

論 文

DPCM/RLC方法에 의한 映像데이터減縮

準會員 安昌範* 正會員 金南哲** 正會員 金在均***

Image Data Compression by a DPCM/ RLC Method

Chang Beom AHN*, Nam Chul KIM** and Jae Kyoon KIM***, Regular Members

要 約 黑白의 두 가지 값만을 갖는 그래픽 데이터縮小에 널리 使用되고 있는 런LENGTH 코우딩方法을 一般의인 映像에 適用하였다. 먼저 간단한 豫測器와 量子器로 豫測誤差信號를 만든 후 여기에 대해서 런LENGTH 코우딩을 遂行하였다. DPCM 과 비슷한 複雜度를 갖는 이 코우딩方式이 DPCM이나 코사인變換方式보다 優秀함이 밝혀졌다.

ABSTRACT The runlength coding algorithm widely used for graphic data compression is extended for multi-level general images. It is applied to the quantized prediction error signal obtained by a simple predictor and quantizer. It is shown that this DPCM/RLC algorithm of a modest complexity performs much better than the conventional discrete cosine transform and DPCM methods.

1. 序 論

마크코프(Markov)映像모형을 만족하는 두 가지 값(binary)의 그래픽映像데이터에서는 條件的런LENGTH 코우딩(conditional runlength code: CRC)가 最適의 데이터減縮方式으로 알려졌다^{(1),(2)}. 最近에는 이 CRC方法을 여러 가지 값을 갖는 一般의 映像에 適用시키는 研究가 行하여졌다^{(3),(4)}.

一般의인 映像에서는 주위의 畫素(picture element: pel)들의 값으로써 현재 畫素의 狀態(state)를 分類하게 되면 그 數효가 相當할 수 없을 정도로 많아진다. 그러므로 映像데이터의 分布가 비슷한 狀態들은 한데 묶어 簡略化시킬 必要가 있다. 또한 一般의인 映像을 受信側에서 再構成하기 위해서는 豫測값의 誤差與否의 情報이외에 그 誤差값 자체의 情報가 必要하다.

本論文에서 研究한 DPCM/RLC코우딩方法에서는 먼저 간단한 豫測方法으로써 誤差信號를 얻

는다. 量子化된 誤差信號는 豫測過程과 量子化方法에 따라서 그 統計的特性이 變化하지만 직접적인 엔트로피(entropy) 코우딩보다는 런LENGTH 코우딩이 더 效果的이다. 本研究에서는 豫測誤差信號를 獨立의인 映像모형(discrete memoryless source : DMS)로 본 경우의 RLC(런LENGTH 코우딩)方式의 特性을 조사하고 이들을 단순한 DPCM方式 및 DCT(discrete cosine transform)變換方法과 比較하였다.

2. DPCM/RLC의 構成原理

一般의으로 CRC에서는 현재 畫素(picture element)의 주위에 있는 몇 개의 畫素으로써 현재 畫素에 대한 狀態(state)를 定義하며 각 狀態마다 發生頻度가 가장 높은 豫測값을 CRC方式으로 傳送한다⁽³⁾. 本論文에서는 원래의 畫素를 CRC코우딩의 對象으로 하는 것이 아니고 일단 線型豫測으로 얻은 誤差信號를 DMS로 가정하고 RLC를 適用해 보았다.

이를 위한 DPCM/RLC의 系統圖(block diagram)는 그림 1과 같다. DPCM部分에서는 豫測誤差의 統計的分布를 一定하게 하기 위하여 適應式標準化係數(normalization factor) NF를 使用하였다

**** 韓國科學技術院電氣 및 電子工學科
Dept. of Electrical Engineering, Korea Advanced
Institute of Science and Technology Seoul, 131 Korea
論文番號 : 83 - 20 (接受 1983. 10. 6)

