

# 목표물 탐지를 고려한 자동탐색기능 압축시스템 설계 알고리즘에 관한 연구

## A Study on Joint ATR-Compression System Design Algorithm for Integrated Target Detection

남진우

Jin-Woo Nahm

### 요약

비행기나 인공위성에 탑재된 SAR (Synthetic Aperture Radar) 레이더 또는 적외선 센서(FLIR)로 촬영한 데이터는 제한된 전송채널을 통해 신속히 전송하기 위해 데이터 압축을 필요로 하게된다. 이때 가능한 높은 압축율을 얻으면서 동시에 높은 목표물 탐지 능력을 유지하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 서브밴드 코딩(subband coding) 과 벡터 양자화(VQ)를 이용하여 압축 알고리즘을 목표물 탐지의 예측기(predictor) 및 분류기(classifier)로 적용시킴으로써 목표물의 탐지능력을 유지하면서 효과적으로 압축할 수 있는 자동탐색기능 압축시스템(Joint ATR-compression System)을 제안하였으며 제안된 알고리즘을 사용한 경우의 시뮬레이션 결과는 200:1 이상의 높은 압축율에 대해서 비교적 높은 목표물 탐지 능력을 유지하고 있음을 나타내었다.

### Abstract

SAR radar and FLIR images, which are taken from sensors on aircrafts or satellites, are compressed prior to transmission to facilitate rapid transfer through the limited bandwidth channels. In this case, it is important that it achieves compression ratio as high as possible as well as high target detection rate. In this paper a joint ATR-compression system based on the subband coding and VQ is proposed, which utilizes the encoder as a predictor or classifier for target detection. Simulation result shows that the proposed system achieves a relatively high level of target detection performance as well as a high compression ratio over 200:1.

**Keywords** : ATR-compression system, target detection performance

### I. 서론

일반적으로 목표물을 탐지하고 인식하기 위해 비행기나 인공위성 등에 탑재된 SAR(Synthetic Aperture Radar) 레이더 또는 적외선 탐색기 센서(FLIR)에 의해 촬영된 데이터는 지상의 중앙 관제소로 전송되는데 이때 비행기나 인공위성의 제한된 전송채널을 통한 신속한 전송을 위해 데이터 압축을 필요로 하게되며 압축-전송-복원의

과정을 거치게 된다. 적외선이나 SAR 레이더에서 얻은 디지털 이미지를 압축하는 경우에는 가능한 높은 압축율을 얻으면서 동시에 목표물을 탐지하고 식별하기 위해 선명도와 contrast가 낮고, 주변 배경과 목표물의 구별이 분명하지 않은 이미지 상에서 목표물과 같은 주요 내용을 보존하여 압축하는 것이 매우 중요하다[1,2].

본 논문에서는 서브밴드 코딩(subband coding) 과 잉여벡터 양자화(RVQ)를 이용한 압축 부호기

설계시에 목표물 탐지 오류의 확률을 포함시켜 양자화 오차와 목표물 탐지의 오류를 상호적으로 최소화시킴으로써 높은 목표물 탐지 성능과 높은 압축율을 동시에 얻을 수 있는 효과적인 이미지 압축 시스템을 설계하는 알고리즘을 제안한다. 또한 데이터 압축과정에서 일차적인 목표물 탐지(ATR/D)를 병행할 수 있고 이와 같은 목표물 탐지기능을 이용하여 이미지 상에서 목표물과 같은 의미 있는 부분에 보다 많은 비트를 할당함으로써 수신된 압축 이미지에 대한 목표물탐지(ATR/D) 성능을 보다 향상시킬 수 있게 한다.

## II. 이미지 센서 데이터의 압축

이미지 데이터를 압축하는 많은 방법중 서브밴드 코딩(SBC)은 압축비와 화질 면에서 우수하게 평가받는 압축방법중의 하나이다[3,4]. 주어진 서브밴드 코딩 전체의 구성(framework)상에서 각각의 서브밴드는 여러 가지 방법으로 압축할 수 있으며 여기에서는 M. Smith 등이 제안한 방법[5,6]에 기초하여 각 서브밴드를 압축한다.

