

는 표현상 다음과 같은 특성을 갖도록 추천된다[6].

- 1) 에지가 화소위에서 정의되지 않아야 한다.
- 2) 에지의 방향과 위치가 명확하게 정의되어야 한다.
- 3) 한 장소에서 추출된 에지는 유일하여야 한다.
- 4) 주변에 있는 다른 에지들과의 경쟁으로 관심있는 에지 정보가 제거되는 경우가 있어서는 안된다.

이와 같은 요구는 그림 1에서 보여지는것과 같이 수평 방향의 에지(horizontal edge)와 수직방향(vertical edge)의 에지로 정의되는 크랙(crack)에지를 화소사이에 표현하므로써 충족된다. 크랙 에지는 에지가 추출된 화소의 위치에 따라서 위치와 방향이 유일하게 결정된다. 이렇게 표현된 에지들은 린택레이션이나 커브 피팅(curve fitting)과 같은 후처리를 용이하게 한다.

$S(i, j)$ 를 위치 (i, j) 에 있는 크랙 에지의 강도라 정의하면 다음과 같이 수평 방향 및 수직 방향의 크랙 에지를 각각 계산할 수 있다.

$$S(i, j+1) = |A(i, j) - A(i, j+2)|$$

and
$$S(i+1, j) = |A(i, j) - A(i+2, j)|$$

여기서 $G(i, j)$ 를 위치 (i, j) 에서의 원 화상 그레이 레벨(grey level)이라 하면, 2×2 크기를 갖는 로칼(local) 영역 내의 그레이 레벨의 평균치 $A(i, j)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$A(i, j) = \{G(i, j) + G(i+1, j) + G(i, j+1) + G(i+1, j+1)\} / 4.$$

그림 2는 본 연구에서 사용될 크랙 에지가 원화상에서 추출되는 관계를 보여준다.

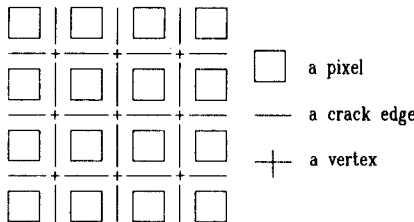
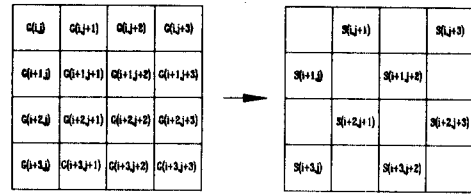


그림 1. 크랙 에지의 정의(화소 사이의 수평선과 수직선은 각각 수평 방향 및 수직 방향의 크랙 에지를 나타낸다).

3. 에지 린택레이션 알고리즘

3.1 개요

린택레이션은 각기 의미있는 복수개의 라벨로 해석될 수 있는 임의의 물체들 사이에서 행하여 진다. 이 라벨들은 라벨들사이의 상호연관(compatibility)관계를 통하여 강화되거나



Original image Crack edge image

그림 2. 크랙 에지의 표현

나 약화된다. 물체의 집합을 $a = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 라 하고 각 물체가 가질 수 있는 라벨의 집합을 $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ 라 정의하고 물체 a_j 가 라벨 λ_k 로 해석될 수 있는 신뢰도, 혹은 확률을 $P_i(\lambda_k)$ 라 하자. $P_i(\lambda_k)$ 는 이웃한 물체의 라벨 λ_l 과의 상호연관 관계를 통하여 반복적으로 증감된다. 상호연관 함수 γ_{ij} 는 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned} \gamma_{ij}(\lambda_k, \lambda_l) > 0 & \quad \lambda_k \text{와 } \lambda_l \text{이 상호 보완적일때,} \\ \gamma_{ij}(\lambda_k, \lambda_l) < 0 & \quad \lambda_k \text{와 } \lambda_l \text{이 상호 배타적일때,} \\ \gamma_{ij}(\lambda_k, \lambda_l) = 0 & \quad \lambda_k \text{와 } \lambda_l \text{이 서로 독립적일때.} \end{aligned}$$