(1) 豫測器와 量子器

豫測器의 複雜한 程度는 豫測에 使用된 畫素의 갯수에 의하여 決定된다. 本研究에서는 그림 2와 같은 簡單한 二次豫測器를 使用하여 시스템의 複雜度를 줄였으며, 이 그림에서 현재 畫素 x_0 의 豫測값 \hat{x}_0 는 주변 畫素들의 平均으로 하였다.

$$\hat{x}_0 = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad (1)$$

또한 誤差信號 $e_0 \triangleq (x_0 - \hat{x}_0)$ 의 統計的特性을 分類하는 分類係數 a 는 이들 주변 畫素들의 差異값으로 하였다.

$$a = |x_1 - x_2| \quad (2)$$

誤差信號의 分布는 대체로 라플라시안(Laplacian)分布에 가까우며 分類係數 a 가 클수록 分散이 큰 것을 알 수 있다. 그러므로 映像데이터를 分類係數의 값이 비슷한 畫素들의 集團으로 分類한 후에 誤差偏差를 각 集團 C_i 에서의 誤差信號의 標準偏差 σ_i 로 標準化시키면 標準化된 誤差信號는 비슷한 分散特性을 갖게 될 것이다.

$$C_i \triangleq \{x_0, T_{i-1} \leq a < T_i\} \quad (3)$$

$$\sigma_i^2 \triangleq E\{e_0^2 | C_i\} \quad (4)$$

그러나 以上과 같이 分類된 誤差信號들의 標準偏差 σ_i 는 量子化雜音이 饋還되는 그림 1의 실제 시스템의 標準偏差와는 差異가 있다. 그리고 每入力畫素에 대한 식(2)의 分類係數는 再生된 畫素들인 \hat{x}_n 에 의해서 求解되므로 標準化係數 NF 는 식(4)의 標準偏差 σ_i 보다 큰 값이 된다^[5]. 보통 8비트의 映像데이터를 하이브리드(hybrid) 코딩

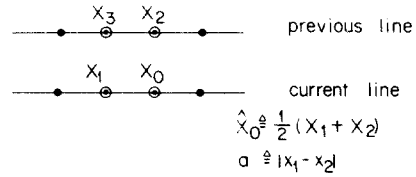
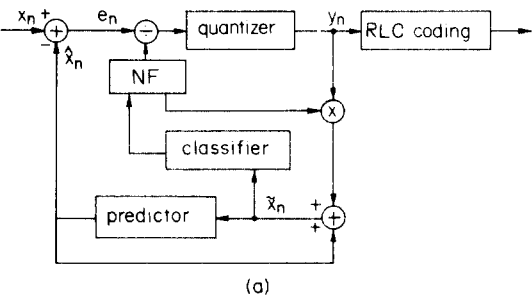


그림 2 현재 畫素의 豫測과 分類에 使用된 주변의 畫素
Picture elements used for prediction and classification

하거나 DPCM으로써 1~2bit/pel로 傳送할 때 標準化係數는 이 標準偏差의 1.5~2.0배가 되는 것으로 알려져 있다^[6].

(2) 豫測誤差信號에 대한 RLC (Runlength Coding) 方法

一般的으로 豫測誤差信號의 分布에서 現격하게 자주 나타나는 出力이 있을 경우에는 직접적인 Huffman 코딩 방법은 非能率의이다. 이러한 경우에 CRC (conditional renlength coding) 방식이 效率의임이 잘 알려져 있다^[3]. 그러나 誤差信號가 주위의 誤差信號成分과 統計적으로 無關하게 될 경우에는 量子化된 이 誤差信號 $\{y_n\}$ 은 하나의 DMS (discrete memoryless source)가 되며 단순한 RLC가 適用될 수 있다. 本研究에서는 前節의 豫測過程을 거친 誤差信號가 統計적으로 한 DMS信號特性을 가지고 있으므로 간단한 RLC 方法을 適用하였다^[7].

