리 홀로그래프 패턴 자체를 고정 데이터로서 카드 상에 기록하여 두고 필요시에 순차적으로 열에 의해 소거 시키는 형식을 취하고 있다. 다음 표 1은 일본에서의 홀로그래피를 이용한 광 메모리, 정보 검색 장치등의 개발 실예를 나타낸 것이다.

표 1. 홀로그래피를 이용한 신호처리장치의 개발 예(일본)^[18]

개발기관	시스템의종류	중요속성	개발년대	비 고
電子技術總合研究所	광학적 문자 해독기(OCR)	사 진 전 판	1970초기	연 구 용
	정보 검색 장치	사 진 전 판		연 구 용
電氣通信研究所	광 메모리	10 ⁶ bit	1970초기	연 구 용
	정보 검색 장치			연 구 용
日 立 製 作 所	광정보 검색 시스템	10 ⁶ bit 홀로그래프 디스크	1970중기	통신성 프로젝 트의 일환
	화상정보 검색장치	비디오 디스크	1970중기	연 구 용
富 士 通	광 메모리	2.5×10 ⁶ bit	1970초기	연구시제품
	스캐너		1980	실 용 화
日 本 電 氣	스캐너		1980	실 용 화
東 芝	광 대용량 화일(file)	21만화상	1970중기	통신성 프로 젝트의 일환
東 芝	한자 메모리	7,000자	1970중기	일시 상품화
松 下 電 器	한자 메모리	16,000자	1970후기	일시 상품화

그러나 이러한 광신호처리 장치의 개발은 당시로서는 획기적인 일이었지만 개발된 많은 제품들이 상품화까지 이르지 못하는 못했는데, 그 원인으로는 주변 장치 기술이 이러한 광학적 장치의 충분한 기능을 얻기에 부족하였고 사용하기 위한 소프트웨어의 부재, 특히 정보를 저장하기 위한 재료로서 필름과 같은 wet 프로세싱이 요구되는 재료를 사용함으로써 대량 복제가 힘들며 실시간 처리에 부적당한 점등이 지적되고 있다. 최근에는 특히 이러한 실시간 신호처리를 위하여 정보의 기억, 재생 및 소거가 가능한 재료에 대하여 많은 연구가 집중되고 있는데 그 중 몇가지 대표적인 것을 다음 표 2에 나타내었다.

표 2. 실시간 신호처리용 광소자의 재료¹¹⁾

재 료	감도(uJ/cm)	콘트라스트	해상도(/mm)	소거시간	상품화에
Bi ₁₂ SiO ₂₀ 결정	0.5-600	5,000 : 1	10-50	수 us	Itec Co.
PLZT 결정	10	10:1-100:1	1,000	< 1s	
Neumatic 액정	5	100 : 1	70	30 ms	Hughes
thermo-plastic	5-100	100 : 1	1,000	< 1s	Newport

실시간 신호 처리용 소자는 정보의 기억 작용 뿐만 아니라 입출력 작용도 함께 하며 이러한 작용들이 엄밀히 분리되지 않는 경우가 많다. PROM(Pockels Readout Optical Modulator)은 강 유전체인 BSO(Bi₁₂ SiO₂₀)의 단결정을 투명전극에 sandwich 시킨 구조를 갖는데, 결정의 Pockels 효과를 이용한 것이다. 최근 이것을 발전시켜 행렬 모양의 전극을 갖는 CCD(charge coupled device) MCP(micro channel plate)와 BSO소자를 결합시킨 새로운 소자가 발표되고 있다.¹¹⁾ MCP와 BSO소자가 결합된 MSLM(micro channel spatial light modulator)은 기록광이 광전면에 부딪칠 때 광전자가 방출되어 이것이 MCP에서 증폭되고 그리드(grid)를 투과하여 BSO결정에 도달하는 구조로 되어 있어 3극 진공관과 같은 원리로 그리드 전압을 변화시키므로써 BSO 결정에 도달한 광전자에 변조를 주는 것이 가능하다. 이러한 원리를 이용하여 영상의 가감, 콘트라스트 강조, AND, OR, NOT 등의 논리처리에 응용되고 있다.

