

몰폴로지신호처리(Morphological Signal Processing)기술

김운경

고려대학교 정보통신대학 전파통신공학과

서론

최근 “이공대위기관”이 쟁점화 되고 있는 시점에 새로운 돌파구가 모색되어야 함은 자명한 현실이다. 본문에서는 본 저자가 장기간 탐색하고 있는 (국내에서는 비교적 생소한) 학문을 소개함으로써 침체되어 있는 분위기를 조금이라도 개선시키는 것을 목적으로 하고 있다. 본 내용은 본 저자의 한 연구원으로서 (본 분야에서) 개인적인 해석으로 구성하였고 지면의 한계상 생략되어야 하는 내용이 많은 관계로 더 정확하고 명확한 내용은 아래의 참고문헌을 참조하기 바란다.

본문의 몰폴로지신호처리(Morphological Signal Processing)는 집합이론에 기초한 (주로 유럽에서 고안된) 몰폴로지수학(Mathematical Morphology)을 토대로한 (주로 미국에서 제안되고 개발된) 포괄적인 신호처리 기법을 뜻한다.

몰폴로지수학(Mathematical Morphology)의 근본적인 연산 및 역연산은 다음과 같다:

(확대변환: set dilation)

$$A \oplus B = \{a + b \mid a \in A, b \in B\}$$

(축소변환: set erosion)

$$A \ominus B = \{a \mid B_a \subseteq A\}$$

이 중 확대변환연산(set dilation)은 해석학에서의 민코스키덧셈(Minkowski sum)이라고 하는 기본집합연산(fundamental set operation)으로부터 유래되었다. 몰폴로지수학(Mathematical Morphology)의 특징은 다음과 같은 “비선형” 연산과의 밀접한 관련성이 있다는 점이고:

-minimum/maximum

-AND/OR/NOT

-intersection/union/complement 과

이는 곧 다음을 의미한다:

1. 몰폴로지수학(Mathematical Morphology)의 다계층(특히 고계층), 다용도 융합 분석 도구로서의 가능성

2. 위의 연산을 주 연산으로 사용하는 시스템 디자인 및 제작의 용의성.

물폴로지수학(Mathematical Morphology)의 특성과 장점은 포괄적인 집합이론(Set Theory)을 계산용이(quantitative) 하게 구사 한다는 것이다. 즉, 민코스키(Minkowski)와 같은 수학자들이 정의한 기초적인 벡터공간집합연산(vector space set operation)등을 기존의 디지털컴퓨터(digital computer)과 같은 플랫폼에서 처리 가능케 함으로써 집합이론(Set Theory)이라는 무한한 이론은 비로서 실용적이고, 효율적이고 그리고 또 필수적인 모델링/분석/해석/디자인 도구(tool)로서의 역할을 분담할 수 있게 한다. 공학의 관점에서 볼때 집합이론(Set Theory)은 곧 “그림”(geometry)과 로직(logic)을 필두/중요시하는 테크닉이고, 그리고 또 인간의 사고와 인식 (high-level cognition)은 “그림”과 “논리” 위주로 표현가능/용이 하므로, 물폴로지수학(Mathematical Morphology)이라는 이론은 기하학(geometry)와 로직 논리를 (즉, 일반 시스템의 고계층을) 중요시/모델 한 계산용이하고 (computable) 포괄적인 공학적 접근방법을 제공한다고 할수 있겠다.

기존의, 그리고 가치가 입증된, 물폴로지연산 (morphological operator)으로서는 미디언필터 (median filter)등을 포함한 서열필터(rank-order filter)들과 AND/OR/NOT 과 같은 부리언 연산(boolean operator)등이 있다. 이로 미루어 볼때, 물폴로지(morphological operator) 들 의 공통된 성격은 일반적인 덧셈 이나 곱셈 등이 주요 연산(fundamental/ atomic operation) 등으로 인용 되지 않고 있다는 점이다. 이는 또, 영상처리

등과 같이 “모양세” 를 주요시 하는 신호처리 에서, 혹은 컴퓨터 와 같이 “논리” 를 주요시 하는 인간의 모조체 에서, minimum/maximum/ and /or/not/union/ intersection/complement 라는 물폴로지수학(Mathematical Morphology)에서의 (atomic) fundamental operation 들은 잠재 적이고 획기적인 실용가치를 지니고 있다는 것을 알수있다. 즉, 물폴로지수학(Mathematical Morphology)에 소속된 모든 이론 과 테크닉 들은 모든 첨단기기(인간의 한계를 증축/능가 하는)에 적합한, 그리고 획기적인, 파라다임(abstraction) 을 제공 할 수도 있을 것으로 보인다.

현재의 신호처리도구로서 대중화 되기까지는 미국을 필두로 한 신호처리 분야에 종사하는 여러 과학자들의 기여가 필요했다. 특히, 마라고스(P. Maragos)[M3-6] 와 하라릭(R. Haralick)[M7,8] 의 획기적인 기여에 힘입어 물폴로지수학(Mathematical Morphology)의 응용도는 포괄적인 신호처리 테크닉으로서도 날로 증가하고 있다.

물폴로지처리(Morphological Processing)는 1970년부터 집합이론(Set Theory) 및 측정이론(Measure Theory)에 기반한 수학적 기법(Mathematical Morphology)에 기반한 포괄적인 공학기법으로 프랑스의 세라(Jean Serra)[M2] 및 마타론(Matheron)[M1]에 의해 시작하여 1980년도 중반부터는 마라고스(Peters Maragos) [M3-6], 쉐이퍼(Schafer)[M4,5] 및 하라릭(Haralick)[M7,8]과 같은 미국 신호처리 이론가들에 의하여 영향을 받아 신호처리 기법, 즉 물폴로지 신호처리(Morphological Signal Processing)로 진화하고 활성화 되어왔다. 하라릭은 수학적 기

하학 기법(Mathematical Morphology)을 기존의 신호처리기법과 유사하게 포장하여 관련된 특성(Property) 및 아날로그/디지털 신호처리에 있어서 유효한 표본화정리(Sampling Theorem)[3]를 소개하였고, 마라고스는 기존의 선형불변신호처리(LTI: Linear Time-Invariant)를 포괄하는 융합이론을 전개함과 동시에 기하학적(집합)신호처리의 용이성을 보여주는 뼈대코딩이론(Skeleton Coding)의 응용을 연구한 바 있다[M6]. 그 이후 몰폴로지 신호처리는 (동)영상과 같은 객체의 “모양” 처리를 도모하는 여러 가지 기능적인 기술로 응용되어 왔다.

