

論 文

Hadamard 변환을 이용한 영상신호의
전송량 압축에 관한 연구

正會員 朴 周 用* 正會員 李 門 浩**

正會員 金 東 龍*** 正會員 李 光 在**

A Study on Image Data Compression by
using Hadamard Transform

Ju Yong PARK*, Moon Ho LEE**, Dong Yong KIM***,

Kwoang Jae LEE** Regular Members

要 約 TV와 같은 영상신호에는 중복도가 많이 존재하며, 이를 줄이기 위한 여러가지 방법들이 연구되고 있다. 본 논문에서는 Hadamard 변환을 이용하여 computer simulation과 실험 모델을 제작하여 데이터 압축에 관해 연구하였다. Hadamard matrix는 +1과 -1로 구성되며, row vector들은 서로 orthogonal하고 변환된 signal을 계산하기 위해서는 가산과 감산만이 필요하기 때문에 가산뿐 아니라 승산이 필요한 Fourier transform 등 다른 orthogonal transform에 비해 hardware 구성이 용이하다. 링컨데이터 (64×64)를 8차와 16차 Hadamard 변환으로 simulation하였고, 8차를 hardware로 구성하였으며 이 경우 이론과 실험을 통해 연구한 결과 좋은 화질을 얻기 위해서는 2.0bits/sample가 필요했다.

ABSTRACT There is much redundancy in image data such as TV signals and many techniques to reduce it have been studied. In this paper, Hadamard transform is studied through computer simulation and experimental model. Each element of Hadamard matrix is either +1 or -1, and the row vectors are orthogonal to another. Its hardware implementation is the simplest of the usual orthogonal transforms because addition and subtraction are necessary to calculate transformed signals, while not only addition but multiplication are necessary in digital Fourier transform, etc. Lincoln data (64×64) are simulated using 8th-order and 16th-order Hadamard transform, and 8th-order is implemented to hardware. Theoretical calculation and experimental result of 8th-order show that 2.0bits/sample are required for good quality.

* 全北大醫大 附屬病院醫工科
Dept. of Medical physics & Engineering Chonbuk
National Univ. Hospital, Chonjusi, 520 Korea.

** 全北大學校 工科大學 電子工學科
Dept. of Electronics Engineering Chonbuk National
Univ., Chonju, 520 Korea.

*** 全北大學校 工科大學 電氣工學科
Dept. of Electrical Engineering Chonbuk National
Univ., Chonju, 520 Korea.

論文番號 : 86 - 26 (接受 1986. 7. 1)

1. 서 론

최근 컴퓨터 기술이 발달함에 따라 통신기술도 analog보다는 여러 면에서 우수한 digital 기술로 전환되고 있다. TV와 같은 analog 신호를 digital로 전송하기 위해서는 전송량이 급증하기 때문에 실용화에 많은 어려움을 주고 있으나, 다행히 영

상신호내에는 특유의 중복도(redundancy)가 많이 존재하기 때문에 중복도를 줄여 전송하면 전송량, 즉 대역폭을 줄일 수 있다. 이러한 중복도를 줄여 전송량을 압축하기 위한 방법들은 인접화소로부터 현재의 값을 추정하고 실제값과의 차이를 부호화 하여 전송하는 예측 부호화(predictive coding) 방법과, 에너지가 어느 특정 지역에 밀집하는 효과를 이용한 변환 부호화(transform coding) 방법, 예측 부호화와 변환 부호화를 혼합한 혼합 부호화(hybrid coding) 방법 등으로 대별된다.

예측 부호화 방법에는 DPCM(Differential Pulse Code Modulation), ADPCM(Adaptive DPCM) Frame Differential Coding, DM(Delta Modulation) 등이 있다.

변환 부호화방법으로는 Fourier transform, Karhunen-loeve transform, Walsh-hadamard (이하 Hadamard) transform, Haar transform, Legendre transform, Slant transform, DCT(Discrete cosine transform), Sine transform 등이 있다⁽¹⁾. 변환 부호화의 단점으로는 hardware 구성이 복잡하며, 비용이 많이 든다는 점이다.

