

필화신호 부호화 방식의 성능평가

오 경 순\*, 원 영 주\*, 유 근 호\*, 이 종 수\*\*

\* : 육군사관학교, \*\* : 한국전자 통신연구소

Performance Evaluations of the Handwritten Signal Coding Techniques

Keang-Chun Ho\*, Young-Joo Won\*, Keun-Ho Ryoo\*, Jong-Su Lee\*\*

\* : Korea Military Academy, \*\* : ETRI

ABSTRACT

This study has been aimed to analyze and evaluate the performance of the coding algorithms for the handwritten signals such as the telewriting systems.

Zone Coding and Differential Chain Coding algorithms have been analyzed and evaluated on the basis of time and space complexities. According to the simulation results, Zone Coding algorithm has shown better decoding performance from the viewpoint of the Root Mean Square decoding errors, but Differential Chain Coding algorithm has shown better data compression ratio and flexibility of its usage, along with its moderate decoding RMS errors.

I. 서 론

국내에서도 ISDN을 90 년대에 실용화하기 위한 계획을 추진하고 있으며, ISDN 에서는 음성 뿐만 아니라 데이터, 문자도형 및 화상정보가 주요 정보원이 된다. 이러한 문자도형 및 화상 통신은 로서의 텔리라이팅(tele-writing)은 기존의 전화기에 추가하여 음성과 필화(handwritten)의 송수신이 가능하다. 이미 외국에서는 이러한 필화통신 기술을 개발하여 교육용으로 사용하고 있으며, 음성 및 필서 통신 단말기도 개발 상품화하고 있다.

이와같은 추세에서 텔리라이팅의 필화 신호 같은 많은 양의 line drawing data 를 컴퓨터에 저장하고 전송하기 위해서는 많은 기억용량과 전송시간이 요구된다. 따라서 이와같은 데이터의 저

장, 전송 및 처리를 효과적으로 하기 위한 감속 방법이 필요하게 된다. 최근 CCITT 에서는 두 종류의 부호화 알고리즘[3] 을 권고하였으나 이 알고리즘의 성능과 특성에 대한 연구가 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 CCITT 에서 추천하고 있는 Zone Coding 과 Differential Chain Coding 기법을 분석하고 이론적 배경을 검토하여 그 성능을 비교 평가하였다.

II. 부호화 알고리즘

1. Zone Coding 알고리즘[1,2,3]

텔리라이팅과 같이 line drawing 영상을 전송하는 장치에서는 부호화하고자 하는 영상을 정해진 zone으로 나누어 그 zone 에 할당된 zone designation number를 부호화하여 데이터를 크게 감축시킬 수 있다. 이와 같이 line drawing 데이터를 감축하는 zone coding 은 아래와 같은 3단계로 구성된다.

제 1 단계 :

상한(quadrant)  $\theta_i$  를 결정한다. 이때,  $i$  번째 vector 의 상한  $\theta_i$  는

$$\begin{aligned} \theta_i &= 1 & \text{for } dx \geq 0, dy \geq 0 \\ &= 2 & \text{for } dx < 0, dy \geq 0 \\ &= 3 & \text{for } dx < 0, dy < 0 \\ &= 4 & \text{for } dx \geq 0, dy < 0 \end{aligned}$$

이 되고,  $dx, dy$  는 pixel position( $x, y$ ) 의 difference를 표시한다.

제 2 단계 :

그 상한 내의 k 번째의 zone 을 결정한다( 그림 1.). 이때, 시계 반대 방향의 zone 으로 나누어진 k 번째의 zone의 zone width는

$$W(k) = 2 \quad \text{for } k = 1$$

$$= 2 \times 2^{(k-2)/3} \quad \text{for } k > 1 \text{ 이다.}$$

제 3 단계 :

그 zone내에서 relative address A를 결정한다. 이때, 각 zone내 에서의 상대적 번지 A=(Ax, Ay)는

(1) for k = 1  
 $A_x = dx, \quad A_y = dy$

(2) for k > 1

- for k = 0 (mod 3)  
 $A_x = |dx| - W(k), \quad A_y = |dy| - W(k)$
- for k = 1(mod 3)  
 $A_x = |dx|, \quad A_y = |dy| - W(k)$
- for k = 3 (mod 3)  
 $A_x = |dx| - W(k), \quad A_y = |dy|$  가 된다.

