

전 관 구 고 명 삼
서울 대학교 공과대학 제어계측공학과

A study on the knowledge representation of industrial mechanical elemental parts for boundary representation

Chan Gu Jeon Myoung Sam Ko
Dept. of Control & Instrumentation Eng., Robotics & Intelligent Systems Lab., Seoul National University

ABSTRACT

In this paper, attempts have been made to extract elemental knowledges from contours of industrial mechanical elemental parts for efficient boundary representation (chain coding) of their contours. These elemental knowledges could be used to knowledge representation for representing boundaries of various industrial mechanical parts. Analysis is focused on elemental knowledges of line and circle boundaries, which compose basic elements of the contours of industrial mechanical parts.

1. 서론

인공시각 (Machine vision) 기술은 현재 컴퓨터 기술의 발달과 함께 산업현장에서 중요한 많은 일을 수행하고 있으며 공장자동화 추세에 부응하여 시각자동화기술은 그 필요성이 날로 더해 가고 있는 추세이다. 시각자동화기술에 있어서 화상을 해석하기 위해서는 먼저 취득한 화상을 이진화상으로 변환하고 이를 처리해야 한다. 화상처리과정 중에서, 주어진 화상을 이진화상으로 영역화 (Segmentation) 하는 방법은 크게 Region Growing 방법과 경계검출방법이 있다. *1 Region Growing 방법*2은 유사한 성질을 갖는 화소들을 같은 영역으로 묶어서 이진화상을 형성하는 방법이다. 경계검출방법은 해석하고자 하는 영역의 경계를 찾아서 이진화상으로 분리하는 방법으로 영역간의 불연속성을 계산하여 경계를 검출하는 방법이다. *3 *4 분리된 이진화상으로 부터 물체의 특징을 효과적으로 추출하기 위해서는 이진화상을 적당히 표현 (Representation) 해야 한다.

표현방법은 이진화상의 분리방법에 따라 경계표현 (Boundary representation) 과 영역 표현방법이 있다. *5 이진화상은 물체와 배경을 구분하는 경계부분에 물체에 대한 정보가 대부분 포함되어 있으므로 경계표현방법이 많이 연구되어 왔다. *6 *7 이진영상의 경계부분을 표현하는 방법으로는 크게 Contour coding *8*10, Run-length coding *7 *10 과 Strip tree *9 등이 있다. Contour coding은 일명 체인코딩 이라고도 하는데 이 방법은 다른 표현 방법에 비해 화상처리가 용이하나 표현하기 위해서는 경계를 추적해야 하기 때문에 많은 시간이 걸린다. 최근 이러한 단점을 보완하기 위해 하드웨어로 경계표현하는 방법이 연구되었다. *13 *14 *16 *15 이와같은 방법들은 짧은 시간내에 체인코드를 구할 수 있지만 별도의 하드웨어 및 시스템이 복잡해 진다는 단점이 있다. 본 논문에서는 별도의 경계표현을 위한 하드웨어 없이 소프트웨어 만으로 효율적인 체인코딩을 할 수 있는 방법에 대해 연구했다. 특히, 산업용 기계요소 부품에 *15 대해 경계부호화를 효율적으로 신속히 할 수 있는 지식표현을 하기 위한 기계요소 부품 Contour 의 요소 지식의 추출 및 이 요소 지식의 성능분석에 중점을 두었다. 지식표현을 위한 요소지식 추출 및 성능분석은 여러가지 기계요소부품 Contour 의 기본 핵심 성분인 직선 선분과 원에 중점을 두었다.

2. 화상에서의 임의의 직선형 선분 Contour 의 체인코드 표현 분석

일반적으로 화상에서의 직선형 선분 1 가 체인코드로 표현되면 2개 이하의 체인코드 성분으로 나타낼 수 있다.

정의 1) 임의의 선분 1 가 체인코드 c_1 이

n 개 체인코드 c_2 가 m 개 조합된 체인코드 패턴이 연속적으로 반복될 때 선분 l 를

$l = [n(c_1), m(c_2)]$ 로 표시하고 이를 선분의 체인코드 표현이라 한다.

정의 1)에 입각하여 기울기 N/M 인 직선형 선분의 일반적인 체인코드 표현은 다음과 같다.

정리 1) 기울기 N/M 인 임의의 직선형 선분의 좌상에서의 체인코드 표현.