변환 부호화의 일종인 Hadamard 변환은 1893년 프랑스 수학자 Hadamard에 의해 처음 제안 되었고, 1969년 Pratt, Andrew 등이 Hadamard 변환을 영상 전송에 이용하여 에너지가 한 지역에 집중됨을 IEEE journal에 발표한 후^{(4), (5)} Rao, Jain 등이 활발히 연구하고 있다. 본 논문에서는 video-phone의 기초 연구로서 Hadamard 변환을 이용한 computer simulation을 통해 대역폭 압축률에 대해 알아보고, 8th order hardware를 구성하여 출력 영상을 비교한다.

2. Hadamard 변환 부호화

Hadamard matrix는 +1과 -1로 구성되며, discrete Walsh 함수를 Hadamard ordering 하여 얻게 된다⁽⁶⁾

$$H(K) = \begin{bmatrix} H(K-1) & H(K-1) \\ H(K-1) & -H(K-1) \end{bmatrix}, K=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

여기서 $n = \log_2 N$, $H(0) = 1$ 이다.

Hadamard 변환의 일반식은 (1)식과 같고, 본 논문에서 하드웨어로 구현한 H(3)메트릭스는 다음과 같다.

$$H(3) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

표본화된 입력 데이터 $\{X(m)\}$ ($-\infty < m < \infty$) 중에서 N개의 Sample을 한 블록(block)으로 취해 1차원 변환하면 다음식과 같이 표시된다.

$$Y(n) = \frac{1}{N} X(n) \cdot H(n) \quad (2)$$

$Y(K)$ 는 K번째의 변환 계수이다.

이를 다시 역변환 하면 (3)식과 같다.

$$X(n) = Y(n) \cdot H(n) \quad (3)$$

3. 컴퓨터 시뮬레이션

흑백 64×64픽셀 데이터(32 gray levels)를 입력으로 하여 1차원 8th-order와 16th-order Hadamard 변환을 행하였다. 수평라인의 64 sample 데이터를 N sample씩 1 block으로 나누어 Hadamard 변환하고 평균전력을 구하여 최적bit를 할당한 다음 역변환하여 MSE(Mean Square Error)를 구하고 화질을 비교하였다. Computer simulation flow chart를 도시하면 그림 1과 같다. 또한

상관관계는 다음과 같이 근사화하여 지수함수로 표시할 수 있다⁽²⁾.

$$\phi(K) \approx \phi(0) \exp(-b|K|) \quad (4)$$

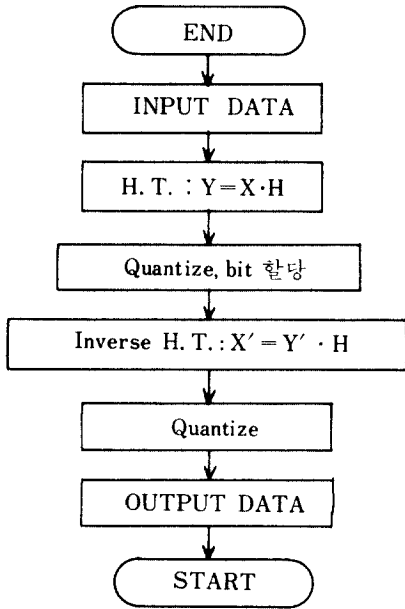


그림 1 Hadamard 변환의 컴퓨터 시뮬레이션 신호 흐름도
The computer simulation flow chart of Hadamard transform.

여기서 링컨데이터의 경우 $\exp(-b) = 0.974$ 이다. $y(i)$ 는 $i \neq 0$ 일때 0이므로 $y(i)$ 의 power는 그의 variance와 같으며, l_i 가 $y(i)$ 의 level을 나타내는 수라하면 최적 bit 할당(optimum bit allocation)은 다음과 같다⁽²⁾.

$$\frac{l_i}{\sqrt{y(i)^2}} = \frac{l_0}{\sqrt{y(0)^2}} \quad (5)$$

또 sample 당 필요한 평균 bit 수(B_{AVE})는

$$B_{AVE} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \log_2 l_i \quad (6)$$

처럼 구할 수 있다.