본 저자의 몰폴로지 관련 연구에서는[A1-7] 몰폴로지신호처리의 지능 및 기타 고계층 시스템에서의 응용[A1-5], 몰폴로지신호처리 고속알고리즘의 고안[A6] 및 체계적이고 (다 계층)융합적인 동영상시스템의 구현[A7]의 고려를 통하여 몰폴로지신호처리의 포괄적이고 획기적인 가능성에 대하여 언급하고 있다.

본문

다음은 몰폴로지신호처리의 정보기술(IT), 나노기술(NT), 생물기술(BT) 및 문화기술(CT) 체제하에서의 응용가능성에 대하여 간략하게 언급함으로써 몰폴로지신호처리의 다 분야적 포괄성 및 적합성에 대하여 간략하게 대략적으로 적어 보았다.

생물기술(BT)관련:

기계학습(Machine Learning)을 포함한 지능이론(G8, G11, L1-5)이 인공지능이라는 명칭하에 1960년도를 전후로 출범한 이후 1984년도 바리언

트(L. Valiant)[L2]의 지능에 대한 전산학적인 (실용적인) 정의를 계기로 새로이 활성화되고 있다. 특히, 1988년도에 출범한 COLT(Conference on Learning Theory)라는 ACM후원 정기회의 등을 필두로 많은 저명 과학자들의 참여 및 기여에 힘입어 활성화(cult화) 되고 있다.

본 저자의 연구[A1-5]에서는 바리언트의 학습에 대한 정의와 몰폴로지 기초연산인 확대변환(set dilation)간의 융합을 도모했다. 더 구체적으로 (수리적인 증명을 통하여) 몰폴로지수학은 ‘학습’의 과학적인 모델링 및 분석에 있어서 다음과 같은 거의 필연/숙명적인 관계를 가지고 있다고 전제할 바 있다:

- 학습의 몰폴로지수학적 모델링 및 분석[A1-5]: 몰폴로지 확대변환으로 학습의 추정 (“smoothing”)효과를 수학적으로 모델링 함이 바람직하다.
- 이러한 환경하에 바리언트 학습을 위하여 필요한 표본의 개수는 원만(polynomial-complexity)하다.

정보기술(IT)관련:

신호처리 및 제어 기반기술 관련:

학습의 몰폴로지수학적 모델링 및 분석을 통하여 몰폴로지신호처리시스템(Morphological Signal Processing System)의 과학적인 제작이 도모 될 수 있고 이러한 각도에서 입각하여 볼 때 연구[A1-5]는 몰폴로지신호처리의 확률적표본화정리(SMST: Stochastic Morphological Sampling Theorem)로서 하라릭[M7]의 기하학적 표본화정리(Digital Morphological

Sampling Theorem)를 연장한 것으로 신호처리 적[G5-7] 나이퀴스트(Nyquist) 표본화정리 (Sampling Theorem)와 유사한 중요성을 지니고 있다.

본 연구[A1-5]의 몰폴로지수학(Mathematical Morphology)과 기계학습(Machine Learning)과의 융합은 특히 (학습이 요구되는) 지능통신시스템 디자인에 있어서 많은 기여를 할 것으로 기대된다. 한 예로서, 전산적인 지식기반시스템(knowledge-based paradigm)[G8,L1-5]이나 퍼지제어(Fuzzy Control)[G3,G4,G12,G14]이론에 기반한 시스템의 디자인에 있어서 본인이 제안하는 집합오토마톤(Set Theoretic Automaton)이라는 포괄적인 (동적) 몰폴로지시스템(morphological system)을 구사하면 로직(Logic)이나 모양세(Geometry)를 감안하며 처리하는 해결하는 차세대 통신기기등의 시스템을 체계적으로 모델 할 수도 있다.

멀티미디어 콘텐츠 기반기술관련:

현재 멀티미디어 정보 처리에 관한 사람들의 관심이 높아지면서 각종 멀티미디어 정보를 보다 손쉽게 처리하기 위한 기술을 개발하기 위한 연구가 한창 진행되고 있는데, 특히 MPEG-7/21 표준화 작업을 위시로한 비디오라이브러리(video library)구축을 위한 기술 개발에 연구의 초점이 모아지고 있다[MM1-17]. 이 분야의 현재 대부분의 연구는 동영상(video)의 장면전환(scene change)을 검출하여 내용기반 색인화(content-based indexing)을 하고하는 방향으로 이루어지고 있다. 지금까지 발표된 알고리즘[MM1-17]에 대하여 간략히 살펴보면, 초기에는 비압축상의 동

영상자료(uncompressed video)를 이용한 알고리즘 개발이 주로 이루어졌으나, 근래에 와서는 MPEG/JPEG 와 같은 압축상의 동영상 자료(compressed-domain video data)를 이용한 개발이 주를 이루고 있다.

그러나, 현재까지 개발된 알고리즘은 전반적으로 계산량이 많아서 계산시간이 많이 걸리거나, 계산시간을 줄이려면 검출효율이 떨어지고, 카메라 및 객체(camera/object)의 움직임에 대하여 안정적(robust)이지 못하다는 단점을 가지고 있다. 따라서, 기존 알고리즘의 단점 극복과 지능화된 멀티미디어비디오라이브러리(multimedia video library) 구축을 위하여 새로운 이론이라고 할 수 있는, 계산 효율성이 극도로 높은, 그리고 또 융합적인 몰폴로지신호처리 기법을 응용할 수 있다. 몰폴로지 이론의 특성과 장점은 집합이론을 현실적으로 구사한다는 것이다-- 몰폴로지적 디자인은 "그림"(geometry)과 로직(logic)을 중요시하는 테크닉으로서 인간의 사고와 인식(high-level cognition)이 표현가능/편리하므로 구현(computable)용이한 디자인 테크닉이라 할 수 있겠다.

특히, 이진몰폴로지(Binary Morphology)경우, 연산들을 쉽게 구현할 수 있는 장점이 있기 때문에 이진몰폴로지 파라다임에서 발생한 (특히, 이진동영상에 관한) 알고리즘은 최대한의 (상용화과정에서의) 장점이 있기도 하다. 몰폴로지 이론의 특성과 장점을 접목시켜서 효율적이고 경제적이며 인간의 특성을 모조하는 체계적인 융합형/지능형 멀티미디어디지털비디오라이브러리(multimedia digital video library)구축을 위한 알고리즘이 고

안 될 수 있다. 이러한 접근방법이 비교적 획기적이고 선도적인 지적재산권이 창출 될 수 있다는 관점에 볼 때 국내 연구소 및 산업체들의 기술 참여 개발이 요망되고 있다.