量子化된 豫測誤差信號 $\{y_n\}$ 은 각 信號值의 發生確率 $P(y_n = y_k)$ 에 따라서 發生頻도가 높은 Y_a (dominant set)와 發生頻도가 낮은 Y_m (minor set)의 두 部分으로 나누면 誤差信號 $\{y_n\}$ 의 엔트로피 $H(Y)$ 는 다음과 같이 표시될 수 있다^[3].

$$H(Y) = - \sum_k P(y_k) \log_2 P(y_k) \\ = H(Q) + Q \cdot H(Y_a) + (1-Q) \cdot H(Y_m) \quad (5)$$

여기에서

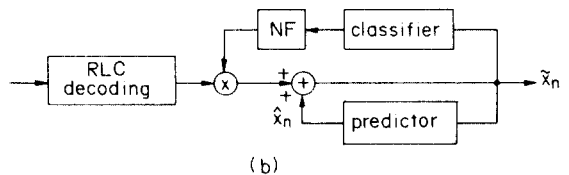


그림 1 (a) DPCM/CRC 부호기
(b) DPCM/CRC 복호기
(a) DPCM/CRC encoder.
(b) DPCM/CRC decoder.

$$Q \triangleq \sum_{y_k \in Y_a} P(Y=y_k) \quad (6)$$

$$H(Q) \triangleq -Q \log_2 Q - (1-Q) \cdot \log_2 (1-Q) \quad (7)$$

이다. 식(7)의 바이너리 엔트로피 함수는 發生頻度가 높은 信號值인치의 與否를 확인하는 情報로서 이것이 바로 RLC의 對象이 되는 것이다.

대체로 豫測誤差가 적은 경우에는 식(6)의 發生頻도가 높은 信號值들 한 가지의 값 y_0 로 制限할 수 있다. 이런 경우에는 식(5)가 다음과 같이 줄어든다.

$$H(Y) = H(Q) + (1-Q) \cdot H(Y_m) \quad (8)$$

이 때 식(5)의 두 Y_a 와 Y_m 은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$Y_a \triangleq \{y_0\}$$

$$Y_m \triangleq \{y_l, l \neq 0\} \quad (9)$$

상호간 統計的 聯關性이 없는 (DMS) 誤差信號 $\{y_n\}$ 에서 支配的 (dominant) 信號值 y_0 의 發生情報은 連續的인 y_0 즉 y_0 의 런LENGTH의 情報을 런LENGTH의 平均길이로 平準化한 것과 같다⁽¹⁾.

$$H(Q) = \frac{H(R)}{E(R)} = P \cdot H(R) \quad (10)$$

이다. 여기에서 $H(R)$ 은 자주 나타나는 信號值 y_0 의 런LENGTH에 대한 엔트로피이며 $E(R)$ 은 이 런LENGTH의 平均길이를 나타낸다. 그리고⁽¹⁾

$$P \triangleq 1-Q$$

표 1 主要시스템 파라미터에 따른 DPCM/RLC方式의 性能
DPCM/RLC Performance for various system parameters.

* 표 2와 같이 오차신호를 분류할 경우.

No. of quantization levels	NF_i/σ_i	distortion (dB)		H(Y) (bits/pel)		average codeword length (bits/pel)*	
		1 class	3 classes*	1 class	3 classes*	RLC	Huffman code
3	1.0	-12.6	-13.9	1.21	1.31	1.33	1.38
	1.5	-14.7	-15.9	0.91	0.99	1.01	1.23
	2.0	-15.3	-15.8	0.70	0.76	0.79	1.16
5	1.0	-15.6	-17.6	1.72	1.80	1.85	1.85
	1.5	-18.2	-19.2	1.31	1.38	1.46	1.54
	2.0	-18.5	-18.4	1.03	1.07	1.13	1.26
9	1.0	-18.2	-20.9	2.37	2.42	2.53	2.53
	1.5	-21.5	-23.3	1.94	1.93	1.97	1.98
	2.0	-22.0	-21.9	1.55	1.57	1.64	1.68

$$H(R) = -\frac{1}{P} (P \log_2 P + Q \log_2 Q)$$

$$E(R) = \frac{1}{P} \quad (11)$$

이다.