$Q_i^t(\lambda_k)$ 를 반복횟수 $(t+1)$ 번째에 $P_i^t(\lambda_k)$ 에 적용되는 보정량이라 하면 $P_i^{t+1}(\lambda_k)$ 은 다음과 같은 식으로 얻어진다.

$$P_i^{t+1}(\lambda_k) = \frac{P_i^t(\lambda_k)[1+Q_i^t(\lambda_k)]}{\sum_{k=1}^n [P_i^t(\lambda_k)[1+Q_i^t(\lambda_k)]]}$$

여기서 보정량은 다음과 같이 정의된다.

$$Q_i^t(\lambda_k) = \sum_j d_{ij} \left[\sum_{l=1}^n \gamma_{ij}(\lambda_k, \lambda_l) P_j^t(\lambda_l) \right].$$

가중치 d_{ij} 는 이웃에 있는 물체 a_j 가 물체 a_i 에 미치는 영향을 고려하여 정의되고 이들의 합은 항상 1이 되어야 한다.

이상과 같은 린택레이션 프로세스를 에지를 향상시키는 목적으로 사용하기 위한 관점에서 생각하여 보자. 에지가 크랙 에지로 표현되었을 때 각 에지의 위치는 "에지" 와 "에지아님"의 단 두가지 라벨만을 갖는것으로 생각할 수 있다. 이 두 라벨은 린택레이션 오퍼레이션 중에 각 에지 위치에서 경쟁을 한다. $P_i(\text{에지아님}) = 1 - P_i(\text{에지})$ 이므로 $P_i(\text{에지})$ 만으로도 두 라벨의 확률을 표현하기에 충분하다. $P_i^t(\text{에지})$ 를 P_i^t 라 표시하면 P_i^{t+1} 은 다음과 같이 구해진다.

$$P_i^{t+1} = \frac{P_i^t[1+Q_i^t]}{1+P_i^t Q_i^t}$$

여기서 Q_i^t 는 에지의 보정량이다.

3.2. 제안된 에지 릴렉세이션 알고리즘

본 절에서는 이웃 패턴을 추정하기 위하여 취지 기법을 사용한 새로운 에지 릴렉세이션 알고리즘을 제안한다. 먼저 에지의 강도가 0과 1사이여 있도록 하기 위하여 전 영상에 걸쳐서 강도가 가장 큰 에지로 에지 강도를 노멀라이징(normalizing)한다. 노멀라이징된 에지의 강도를 그 위치에서 에지가 존재할 수 있는 초기 확률로 가정한다. 본 에지 릴렉세이션 알고리즘은 이 상태에서 부터 시작된다. 결국 초기화된 에지의 존재 확률을 바탕으로 연속성에 근거한 이웃 에지 패턴과의 상호 연관 관계에 따라 반복적으로 에지 존재 확률을 업데이트(updating)하는것이 본 알고리즘의 기본 골격이다. 그림 3은 제안된 알고리즘의 기본 골격을 보여준다. 임의의 한 에지에 대하여 릴렉세이션할 수 있는 가장 작은 이웃을 그림 4와 같이 정의한다. 여기서 e는 센트럴 에지(central edge)의 강도(strength)이고 a, b, c, f, g, h, u, v는 각각 이웃한 에지의 강도를 나타낸다. 앞으로 전개될 알고리즘은 그림 3과 같은 이웃을 바탕으로 한다.