조금더 구체적으로, 동영상상 Z^3 ($Z^2 \times Z$, 여기서 마지막 Z 는 시간을 나타냄)에 존재하는 집합으로서 정의하고 이의 몰포지를 분석/인식/측정 함으로써 각종 '지능형' 특성(feature)을 감별해 낸다. 임의의 동영상, E , 에 관한 특성벡터(feature vector) 탐색문제를 B 라는 E 와 상응하는 ($B \subseteq Z^3$) 집합 모양 탐색문제로 변환시킨 후 각종 (계산에 용이한) 집합 탐색 알고리즘(morphological algorithms/automata)을 제안/평가 함으로써 일관 되고 융합된 지능형 멀티미디어 디지털 비디오 라이브러리 처리를 도모 할 수 있다. 여기에서 변환 $E \rightarrow B \rightarrow E$ 에 관련된 '최적'(quasi-invertible transformation) 시스템디자인에 관한 내용은 앞으로의 중요한 학문연구 주제가 될 것으로 보인다.

특히 (예를 들자면) 다음과 같은 수리적인 접근 방법 및 결과를 이용하여 각종의 세부적인 계산량을 줄일 수 있는 요소기술 및 기기를 고안 할 수 있다는 것을 알 수 있다:

1. 디졸브(Dissolve) 검출기:

동영상 $E(x, y, t) = \alpha E_1(x, y, t) + (1 - \alpha)E_2(x, y, t)$ ($l_1 \leq t \leq l_2$) 경우
 $B(x, y, t) = T_{\mathcal{N}(t, E, x, y)}[E(x, y, t)]$ (을 고정된 (x, y) 에서의 t 의 함수라고 보았을 경우)는
 모든 (x, y) 에서 구간 $[l_1, l_2]$ 내의 부분연속 함수(piecewise step function)들로 보임을 알수

가 있다. 이것은 또 t 축의 편미분이, 즉 finite-difference, 가 δ -function 들임을 알 수가 있다. 이러한 측면에서 보았을 때 다음의 몰포로지 분석이 성립됨을 알 수 있고:

$$\begin{aligned} XY &\geq \sum_{(x,y)} \sum_{l_1 \leq t \leq l_2-1} [B(x, y, t) \oplus B(x, y, t+1)] \\ &= \sum_{l_1 \leq t \leq l_2-1} \sum_{(x,y)} [B(x, y, t) \oplus B(x, y, t+1)] = Q_1 \\ &= \sum_{(x,y)} [B(x, y, l_1) \oplus B(x, y, l_2)] = Q_2 \\ &\geq \sum_{(x,y)} \sum_{l_1 \leq t \leq l_2-1} [B(x, y, t) - B(x, y, t+1)] \\ &= \sum_{(x,y)} [B(x, y, l_1) - B(x, y, l_2)] \geq -XY. \end{aligned}$$

예를 들어 Q_1 , 즉 디졸브(dissolve)에 관여된 프레임(frame)간의 해밍거리(Hamming Distance)의 합은 XY , 프레임(frame)면적, 의 일정한 한도 내에 있다는 것을 알 수 있고 해밍거리 위주로 보았을 때 (triangle inequality가 가깝스로 만족되므로) B 라는 집합은 $[l_1, l_2]$ 구간 내에서 (frame을 원소로 보았을 때) 선형적이라는 것을 파악할 수 있다. 또, 여기에서 Q_1, Q_2 의 계산은 쉽고 " Q_1/Q_2 가 과연 1에 근저하는가?" 가 디졸브특성검색기(dissolve feature detector)라고 할 수 있겠다.

2. 기타 장면전환 검출기: 카메라 및 객체 모션에 안정적(robust)일 수 있는 변동임계치(dissimilarity measure)와 관련 하여 $E(x, y, t), l_1 \leq t \leq l_2$, 을 영상 시퀀스라고 하였을 때 인식정보(intelligibility)를 유지하면서 정보량이 극히 축소된 다음과 같은 (thresholded) 이진동영상 시퀀스를 고려해 볼 수 있겠다.

$$B(x, y, t) = T_{\mathcal{N}(t, E, x, y)}[E(x, y, t)], \quad l_1 \leq t \leq l_2$$

여기에서 $Tr[\cdot]$ 이란 일반적인 $[2, 4]$ r 에서 스레쉬홀드(threshold)된 집합기반함수(characteristic

function)을 의미하고 $r(t, E, x, y)$ 란 적응적으로 생성할 수 있는 가능성을 감안한 것이다. $B(x, y, t)$ 가 (극히 축소된 정보량하에) $E(x, y, t)$ 의 인식정보(intelligibility)를 보존한다는 전제하에 비압축도메인(uncompressed domain)에서의 장면전환탐색기법(예: difference frame, histogram등)을 도입하여 축소된 계산량 하에 scene 장면전환탐색 알고리즘을 고안 할 수 있겠다. 추가적으로, 다음과 같은 (계산량이 적은) 프레임간의 차별화임계치(dissimilarity measure)도 고려해 볼 수 있겠다.

$$d(E(\dots, t), E(\dots, t-1)) = \sum_{x,y} [B(x, y, t) - B(x, y, t-1)], \\ l_1 + 1 \leq t \leq l_2.$$

위의 변동임계치의 장점은 프레임내의 객체의 모션에 무관(invariant)하다는 것이며 이는 카메라 및 객체 모션에 오류에 민감한 현존 알고리즘을 보완할 수 있는 가능성을 의미한다.

이진동영상(binary morphological domain)하

에 거리(metric) 및 각도(inner product/correlation)는 다음과 같다:

동 일 하 고 $(d_i(I_1(x, y), I_2(x, y)) = d_j(I_1(x, y), I_2(x, y)), i, j \text{ finite})$ 공통적으로 쉬운연산으로써 구현이 될 수 있음을 알 수 있다. 이러한 기본적인 수리적인 연산에 근거하여 체계적으로 제안될 멀티미디어 알고리즘 (전처리 장면전환검출 경우에는 zooming/panning/dissolve/wipe detection, 후처리 경우에는 움직임 및 객체 estimation/recognition 과 각종 clustering 알고리즘) 역시 또 계산 및 저장 소모량이 적을 것임을 알 수 있다 (참고: 현재 발표된 멀티미디어/영상 알고리즘 대부분이 거리(metric)와 내적(inner product)에 기초하고 이에 상응하는 몰폴로지 알고리즘은 한결 더 쉬운 알고리즘이다). (지능형) 디지털 비디오 장면전환(scene change)탐색 알고리즘을 위주로 몰폴로지 연산의 응용을 도모하고, 다음의 그림1은 몰폴로지 알고리즘의 멀티미디어 디지털 비디오 라이브러리 환경 하에서의 역할을 도식적으로 표현한 것이다.