액정소자는 비가간섭성(incoherent) 광을 가간섭성(coherent) 광으로 변환시키는데 혹은 광의 강도를 공간 주파수로 변환시키는데 사용될 수 있다. 공간 주파수 변환을 위한 액정소자는¹²⁾ 영상의 논리처리에 이용할 수 있는데 이것의 구조는 투명 전도성 유리의 사이에 전도성 박막과 얇은 neumatic 액정층을 접합시킨 모양을 갖는다. 직류 전압이 액정에 가해지면 액정

은 위상 격자 모양의 구조가 되어 가해진 전압에 비례하여 액정 격자의 공간 주파수가 변화하기 때문에 VGM(variable grating mode) 액정 소자라 불리워지고 있다.

이러한 실시간 신호 처리용 광소자들은 영상 신호의 처리 뿐만 아니라 광계산 분야에 있어서도 많은 주목을 받고 있으며 특히 병렬 광논리처리에서의 응용이 활발히 진행되고 있지만 현재 시판되고 있는 제품들의 가격이 매우 고가인 점이 유감이다. 광신호처리 분야 연구의 활성화와 응용 시스템의 실용화가 효율적으로 이루어지기 위해서는 보다 우수한 실시간 신호처리 가능한 광소자의 개발 뿐만 아니라 대량 생산에 의한 가격 절감이 함께 이루어져야 하겠다.

III. 광계산(Optical Computing)

기술의 발달과정에서 볼 때 현대는 전자기술의 전성시대라 할 만큼 신호처리 분야에서도 전자기술이 주류를 담당하고 있고 특히 디지털 컴퓨터의 역할이 절대적이지만 실리콘 반도체 소자에서 집적도의 증가에 따른 신호처리 속도의 제약, 순차적 신호처리에 근거한 Neuman형 컴퓨터 시스템의 구조적인 문제등이 디지털 컴퓨터에서 성능 향상을 제약하는 중요한 요인들로 지적되고 있다.¹²⁾ Neuman형 컴퓨터 사상을 뛰어넘어선 새로운 아키텍처에 대한 요구, 고속성과 병렬처리 능력이 우수한 시스템에 대한 요구는 수치적인 처리나 논리적인 처리가 가능한 광계산에 대한 연구 관심을 높이는데 기여하였다. 여기서는 아날로그 광계산과 최근 연구 관심이 집중되고 있는 디지털 광계산 방식이 갖는 차이를 비교 설명하고 몇 가지 디지털 광계산 방식의 소개 및 앞으로 해결해야 할 문제점들에 대하여 기술한다.

1. 아날로그 광계산과 디지털 광계산

일반적으로 컴퓨터에 의한 계산은 입력 함수들을 처리하여 출력 함수를 구하는 작업으로 생각할 수 있다. 이때 입출력 함수가 연속적인 값을 가지는 시스템을 아날로그 시스템이라 하고 불연속적인(discrete) 값을 갖는 시스템을 디지털 시스템이라 한다. 역사적으로 볼 때 광계산은 아날로그 영역에서 수행되는 경우가 많았다. 그러나 이러한 아날로그 시스템은 다음 몇 가지의 결점을 갖고 있어 활용이 제한되어 왔다.¹²⁾

1) 아날로그 광계산은 Fourier변환, convolution, correlation 등 제한된 연산 능력에 의존하므로 일반적인 적용 능력이 떨어진다.

- 2) 잡음이 계산 처리 회수의 증가에 따라 누적되므로 오차가 크다.
- 3) 무한대 혹은 무한소에 가까운 값의 표현 능력이 부족하므로 근사에 의존하여야 하며, 특히 선형적인 특성을 갖는 시스템인 경우 실제 구할 수 있는 광소자의 선형 특성에 의해 표현 범위가 제한된다.
- 4) 신뢰도, 응답시간, 공간 대역폭 특성(space-bandwidth product)을 만족하며 동시에 선형적인 특성을 만족하여야 하므로 가능한 광소자의 종류가 제한된다.

아날로그 광계산 방식에서의 이러한 단점들의 대부분은 이진 디지털 계산(binary digital computing) 방식을 취함으로써 해결 될 수 있고 가능한 소자들의 개발 가능성 역시 디지털 광계산 방식이 아날로그 광계산 방식보다 유리 하므로 점차 디지털 광계산 방식에 연구 관심이 집중되고 있다.