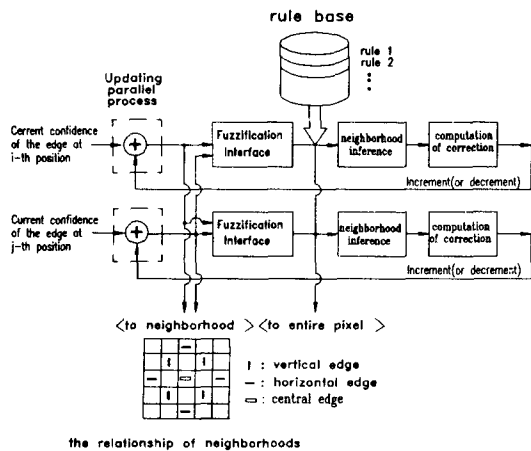


그림 3. 제안된 알고리즘의 기본 골격

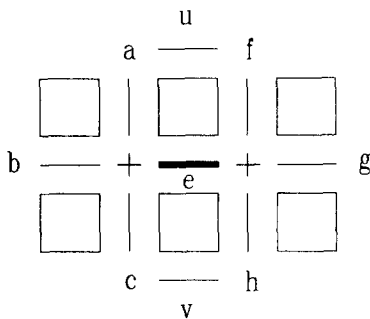


그림 4. 이웃의 정의(굵은선은 센트럴 에지를 나타낸다).

버텍스 타입(vertex type)의 정의

모든 크랙 에지는 두개의 끝점, 혹은 버텍스를 갖는다. 각 끝점은 그림 5와 같은 4개의 버텍스 타입 중의 하나로 분류될 수 있다. 버텍스 타입은 이웃한 에지 중 강도가 강한 에지의 갯수를 나타내는 0에서 3사이의 정수 p에 의하여 표시된다. 버텍스 타입은 이웃한 에지들의 위치에 관계없이 강도가 강한 에지의 갯수가 동일하면 동가의 클래스로 간주된다.

취지 기법에 의한 버텍스 타입의 추정

센트럴 에지의 양 끝점의 버텍스 타입들의 관계에 따라 에지의 존재 확률(혹은, 에지의 강도)은 증감된다. 버텍스 타입은 센트럴 에지 양 끝점에 있는 세계의 에지 강도에 의하여 결정된다. 그러나 에지 강도를 이치적으로 분류하여 명확하게 버텍스 타입을 정의하기가 힘들다. 따라서 버텍스 타입을 분류하는데 있어서 취지집합을 이용하는것은 자연스러운 요구 사항이 될것이다.

그림 4의 왼쪽편 버텍스에 대하여 생각하여 보자. 이웃한 에지가 일직선상에서 연결되어 있는 경우와 직각으로 굴절되어 연결되어 있는 두경우에 대하여 동일한 클래스로 간주하면 $a \geq b \geq c$ 로 소팅(sorting)하여 버텍스 타입의 조합수를 줄일 수 있다. 버텍스 타입을 추정하는데 취지 기법을 사용하기 위하여 우선 에지의 강도를 자연언어로 표현하여야 한다. 따라서 언어 변수(linguistic variable)로 간주된 에지의 강도를 표현하기 위하여 그림 6과 같은 두개의 취지 집합을 정의한다. 각 취지 집합은 정의의 구역을 $[0,1]$ 로 하고 치역을 $[0,1]$ 로 하는 언어 변수의 멤버십 함수(membership function)가 된다. 에지의 강도가 두 취지 집합에 의하여 취지화되기 전에 에지의 강도는 다음과 같은 m에 의하여 다시 노멀라이징되어야 한다.