그림 2는 Hadamard 변환 했을 때의 평균전력을 표시한 것으로서 sequency가 낮은 쪽에 power가 밀집함을 알 수 있다.

표 1은 $N = 8$ 인 경우 Hadamard 변환 bit 할당을 나타낸 것이다. 식(5)에 의하여 sequency가 0에서는 5 bits/sample를 전송하고 이에 준해 power

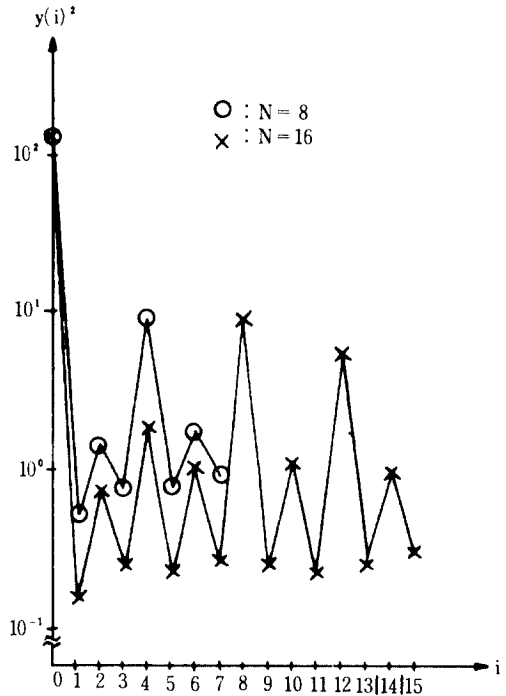


그림 2 Hadamard 변환출력의 평균전력
The mean power of Hadamard transform outputs.

가 크면 bit 수를 많이, power가 적으면 bit 수를 적게 전송한다. 최적 bit 할당은 식(5)에 의해 2.0 bits/sample를 전송하여 60%를 압축한 표 1의

표 1 Hadamard 변환 bit 할당, $N = 8$
The bit allocation of hadamard Transform, $N = 8$.

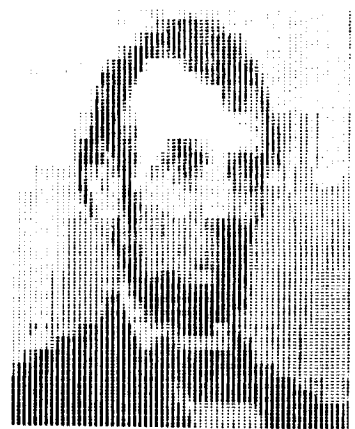
	평균전력 ($y(i)^2$)	Linear Quantize	1	2	3	4
y(0)	309.172	5	5	5	5	5
y(1)	0.77	5	0	0	0	0
y(2)	2.80	5	3	2	3	2
y(3)	0.92	5	1	1	0	0
y(4)	12.14	5	4	4	4	3
y(5)	0.93	5	1	1	0	0
y(6)	3.54	5	3	2	3	2
y(7)	1.07	5	1	1	0	0
B_{AVE} (bits)		5	2.25	2.00	1.87	1.50
MSE		2.45	4.50	7.14	8.05	10.63
압축률(%)		0	55	60	62.5	70