2. 병렬 디지털 광계산

병렬 디지털 광계산을 위한 아키텍처와 알고리즘은 아직 뚜렷이 정립되어 있는 것은 아니지만 특히 벡터 매트릭스 계산에서는 시스토크 프로세서(systolic processor)의 영향을 많이 받고 있다. 시스토크 프로세서는¹²²⁾ 고속 병렬 신호 처리용 VLSI 개발 중에 발생된 것으로 같은 기능과 형태를 갖는 다수의 처리 유니트로 형성된다. 처리 유니트간의 신호 전달 시간을 단축하기 위하여 배선은 인접한 유니트간 최소 거리에만 연결되고, 전체 프로세서 간의 동기 문제를 단순화하기 위하여 데이터 흐름을 규칙적으로 하고 있어 결과적으로 처리 속도의 향상과 범용성을 추구하고 있다.

시스토크 프로세서에서의 동기 문제를 더욱 단순화하기 위하여 같은 시간 주기의 사용을 중지하고 데이터의 입출력을 기다려 처리 장치를 구동시킨 이른바 파면 프로세서(wave front processor)가 있는데,¹²³⁾ 처리되는 데이터의 흐름이 호이겐스 원리에 따른 파동의 모양으로 처리 유니트 사이를 전파하기 때문에 그렇게 불리워진 것이다. 그러나 개념적으로는 시스토크 프로세서에 비하여 발달한 형태이지만 광계산에의 응용은 거의 없는 실정이다.

한편, 이러한 병렬 신호처리 개념들이 광계산기에 실제로 도입되기 위해서는 디지털화된 수의 표현 방법에 대한 고려와 함께 가능한 광소자의 사용이 전제되어 있어야 한다. 비록 입력된 수치 신호가 2진법으로 표현되어 있다 하더라도 선형 특성을 갖는 광소자

에 의한 계산 결과는 반드시 2진법의 형태로 나타나지는 않으므로 현재 연구되고 있는 병렬 디지털 광계산 방법들은 대부분 기존의 전자소자(electronic device)에 의한 후처리(post processing)가 요구되고 있다. 2진법을 사용하는 몇가지 대표적인 방법으로는 벡터의 외적(outer product)을 이용하여 벡터나 매트릭스의 곱셈을 행하는 방법,¹²⁴⁾ 디지털 convolution을 이용하여 덧셈을 행하는 방법¹²⁵⁾이 있으며 그의 승제수(residue number)를 이용하여 광학적으로 사칙계산을 행하는 방법¹²⁵⁾이 연구되고 있으나 지면 관계상 자세한 설명을 생략하기로 한다.

3. 앞으로의 과제

광계산기가 추구되는 것이 대규모 병렬 계산을 수행할 수 있음과 동시에 보다 범용성을 지니는 것이라 한다면 해결해야 할 많은 문제가 있을 수 있겠으나 우선 생각하여야 할 점은 작업 대상의 분해와 관련된 문제를 들 수 있다. 병렬 프로세서에서는 목적으로 하는 처리를 몇 단계의 병렬처리 가능한 작업단위로 나누어 실행하므로 어떻게 능률적으로 작업단위를 나누는가는 중요한 문제이다. 영상신호처리에 광계산기가 사용되기 위해서는 어떻게 현재 가능한 선형 벡터 처리에 적합한 형태로 처리 대상을 변형할 것인가를 고려하여야 한다. 또 이미 처리 대상이 병렬 신호처리 방식에 적합한 형태를 갖고 있다 하더라도 처리 조건의 변화에 대해 시스템의 적응이 쉬워야 한다. 이러한 문제들에 대해 각 경우에 대한 해결은 가능하겠으나 아직 일반적인 해결법은 없다.

현재의 시점에서는 정보의 전송은 광소자에 의해서, 제어는 전자소자에서 행해지는 하이브리드 방식이 중심을 이루고 있어 광/전, 전/광 변환을 거쳐야 하므로 이에 따른 전력소모와 처리속도의 제약을 받게된다. 이러한 점등을 고려하면 스위치 특성이 우수하고 광/전, 전/광 변환이 필요치 않은 광논리소자의 개발이 무엇보다 시급하다고 할 수 있다.

IV. 맺는 말

지금까지 광영상처리 분야와 광계산 분야를 중심으로 광신호처리 기술 동향을 살펴 보았다. 이 밖에도 광영상처리 분야에는 영상의 가감처리, 영상회복, 위상공액파를 이용한 영상전송, 영상의 디스플레이, 움직이는 물체 혹은 3차원 물체에 대한 영상인식, 영상의 모서리 추출등 많은 응용 분야가 있으나 지면 관계상 생략하였다. 광영상처리 기술은 광통신 기술, 광

소자 기술과 병행하여 미래의 종합정보통신 시스템에서 큰 비중을 차지할 것으로 예상되며²¹⁾ 컴퓨터 시각, 로봇 시각, 광기억 장치, 광입출력 장치등의 실용화에 크게 기여 할 수 있을 것이다.