$$m = \text{MAX}(a, q)$$

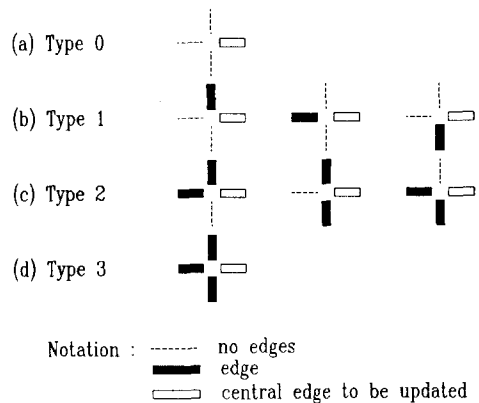


그림 5. 버텍스 타입

여기서 MAX(·)는 최대치 오퍼레이터이고 q는 노멀라이징 인자 m 의 하한치(lower bound)이다. 이는 이웃한 에지의 강도가 매우 작을 때 m 을 최소치 q로 고정시켜 버텍스 타입 0와 나머지 타입간의 구별 정도를 증가시킨다. 다음으로 각 버텍스 타입의 특성을 언어 변수의 취지 집합들을 사용하여 표현한다. 본 연구에서는 다음과 같은 언어적 물을 통하여 버텍스 타입을 표현하였다.

- 물1 : if(a is SMALL and b is SMALL and c is SMALL)
then(class of vertex is type 0)
- 물2 : if(a is BIG and b is SMALL and c is SMALL)
then(class of vertex is type 1)
- 물3 : if(a is BIG and b is BIG and c is SMALL)
then(class of vertex is type 2)
- 물4 : if(a is BIG and b is BIG and c is BIG)
then(class of vertex is type 3)

다음으로 입력된 임의의 버텍스 패턴이 물로 표현된 각 버텍스의 표준 패턴과 유사한 정도를 계산하여야 한다. 멤버십 함수 "BIG"과 "SMALL"에 대한 언어 변수의 멤버십 벨류를 각각 $\mu_b(\cdot)$, $\mu_s(\cdot)$ 라 하고 입력된 임의의 버텍스 패턴과 버텍스 타입 i에 대한 표준 패턴과의 유사도를 D_i 라 하자. 그러면 D_i 는 위와 같은 네개의 물에 의하여 다음과 같이 계산된다

$$D_0 = \text{MIN}(\mu_s(a), \mu_s(b), \mu_s(c))$$

$$D_1 = \text{MIN}(\mu_b(a), \mu_s(b), \mu_s(c))$$

$$D_2 = \text{MIN}(\mu_b(a), \mu_b(b), \mu_s(c))$$

$$D_3 = \text{MIN}(\mu_b(a), \mu_b(b), \mu_b(c))$$

여기서 MIN(·)은 최소치 오퍼레이터이다. 세트럴 에지의 오른쪽 끝점에 대한 버텍스 타입도 위와 동일한 절차로 계산된다.

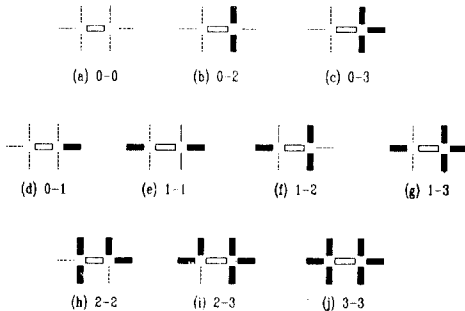


그림 7. 이웃 패턴의 클래스

이웃 패턴의 계산

본 연구의 목적이 연속적인 경계 요소를 추출하고자 하는 데 있으므로 세트럴 에지가 경계에 속하는지 그렇지 않는지

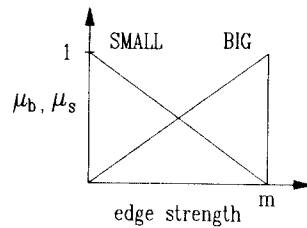


그림 6. 에지의 강도(a, b, c, f, g, h)에 대한 멤버십 함수

를 판단할 수 있는 조건을 제시하여 주는 문맥적 정보를 포함하고 있는 패턴이 필요하다. 이 문맥 패턴을 i-j 형태로 표시되는 이웃 패턴으로 정의 하자. 여기서 i, j는 각각 세트럴 에지 양 끝점의 버텍스 타입을 나타낸다. 좌우 대칭 형태인 i-j와 j-i는 동일 클래스로 간주된다. 그림 7은 가능한 한 존재할 수 있는 모든 패턴의 클래스를 나타낸다. P_l 를 이웃 패턴이 i-j가 될 신뢰도(confidene)라 하면 P_l 은 다음과 같이 계산된다.

$$P_l = \text{MIN}(D_i, D_j) \quad \text{for } l = 1, \dots, 10.$$

여기서 인덱스 i가 0에서 3 까지 변할 때 j는 $i \leq j$ 에 따라 변한다.