이상에서 보듯이 어떤 영상을 coding 하기 위하여 각 pixel 을 상한과 zone 으로 나누고, A(relative address) 를 결정하고 coding 될 영역의 각 변환 계수들의 분산 크기에 따라 양자화 bit 수를 결정하는 방식이 Zone Coding 이다.

2. Differential Chain Coding(DCC) [3]

일반적으로 Contour Run Length Coding (CTRL) [4] 이나 Chain Coding [5]은 임의의 곡선자세가 경사와 zigzagness등이 존재할 경우 line segment 를 구별하기 위한 code 및 부가적인 code 가 증가하여 감속효과가 크지 않을 수 있다. 반면 DCC 는 이전 chain code에 의해 다음 code 를 예측하여 그 difference를 coding하게 된다. 이러한 chain difference의 확률 통계적 성질을 바탕으로 chain difference를 variable length code 인 Huffman Code 로 나타내는 것을 Differential Chain Code(DCC) 라 한다. DCC 는 일반적인 곡선( 혹은 직선) 의 시작점에 대한 절대좌표를 코드화한 후 다음 연속적인 선상에 나타나는 점들에 대해서는 다음의 두가지 방법 - Displacement Mode 와 Incremental Mode -를 사용할 수 있다.

Displacement Mode 는 각 sequence의 위치를 나타내기 위하여 바로 이전의 sampling point 와 현 위치와의 x, y 좌표의 displacement 를 사용한다. 그러나 Incremental Mode 는 하나의 값으로 다음 sampling point 의 위치를 갖는 것으로 많은 양의 위치정보(position information) 를 갖고 있는 데이터의 감속에 적합한 방식이다

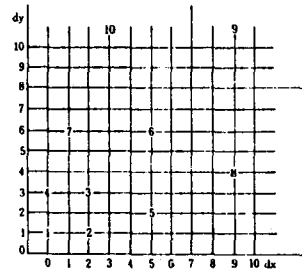
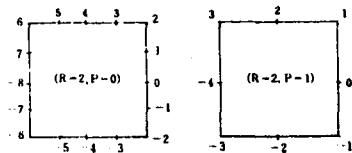


그림 1. Zone Division 과 Zone Designation Number.

이 mode 는 k 번째 pixel 의 위치와 k+1 번째 pixel 사이의 상대적 위치 변화를 coding ring ( 그림2.) 을 사용하여 측정 부호화하는 방식으로 trace 를 시작하기에 앞서 ring의 중심(centre)을 시작점에 놓여 있는 pixel 과 일치시킨다. 일치된 trace 의 pixel 과 ring의 교차점에서 가장 가까운 reference point number를 규정하고, 그 reference point number를 두번째 ring의 중심으로 결정한다. 즉, 매번 발생하는 새로운 교차점은 다음 ring 의 중심점을 결정한다. 그러므로 어떤 영상의 trace 는 시작점에 놓여 있는 pixel 과 연속적인 교차점들로 구성된다.

실제로 텔라라이팅에서 3개의 pixel P1(10, 1



R : Radius  
 P : Angular Resolution Factor  
 $N(\text{Number of Reference Points}) = \frac{8\pi R}{2^P}$

그림 2. Coding Ring.