a. metric: $d_1(I_1(x, y), I_2(x, y)) = \sum_{(x,y)} |I_1(x, y) - I_2(x, y)| = \sum_{x,y} [I_1(x, y) \oplus I_2(x, y)],$
 $d_2(I_1(x, y), I_2(x, y)) = \sum_{(x,y)} |I_1(x, y) - I_2(x, y)|^2 = \sum_{x,y} [I_1(x, y) \oplus I_2(x, y)],$
 \vdots
 $d_\infty(I_1(x, y), I_2(x, y)) = \max_{(x,y)} |I_1(x, y) - I_2(x, y)|$
 $= \max_{(x,y)} [I_1(x, y) \oplus I_2(x, y)] = OR_{(x,y)} [I_1(x, y) \oplus I_2(x, y)].$

b. inner product:

$$\langle I_1(x, y), I_2(x, y) \rangle = \sum_{(x,y)} [I_1(x, y) I_2(x, y)] = \sum_{x,y} [I_1(x, y) \cdot I_2(x, y)].$$

체계적이고 획기적인 이론에 근거한 다각적인 광범위하고 실용적인 내용기반 화상 저장 및 검색 체제(architecture)는 또한 다음의 그림2와 같이 제안 될 수 있다.

그림2에서의 진화형 내용기반 화상 저장 및 검색 요소기술은 간략히 다음과 같다:

1. 화상 = 집합

(미시형: subset I^m of domain P^m :

$I^m \subseteq P^m (= Z^2 \text{ for digital images}),$

거시형: singleton subset I^m of universal set of images : $P^M : I^m \subseteq P^M).$

2. α -동화상 = 집합의 sequence
 $= (I_t^{m,\alpha})_{t=0}^{\infty}, (I_t^{M,\alpha})_{t=0}^{\infty}.$

3. (각 α -화상의) 색인 = 집합

(subset A^α of universal feature set

$\Sigma : A^\alpha \subseteq \Sigma (= Z \text{ for countable}$

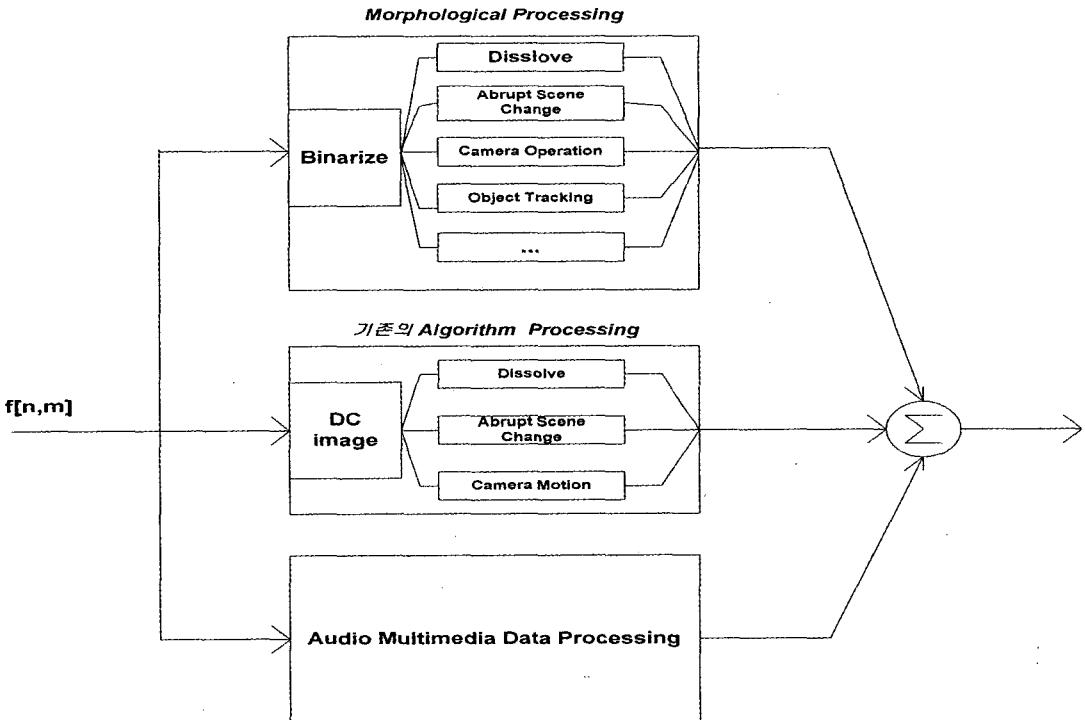
feature set), i.e. $\Sigma =$ the set of all

(conceivable) features, $A^\alpha =$

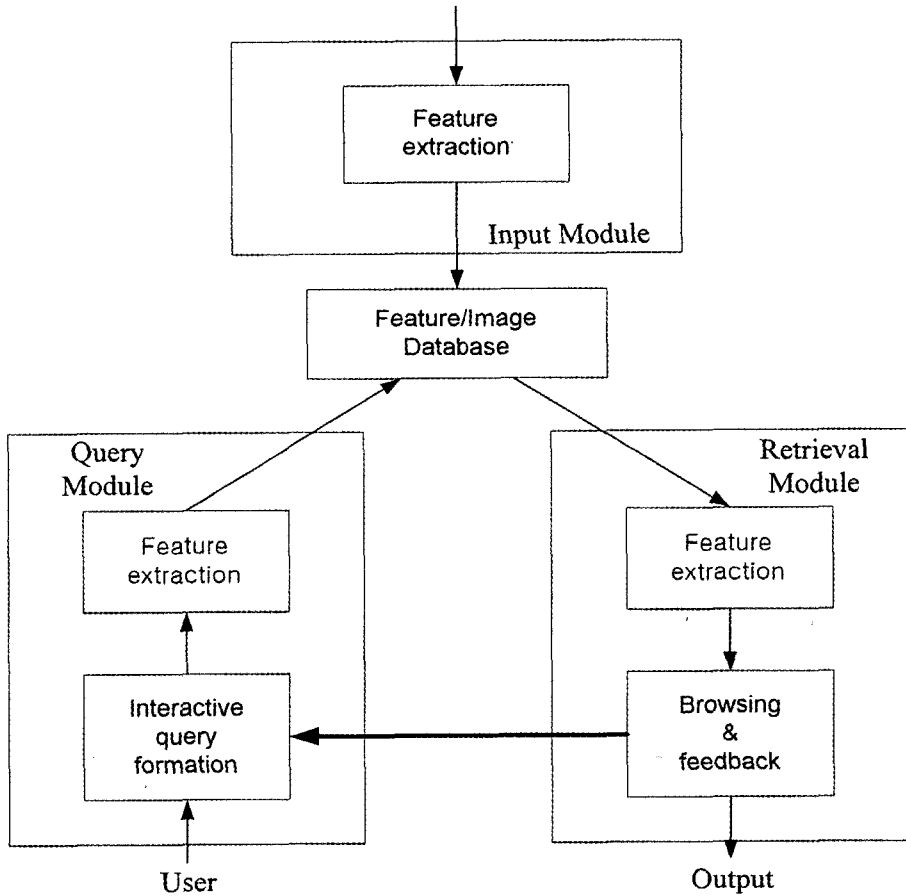
collection of all features that

α -image has, $\alpha \in \Omega$

(Ω : 모든 가능한 화상 D/B의 index set).