(a) Original



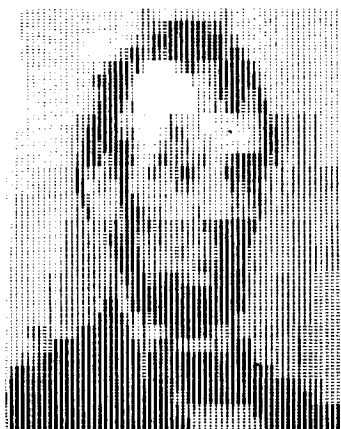
(b) Liner Quantize



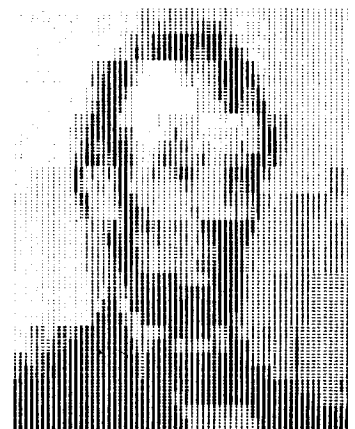
(c) 2.25bits/sample



(d) 2.0bits / sample



(e) 1.87 bits / sample

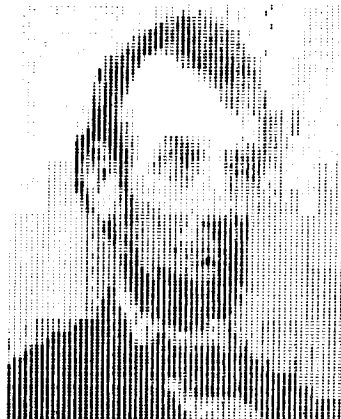


(f) 1.5bits / sample

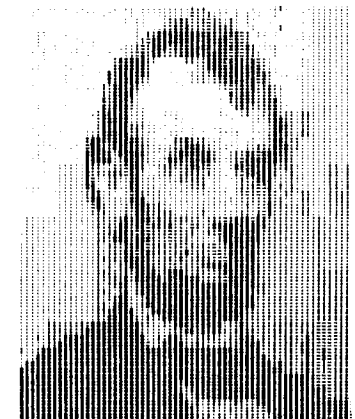
그림 3 N=8 일때 Hadamard 변환 computer Simulation 출력영상의 컴퓨터 시뮬레이션
The output image of computer simulation of Hadamard transform, N=8.



(a) Original



(b) Liner Quantize



(c) 2bits / sample

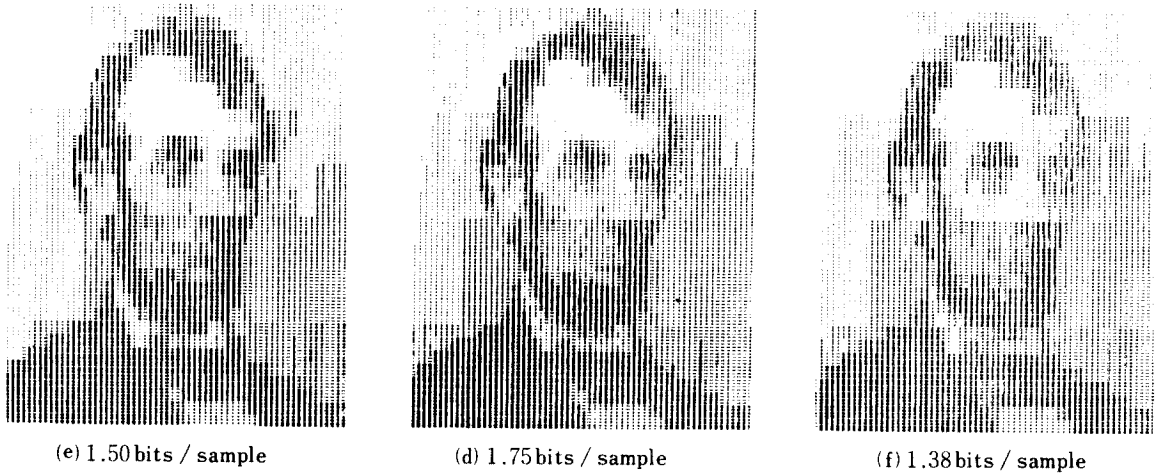


그림 4 N=16일때 Hadamard 변환 computer simulation 출력영상의 컴퓨터 시뮬레이션 출력영상
The output image of computer simulation of Hadamard transform, N=16.

2 번이고, 3 번과 4 번은 최적 bit 할당의 한계를 넘는 과도한 압축으로 출력영상에 왜곡이 심해진

표 2 Hadamard 변환 bit 할당, N=16
The bit allocation of Hadamard transform, N=16.