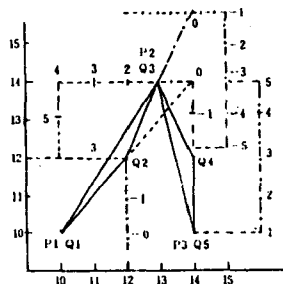


그림 3. Incremental Mode Encoding (R=2, P=0)

0), P2(13, 14), P3(14, 10)을 갖는 점들의 trace 가 Incremental Mode로 coding 된 형태가 그림3. 에 있다. 그림에서 보듯이 coding을 행한 후에

pixel 들은 새로운 reference point number 인 Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 로 대체된다.

이와 같이 coding ring 의 reference point number 을 이용하는 방식이 Incremental Mode 이다. 본 연구에서는 Incremental Mode 를 사용하여 실험하였다.

### 3. 알고리즘의 Complexity 분석

Zone Coding(ZC) 과 Differential Chain Coding(DCC)의 time/space complexity 는 image sampling rate 나 ring 크기 등의 여러 parameter 요소에 의해 크게 좌우되므로 일반적인 분석이나 두 방법의 비교는 간단하지 않다. 본 연구에서는 다음과 같은 사실을 근거로 각 알고리즘의 complexity 를 근사적으로 예측하였다.

Time Complexity 분석을 위해서 ZC 나 DCC 의 이론적인 분석에 의한 반복횟수를 비교하는 것 보다 실제의 데이터 instance 와 parameter (ring 크기, sampling rate)에 대한 실험적 결과의 비교에 의미가 있다고 볼 수 있다. 그러나 일반적인 조건에서의 반복횟수  $i$  (Zone Coding 에서 step 1 - step 3 의 반복횟수와 DCC 에서 Coding Ring 의 변동횟수) 를 예측하기 위해서 다음과 같은 가정을 하였다.

$L$  : data segment의 길이 (pen down 에서 pen lift 까지의 data sequence 가 이루는 line상의 pixel 수)

$v$  : 평균 필화 속도 (pixel/sec)

$c$  : sampling rate ( 회/sec) 일때

$L \gg v$  이고  $r/v < 1$  ( 같은 pixel 을 여러번 중복해서 sampling 하지 않을 조건) 이라 가정하자

ZC에서는  $L$  pixel 의 line segment를 coding 하기 위해서는 전체 필화시간이  $(L/v)$ sec 가 걸리므로  $L * r/v$  의 pixel 이 sampling 된다. 실제의 영상처리 시스템의 하드웨어에 의해서는 큰 영향을 받지만 ZC 알고리즘을 사용할 때 필요한 반복횟수  $i(Z)$ 는  $L * r/v$  이 된다는 의미이다.

DCC 에서는 반복횟수  $i(D)$ 는  $R$  과 data의 특성에 의해 결정되는데 data의 형태가 random 한 경우 Ring 을 벗어나기 위한 평균 line 의 길이 ( $L_b$ )를 구하는 것이 쉽지 않다.

그러나  $R$  이 현실적으로 사용되는 값 즉 ( $R=1, 2, 4, 8$ ) 정도의 값에서 가시적인 Telewriting 데이터에 대해서  $L_b$ 는  $R$  의 값에 가깝게 된다. 즉 Ring 안에서 곡선의 일부는 거의 직선으로 나

타난다. 따라서  $I(D) = L/R$  의 반복이 필요하게 된다. 그러므로 Zone Coding 의 Time Complexity  $t(Z)$  와 Differential Chain Coding의 Time Complexity  $t(D)$ 는 각각

$t(z) = \alpha(Z)(L * r/v)$ 와  $t(D) = \alpha(D)(L/R)$  로 표현할 수 있으며 여기에서  $\alpha(Z)$ ,  $\alpha(D)$ 는 각 부호화 알고리즘을 1회 반복하는 데 걸리는 평균적인 시간을 나타낸다. 따라서  $\alpha(Z) * r/v > \alpha(D) * L/R$  인 경우 DCC 방법이 적은 시간이 소요되며  $\alpha(Z) * r/v < \alpha(D) * L/R$  인 경우는 ZC 이 낮다고 할 수 있다.