1) $M > N, M > 0, N > 0$ 인 경우 (제 1 팔분면);

$$l = [(M - N)(0), N(1)]$$

2) $M = N > 0$ 인 경우;

$$l = [l(1)]$$

3) $M < N, M > 0, N > 0$ 인 경우 (제 2 팔분면);

$$l = [M(1), (N - M)(2)]$$

4) $M \rightarrow 0, N \rightarrow +\infty$ 인 경우;

$$l = [l(2)]$$

5) $|M| < |N|, M < 0, N > 0$ 인 경우 (제 3 팔분면);

$$l = [(N - M)(2), M(3)]$$

6) $|M| = |N|, M < 0, N > 0$ 인 경우;

$$l = [l(3)]$$

7) $|M| > |N|, M < 0, N > 0$ 인 경우 (제 4 팔분면);

$$l = [N(3), (M - N)(4)]$$

8) $M \rightarrow -\infty, N \rightarrow 0$ 인 경우;

$$l = [l(4)]$$

9) $|M| > |N|, M < 0, N < 0$ 인 경우 (제 5 팔분면);

$$l = [(M - N)(4), N(5)]$$

10) $|M| = |N|, M < 0, N < 0$ 인 경우;

$$l = [l(5)]$$

11) $|M| < |N|, M < 0, N < 0$ 인 경우 (제 6 팔분면);

$$l = [M(5), (N - M)(6)]$$

12) $M \rightarrow 0, N \rightarrow -\infty$ 인 경우;

$$l = [l(6)]$$

13) $|M| < |N|, M > 0, N < 0$ 인 경우 (제 7 팔분면);

$$l = [(N - M)(6), M(7)]$$

14) $|M| = |N|, M > 0, N < 0$ 인 경우;

$$l = [l(7)]$$

15) $|M| > |N|, M > 0, N < 0$ 인 경우 (제 8 팔분면);

$$l = [(M - N)(0), N(7)]$$

16) $M \rightarrow +\infty, N \rightarrow 0$ 인 경우;

$$l = [l(0)]$$

정리 1)의 증명은 지면 관계상 여기서는 생략한다.

정리 1)에서 알 수 있듯이 임의의 직선형 선분의 특성을 나타내는 지식요소는 체인코드 표현이다.

3. 체인코드 표현된 임의의 직선형 선분에 수직관

계에 있는 임의의 직선형 선분의 체인코드 표현

2차원화한 산업용 기계요소 부품의 Contour 를 분석하여 보면 수직관계에 있는 직선형 선분의 조합으로 구성된 경우가 많으므로 이에 대한 분석이 지식표현을 위한 요소지식으로 필요하다. 일반적으로 직선형 선분 l_i 가 l_{i+1} 선분과 서로 $-\pi/2$ 각도로 접할때

$$l_i = [m(c_1), n(c_2)] \quad (1)$$

하면 l_{i+1} 의 체인코드 표현은

$$l_{i+1} = [m(c_1 - 2), n(c_2 - 2)] \quad (2)$$

로 주어지고 l_{i+1} 이 $+\pi/2$ 각도로 접하면 l_{i+1} 은

$$l_{i+1} = [m(c_1 + 2), n(c_2 + 2)] \quad (3)$$

로 주어진다.

4. 원형 Contour 의 체인코드 표현 분석

Contour 를 구성하는 원의 임의의 점 X 를

$$X = (x, y) \quad (4)$$

하면 반경 r 인 원의 방정식은

$$|X| = r \quad (5)$$

이다.

식 (5)로 주어지는 원의 방정식에서 임의의 점 X 에 접하는 접선의 기울기 g 는 식 (5)를 x 와 y 에 대하여 미분을 취하므로써 얻을 수 있다.

$$a = y'/x' = -x/y \quad (6)$$

그림 2. 예시와 같이 점 $(0, +r)$ 에서 시계방향으로 추적했을 경우 x, y 영역 R 과 식 (6)으로 부터 임의의 점 X 에서 접선이 통과하는 팔분면과 이 영역에서의 모든 점들이 표현되는 체인코드는 다음과 같다.