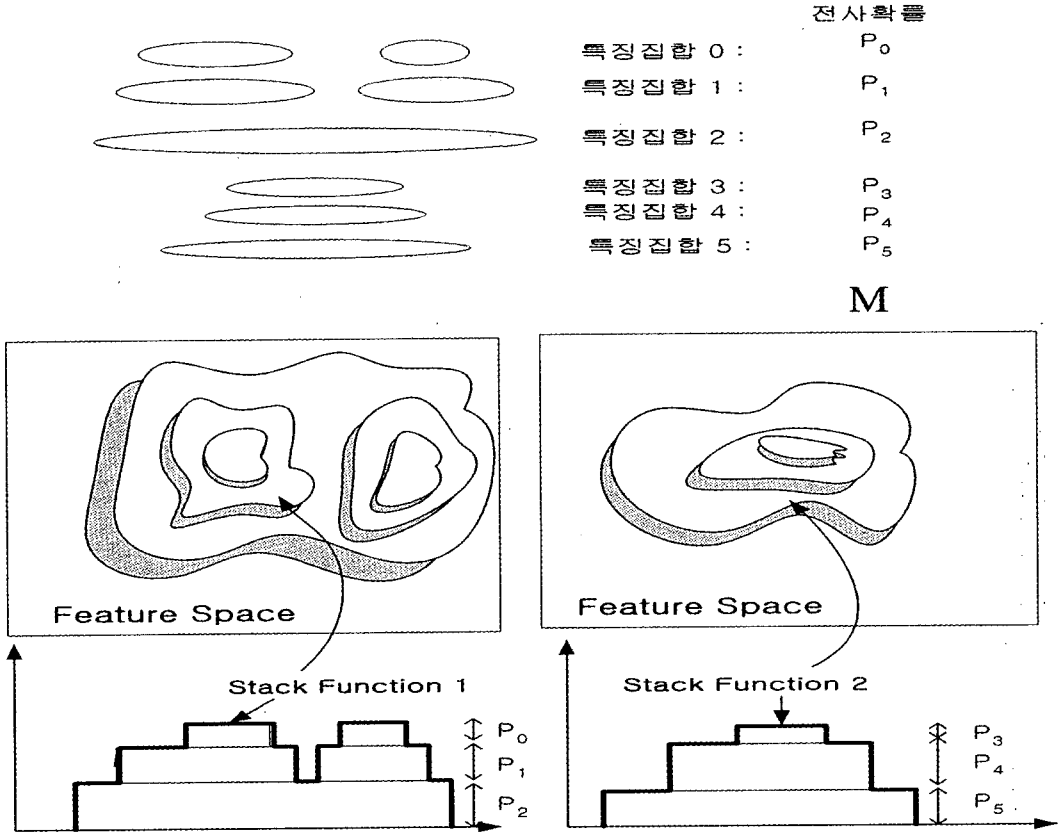
< 그림 1 몰폴로지신호처리 동영상시스템 >



〈 그림 2 다계층 물폴로지신호처리 동영상시스템 〉

4. 색인화된 D/B
 = 집합의 집합 = $\{A^{\alpha}\}_{\alpha \in Q}$
 (Q : 모든 가능한 화상 D/B의 universal index set).
5. 화상 검색
 = bit-by-bit AND (A_t AND A^{α})

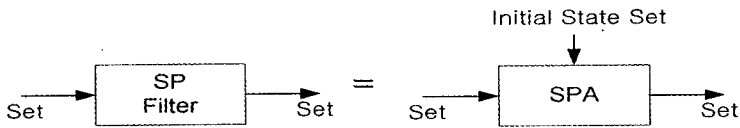
(연산난이도(computational complexity)를 최소화하기 위하여 Zorn's Lemma에 기반한 stack function 위주로 저장된 색인 D/B를 사용한다-이러한 경우 HMT(hit-or-miss transform)을 사용하여 쉽게 화상을 검색할 수 있다).



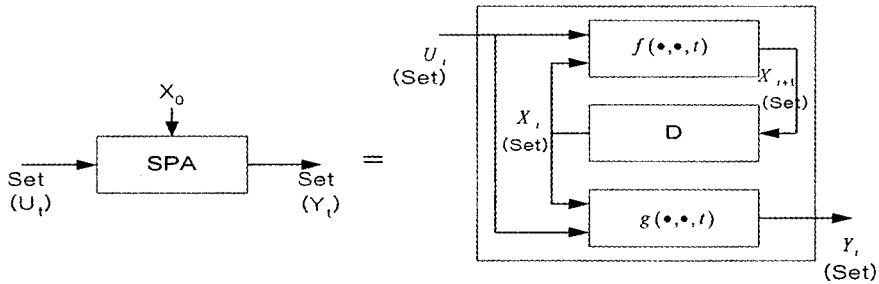
< 그림 3 Stack Function >

6. (α -화상)의 진화 과정중의 색인
 = 색인의 수열(sequence)
 = $(A_t^q)_{t=0}^{\infty}$.