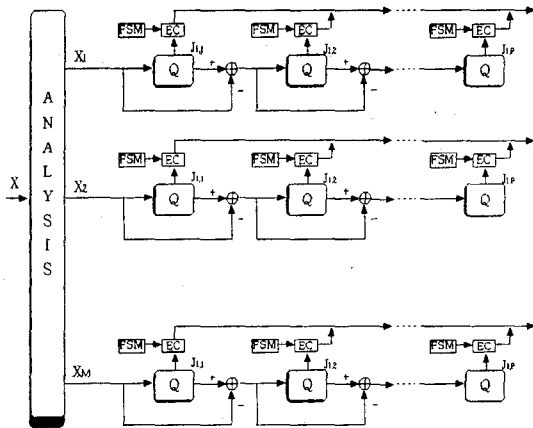


그림 1. 서브밴드-RVQ 부호기의 구성도  
Fig. 1. Block diagram of Subband-RVQ encoder

그림 1의 구성도에 나타난 바와 같이 입력 이미지 데이터는 2-D 필터뱅크에 의해 M개의 서브

밴드로 분할되고 각각의 서브밴드는 잉여벡터 양자화(RVQ)에 의해 양자화 되며 RVQ의 출력은 다시 유한상태모델(FSM)과 엔트로피 코더(EC)에 의해 부호화된다.

입력 이미지  $X$ 와 복원 이미지  $\hat{X}$  간의 양자화 오차를 최소화하기 위해 서브밴드-잉여벡터양자화 부호기(SBC-RVQ encoder)는 각 서브밴드 내에서 평균 양자화 오차를 최소화하도록 설계되어야 하며

$$\text{Minimize } E[d\{X_m(n), \hat{X}_m(n)\}] \quad (1)$$

또한 동시에 평균 비트 레이트를 최소화 해야한다.

$$\text{Minimize } \ell \{ L(J^n | J^{n-1}, J^{n-2}, \dots, J^{n-k}) \} \quad (2)$$

여기에서  $\ell(\cdot)$ 는 코드워드의 길이이며  $L(\cdot)$ 는 조건적인 엔트로피 코더(conditional entropy coder)를 의미한다. 따라서 SBC-RVQ 압축 부호기는 모든 트레이닝 이미지 벡터에 대해 식 (3)과 같은 Lagrangian을 최소화함으로써 양자화 오차와 비트 레이트를 상호적으로 최소화시키는 방향으로 설계된다[7].

$$\text{Min } J_\lambda = E[d\{X(n), \hat{X}(n)\}] + \lambda \times E[ L(J^n | J^{n-1}, J^{n-2}, \dots, J^{n-k}) ] \quad (3)$$

여기에서 Lagrangian multiplier  $\lambda$ 에 따라 양자화 오차와 비트 레이트의 비중이 변화되며 설계하는 부호기의 평균 비트레이트가 결정된다.

## III. 통합 목표물 탐지 및 압축 시스템

그러나 위에서 설명한 코딩방법은 단지 양자화 오차와 엔트로피를 최소화할 뿐 목표물 탐지를 고려하지 않으므로 전송 단말 측에서 수신된 압축영상으로부터 높은 목표물 탐지율을 얻기 위해서는 압축과정에서 다음의 식 (4)와 같이 목표물 탐지 특성에 대한 항을 포함시켜야 한다.

$$\text{Min } J_{\lambda, \lambda'} = \bar{D} + \lambda \bar{H} + \lambda' \bar{C} \quad (4)$$