1) $R = \{(x, y) | 0 \leq x \leq +r, +r \geq y \geq \frac{r}{\sqrt{2}}\}$ 인 경우
접선: 제 8 팔분면, 체인코드 (0,7)

2) $R = \{(x, y) | \frac{r}{\sqrt{2}} \leq x \leq +r, \frac{r}{\sqrt{2}} \geq y \geq 0\}$ 인 경우
접선: 제 7 팔분면, 체인코드 (7,6)

3) $R = \{(x, y) | +r \geq x \geq \frac{r}{\sqrt{2}}, 0 \geq y \geq -\frac{r}{\sqrt{2}}\}$ 인 경우

- 접선 : 제 6 팔본면, 체인코우드 (6,5)
- 4) $R = [(x,y) | \frac{r}{\sqrt{2}} \geq x \geq 0, -\frac{r}{\sqrt{2}} \leq y \leq -r]$ 인 경우;
 접선 : 제 5 팔본면, 체인코우드 (5,4)
- 5) $R = [(x,y) | 0 \geq x \geq -\frac{r}{\sqrt{2}}, -r \leq y \leq -\frac{r}{\sqrt{2}}]$ 인 경우;
 접선 : 제 4 팔본면, 체인코우드 (4,3)
- 6) $R = [(x,y) | -\frac{r}{\sqrt{2}} \geq x \geq -r, -\frac{r}{\sqrt{2}} \leq y \leq 0]$ 인 경우;
 접선 : 제 3 팔본면, 체인코우드 (3,2)
- 7) $R = [(x,y) | -r \leq x \leq -\frac{r}{\sqrt{2}}, 0 \leq y \leq +\frac{r}{\sqrt{2}}]$ 인 경우;
 접선 : 제 2 팔본면, 체인코우드 (2,1)
- 8) $R = [(x,y) | -\frac{r}{\sqrt{2}} \leq x \leq 0, +\frac{r}{\sqrt{2}} \leq y \leq +r]$ 인 경우;
 접선 : 제 1 팔본면, 체인코우드 (1,0)

정리 1)에서 각 팔본면을 지나는 직선형 선분의 체인코우드가 위와 같음을 제시하였고 원 R 은 점 선과의 접점들의 집합으로 구성되므로 각 영역에서의 체인코우드도 위와 같다. 일반적으로 제 s 팔본면에 속한 원의 점들의 집합이 체인코우드 c_1^s, c_2^s 로 표현되면 제 s-1 팔본면의 체인코우드 c_1^{s-1}, c_2^{s-1} 은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} |c_1^{s-1} - c_2^{s-1}| &= 1 \\ c_1^{s-1} &= c_1^s - 1 \\ c_2^{s-1} &= c_2^s - 1 \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)이 원형 Contour 를 추적할 때 요소지식이 된다.

5. Contour 를 구성하는 직선형 선분과 원형 Contour 에 있어서 Contour following 성능분석

Contour 를 구성하는 임의의 화소점의 좌표가 식 (4)와 같이 주어질 때 화상함수 (image function) p 는

$$p(X) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (8)$$

이다.
 일반적으로, X_1, X_2 에 대해

$$|p(X_1) - p(X_2)| = 1 \quad (9)$$

인 경우 X_1 과 X_2 의 경계부분을 Contour 로 정의 하지만 여기서는 식 (9)를 만족하는

$$p(X_1) = 1 \quad (10)$$

인 X_1 을 Contour 를 구성하는 점으로 한다. 다음에 Contour 를 구성하는 임의의 점 X_m 에서 다음의 Contour 를 구성하는 점을 찾는 함수 G 를 다음과 같이 정의한다.

정의 2) 함수 $G(Y_1; X_m, X_m^k) = M$ 은 Y_1 의 조건 하에서 $|p(X_m) - p(X_m^k)| = 1$ (또는 X_m 가 다음의 Contour 점) 이면 $M = 1$ 이고 $|p(X_m) - p(X_m^k)| = 0$ (또는 X_m^k 가 Contour 점에 속하지 않음) 이면 $M = 0$ 으로 정의한다. 여기서, X_m^k 는 X_m 에 8-neighborhood 관계에 있는 점이다.

정의 2)에 입각하여 X_m 에서 다음의 Contour 를 구성하는 점을 찾는 기존방법인 CW 추적 RL 탐색^{*16,*1}의 경우를 표현해 보면

$$\begin{aligned} G(c_1, CW, RL; X_m, X_m^k) &= M \quad (11) \\ \text{여기서, } c_1 &= \text{최종 체인코드 값} \\ CW &= CW \text{ 추적} \\ RL &= RL \text{ 탐색} \end{aligned}$$

이며,

$$X_m^k = G^{-1}(c_1, CW, RL; X_m, M) \quad (12)$$

로 표현한다.

정의 3) 함수 $T(Y_1; X_m, X_m^k)$ 를 Y_1 의 조건 하에서 X_m^k 까지 비교하는데 걸리는 시간으로 정의한다.

5. 1. 직선형 선분의 경우

직선형 선분 l 을 요소지식 Q 를 가지고 Contour following 하였을 경우 CW 추적 RL 탐색방법과 비교하여 성능분석을 한다. 여기서 성능비교의 기준은 임의의 Contour 를 구성하는 점에서 다음의 Contour 를 구성하는 점을 찾을 때 까지 걸리는 시간으로 한다.