그러나 일반적으로 계산속도는 데이터의 전송속도에 비해 무시될 수 있으므로 더 중요한 것은 생성된 code의 크기와 화질이라 할 수 있다. 위의 분석은 통신 기술의 발전으로 실시간 영상의 coding 및 decoding 시간 역시 펄라이밍에 큰 영향을 주는 요소가 되어 Time Complexity 분석을 위해 여러가지 parameter 의 경우에 대한 비교를 할 경우 유용하게 사용할 수 있다.

다음으로 Space Complexity를 생각해 보면 ZC 와 DCC 에 의해 각각 생성된 Code크기  $S(Z)$ ,  $S(D)$ 는  $S(Z) = L * r/v$ ,  $S(D) = L/R$  에 각각 비례하게 된다. 좀더 정확히 표현하면  $S(Z) = \text{bpp}(Z) * L * r/v$ ,  $S(D) = \text{bpp}(D) * L/R$  이다.

(  $\text{bpp}$  : sample된 pixel 당 coding 하는 데 소요된 평균 bit 수,  $\text{bpp}(Z)$  : ZC 에서의  $\text{bpp}$ ,  $\text{bpp}(D)$  : DCC 에서의  $\text{bpp}$  )

그러므로  $\text{bpp}(Z) * r/v : \text{bpp}(D) * L/R$  의 비로 두 방법의 성능을 예측할 수 있다. 그러나 실제의  $\text{bpp}(Z)$ 와  $\text{bpp}(D)$  도 순수한 데이터와 control signal 등의 non-data로 구성되어진 데이터들로부터 계산되므로 이론적 계산이 갖는 의미도 확률 통계적인 의미이며 그 타당성이 떨어진다. 따라서 다음 장에서와 같이 실험적 결과가 더 유용하다고 하겠다.

### III. 실험 및 결과

본 연구에서는 ZC 과 DCC 부호화기법에 대한 실험적 고찰을 위해 입력장치로 digitizing tablet인 Summergraphics 사의 BIT-PAD ONE 을 사용하였으며, 출력장치로는 color monitor, printer 등을 사용하였고, 다음과 같은 특성이 다른 3가지 데이터를 사용하였다.

- 데이터 1 (T1) : 한글 데이터로 line의 단절이 비교적 많은 데이터이다.

- 데이터 2 (T2) : 영문 필기체로 line의 단절이

비교적 적고 연결된 부분이 많은 데이터이다.

- 데이터 3 (T3) : 지도와같은 도형으로 직선부분이 많은 데이터이다.

각 부호화기법에 필요한 변수나 시스템의 특성에 의해 결정되는 변수에 따라 여러가지 다른 환경에서 실험이 가능하다. 아래에 설명되어질 실험에서 사용된 변수값들은 다음과 같다.

- ZC, DCC 의 sampling rate : 40회/sec , 20 회/sec, 13회/sec.
- DCC 의 ring 크기 : R = 1, 2, 4, 8.

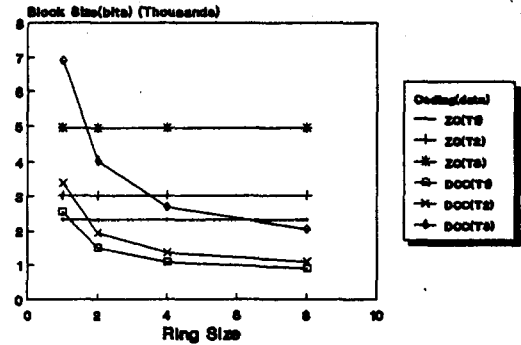
이러한 변수값들과 위의 3가지 데이터에 대한 original 데이터의 크기, 부호화된 데이터의 크기, sample pixel의수, compression ratio, bpp 및 RMSE 에 관한 실험의 결과를 전체적으로 검토하였다.