여기에서  $\bar{D}, \bar{H}, \bar{C}$ 는 각각 평균 왜곡(distortion), 엔트로피, 목표물 탐지에 대한 오류의 확률을 표시하는 항이며  $\lambda, \lambda'$ 는 Lagrangian multiplier 들이다. 부호화할 픽셀 또는 블록  $x$ 에 대해 배경 혹은 목표물인지를 구별하는 목표물 탐지의 결정 규칙(decision rule)을  $\gamma(x)$ 라 하고

$$\gamma(x) = \begin{cases} 0 \in \Gamma & (\text{배경}) \\ 1 \in \Gamma^C & (\text{목표물}) \end{cases} \quad (5)$$

목표물 탐지의 가정(Hypothesis)  $H_{ij}$ 를  $i, j=0,1$ 에 대해 다음과 같이 가정할 때

$$\begin{cases} H_0 \text{ is true : } \gamma(x)=0, x \in \Gamma \\ H_1 \text{ is true : } \gamma(x)=1, x \in \Gamma^C \end{cases} \quad (6)$$

모든 경우에 대한 탐지 오류의 평균 비용(cost)  $\bar{C}$ 는 다음과 같이 Bayes' risk로 표시된다.

$$\begin{aligned} \bar{C} &= \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 P_j C_{ij} \Pr[\text{say } H_i \text{ true} | H_j \text{ true}] \\ &= C_{00} P_0 \Pr[\gamma(x)=0 | x \in \Gamma] \\ &\quad + C_{10} P_0 \Pr[\gamma(x)=1 | x \in \Gamma] \\ &\quad + C_{11} P_1 \Pr[\gamma(x)=1 | x \in \Gamma^C] \\ &\quad + C_{10} P_1 \Pr[\gamma(x)=0 | x \in \Gamma^C] \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서  $C_{ij}$ 는 가정한  $H_j$ 가 사실일 때 다른 가정한  $H_i$ 를 선택하는 경우의 비용할당(cost assignment)이며 식 (8)과 같이 간단히 uniform 한 경우로 가정하게 되면 사실과 상반된 가정을 한 경우의 항만 남게되어  $\bar{C}$ 는 식 (9)와 같이 목표물 탐지에 대한 오류의 확률을 표시하게 된다.

$$C_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } i=j \\ 1 & \text{if } i \neq j \end{cases}, \quad i, j=0,1. \quad (8)$$

$$\bar{C} = P_0 \Pr[\gamma(x)=1 | x \in \Gamma] + P_1 \Pr[\gamma(x)=0 | x \in \Gamma^C] \quad (9)$$

이와 같이 목표물 탐지 오류를 포함하여 식 (4)의 Lagrangian을 최소화하도록 상호 최적화된 부호기는 복원 블록의 양자화 오차와 평균 비트 레이트뿐만 아니라 목표물 탐지 오류를 동시에 최소화하는 방향으로 양자화하여 부호화하게 된

다. 그림 2에 목표물탐지 오류를 고려한 부호화의 대응 예를 표시하였다.  $X_i$ 를 FLIR 이미지에서 어둡게 표시되는 저 온도 목표물과 유사한 밝기를 갖는 배경의 벡터로,  $X_j$ 를 밝은 배경과 유사한 밝기를 갖는 고 온도 목표물의 벡터로 가정할 때 점선 대응은 복원 블록의 양자화 오차만을 고려한 경우의 입력 벡터와 부호벡터와의 대응을 표시하고 실선은 목표물 탐지 오류를 동시에 고려한 경우의 대응을 표시한다. 양자화 오차만을 고려할 때  $X_i$ 는 저 온도 목표물로,  $X_j$ 는 배경으로 분류되나 목표물 탐지 오류의 확률을 고려하여  $X_i$ 는 배경으로,  $X_j$ 는 고 온도 목표물로 분류되도록 설계한다.