	평균전력 ($y(i)^2$)	Linear Quantize	1	2	3	4
y(0)	296.62	5	5	5	5	5
y(1)	0.29	5	0	0	0	0
y(2)	0.93	5	2	2	2	1
y(3)	0.48	5	1	0	0	0
y(4)	3.87	5	3	3	3	3
y(5)	0.44	5	1	0	0	0
y(6)	0.63	5	2	2	2	1
y(7)	0.50	5	1	1	0	0
y(8)	12.55	5	5	4	4	4
y(9)	0.49	5	1	1	0	0
y(10)	1.88	5	2	2	2	2
y(11)	0.44	5	1	0	0	0
y(12)	8.27	5	4	4	4	4
y(13)	0.48	5	1	1	0	0
y(14)	1.91	5	2	2	2	2
y(15)	0.56	5	1	1	0	0
B_{AVE} (bits)		5	2	1.75	1.50	1.38
MSE		6.28	6.69	7.12	7.30	9.22
압축률 (%)		0	60	65	69	72

다. 그림 3은 표 1에 대응하는 출력영상을 나타내었다. 표 2는 N=16인 경우의 Hadamard 변환 bit 할당을 나타냈으며, 식(5)에 의하여 최적 bit 할당을 하면 1.75bits/sample 인 65%의 압축을 실현할 수 있으며 그림 4에 출력영상을 나타내었다.

4. 하드웨어 구현

그림 5와 같은 모델로 송신단에서는 NTSC camera 영상신호를 A/D 변환과 Hadamard 변환을 행한 후 bit를 할당하여 전송하고, 수신단에서는 전송된 신호를 inverse Hadamard 변환과 D/A 변환 후 monitor로 영상을 재생하였다.

sampling 주파수는 4 MHz를 사용하였고, 양자화 레벨은 sample당 5 bit(32 gray level)로 하였으며 1차원 8th-order Hadamard 변환을 행하였다.

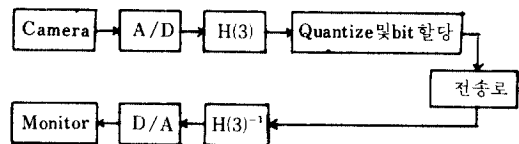


그림 5 실험모델의 계통도
The block diagram of experimental model.

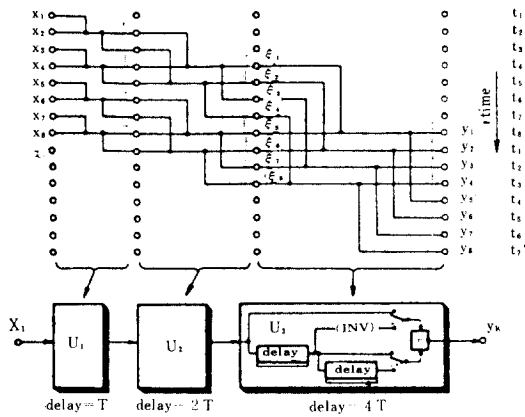


그림 6 Hadamard 변환 구성 알고리즘
Hadamard transform circuit algorithm.

그림 6은 1 차원 8 - th order Hadamard 변환 구성 algorithm이며, 3개의 unit ($u_1 \sim u_3$)로 구성되고, 첫번째 unit u_1 의 입력 X_i ($i=1, 2, \dots, 8$)는 camera 신호를 linear PCM으로 code화한 signal 중 1 block이다. 각 unit는 shift register, inverter, data selector, adder 등으로 구성되고, 감산 처리 방법으로는 one's complement를 취해 더해주고 adder의 LSB에 1을 더해줌으로써 해결하였다. camera의 signal을 32 level (5 bit)로 양자화 했기 때문에 u_1 은 5개의 shift register를 사용했고, u_1 의 출력은 두 data의 가감산이므로 1 bit가 증가한 6 bit가 되어 u_2 에 입력되며 u_2 의 출력은 7 bit가 되어 u_3 에 입력된다. u_1 의 계산 과정은 (x_1+x_2) , (x_1-x_2) , (x_3+x_4) , (x_3-x_4) , (x_5+x_6) , (x_5-x_6) , (x_7+x_8) , (x_7-x_8) 이



사진 1 A/D, D/A.