그러므로 식(8), (10) 및 (11)에 의해서 誤差信號의 엔트로피는 다음과 같이 表現된다.

$$H(Y) = \frac{H(R)}{E(R)} + (1-Q) \cdot H(Y_m) = \frac{H(R) + H(Y_m)}{E(R)} \quad (12)$$

여기서 $H(R)$ 은 支配的인 信號值 y_0 의 런LENGTH 코우딩 (RLC)으로써 접근할 수 있는 엔트로피이며 $H(Y_m)$ 은 殘餘信號值發生確률에 큰 差異가 없으므로 직접적인 엔트로피 코우딩이 效果的인 방법이다.

3. 한 試驗映像에 대한 코우딩方式의 性能比較

그림 5의 8비트 黑白映像데이터 GIRL에 대하여 몇 가지 코우딩方式의 性能이 컴퓨터 시뮬레이션으로 조사되었다. 먼저 DPCM/RLC方式의 特性이 검토된 다음 다른 코우딩方式의 性能과 比較되었다.

표 1은 量子化레벨의 數와 標準化係數등에 따른 왜곡, 엔트로피 및 平均코우드의 길이 등을 나타내고 있다. 여기서 量子器로는 均等Laplacian 量子器⁽⁸⁾를 使用하였으며 왜곡 (distortion)은 다음과 같이 標準化된 平均自乘誤差로 定義된다.

$$\text{왜곡} = \frac{D}{\sigma^2} = \frac{E[(x_n - \bar{x}_n)^2]}{E[x_n^2]} \quad (13)$$

표 1에서 分類係數 a 의 값에 따라서 세 가지의 集團으로 나누었을 경우가 나누지 않았을 경우보다 1~2dB의 뛰어난 性能을 보인다. 그러나 標準化係數가 커지면 두 性能은 비슷해짐을 알 수 있다. 이것은 標準化係數가 커짐에 따라서 集團

표 2 試驗映像 girl에 대한 DPCM/RLC코우딩의 主要파라미터
Coder parameters of DPCM/RLC coding designed for test image girl.

집단 C_i	a	$P(C_i)$	표준편차	NF_i/δ_i
C_1	$0 \leq a < 4$	0.41	5.1	2.0
C_2	$4 \leq a < 9$	0.29	6.5	2.0
C_3	$9 \leq a$	0.30	13.2	2.0

간의 統計的特性的 差異가 줄어들어 適應式標準化係數의 效果가 減少하기 때문이다. 그러나 主觀的인 觀察에 따르면 集團을 나누었을 때가 나누지 않았을 때보다 映像品質이 良好함을 볼 수 있었다. 그리고 標準化係數가 커지면 그레놀라 (granular) 雜音은 커지고 슬로우프 오우버로우드 (slope overload) 雜音은 줄어들는데 $NF_i/\sigma_i=2.0$ 일 때까지는 전체 왜곡은 減少하고 있다.

세개의 集團으로 나누는 경우에 RLC의 性能이 직접적인 엔트로피 코딩인 Huffman 코딩보다 훨씬 優秀함을 알 수 있었다. 이 때 使用된 主要 시스템 파라미터는 표 2와 같다. 표 2의 파라미터로 構成한 DPCM/RLC의 性能을 엔트로피와 함께 그림 3에 나타내었다. 여기서 DPCM/RLC는 支配的인 信號值인 $y_n=y_0$ 의 런레스가 0~19까지는 Huffman 코딩을 하였고 20以上에 대해서는 이것을 알려주는 接頭코딩과 길이를 나타내는 2진수를 結合한 코딩을 使用하였다. 이 그림에서 DPCM/RLC 방식은 量子化出力의 엔트로피에 0.1bit/pel以下로 접근함을 알 수 있다.