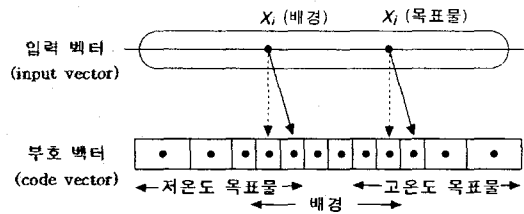


그림 2. 상호 최적 부호화

Fig. 2. Jointly-optimized encoding

#### IV. 자동탐색기능 압축시스템 (ATR-Compression System)

VQ는 입력 벡터를 최적의 코드벡터(code vector)와 대응(mapping)시켜 부호화하는 방법으로써 목표물 탐지과정에서의 입력 벡터를 배경 혹은 목표물인지를 구별하는 분류(classification)와 밀접한 관계를 가지고 있다[8,9]. 따라서 서브밴드의 잉여벡터 양자화(RVQ) 출력을 이용하면 이를 목표물 탐지의 예측기(predictor) 또는 분류기(classifier)로 사용할 수 있다.

RVQ의 출력을 이용하여 검사블록(conditioning block)의 부호문자(codeword)들로 형성된 유한 상태 모델(FSM)상에서 현재의 블록이 목표물 또는 배경에 포함될 확률 값을 사전에 계산하여

자동탐색 상태(ATR-state) 테이블을 구성하면 그림 3과 같이 자동탐색기능 부호기는 압축과 동시에 ATR-state 테이블에서 RVQ의 출력에 해당하는 경우의 목표물일 확률을 읽어 별도의 계산 없이 목표물 탐지를 수행할 수 있게 된다 [10,11].

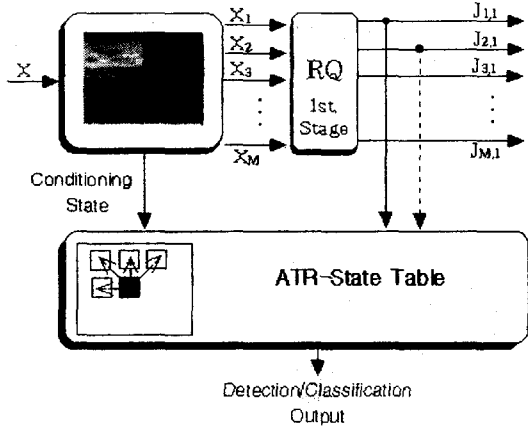


그림 3. 자동 탐색기능 부호기의 구성도  
Fig. 3. Block diagram of ATR-Encoder

이와 같이 양자화 오차와 목표물 탐지 특성이 고려되어 상호 최적화된 부호기를 이용하여 그림 4와 같은 자동탐색기능 압축시스템(ATR-Compression System)을 구성할 수 있으며 자동탐색 부호기(ATR-encoder)로부터 추정된 목표물 영역에 대해 보다 높은 비트율로 부호화함으로써 압축된 이미지에 대한 자동탐색기능(ATR) 성능을 향상시킬 수 있도록 한다.

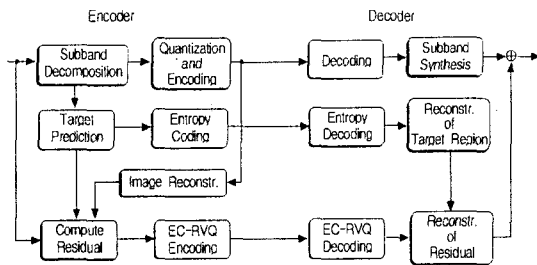


그림 4. 자동탐색기능 압축 시스템의 구성도  
Fig. 4. Block diagram of ATR-Compression System

그림 4에서 화질 향상을 위해 추가적으로 부호화할 목표물 영역은 자동탐색기능 부호기로부터 얻어진 이진(binary) 흑백 이미지로서 그림 5와 같이 8×8 픽셀의 블록으로 구성되며 추가적인 코딩은 목표물 영역에 대해서만 수행하므로 목표물 영역이 전체화상에 비해 충분히 작은 경우 추가적인 계산량은 크게 증가하지 않고 전체적인 비트율도 크게 변하지 않는다. 일반적으로 군사적인 목표물에 대한 이미지의 경우 화면 당 목표물의 수는 수개 이하로서 목표물의 영역이 전체 화면에서 차지하는 비율이 매우 적은 편이다. 본 연구에서 사용된 미육군 연구소의 TRIM-2 데이터 베이스 이미지의 경우 목표물의 영역은 전체의 5~8% 정도로서 이 목표물 영역에 대해 자동탐색기능 압축시스템을 적용시킨 경우, 비트율이 약 0.016 bit/pixel 정도 증가되었다.