직선형 선분 l 을 Contour following 하는 경우 기존 방법인 CW 추적 RL 탐색의 경우 G 함수는

$$G(c_1, CW, RL; X_m, X_m^k) = 1 \quad (13)$$

$$\text{또는, } G(c_1, CW, RL; X_m^{k+1}, X_m^k) = 1 \quad (14)$$

이고 식 (13), (14)에서 X_m^k 는 다음과 같이 된다.

$$X_m^k = G^{-1}(c_1, OW, RL; X_m, 1) \quad (15)$$

$$X_m^k = G^{-1}(c_1, OW, RL; X_m^{k+1}, 1) \quad (16)$$

이다. 식 (15), (16)에서 X_m^k 를 찾는데 걸리는 시간은 각각

$$\begin{aligned} t_o &= T(c_1, OW, RL; X_m, X_m^k) \\ &= T(c_1, OW, RL; X_m, G^{-1}(c_1, OW, \\ &\quad RL; X_m, 1)) \\ &= \begin{cases} 4 \cdot \Delta T, & c_1 = c_1' \\ 5 \cdot \Delta T, & c_1 = c_1' - 1 \\ 3 \cdot \Delta T, & c_1 = c_1' + 1 \end{cases} \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_o &= T(c_1, OW, RL; X_m^{k+1}, X_m^k) \\ &= T(c_1, OW, RL; X_m^{k+1}, G^{-1}(c_1, \\ &\quad OW, RL; X_m^{k+1}, 1)) \\ &= \begin{cases} 3 \cdot \Delta T, & c_1 = c_1' \\ 4 \cdot \Delta T, & c_1 = c_1' - 1 \\ 2 \cdot \Delta T, & c_1 = c_1' + 1 \end{cases} \quad (18) \end{aligned}$$

여기서, c_1' 는 c_1 다음의 체인코드 값.
 ΔT 는 컴퓨터에서 $p(X_m)$ 과 $p(X_m^k)$, 또는 $p(X_m^{k+1})$ 과 $p(X_m^k)$ 를 비교하는데 걸리는 시간임.

다음에 선분 l 을 l 에 대한 요소지식을 가지고 Contour following 하는 경우를 생각해 본다. 요소지식을 Q 라 하면

$$Q = [q_0, q_1, \dots, q_n] \quad (19)$$

로 쓸 수 있고 이 경우의 G 함수를 구하면

$$G(c_1, Q; X_m^{k+1}, X_m^k) = 1 \quad (20)$$

이다. 식 (20)에서 X_m^k 를 구하면

$$X_m^k = G^{-1}(c_1, Q; X_m^{k+1}, 1) \quad (21)$$

이다. 식 (21)에서 X_m^k 를 찾는데 까지 걸리는

시간을 t_n 이라고 하면

$$\begin{aligned} t_n &= T(c_1, Q; X_m^{k+1}, X_m^k) \\ &= T(c_1, Q; X_m^{k+1}, G^{-1}(c_1, Q; \\ &\quad X_m^{k+1}, 1)) \\ &= \Delta T \quad (22) \end{aligned}$$

그러므로 식 (17), (22)에서

$$t_n/t_o = \begin{cases} 1/4, & c_1 = c_1' \\ 1/5, & c_1 = c_1' - 1 \\ 1/3, & c_1 = c_1' + 1 \end{cases} \quad (23)$$

식 (18), (22)에서

$$t_n/t_o = \begin{cases} 1/3 & c_1 = c_1' \\ 1/4 & c_1 = c_1' - 1 \\ 1/2 & c_1 = c_1' + 1 \end{cases} \quad (24)$$

이다. 식 (22), (24)에서 알 수 있듯이 지식을 가지고 Contour following 하는 방법이 OW 추적 RL 탐색방법보다 2 배 이상의 빠른 속도로 Contour following 한다.

5. 2. 수직관계에 있는 직선형 선분의 경우

직선형 선분 l_1, l_2 에서 $X_m \in l_1, X_m^k \in l_2$ 이고 X_m^k 가 X_m 에 8-neighborhood 관계에 있는 경우
 5. 1. 결과 같은 방법으로 Contour following 성능 분석을 하여 보면 다음과 같은 결과를 얻는다.

선분이 $+\pi/2$ 각도로 접할 경우

$$\begin{aligned} t_n/t_o &= 1/3 \\ t_n/t_o &= 1/2 \end{aligned} \quad (25)$$

지식 Q 를 가지고 Contour following 하는 방법이 OW 추적 RL 탐색 보다 2배 이상 빠르다.