에지 존재 확률의 업데이트

릴랙세이션 프로세스를 통하여 세트럴 에지를 업데이트하기 위하여 세트럴 에지와 이웃 패턴사이에 상호연관 계수가 지정되어야 한다 제안된 본 알고리즘의 특성상 3.1절에서 언급된 상호 연관 계수 γ_{ij} 가 이웃 패턴 i이 세트럴 에지의 존재를 강화 혹은 억제하는 정도를 나타내는 w_i 로 바뀌어 표시되어야 한다. w_i 은 그림 7에서 보여지는 에지의 문맥적 의미에 따라 -1에서 1사이의 값을 갖는다. 그림 7(a)의 경우는 세트럴 에지의 존재 확률을 억제한다. 그림 7(b)와 그림 7(c)는 노이즈가 성장하는것을 막기 위하여 역시 억제되는 경우이다. 그림 7(d)는 주어진 정보만으로는 강화 혹은 억제 여부를 판단할 수 없으므로 업데이트를 다음 반복 수행시로 연기한다. 그림 7(e)-(g)는 세트럴 에지 e를 강화하는 클래스이다. 그림 7(h)-(j)은 강화 혹은 억제를 판단하기에 애매한 경우로 간주된다. 상호연관 계수 w_i 은 이웃 패턴이 세트럴 에지의 존재를 강화하는 경우에 대해서는 1에 가까운 값으로 하고, 억제하는 경우에 대해서는 -1에 가까운 값으로, 애매한 경우에 대해서는 0에 가까운 값으로 지정되어야 한다. 반복 수행횟수 t에서 임의의 세트럴 에지에 대한 보정량 Q^t 라 하면 Q^t 는 다음과 같이 구해진다.

$$Q^t = \sum_{l=1}^n Q_l^t = \sum_{l=1}^n w_l P_l^t$$

최종적으로 센트럴 에지의 새로운 존재 확률은 다음과 같이 조정된다.

$$P_{t+1} = \frac{P_t[1+Q_t]}{1+P_tQ_t}$$

여기서 제안된 기법은 더 큰 영역을 갖는 이웃으로 쉽게 확장될 수 있다. 추가로 본 알고리즘에서 고려하여야 할것은 서로 평행한 위치에 있는 에지 u, v가 서로를 강화시켜 반복 횟수가 증가될수록 에지의 두께가 두꺼워지는것을 방지하는 것이다. 따라서 릴랙세이션을 수행하기에 앞서 세션화 기법 중의 하나인 넌 맥시멀 서프레이션(non-maximal suppression)을 수행할것을 추천한다.

종합하여 본 알고리즘은 다음과 같은 처리과정을 거친다.

단계 1) 에지 강도를 초기화한다.

단계 2) $t = 1$

단계 3) 이웃 에지의 강도(혹은 에지 존재 확률)에 따른 벡터스 타입을 추정한다.

단계 4) 릴랙세이션을 통하여 에지 강도를 업데이트한다.

단계 5) 반복 수행 횟수가 원하는 횟수에 도달하였거나 모든 에지 존재 강도가 0혹은 1로 수렴하였다면 종료한다. 그렇지 않으면 $t = t+1$ 로 하고 단계 3)으로 간다.