7. 화상 처리 및 검색 (예 : feature extraction/matching) = Set Processing (SP) filter [M3]:



< 그림 4 SP filter와 equivalent SPA filter >



〈 그림 5 SPA 구조 〉

8. 진화 모델 = (Morphological) Set Processing Automata(SPA) [A6]

$$(SPA: X_{t+1} = f(X_t, U_t, t), \quad (state\ equation)$$

$$Y_t = g(X_t, U_t, t), \quad t = 0, 1, 2, \dots; \quad (output\ equation)$$

X_t, U_t, Y_t : state, input, output set at time t ,

X_0 : initial state set,

U_t : input set (sequence)):

9. Feedback Query Module =

feedback path에 위치한 (Morphological) Set Processing Automata(SPA) [A6] 질의모듈 (Feedback Query Module)은 기존 색인 D/B와 입력화상(의 특징출력)을 입력으로 한 SP filter (SPA)이다. 출력의 선정에 있어서 정확한 기준 (예: expected minimum entropy)하에 이 기준을 최적화 시키는 (집합으로 표현된) 질문을 던진다. (구문(Syntax) 예: 위의 SPA에서

$$U_t = A_t,$$

$$X_t = STACK(\{A^a\}_{a \in \Omega}),$$

$$X_{t+1} = HMT(X_t, A_t, t),$$

$$Y_t = Q(X_t, U_t, t).$$

10. 진화형 지식 (background/current knowledge) 및 D/B, 대화형 질의 (feedback query) 시스템 = 총괄적인 네트워크 시스템(Composite Networked SPA) [A6]

(부분정보에 기초한) 통신신호처리 기반기술 관련: 슬라이스몰폴로지신호처리

기존의 몰폴로지신호처리는 개념위주의 도구였고 실용적이고 포괄적인 표현방식의 부재로 발생하는 다음과 같은 세가지의 단점이 있다:

1. 필터/Hardware/Software 구현방식에 대한 포괄적이고 융합적인 분석, 디자인 및 접근 방법의 미미성.
2. 이로 인해 단순한 방법(technique)으로의 대중적인 오인; 특히 포괄적이고 융합적인 이론을 제대로 인식하지 못한 다수의 연구에 의한 잠재적 기술 발전 가능성의 저하.
3. 상용화 할 수 있는 응용의 부재.

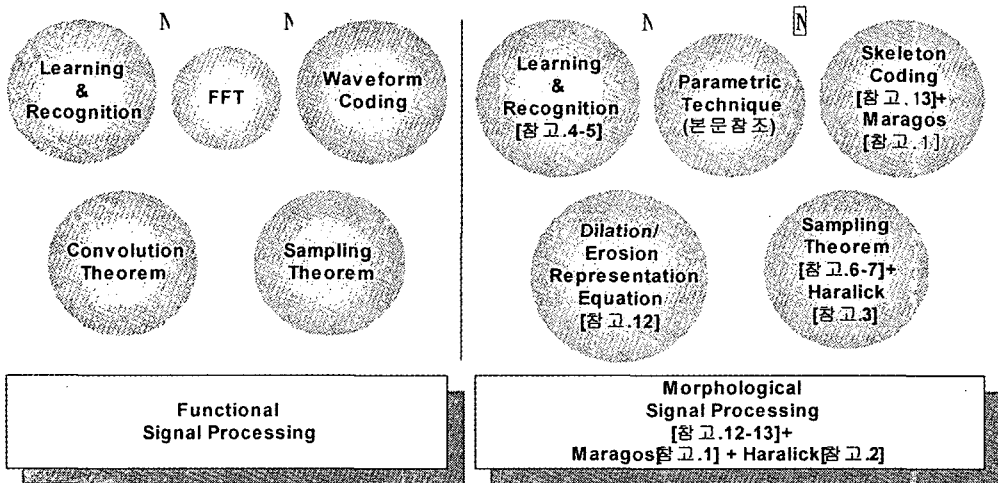
본 연구[A6-7] 통하여 이론을 정립함으로써 새로운 신호처리 방법론을 개척하고 생명공학/정보

기술/미세기술(BT/IT/NT) 및 차세대 신호처리에 유효한 Software/Hardware/알고리즘과 관련된 지적재산권의 확보와 상용화를 도모 할 수 있을 것이다.

나노기술(NT)관련:

기존의 신호처리방식이 Convolution 연산을 바탕으로 선형적으로 전개되어 통신, 신호처리 및 지능분야에서 광범위하게 이용되고 또한 연산의 적용범위의 확장을 통하여 다양한 변환(푸리에변환 등), 응용(선형불변시스템에서의 필터 등) 및 확대에 이용되어 왔다면 비선형 신호처리는 몇몇 한정된 분야(영상처리 등)에서만 그 효용성을 부분적으로 인정 받아왔고, 비선형 신호처리의 한 분야로서 몰폴로지 신호처리 또한 몇몇 분야(예 : 2차원 이진 영상)에 국한되어 단순하게 응용되어 왔다. (선형불변) 신호처리 분야의 효용성 있는 콘보루션

(convolution)연산과 대비되면서도 유사하게 적용되는 비선형 신호처리 분야의 '슬라이스 몰폴로지' 신호처리방식을 정립함으로써[A6] 함수 기반 방식과 달리 집합 기반 방식을 이용하며, 콘보루션 연산이 함수에 적용되는 방식과 유사하게 '슬라이스 몰폴로지' 연산이 집합에 적용된다. 슬라이스 몰폴로지는 각 집합신호를 슬라이스단위로 세분화하여 처리함으로써 연산수의 감소는 물론 구체적인 표현식(representation equation)을 통한 체계적인 시스템 이론/분석/디자인을 추구할 수 있다. Convolution 연산이 선형 신호처리에 근본적인 영향을 끼쳤듯이, 슬라이스 몰폴로지 연산이 선형 및 비선형 신호처리분야에 새롭게 적용됨으로서 신호처리전반에 큰 변화를 가져올 것이고, 무한한 응용 및 확장이 가능하다. 즉, '슬라이스 몰폴로지' 연산 및 파라메트릭 방식(Parametric Technique)을 이용하면 (특히 고계층 신호처리에



〈 그림 6 함수에 기반한 신호처리 대 집합에 기반한 몰폴로지 신호처리 〉

유용한) 비선형적인 특성을 적용시키는 새로운 차세대 생물/정보통신/미세/문화(BT/IT/NT/CT)기술에 유효한 혁신적인 패러다임 및 산업기반기술을 만들어 낼 것으로 기대된다. 특히, 다 분야, 다 기술, 다 용도, 다성질 간의 체계적인 융합(이론)이 요구되는, 현재 본 물폴로지 신호처리가 추구하는 기반 및 응용기술은 차세대의 획기적인 (세계적인 수준의) 기술/기기/인간/학문/문화간의 융합적이고 통합적인 파라다임을 제공하는 유일무이한 방법론이 될 수 있다는 가능성이 있다. 그림6에서는 본 저자가 확보한 기술 및 결과를 기존의 (하라릭 및 마라고스의) 대표적인 기술 및 결과와 결합하여 함수처리에서의 전형적인 기법과 대칭적으로 대조하여 보았고 본 문에서 소개한 물폴로지신호처리의 포괄적인 응용도 및 획기적인 파라다임으로서의 막중한 역할 및 가능성에 대하여 언급하고 있다. 파라다임의 획기적인 변화는 곧 나노 구현 기술의 획기적인 변화를 요구하기도 한다.