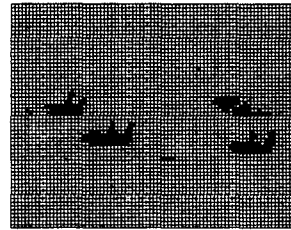


그림 5. 목표물 영역 (진한 블록)  
Fig. 5. Target region (black blocks)

## V. 시뮬레이션 결과

미국 육군연구소(ARL)의 TRIM-2 database중 10개의 FLIR 이미지에 대해 ATR-Compression 시스템을 적용시켜 압축율에 따른 탐지율을 계산하고 이를 기존의 서브밴드 압축방법(SBC)과 표준 JPEG 압축방법을 사용한 경우와 비교하였다.

그림 6에 각 비트율에 따른 ATR-encoder에 의한 목표물 탐지(ATR/D) 출력의 대표적인 예와 이들 출력을 간단한 형태학적인 처리(morphological process) [12]에 의해 노이즈를 제거한 경우를 그림 7에 도시하였다.

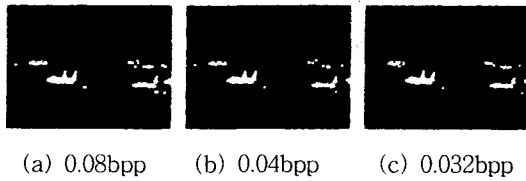


그림 6. 자동탐색기능부호기의 목표물 탐지 출력  
Fig. 6. Binary maps of ATR-encoder output

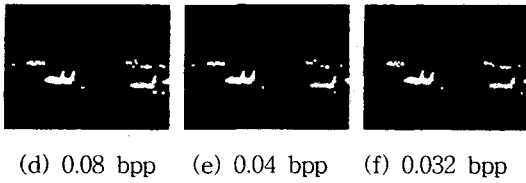
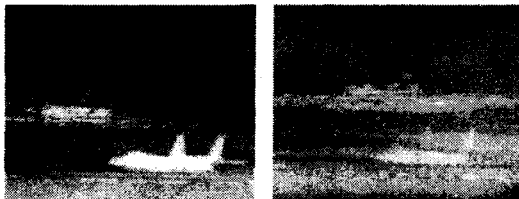


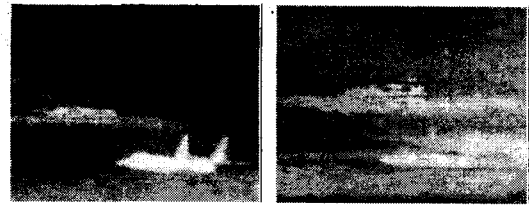
그림 7. 형태학적 처리에 의해 잡음이 제거된  
자동탐색기능부호기의 목표물 탐지 출력  
Fig. 7. Binary maps of ATR-encoder output  
with morphological processing

그림 8은 목표물탐지 기능과 압축을 상호적으로 고려한 ATR-compression 방법에 의해 압축된 이미지와 SBC, 표준 JPEG 방법에 의해 압축된 이미지의 화질을 비교한 예로서 각각 약 250:1로 압축된 경우이며 제안한 알고리즘을 사용하여 압축한 경우 목표물 영역에서의 화질이 타 압축방법에 비해 우수함을 보여준다.