사진 2 Linear Quantize.



사진 3 3 bits/sample.



사진 4 2 bits/sample.

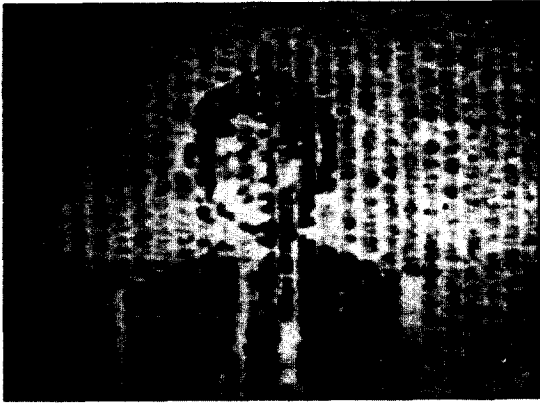


사진 5 1.87 bits / sample.

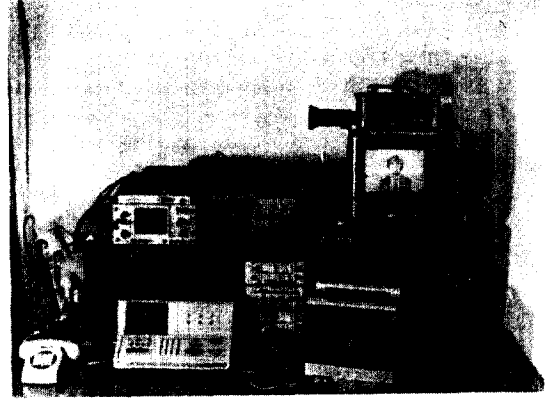


사진 6 Experimental system.

다. u_2 는 $(x_1+x_2) + (x_3+x_4) = \xi_1$, $(x_1-x_2) + (x_3-x_4) = \xi_2$, $(x_1+x_2) - (x_3+x_4) = \xi_3$, $(x_1-x_2) - (x_3-x_4) = \xi_4$, $(x_5+x_6) + (x_7+x_8) = \xi_5$, $(x_5-x_6) + (x_7-x_8) = \xi_6$, $(x_5+x_6) - (x_7+x_8) = \xi_7$, $(x_5-x_6) - (x_7-x_8) = \xi_8$ 의 과정을 계산하고, u_3 은 $(\xi_1 + \xi_5) = y_1$, $(\xi_2 + \xi_6) = y_2$, $(\xi_3 + \xi_7) = y_3$, $(\xi_4 + \xi_8) = y_4$, $(\xi_1 - \xi_5) = y_5$, $(\xi_2 - \xi_6) = y_6$, $(\xi_3 - \xi_7) = y_7$, $(\xi_4 - \xi_8) = y_8$ 의 과정을 계산한다. 결국 $u_1 \sim u_3$ 의 3 unit를 지나면 (1×8) 입력데이터 matrix와 (8×8) Hadamard matrix가 곱해지는 연산이 수행된다.

Simulation의 결과에 따라 변환 출력 $y_1 \sim y_8$ 에 bit를 할당하고, 수신단에서는 송신단과 동일한 Hadamard 변환 회로를 사용하여 역변환과 D/A 변환을 수행한 후 monitor에 영상을 재생하였다.

사진 1은 A/D, D/A의 출력영상이며, 사진2, 3, 4, 5는 각각 5 bits / sample, 3 bits / sample (40%압축), 2 bits / sample (60%압축), 1.87bits / sample (62.5%압축)을 전송하여 얻은 출력 영상이다. Simulation에서 bit를 할당하여 얻은 60%이상을 압축하면 화질이 상당히 저하됨을 볼 수 있다(사진 5). 사진 6은 전체 실험장치도이다.