선분이 $-\pi/2$ 각도로 접할 경우

$$\begin{aligned} t_n/t_o &= 1/6 \\ t_n/t_o &= 1/5 \end{aligned} \quad (26)$$

지식 Q 를 가지고 Contour following 하는 방법이 OW 추적 RL 탐색 보다 5배 이상 빠르다.

5. 3. 원형 Contour 의 경우

5. 1. 결과 같은 방법으로 Contour following 성능 분석을 하여 보면 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$t_n/t_o = \begin{cases} 1/4, & c_1 = c_1' \\ 2/5, & c_1 = c_1' - 1 \\ 1/3, & c_1 = c_1' + 1 \end{cases} \quad (27)$$

$$t_n/t_o = \begin{cases} 1/3, & c_1 = c_1' \\ 1/2, & c_1 = c_1' - 1 \\ 1/2, & c_1 = c_1' + 1 \end{cases} \quad (28)$$

그러므로, 지식 Q를 가지고 Contour following 하는 방법이 CW 추적 RL 탐색 방법 보다 2 배 이상 빠른 것을 알 수 있다.

6. 결론

산업용 기계요소 부품의 경계표현을 소프트웨어로 효율적으로 하기 위한 지식표현을 하기 위해 기계요소 부품 Contour 의 기본 핵심 구성요소인 직선형 선분과 원형 Contour 의 요소지식을 추출하고 이를 CW 추적 RL 탐색 방법과 비교하여 성능분석 하여 보았다. 분석 결과, 본 논문에서 제시하는 지식 Q를 가지고 Contour following 하는 방법이 2 배 이상 추적성능이 빠르다는 것을 알 수 있었다. 앞으로 본 논문에서 얻어진 직선형 선분과 원형 Contour 의 요소지식을 이용하여 산업용 기계요소 부품 Contour 를 경계표현하기 위한 효율적인 지식표현 문제에 관한 연구를 계속할 계획이다.

참 고 문 헌

1. D.H. Ballard & C.M. Brown, " Computer vision," Prentice Hall Inc., 1982.
2. S.W. Zucker. " Region growing: Childhood and adolescence," CGIP 5, 3, Sept. 1976.
3. R.O. Duda & P.E. Hart, " Pattern recognition and scene analysis," Willey Inc. 1973.
4. A. Martelli, " Edge detection using heuristic search methods," CGIP 1,2, Aug. 1972.
5. G. Ram, " On the encoding and representing of images," CGIP 26, 1984.
6. H. Freeman, " Computer processing of line-drawing Image," Computer Survey 6, Mar., 1974.

7. R.D. Martilli, " Representation of contours and region for efficient computer search," Comm. ACM 16 Feb. 1973.
8. C.T. Helmers, " Robotics age, in the beginning," Hayden book Co. Inc. 1983.
9. D.H. Ballard, " Strip trees: A hierachical representation for curves," Comm. ACM 24,5 May 1981.
10. B.G. Batchelor, D.A. Hill, " Automated visual inspection," IFS Ltd. UK, 1985.
11. Y. Cohen, M.S. Landy, " Hierachical coding of binary images," IEEE PAMI vol. PAMI-3,3, May, 1985.
12. Roger L.T. Cederberg, " Chain-link coding and segmentation for raster scan device," CGIP-10 1979.
13. 이정환, " 런 령스 코우드를 이용한 새로운 체인 코딩 알고리즘에 관한 연구," 한국과학기술원 석사논문, 1986.
14. 김성대 외 9인, " 로보트 비전을 위한 시각 장치개발에 관한 연구," 한국과학기술원, 1987.
15. " 최근의 형상 패턴 인식기술," 월간자동화 기술, 3 월호, 1987.
16. 이병일 외 3인, " 산업용 비전시스템을 위한 하드웨어 체인코더 설계," 1987년도 전기.전자 공학 학술대회 논문집 (1), p265.

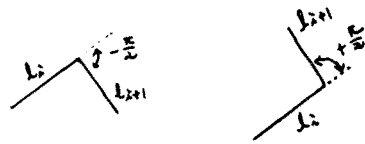


그림 1. 직선형 선분 l_2 에 l_1 로 접해 있는 l_2 선분

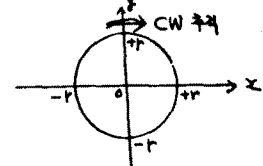


그림 2. 원의 Contour CW추적