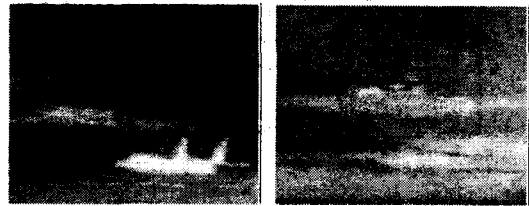
표준 JPEG의 경우 높은 압축율에서 낮은 화질과 낮은 탐지율을 보이는 것으로 나타나 있으나 블록효과제거 필터(deblocking filter)[13]를 사용하면 화질 및 탐지율이 크게 향상되어 SBC의 경우와 비슷한 성능을 보일 것으로 예상된다. 본 연구에서는 일반적인 표준방식의 압축방법에 대한 결과와 비교하기 위하여 블록효과제거 필터를 사용하지 않은 표준 JPEG 방식을 사용하였다.



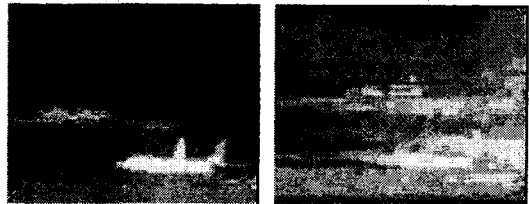
(a) Original image (hot, cold target)



(b) ATR-Compr. (0.034bpp) (hot, cold target)



(c) SBC (0.032bpp) (hot, cold target)



(d) 표준 JPEG (0.038bpp) (hot, cold target)

그림 8. 압축 이미지의 화질 비교  
Fig. 8. Coding quality comparison

그림 9와 표 1에 제안 알고리즘, SBC, 표준 JPEG, 을 사용한 경우에 대하여 압축율에 따른 탐지율의 변화를 표시하였으며, 그림 9에 보인바와 같이 제안한 알고리즘은 폭 넓은 압축율에 걸쳐 거의 일정한 탐지율을 보이고 있다.

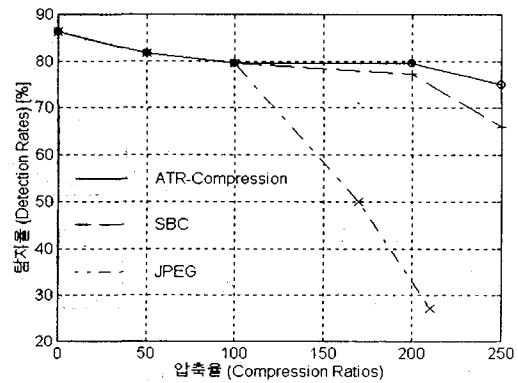


그림 9. 압축율에 따른 목표물 탐지율의 비교  
Fig. 9. Detection rates vs. compression ratios

표 1. FLIR 이미지에 대한 압축율과 탐지율  
Table 1. Detection rates vs. compression ratios

압축율	ATR-compr.	SBC	JPEG
Original	86.36%	86.36%	86.36%
50:1	81.82%	81.82%	81.82%
100:1	79.55%	79.55%	79.55%
200:1	79.55%	77.27%	50%
250:1	75%	65.91%	27.27%

의 최적 선정에 대한 연구가 필요하다. 또한 보다 다양한 여러 가지의 압축방법에 대하여 압축 이미지의 화질과 목표물 탐지 성능을 비교하여야 할 것이다.