결론

물폴로지신호처리(Morphological Signal Processing)란 흔히 비선형 신호처리 분야에 해당하는 기술이라고도 한다. 1970년도부터 집합이론(Set Theory) 및 측정이론(Measure Theory)에

기반한 수학적 기하학 기법(Mathematical Morphology)으로 프랑스의 세라(Jean Serra) 및 마타론(Matheron)에 의해 시작하여 1980년도 중반부터는 마라고스(Petros Maragos), 슈이퍼(Schaefer) 및 하라릭(Haralick)과 같은 미국 신호처리 이론가들에 의하여 영향을 받아 신호처리 기법으로 진화하고 활성화 되어왔다. 하라릭은 수학적 기하학 기법(Mathematical Morphology)을 기존의 신호처리기법과 유사하게 포괄하여 관련된 특성(Property) 및 아나로그/디지털 신호처리에 있어서 유효한 표본화정리(Sampling Theorem)를 소개하였고, 마라고스는 기존의 선형불변신호처리(LTI: Linear Time-Invariant)를 포괄하는 융합이론을 전개함과 동시에 기하학적 (집합)신호처리의 용이성을 보여주는 뼈대코딩이론(Skeleton Coding)의 응용을 연구하여 미합중국 대통령 연구 대상(Presidential Young Investigator Award)을 수상한 바 있다. 그 이후 물폴로지 신호처리는 (동)영상과 같은 객체의 “모양” 처리를 도모하는 여러가지 기능적인 기술로 응용되어 왔으며, 본 저자의 발표예정인 이론적인 결과 등을 통해 구체적인 표현식과 체계적인 구현방식이 제안되었고, 실용적이고 융합적인 신호처리 기술로 무한한 성장이 가능할 것으로 기대된다.

본 기술은 다음의 표와 같이 포괄적이고 다양한

활용분야	해당산업체(국내/국외) 및 단체	활용내용
BT	삼성전자/IBM	포괄적인 지능시스템기술개발 (포괄적인 방식 및 구현구조에 대한 지적재산권 확보)
IT	Daum, KBS, 한국통신, SKT / CBS, AT&T, Yahoo! / MPEG 표준화	압축, 저장, 콘텐츠전송, 콘텐츠제작, 사용자 인터페이스, 기기/사용자 상호작용에 대한 표준화 및 지적재산권 확보
NT	하이닉스, 삼성전자, 미래산업 / Applied Materials	신부류의 메모리 및 비메모리(CPU) 개발 (차세대 방식 및 구조에 대한 지적재산권 확보)

분야의 산업체에서 적극적으로 활용 할 수 있다: 유도하기 위하여) (유료/무료) 소프트웨어 라이브
 그리고 이와 병행하여 (대중적인 호응을 홍보/ 러리(Software Library)를 다음의 표와 같은 플

플랫폼	응용 가능 분야
고계층 컴파일러	고계층 언어(C,C++,Fortran,Matlab 등)내의 슬라이스몰폴로지신호처리 라이브러리
통신시스템	Skeleton Codec(Firmware/Software/Hardware)
인터넷	슬라이스몰폴로지신호처리/Skeleton Codec 라이브러리 (Downloadable)
컴퓨터	지능시스템 및 소프트웨어 모듈 (CPU, Memory, GUI, ASIC 등)

랫폼(platform)에서 배포할 수도 있다:

본 슬라이스몰폴로지신호처리에 기반한 기술은 포괄적인 기술적 특성상 앞으로 대 정부 차원에서 의 적극적이고 대대적인 투자도 필요하다고 사료 된다. 지난 약 10년 간의 코드분할다중접속 (CDMA) 통신사업이 대 정부차원의 성공적인 선 두적인 상용화 투자 사업이었다면 본 슬라이스몰 폴로지신호처리에 기반한 기술에서의 투자는 미래 IT/BT/NT 기술의 진화에 있어서 고부가가치 지

적재산권, 핵심과학기술 및 선두적인 상용화에 근 거한 독점체제를 동시에 보유할 수 있는 좋은 기회 가 될 수도 있을 것이다. 특히, 요즘 부각되고 있 는 생명기술(BT)분야의 지능 및 인식, 정보기술 (IT)분야의 통신 및 멀티미디어, 미세기술(NT)분 야의 반도체 및 소자 등의 고안에 있어서 획기적인 대안을 제공할 수 있는 몰폴로지신호처리 기술은 장기간의 투자 및 연구가 요구되는 좋은 공학과제가 될 수도 있을 것이다.

〈 참고 문헌 〉

- [M1] G. Matheron. Random Sets and Integral Geometry. Wiley, First Edition, 1974.
- [M2] Jean Serra. Image Analysis and Mathematical Morphology, volume 1. St. Edmundsbury press Limited, Bury St. Edmunds, Suffolk, 3rd edition, 1989.
- [M3] P. Maragos. A Representation Theory for Morphological Image and Signal Processing. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11(6):586-599, June 1989.
- [M4] P. Maragos R.W. Schafer, "Morphological Filters- Part I: Their Set-Theoretic Analysis and Relations to Linear Shift-Invariant Filters", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-35(8):1153-1169, August, 1987.
- [M5] P. Maragos R.W. Schafer, "Morphological Filters- Part II: Their Relation to Median, Order-Statistic, and Stack Filters", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-35(8):1170-1184, August, 1987.
- [M6] P. Maragos and R. W. Schafer, "Morphological Skeleton Representation and Coding of Binary Images", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-34(5):1228-1244, October, 1986.
- [M7] R. M. Haralick, X. Zhuang, C. Lin and J. S. J. Lee. "The Digital Morphological Sampling Theorem". IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 37(12):2067-2090, December 1989.
- [M8] R. M. Haralick, S. R. Sterberg, X. Zhuang, "Image Analysis Using Mathematical Morphology", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Learning, Vol. PAMI-9:532-550, 1987.
- [A1] Woonkyung Michael Kim, "A Morphological Approach to Smooth-ing", Conference on Learning Theory, Santa Cruz, 1991.
- [A2] M. Woonkyung Kim. A Morphological Approach to Learning. Ph.D. Dissertation, Harvard University, October 1993.
- [A3] W. M. Kim and S. M. Song, "Morphological approach to smoothing", in Proc. SPIE, vol. 3074, (Orlando, FL), 1997
- [A4] Woonkyung Michael Kim "Morphological approach to smoothing: Stochastic Morphological Sampling Theorem" SPIE Vol.3304 pp.108-119, January, 1998.
- [A5] Woonkyung M.Kim, S. Moon-Ho Song, Sun Geun Kim, Chuck Yoo, Chongyul Yoon and Jung Soo Kim "On morphological smoothing", IEE Electronics Letters, January, 2000.
- [A6] Woonkyung M. Kim, "A Representation Theory for Morphological Signal Processing: Slice Morphological Signal Processing" (under preparation).
- [A7] Woonkyung M. Kim, "Skeleton Coding and Decoding via Slice Morphological Signal Processing" (under preparation).
- [G1] A. Bruce Carlson. Communication Systems: An

- Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication. McGraw Hill, Third Edition, 1986.
- [G2] J. M. Wozencraft and I. M. Jacobs. Principles of Communication Engineering. John Wiley & Sons, 1965.
- [G3] Arthur E. Bryson and Yu Chi Ho. Applied Optimal Control. Hemisphere Publishing Corporation, Second Edition, 1975.
- [G4] C. T. Chen. Introduction to Linear System Theory. Holt, Rinehart and Winston, Inc., First Edition, HRW Series in Electrical Engineering, Electronics, and Systems, 1970.
- [G5] Alan V. Oppenheim and Ronald W. Schaffer. Discrete-Time Signal Processing. Prentice Hall, First Edition, 1989.
- [G6] A. K. Jain. Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice-Hall, 1989.
- [G7] L. R. Rabiner and R. W. Schaffer. Digital Processing of Speech Signals. Prentice-Hall, 1978.
- [G8] Balas K. Natarajan. Machine Learning: A Theoretical Approach. Morgan Kaufmann, 1991.
- [G9] Athanasios Papoulis. Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. McGraw Hill, Third Edition, 1991.
- [G10] T. Cover and J. Thomas. Elements of Information Theory. John Wiley & Sons, 1991.
- [G11] R. O. Duda and P. E. Hart. Pattern Classification and Scene Analysis, John Wiley & Sons, 1973.
- [G12] Thomas Kailath. Linear Systems. Prentice Hall, First Edition, 1980.
- [G13] Erwin Kreyszig. Introductory Functional Analysis with Applications, John Wiley & Sons, Second Edition, 1989.
- [G14] H. J. Zimmermann. Fuzzy Set Theory and Its Applications. Kluwer Publisher, Second Edition, 1990.
- [G15] M. Barnsley. Fractals Everywhere. Academic Press, 1985.
- [G16] W. Rudin. Principles of Mathematical Analysis. McGraw Hill, Third Edition, 1976.
- [G17] M. Garey and D. Johnson. Computers and Intractability: a Guide to the Theory of NP-Completeness. W. H. Freeman, First Edition, 1979.
- [L1] H. R. Lewis and C. H. Papadimitriou. Elements of the Theory of Computation. Prentice-Hall, First Edition, 1981.
- [L2] L. G. Valiant. A theory of the learnable. Communications of the ACM, 27(11):1134-1142, November 1984.
- [L3] A. Blumer, A. Ehrenfeucht, D. Haussler and M. K. Warmuth. Learnability and the Vapnik-Chervonenkis Dimension. Journal of the Association for Computing Machinery, 36(4):929-965, October 1989.
- [L4] Dana Angluin and Carl H. Smith. inductive inference: Theory and methods. Computing Surveys, 15(3):237-269 February 1984
- [L5] T. Poggio and F. Girosi. "A Theory of Networks for Approximation and Learning", Technical Report 31, Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory and Center for Biological Information Processing, Whitaker College, July 1989.
- [MM1] F. Arman, A. Hsu, M. Y. Chiu, "Image Processing on Compressed Data for Large Video Databases",

- ACM Multimedia, 267-272, 1993.
- [MM2] H. J. Zhang, A. Kankanhalli, S. W. Smoliar, "Automatic Partitioning of Full-Motion Video", *Multimedia Systems*, 1:10-28, 1993.
- [MM3] R. Zabih, J. Miller, K. Mai, "A Feature-Based Algorithm for Detecting and Classifying Scene Breaks", *ACM Multimedia*, 189-200, 0-89791-751-0, 1995.
- [MM4] A. Hampapur, R. Jain, T. E. Weymouth, "Production Model Based Digital Video Segmentation", *Multimedia Tools and Applications*, 1, 9-46, 1995.
- [MM5] B. L. Yeo, B. Liu, "Rapid Scene Analysis on Compressed Video", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 5, No. 6, 533-544, December 1995.
- [MM6] J. Meng, Y. Juan, S. F. Chang, "Scene Change Detection in a MPEG Compressed Video Sequence", *SPIE Symposium on Digital Video Compression*, SPIE Vol. 2419, 14-25, 1995.
- [MM7] H. Zhang, C. Y. Low, S. W. Smoliar, "Video Parsing and Browsing Using Compressed Data", *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 1, No. 1, 89-111, March 1995.
- [MM8] J. Feng, K. T. Lo, H. Mehrpour, "Scene Change Detection Algorithm for MPEG Video Sequence", in *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, 821-824, 1996.
- [MM9] Y. Nakajima, K. Ujihara, A. Yoneyama, "Universal Scene Change Detection on MPEG-Coded Data Domain", in *Proc. SPIE Visual Comm. and Image Proc.*, 992-1003, 1997.
- [MM10] O. N. Gerek, Y. Altunbasak, "Key Frame Selection from MPEG Video Data", *SPIE Vol. 3024*, 920-925, 1997.
- [MM11] S.-F. Chang, *Compositing and Manipulation of Video Signals for Multimedia Network Video Services*, Ph.D. Dissertation, U.C. Berkeley, Aug., 1993.
- [MM12] S.-F. Chang and J. R. Smith, "Extracting Multi-Dimensional Signal Features for Content-Based Visual Query", *SPIE Visual Communications and Image Processing*, Taipei, May 1995.
- [MM13] W.-L. Chen, S.-F. Chang, P. Haskell, and D. G. Messerschmitt, "Structured Video Model for Interactive Multimedia Video," in preparation, 1993.
- [MM14] M. M. Yeung, B. L. Yeo, W. Wolf and B. Liu, "Video Browsing using Clustering and Scene Transitions on Compressed Sequences", In *Multimedia Computing and Networking 1995*, vol. SPIE 2417 399-413, Feb. 1995.
- [MM15] M. M. Yeung and B. Liu, "Efficient Matching and Clustering of Video Shots", In *International Conference on Image Processing*, Vol. I, 338-341, 1995.
- [MM16] H. J. Zhang and D. Zhong, "A scheme for visual feature based image indexing", *Proc. IS&T/SPIE Conf. on Storage and Retrieval for Image and Video Databases III*, Feb. 1995, San Jose, pp.36-46.
- [MM17] D. L. Gall, "MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications", *Communications of the ACM*, April 1991, Vol. 34, No. 4, pp. 47-58.