

논문 2009-46IE-4-6

적응적 준무손실 영상 부호화

(Adaptive Near-Lossless Image Coding)

김영로*, 이준환**

(Young-Ro Kim and Joonhwan Yi)

요약

본 논문에서는 전송 대역폭에 따라 손실을 최소화하며 적응적으로 압축률을 조절하는 준무손실 영상 부호화 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 슬라이스 부호화 간격으로 부호화된 비트량과 목표 부호화 비트량을 이용하여 적응적으로 허용 오류 범위를 변경한다. 실험 결과, 제안하는 방법은 기존 알고리즘들에 비하여 효과적으로 전송 대역폭에 맞추어 압축률을 조절할 뿐만 아니라 화질 또한 향상됨을 알 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose adaptive near-lossless image coding algorithm according to bandwidth while maintaining image quality. The proposed method adjusts error range using amounts of encoded bits and target bits at a slice encoding interval. Experimental results show that our proposed method not only almost fits compression into bandwidth, but also has better image quality.

Keywords : Near-lossless compression, target bits, encoded bits, bandwidth.

I. 서론

현재 제안된 비디오 준무손실 부호화 알고리즘들은 프레임간(Interframe) 차이를 부호화하는 방법^[1~8]과 프레임내(Intraframe)에서 주변 화소들의 에지의 방향에 따른 예측 차이를 컨텍스트(context) 부호화하는 방법^[1~13, 16]이 있다. 그러나 움직임 추정 방법을 이용한 프레임간 부호화 방법은 많은 메모리와 연산을 필요로 하게 되고, 프레임간 움직임의 변화가 심할 경우 예측 오류가 많이 발생하여 압축의 효율이 떨어지는 문제점이 있다. 또한 기존 프레임내 부호화 방법은 영상의 복잡도(complexity)에 따라 압축률의 차이가 큼에도 불구하고

고정된 컨텍스트 부호화 방법 때문에 전송 대역폭에 따라 효과적으로 압축률을 조절하지 못하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 방법들과 비하여 전송 대역폭에 따라 손실을 최소화하며 적응적으로 압축률을 조절하는 실시간 준무손실 알고리즘을 제안한다.

II. 기존 준무손실 알고리즘

FELIC^[11], CALIC^[1~5, 12~13], 그리고 JPEG-LS^[6~8, 11], VLIDC^[16]와 같은 무손실/준무손실 압축 방법들은 크게 프레임내(Intraframe) 예측을 하는 de-correlation부분과 예측하여 남은 오류를 부호화하는 context coding부분으로 구성된다.

1. De-correlation

화소 간 상관관계(correlation)를 줄이기 위하여 그림 1과 같이 이미 부호화된 주변의 화소 x_1, x_2, x_3 , 그리고 x_4 를 이용하여 현재 부호화 위치의 화소 x 를 예측한다.

JPEG-LS^[6~8, 11]에서는 고정된 예측기를 이용하여 수

* 평생회원, 명지전문대학 컴퓨터정보과
(Department of Computer Science and Information,
Myongji College)

** 평생회원, 광운대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Engineering, Kwangwoon
University)

※ 이 논문은 중소기업청의 산학연공동기술개발지원사업의 지원에 의해 연구되었습니다.

접수일자: 2009년10월7일, 수정완료일: 2009년12월7일

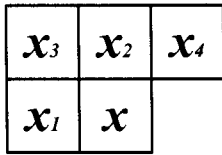


그림 1. 부호화하는 화소 및 주변 화소들 - JPEG-LS
Fig. 1. Encoding pixel and its neighbour pixels of JPEG-LS.

직, 수평에지를 측정한다. 이때 에지가 없다고 판단하면 선형으로 예측을 한다. 고정된 예측기는 부호화하는 현재 위치의 화소 x 의 예측값 x' 를 다음과 같이 구한다.

$$x' = \begin{cases} \min(x_1, x_2), & \text{if } x_3 \geq \max(x_1, x_2) \\ \max(x_1, x_2), & \text{if } x_3 \leq \min(x_1, x_2) \\ x_1 + x_2 - x_3, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

예측기는 현재의 위치의 왼쪽에서 수직의 에지가 있을 경우 x_2 을 예측값 x' 으로 선택한다. 또는 현재의 위치의 위쪽에서 가로의 에지가 있을 경우 x_1 을 선택한다. 만약 에지가 없다고 판단하면 $x_1 + x_2 - x_3$ 의 값을 예측값 x' 으로 선택한다. 이와 같이 예측기는 미디언 (median) 형태를 가지므로 MED(median edge detector)라고 부른다.