접수일자 : 2000. 9. 9 수정완료 : 2000. 12. 18

## VI. 결 론

압축과정에서 목표물 탐지 영역을 얻을 수 있으며, 압축시 발생하는 왜곡을 최소화하는 동시에 높은 목표물의 탐지능력을 유지토록 하기 위해 목표물 탐지 오류 확률을 서브밴드 코딩과 RVQ를 이용한 압축 알고리즘에 포함시켜 상호적으로 화질과 목표물 탐지율을 최대화하도록 설계하는 Joint ATR-compression 시스템의 설계 알고리즘을 제안하였다. 이 압축 알고리즘을 목표물 탐지의 예측기 및 분류기에 적용시킴으로써 높은 목표물의 탐지능력을 유지하면서 효과적으로 압축할 수 있으며 시물레이션 결과 200:1 이상의 압축비를 갖는 매우 낮은 비트율에서도 비교적 높은 목표물 탐지 능력을 유지하고 있음을 보이고 있다. 이를 응용하면 센서 탑재기에서 자체 탐색능력을 보유케 할 수 있으며 또한 항공기에서 적외선 탐색기나 레이더로 촬영한 화상을 ATM 네트워크를 통하여 효과적으로 전송하기 위하여 목표물은 고화질로 배경은 저 화질로 선택적으로 압축하도록 요구하는 미국 육군 연구소(ARL)의 Clipping Service 또는 IBC(Intelligent Bandwidth Compression) 등에 이용될 수 있을 것으로 생각된다. RVQ 출력으로부터 목표물의 영역을 구하거나 얻어진 목표물의 영역을 추가적으로 부호화하는데 필요한 연산량은 비교적 적으나 부호벡터를 설계하는 과정에서는 연산량이 크게 증가하므로 앞으로의 과제는 빠른 수렴 속도를 갖는 설계 알고리즘과 Lagrangian multiplier

## 참고문헌

- [1] D. Kreithen, S. Halversen, and G. Owirka, "Discriminating Targets from Clutter," *The Lincoln Lab. Journal*, vol. 6, no. 1, pp.11-24, 1993.
- [2] G. Owirka, L. Novak "A New SAR ATR Algorithm Suite," *SPIE Imaging Infrared*, vol.2230, pp.336-343, 1994.
- [3] Akansu and M. J. T. Smith, "Subband and Wavelet Transforms: Design and Applications," Kluwer Academic Publishers, May 1995.
- [4] S. L. Eddins and M. J. T. Smith, "Analysis/Synthesis Techniques for Subband Image Coding," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, August 1991.
- [5] F. Kossentini, M. Smith, and C. Barnes, "Image Coding Using Entropy-Constrained Residual Vector Quantization," *IEEE Trans. on Image Processing*, pp.1349 - 1358, Oct. 1995.
- [6] F. Kossentini, W. Chung, and M. Smith, "A Jointly Optimized Subband Coder," *Trans. on Image Processing*, August 1996, pp. 1311-1323.
- [7] E. A. Riskin, "Optimal Bit Allocation via the Generalized BFOS Algorithm," *IEEE*

*Trans. on Information Theory*, pp.400-402,  
March 1991.

- [8] Karen L. Oehler and Robert M. Gray, "Combining Image Compression and Classification Using Vector Quantization," DCC'93, *Data Compression Conference*, pp.2-11, 1993.
- [9] A. Gersho and R. M. Gray, "Vector Quantization and Signal Compression," *Kluwer Academic Publishers*, 1992.
- [10] Jin-Woo Nahm and M. Smith, "Very Low-Bit-Rate Data Compression Using a Quality Measure Based on Target Detection Performance," *Proc. of the SPIE Conference on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition IV*, vol. 2484, pp.246-255, April 1995.
- [11] Jin-Woo Nahm and M. Smith, "A SAR Image Data Compression Algorithm for Clipping Service Applications," *Proc. of the SPIE Visual Commun. and Image Processing*, vol.2727, pp.16-27, 1996.
- [12] David Casasent, "Optical Hit-miss Morphological Transform," *Applied Optics*, vol. 1959, April 1993.
- [13] S.D. Kim, J. Yi and J.B. Ra, "A deblocking filter with two separate modes for block-based compressed video sequences," *Journal of IEEK*, vol. 35S, no.2, pp.89-96, Feb. 1998.



남진우(Jin-Woo Nahm)

正會員

1975년 성균관대학교 전자  
공학과 (공학사)

1979-1986년 국방과학연구  
소 연구원

1990년 미국 Georgia Institute of Technology  
Electrical Eng. (공학 석사)

1996년 미국 Georgia Institute of Technology  
Electrical & Computer Eng. (공학박사)

1997-현재 인덕대학 전자과 교수

관심분야 : 영상처리, 영상압축, 패턴인식,  
입체영상처리, 화상통신

---