광계산기가 고속 병렬 신호 처리와 함께 범용성을 얻기 위해서는 무엇보다도 디지털 광계산에 적절한 광소자의 개발이 이루어져야 할 것이나 이와 함께 시스템에 대한 연구, 광학 시스템에 적합한 처리 방식 개발, 특히 병렬처리에 적합한 응용 대상의 확대를 위한 노력이 함께 이루어져야 하겠다.

參 考 文 獻

- [1] 오명, 강민호, 레이저 응용, 청문각, (1984)
- [2] 이상수, 레이저 공학의 연구현황과 전망, 전기학회지, 제33권 제 6 호, 1984
- [3] 강민호, 신상영, 광섬유통신개론, Ohm사, (1981)
- [4] Y. Odagiri et. al, CLEO '84, THJ5 (1984).
- [5] 三橋慶喜, 情報處理, vol. 26, no. 8 (1985)
- [6] A. Vander Lugt, IEEE Trans. Inform Theory, IT-10 (1964).
- [7] H.J. Caulfield and R. Haimes, Opt. Eng. vol. 19, no. 2, 1980.
- [8] D. Casasent and D. Psaltis, Opt. Eng. 15, 258 (1976).
- [9] J.R. Leger and S.H. Lee, Appl. Opt. 21, 274 (1982).

- [10] D. Casasent and W. Rozzi, Opt. Eng. vol. 23, no. 6 (1984).
- [11] J.A. Blodgett et. al., Opt. Letter, vol. 7, no. 1 (1982).
- [12] D. Psaltis and N. Farhat, Opt. Letter, vol. 10, no. 2, (1985).
- [13] J.J. Hopfield, Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 79 (1982).
- [14] D. Psaltis and N. Farhat, ICO-13, A1-9 (1984).
- [15] N. Farhat, et. al., AO, vol. 24, no. 10 (1985).
- [16] 이강석, ETRI내부 세미나(1985)
- [17] 野田健 - 外, 情報處理, vol. 26, no. 8 (1985).
- [18] H. Itoh and S. Ishihara, 光學, vol. 14, no. 1 (1985).
- [19] K. Shinoda, et. al., Digest of Topical Meeting on Opt. Comp., TuC 3-1 (1985).
- [20] A A. Sawchuk and T.C. Strand, Proc. IEEE, vol. 72, no. 7 (1984).
- [21] A. Huang, Proc. IEEE, vol. 72, no. 7 (1984).
- [22] S.Y. Kung, Proc. IEEE, vol. 72, no. 7 (1984).
- [23] R.A. Athale, W C. Collins and P.D. Stilwell, Appl. Opt., vol. 22, no. 3 (1983).
- [24] P.S. Guilfoyle, Opt. Eng., vol. 23 (1984).
- [25] S. Ishihara, 情報處理, vol. 26, no. 8 (1985).
- [26] 강민호, 전자공학회잡지, 제12권 제 1 호(1985) *

'85년도 신규회원 소속별 분류

(1985. 10. 18 현재)

- 연 세 대 학 교 : 56명
- 경 북 대 학 교 : 34명
- 서 강 대 학 교 : 24명
- 고 려 대 학 교 : 23명
- 경 회 대 학 교 : 19명
- 한 국 과 학 기 술 원 : 19명
- 인 하 대 학 교 : 18명
- 서 울 대 학 교 : 17명
- 중 앙 대 학 교 : 16명
- 한 양 대 학 교 : 15명

- 한국전자통신(연) : 15명
- 삼성반도체통신 : 12명
- 전 북 대 학 교 : 9명
- 성 균 관 대 학 교 : 8명
- 아 주 대 학 교 : 8명
- 한국전력기술(주) : 7명
- 단 국 대 학 교 : 7명
- 국 방 과 학 (연) : 7명
- 홍 익 대 학 교 : 7명
- 동 아 대 학 교 : 6명

- 군산개방대학교 : 6명
- 광림전자공업(주) : 5명
- 동 국 대 학 교 : 5명
- 건 국 대 학 교 : 3명
- 울 산 대 학 교 : 3명
- 한 국 과 학 기 술 대 : 2명
- 기 타 : 149명
- 계 : 503명