4. 실험

4.1 실험 장치

본 연구에서 사용된 실험 장치는 카메라 세트, 이미지 프레임 그래버(image frame grabber) 및 컴퓨터 시스템으로 구성된다. 이미지 획득을 위하여 764 x 491 화소를 갖는 CCD TV 카메라를 사용하였다. 렌즈의 초점거리는 16mm이다. CCD TV 카메라로부터 얻은 비데오 신호는 윈 보드 이미지 프레임 그래버인 FG-100-1024를 통하여 512 x 512로 샘플링(sampling)되고 256 그레이 레벨로 디지털화(digitizing)된다. 프레임 그래버에 저장된 이미지 데이터를 읽고, 영상을 처리하고, 처리된 영상을 해석하고, 그 결과를 표현하기 위하여 IBM 386 PC를 사용하였다. 제안된 알고리즘은 C 언어로 작성되었고 FS-100-1024 프레임 그래버와 함께 사용되도록 작성된 이미지 처리 서브루틴(subroutine)의 라이브러리(library)인 ITEX 100과 링크(link)되어 사용되도록 작성되었다.

4.2 실험 결과 및 토론

그림 8과 같은 128 x 128크기의 그레이 레벨 영상에 대하여 실험을 수행하였다. 그림 8(a)는 본 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 사용된 원 영상이다. 그림 8(b)와 그림

8(c)는 그림 8(a)에 제로 평균을 갖는 화이트 가우시언 노이즈(white gaussian noise)를 섞은 영상이다. 그림 (b)와 (c)에 섞인 노이즈의 크기(노이즈의 표준 편차에 대한 스텝 앰플리튜드(step amplitude)의 비로 표시되는 신호 대 노이즈 비(SNR))는 각각 0.2, 0.4이다. 그림 9와 10은 그림 8(b)와 그림 8(c)에 대하여 본 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다. 그림 9(a)와 그림 10(a)는 세션화 처리된 에지 이미지를 보여준다. 여기서 각 화소의 밝기는 에지의 강도를 나타낸다. 양 그림의 (b)-(d)는 각각 릴랙세이션 반복 횟수 1, 3, 7후의 처리 결과를 보여준다. 실험 결과들은 첨가된 화이트 가우시언 노이즈가 거의 제거되어 원래의 경계 정보를 복원하였음을 보여준다. 노이즈에 의하여 초기에 강하게 나타난 에지들은 주변으로 부터 존재를 위한 기반이 없으므로 릴랙세이션을 통하여 점점 강도가 약해지고, 반면에 실제 경계부근에서 초기에 약하게 나타난 에지들은 주변의 강한 에지들로부터 존재에 대한 강한 지원을 받아 릴랙세이션 횟수가 증가할수록 점점 강해진다. 따라서, 최종적으로 노이즈에 의하여 기인된 에지들은 사라지게 되고 실제 경계위의 에지들은 대부분이 복원된다.

5. 결론

본 논문은 문맥적 정보를 이용하여 에지 정보를 향상시키기 위한 새로운 형식의 에지 추출 기법을 제안하였다. 본 알고리즘은 반복적이고 병렬적으로 수행된다. 문맥적 정보로 사용된 센트럴 에지의 이웃 패턴은 의미상 이치적으로 명확히 구별될 수 없으므로 워지 기법을 이용하여 근사 추정하였다.

본 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 노이즈가 포함된 화상에서 많은 실험이 수행되었다. 실험 결과 노이즈에 의하여 발생된 가짜 에지들이 대부분이 제거되었을 뿐더러, 원래 약하게 나타난 에지들이나 이로 인하여 생길 수 있는 실제 경계상의 조그만 갭들이 복원되었음을 보여 주었다.

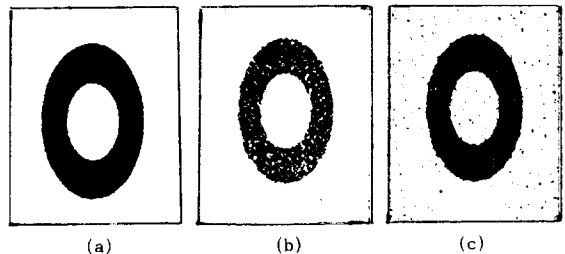


그림 8. 실험용 영상 (a) 원 영상 (b) SNR = 0.2인 화이트 가우시언 노이즈가 첨가된 영상. (c) SNR = 0.4인 화이트 가우시언 노이즈가 첨가된 영상.