다음으로 DPCM/RLC의 性能을 映像데이터의 縮小에 널리 使用되고 있는 變換方式 및 DPCM 방식의 性能과 比較해 보았다. 比較에 使用된 變換符號器는 16×16 의 크기를 갖는 DCT (discrete cosine transform)로 均等Gaussian 量子器를 使用하였다. 이 符號器에서의 비트割當은 다음과 같다⁽⁹⁾.

$$b_{ij} = \left[\max \left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma_{ij}^2}{\theta}, 0 \right) \right] \quad (14)$$

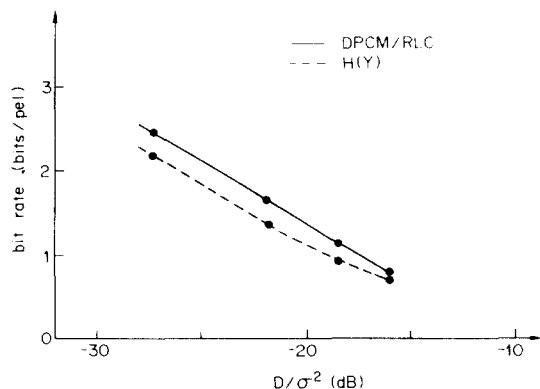


그림 3 均等Laplacian 量子器를 使用한 DPCM/RLC의 性能과 DMS엔트로피
Performance of DPCM/RLC coding using uniform Laplacian quantizer and DMS entropy.

여기서 $[\cdot]$ 는 가장 가까운 陰이 아닌 整數를 나타낸다. b_{ij} 및 σ_{ij}^2 는 (i, j) 번째의 變換係數에 割當되는 비트數 및 分散을 나타내며 θ 는 한 可變係數로서 이것을 調整하여 전체의 平均傳送率을 一定한 값으로 맞추게 한다. 한편 함께 比較된 DPCM符號器는 映像을 二次의 마르코프 모델로 가정하여 다음과 같이 構成하였다⁽¹⁰⁾.

$$\hat{x}_0 = \rho_R x_1 + \rho_C x_2 - \rho_R \rho_C x_3 \quad (15)$$

여기서 수위의 信號值 x_i 들은 그림 2와 같으며 $\rho_R=0.9748$ 은 가로방향 相關係數, $\rho_C=0.9518$ 은 세로방향 相關係數를 나타낸다. 이 DPCM에서 標準化係數는 $NF=1.5\sigma_0$ 로 하여 均等Laplacian 量子器를 使用하였다.

이 세 가지 코딩 방식에 대하여 原映像과 再構成된 映像에 대한 標準化된 제곱誤差(NMSE)를 尺度로 한 傳送率을 標本映像의 統計的的特性에 대한 RDF (rate-distortion function) 上限線⁽⁷⁾과 함께 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 보면 傳送率이 1bit/pel인 경우에 DPCM/RLC는 DCT보다 2dB, DPCM보다 6dB以上의 뛰어난 性能을 나타내며 2bit/pel에서 두 코딩보다 3dB以上의 좋은 性能을 가지고 있다. 한편 DPCM/RLC의 性能을 RDF의 上限線과 比較해 보면 0.5bit/pel以上 差異가 나는데 그 원인은 주로 DPCM部分의 量子器의 統計的 모델과 실제 데이터간의 差異, 그리고 간단한 豫測器構成에 기인한다고 생각된다. 컴퓨터 시뮬레이션에 의하면 量子器의 不一致가 더 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

主觀的인 映像의 品質을 比較하기 위하여 1bit

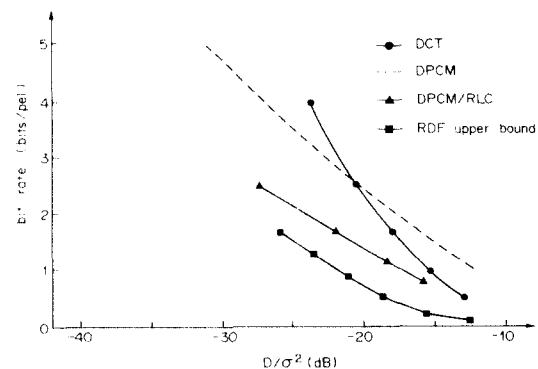


그림 4 標準化된 제곱誤차를 尺度로 한 DPCM/RLC, DCT 및 DPCM의 性能比較
Performance comparison for DPCM/RLC, DCT, and DPCM.