1. Block 크기

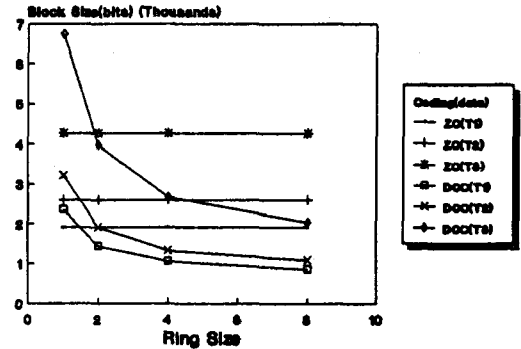
데이터 전송속도에 가장 직접적인 원인이기 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있는 block 크기는 ZC에 비하여 DCC는 많은 변수의 영향을 받는다. 각 경우에 대한 변화도를 그림 4. (a), (b), (c) 에 나타내었다.

2. Compression Ratio 와 BPP

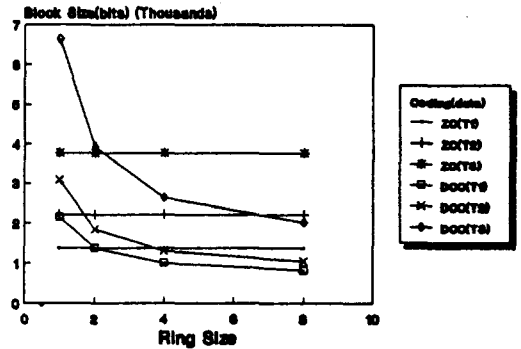
부호화 알고리즘의 성능을 평가할 수 있는 여러 복합적인 요소들중 가장 간단한 방법중 하나로 compression ratio 를 들 수 있는데 이는 부호화된 데이터의 크기와 원래의 데이터 크기의 비로 정의된다. 또한 부호화 알고리즘이나 code의 구성요소를 측정하기 위한 방법의 하나로 bpp 를 사용하는데 이것은 부호화된 하나의 pixel 을 전송하기 위한 필요한 평균 bits 수를 나타내며 일반적으로 bpp 가 작을수록 바람직하다고 할 수 있다. 특수 code의 비율도 전송 데이터의 구성을 분석하는 것으로 순수한 데이터와 순수한 데이터 (i.e. 초기절대좌표, reference point number, zone code, 상대주소 등 pixel 을 나타내기 위한 데이터) 를 제외한 code 데이터(i.e. control signal, pen down, pen lift 부호 등) 가 점유하는 비율을 말한다. 여기에서 특수코드의 비율이 작으면 바람



(a) sampling rate = 40 sample/sec



(b) sampling rate = 20 sample/sec



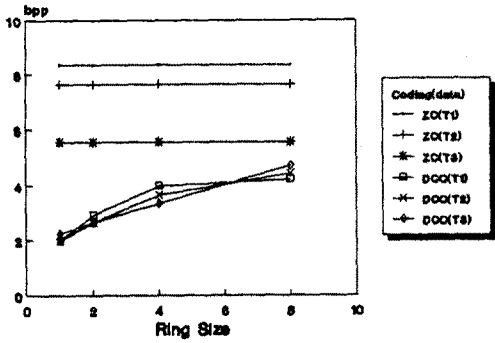
(c) sampling rate = 13 sample/sec

그림 4. Block Size.

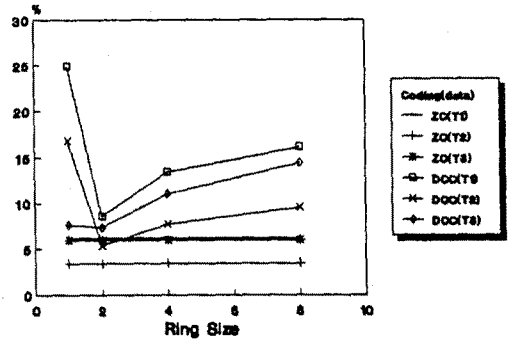
직하다고 할 수 있다. 각 경우에 대한 compression ratio 는 block 크기의 그래프(그림 4.)와 같은 형태가 되며 bpp 는 그림 5. (a), (b), (c) 에 나타내었다.