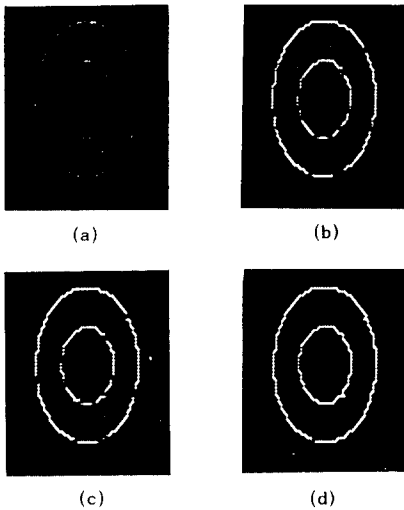


그림 9. 그림 8(b)의 실험용 영상에 대하여 본 알고리즘을 적용한 결과. (a) 세션화된 에지 영상. (b) 1번 반복 수행후의 결과. (c) 3번 반복 수행후의 결과. (d) 7번 반복 수행후의 결과.

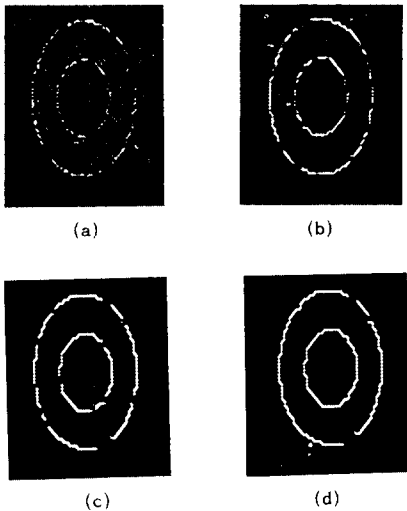


그림 10. 그림 8(c)의 실험용 영상에 대하여 본 알고리즘을 적용한 결과. (a) 세션화된 에지 영상. (b) 1번 반복 수행후의 결과. (c) 3번 반복 수행후의 결과. (d) 7번 반복 수행후의 결과

참고문헌

- pp.248-270, 1975.
- [2] D.H.Ballard and C.M.Brown, *Computer Vision*, Prentice-Hall, Inc., 1982.
- [3] V.S.Nalwa and T.O.Binford, "On detection edges," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.PAMI-8, pp.699-714, 1986.
- [4] A.Rosenfeld, R.A.Hummel and S.W.Zucker, "Scene labeling by relaxation operations," *IEEE Trans. Sys., Man, and Cyber.*, Vol.SMC-6, No.6, pp.420-433, June 1976.
- [5] S.W.Zucker, R.A.Hummel and A.Rosenfeld, "An application of relaxation labeling to line and curve enhancement," *IEEE Trans. Computers*, Vol.C-26, No.4, pp.394-403, April 1977.
- [6] A.R.Hanson and E.M.Riseman, "Segmentation of natural scene," in *Computer Vision Systems*, New York : Academic Press, pp.129-144, 1978.
- [7] L.S.Davis and A.Rosenfeld, "Application of relaxation labeling 2 : Spring-loaded template matching," Technical Report 440, Computer Science Center, Univ. Maryland, 1976.
- [8] J.M.Prager, "Extracting and labeling boundary segments in natural scenes," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.PAMI-2, No.1, pp.16-27, Jan. 1980.
- [9] E.Leung and X.Li, "Parallel processing approaches to edge relaxation," *Pattern Recognition*, Vol.21, No.5, pp.547-558, 1988.
- [10] J.Kittler and J.Foglein, "On the compatibility and support functions in probabilistic relaxation," *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Vol.34, pp.257-267, 1986
- [1] L.S.Davis. "A survey of edge detection techniques," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol.4,