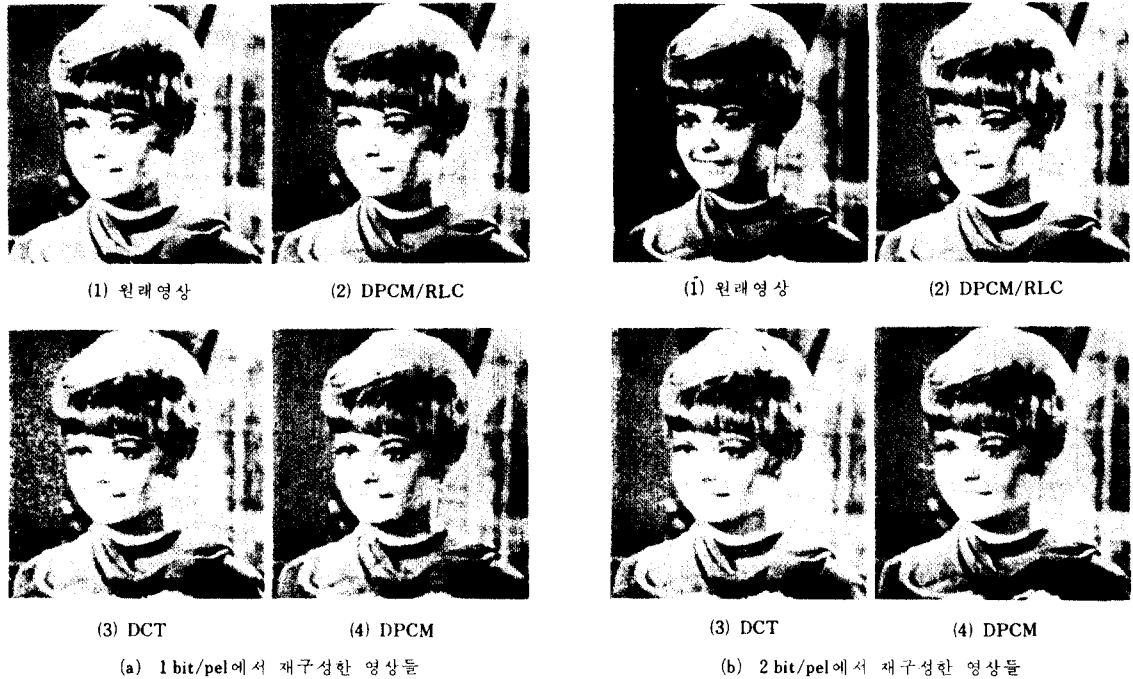


그림 5 여러 가지 코우팅 방식에 의하여 再構成된 映像들

Reconstructed images for different coding algorithms.

/pel 및 2bit/pel에서 再構成한 映像을 그림 5에 나타내었다. 1bit/pel에서 DPCM/RLC로 再構成한 映像은 비록 벽면에 다소 흠이 있기는 하나 가장 좋은 品質을 가지고 있다. 다음으로는 DCT에 의한 映像이 좋지만 높은 周波數成分을 傳送하지 않기 때문에 윤곽이 뚜렷하지 않다. DPCM에 의하여 再構成된 映像은 상당히 눈에 거슬리는 왜곡을 포함하고 있다. 2bit/pel에서도 여전히 DPCM/RLC로 再構成된 映像이 가장 優秀함을 알 수 있다. 이 傳送率에서 DPCM은 DCT와 거의 비슷한 映像品質을 갖는데 이 結果는 그림 4의 標準化된 제공誤差尺度와도 잘 一致하고 있다.