그림에서 보듯이 bpp 는 DCC 에 있어서 R 이 커짐에 따라 증가하지만 전반적으로 DCC 가 ZC보다 작은 값을 가지는 것으로 나타났다. DCC 에 있어서는 데이터 종류에 따라 크게 변하지 않은 반면 ZC 의 sampling rate 가 40 회일때 데이터에 따른 변화가 컸다.

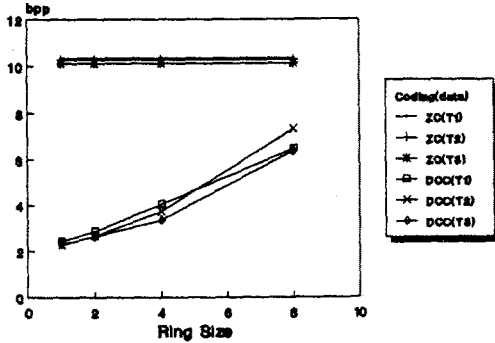
특수 code 의 비율은 ring 크기가 커짐에 따라 pixel 당 순수 데이터를 나타내는 bits 수가 늘어나기 때문에 그 값이 점차 줄어들 것이



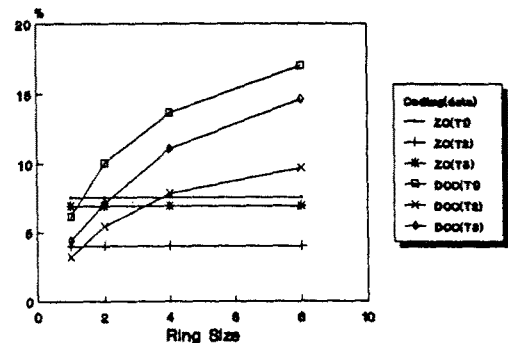
(a) sampling rate = 40 sample/sec



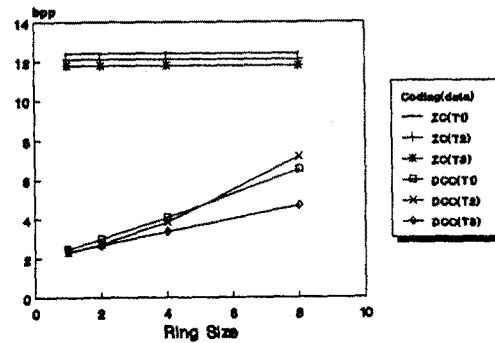
(a) sampling rate = 40 sample/sec



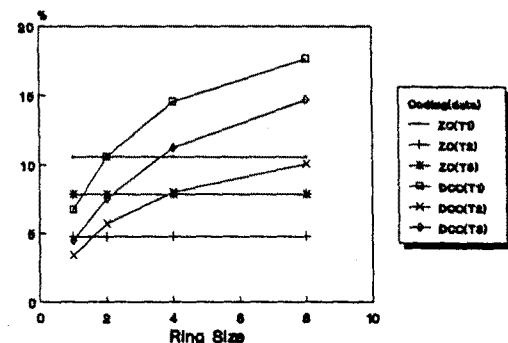
(b) sampling rate = 20 sample/sec



(b) sampling rate = 20 sample/sec



(c) sampling rate = 13 sample/sec



(c) sampling rate = 13 sample/sec

그림 5. BPP.

그림 6. 특수코드의 비율.

라는 것을 쉽게 알 수 있다. (그림 6.(a),(b), (c))

### 3. RMSE ( Root Mean Square Error )

부호와 알고리즘이 얼마나 정확한가를 판단하기 위해서 육안으로는 쉽게 판단할 수 있는 경우도 있지만 이의 수식적인 평가를 위해 다음과 같은 평가지표를 사용한다.