5. 결 론

본 논문은 영상신호 내에 존재하는 상관관계를

이용하여 대역폭을 줄이는 방법으로 1차원 8th-order Hadamard 변환을 이용하였으며, simulation을 통하여 압축한 영상을 보였고, 또 실제 hardware로 구현하여 출력 영상을 보였다. 최대 60%까지는 압축이 가능하나 그 이상을 압축했을 때 출력 영상에 줄무늬 왜곡이 심하게 나타났고 hardware상의 가산과 감산에서 약간의 error가 발생하지만 실시간 처리는 가능하였다.

(본 연구는 1985년도 한국전자통신연구소(ETRI)의 지원으로 이루어진 "Hadamard 변환을 이용한 Videophone에 관한 기초 연구"의 일부입니다. 동 연구소에 깊은 감사를 드립니다.)

参 考 文 献

- (1) A. K. Jain, "Image data compression; A review," proc. IEEE, vol. 69, no. 3, pp. 349~389, Mar. 1981.
- (2) T. Fukinuki and M. Miya, "Intraframe image coding by cascaded madamard transforms," IEEE trans. COMM., vol. COM-21, no. 3, pp 175~180, Mar. 1973.
- (3) 박주용, 황재정, 김갑수, 이문호, "아다마르변환에 의한구 역분할 영상신호처리," 대한전자공학회 하계종합학술 대 회 논문집, vol. 8, no. 1, 6, 1985.
- (4) W. K. Pratt, "Digital image processing," John willy & Sons, pp. 232~277, 1978.
- (5) W. K. Pratt, J. Kane & H. C. A draws, "Hadamard tr ansform image coding," Proc. IEEE, vol. 57, pp. 58 ~68, Jan., 1969.

- (6) N. Ahmed & K. R. Rao, "Orthogonal transforms for digital signal processing," Springer-Verlag Berlin, Heidelberg New York, 1975.
- (7) M. H. Lee, D. Y. Kim, "Weighted Hadamard transformation for S/N ratio enhancement in image transmission," IEEE ISCAS proc., pp. 65~68, May 1984.
- (8) M. H. Lee, M. Kaveh, "Fast Hadamard transform based on a simple matrix factorization," IEEE Trans. on ASSP

- vol 36 Dec. 1986
- (9) M. H. Lee, M. Kaveh, "The center-weighted hadamard transform," IEEE ASSP, to be appear, 1987.
- (10) H. Murakami, Y. Hatori and H. Yamamoto, "comparison between DPCM and hadamard transform coding in the composite coding of the NTSC color TV signal," IEEE Trans. COMM., vol. COM-30, no. 3, pp. 469~479, 1982.



朴 周 用 (Ju Yong Park) 正會員
 1958年11月3日生
 1978年3月~1982年2月: 全北大學校電子工學科卒業 (工學士)
 1984年3月~1986年2月: 全北大學校電學院電子工學科(工學碩士)
 1986年4月~現在: 全北大學大附屬病院醫工科 助教



李 門 浩 (Moon Ho LEE) 正會員
 1945年 1月 15日生
 1967年: 全北大學校工科學電氣工學科卒業
 1976年: 全北大學校大學院電子工學科(工碩)
 1984年: 全南大學校大學院電子工學科(工博)
 1982年: 電氣通信技術士
 1967年: 陸軍將校
 1972年~1980年10月: 南洋文化放送(株)技術部 次長, 部長
 1980年~現在: 全北大學校工科學電子工學科助教授
 1985年8月~現在: 美國University of Minnesota Post DOC. fellowship
 1986年4月: IEEE Senior member Sigma Xi member



金 東 龍 (Dong Yong KIM) 正會員
 1945年7月31日生
 1967년: 전북대학교 전기공학과 졸업.
 1974년: 전북대학교 대학원 전기공학과 (석사)
 1985년: 캐나다 마니토바 대학교 전기공학과 (박사)
 1983. 10: 전북대학교 전기공학과 부교수.
 1986. 10. 1: 전북대학교 전자계산소장



李 光 在 (Kwoang Jae Lee) 正會員
 1962年4月18日生
 1986년: 전북대학교 전자공학과 졸업
 1986년 2월: 금강양행