4. 結 論

黑白의 두 가지 값만을 갖는 그래픽 데이터減縮에 널리 사용되는 RLC(runlength code) 코우팅方法을 一般的인 映像에 適用시켜 보았다. 映像信號에 직접 適用하지 않고 간단한 豫測器와 量子器로써 얻은 誤差信號에서 發生確率은 높은 支配的인 信號值에 대해서 RLC를 適用하였다.

試驗映像에 대해서 傳送率이 1.0bit/pel의 낮은 경우에는 RLC方式이 직접적인 엔트로피 코우팅方式보다 훨씬 性能이 優秀함을 알 수 있었다. 그리고 DCT나 DPCM의 性能과 比較해 보면 3dB 이상의 좋은 性能을 보이며 主觀的인 判斷에 있어서도 가장 映像品質이 優秀함을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

- (1) J. K. Kim and P. Segin, "Conditional incremental-runlength code based on two-dimensional Markov model," IEEE Trans. Commun., vol. COM-29, pp. 1527-1532, Oct. 1981.
- (2) D. Preuss, "Comparison of two-dimensional facsimile coding schemes," in 1975 Int. Conf. Commun. Rec., pp. 7.12-7.15, June 1975.
- (3) J. K. Kim, K. H. Kim and N. C. Kim, "Conditional runlength coding for multilevel graphic image," Proc. IEEE, vol. 70, pp. 1238-1240, Oct. 1982.
- (4) K. H. Kim, S. B. Kim and J. K. Kim, "Conditional runlength coding for picture image," in 1982 IEEE Glob. Telecom. Conf. Rec., vol. 2, pp. C7.7.1-C7.7.3, Nov. 1982.
- (5) J. B. O'neal and T. R. Natarajan, "Coding isotropic images," IEEE Trans. Inform. Theory, pp. 697-707, Nov. 1977.

- (6) 安宰亨, "DCT/DPCM複合減縮方法의 性能 改善에 관한 研究" 한국과학기술원 석사학위 논문, 1983.
- (7) 安昌範, "映像데이터에 대한 rate-distortion 函數와 데이터 減縮方式의 性能比較," 한국과학기술원 석사학위 논문, 1983.
- (8) W. C. Adams and C. E. Giesler, "Quantizing characteristics for signals having Laplacian amplitude PDF," IEEE Trans.

- Commun., vol. COM-26, pp. 1295-1297, Aug. 1978.
- (9) J. J. Y. Huang and P. M. Schultheiss, "Block quantization of correlated Gaussian random variables," IEEE Trans. Commun. Syst., pp. 289-296, Sep. 1963.
- (10) A. Habibi, "Two-dimensional Bayesian estimate of images," Proc. IEEE, vol. 60, pp. 878-883, July. 1972.



安昌範 (Chang Beom AHN) 正會員
1958年 4月16日生
1981年 2月: 서울대학교 공과대학 전기공학부 학사 졸업
1983年 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 석사 졸업 (공학 석사)
1983年 9월~現在: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 (박사 과정)



金南哲 (Nam Chul KIM) 正會員
1955年 7月29日生
1978年 2월: 서울대학교 공과대학 전기공학부 학사 졸업
1980年 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 석사 졸업 (공학 석사)
1980年 3월~現在: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 (박사 과정)



金在均 (Jae Kyoon KIM) 正會員
1939年 9月17日生
1961年 12월: 한국항공대학교 공과대학 전기공학부 학사 졸업
1967年 2월: 서울대학교 공과대학 전기공학부 석사 졸업 (공학 석사)
1969年 5월: 미국 남캘리포니아 대학교 공과대학 석사 졸업 (공학 석사)
1971年 9월: 미국 남캘리포니아 대학교 공과대학 박사 졸업 (공학 박사)

1962年~1966年: 空軍將校

1972年~1973年: 美國NASA/GSFC 研究員

1973年~現在: 韓國科學技術院教授

本學會當任理事, 研究調查委員會委員長