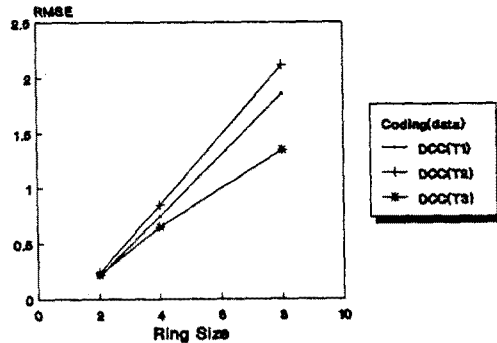


그림 7. RMSE. (sampling rate=40 sample/sec)

- RMSE :  $\sqrt{\sum_{i=1}^N e_i^2} \cdot (1/n)$

- 평균 절대오차 :  $\sum_{i=1}^N |e_i| \cdot (1/n)$

- Peak 오차 :  $\max |e_i|$

참 고 문 헌

본 연구에서는 RMSE 평가 방법을 사용하여 측정하였다. 측정한 결과 그림 7. (sampling rate가 40회/sec 인 경우) 에서 보듯이 ring 크기가 커짐에 따라 증가하는 RMSE의 값을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 필화 신호부호화를 실험할 수 있는 하드웨어 시스템을 구성하였으며, 구성된 하드웨어 시스템을 이용하여 CCITT 에서 추천한 두가지 부호화 기법 : Zone Coding 과 Differential Chain Coding 에 대한 이론적 / 실험적인 고찰을 하였다. 특히 여러가지 변수뿐만 아니라 특성이 다른 3종류 데이터들에 대한 각 부호화 기법의 성능을 비교 분석하였고 간단한 '모델'을 이용하여 일반적인 어건에서 각 방법의 성능을 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 현재의 기술적인 제한이 결정지어 주는 여러 parameter들의 범위내에서 DCC 부호화 방식이 대체적으로 ZC 보다 우수한 방법으로 판단할 수 있었다. 그것은 하드웨어 성능의 향상이나 통신기술의 발전 등 수시로 변할 수 있는 환경에서 DCC 는 적절한 parameter 선정의 특이 다양하고 융통성이 ZC 보다 뛰어나기 때문이다. 그러나 현재보다 훨씬 뛰어난 해상도를 가진 모니터나 digitizer 가 보편화되고 세밀한 데이터 전송의 정확성이 특히 요구되어지면 ZC 의 중요성은 DCC 의 그것을 능가할 수 있을 것이다.

특히 앞으로 예상되는 기술의 발달, 즉 초고해상도의 실현이나 무선통신을 이용한 데이터 송수신 속도의 급속한 발전등은 데이터의 전송속도 뿐만아니라 codec 에 소요되는 시간도 중요한 고려 요소로 작용하게 된다. 따라서 ZC나 DCC 를 이용한 특수목적의 codec 하드웨어의 설계나 구현, 또는 새로운 환경에 알맞는 기존의 알고리즘의 변형이나 새로운 알고리즘의 개발은 앞으로 연구되어져야 할 과제라 할 수 있다.

- 1) "Recommendation T.150, Teletyping terminal equipment", CCITT Report for Teletyping , Sept.1987 .
- 2) W.K.Pratt, "Digital Image Processing ", Wiley, New York, 1978.
- 3) R.J. Clarke, "Transform Coding of Images", Academic Press, 1985.
- 4) M.K. Kandu, B.B. Chauhuri, and D.D. Majunder, "A Generalized Digital Contour Coding Scheme", CVGIP-30, pp. 269-278, 1961.
- 5) H. Freeman, "On the Encoding of Arbitrary Geometric Configuration", IRE Trans. on Electronic Computers EC-10 No. 6, pp. 260-268, 1961.