CALIC^[1-5, 12-13]에서는 경사 적응 예측기(GAP: gradient-adjusted predictor)를 이용하여 현재 위치 화소 주변의 경사 강도에 따라 적응적으로 x' 를 예측한다. 그러므로 기존의 선형 예측보다도 좋은 예측 결과를 가진다. 그러나 MED 보다도 주변화소 들을 많이 사용하여 연산량이 많은 단점이 있다. GAP은 먼저 현재 화소 x 주변의 수평, 수직 에지 d_h, d_v 를 각각 다음과 같이 측정한다.

$$\begin{aligned} d_h &= |x_5 - x_1| + |x_3 - x_2| + |x_2 - x_4| \\ d_v &= |x_6 - x_2| + |x_3 - x_1| + |x_7 - x_3|. \end{aligned} \quad (2)$$

측정한 d_h, d_v 를 가지고 x' 를 다음과 같이 조건에

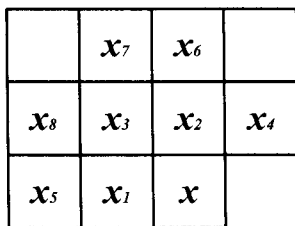


그림 2. 부호화하는 화소 및 주변 화소들 - CALIC
Fig. 2. Encoding pixel and its neighbour pixels of CALIC.

따라 가중치를 주어 구한다.

```

IF ( $d_v - d_h > T_1$ ) {sharp horizontal edge}  $x' = x_1$ 
ELSE IF ( $d_v - d_h < -T_1$ ) {sharp vertical edge}
 $x' = x_2$ 
ELSE{
 $x' = (x_1 + x_2)/2 + (x_4 - x_3)/4$ ;
IF ( $d_v - d_h > T_2$ ) {horizontal edge}
 $x' = (x' + x_1)/2$ 
ELSE IF ( $d_v - d_h > T_3$ ) {weak horizontal edge}
 $x' = (3x' + x_1)/4$  (3)
ELSE IF ( $d_v - d_h < -T_2$ ) {vertical edge}
 $x' = (x' + x_2)/2$ 
ELSE IF ( $d_v - d_h < -T_3$ ) {weak vertical edge}
 $x' = (3x' + x_2)/4$ 
}
    
```

여기서 T_1, T_2 , 그리고 T_3 는 실험적으로 구한 임계치이다. 8 비트 영상에서 $T_1 = 80, T_2 = 32$, 그리고 $T_3 = 8$ 이 가장 좋은 예측 결과를 보인다.

VLIDC^[16]에서는 인트라예측부(intra predictor)를 이용하여 주변화소들을 이용하여 2x2 단위로 에지의 경사를 다음 그림과 같이 4개의 방향에서 가장 차이가 적게 나는 방향으로 예측한다.

여기서 수직으로 차이값을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D0 &= P0 - N3 \\ D1 &= P1 - N4 \\ D2 &= P2 - P0 \\ D3 &= P3 - P1 \end{aligned} \quad (4)$$

이와 같이 나머지 3방향에서도 차이를 구한 다음 최소

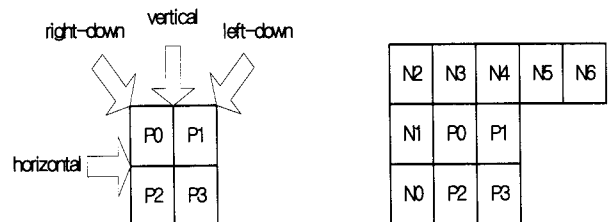


그림 3. 방향성예측과 부호화하는 화소 및 주변 화소들 - VLIDC
Fig. 3. Directive prediction, encoding pixel, and its neighbour pixels of VLIDC.

차이가 나는 방향으로 에지가 있다고 판단하고 그 방향의 차이를 DPCM/PCM 부호화 한다.

2. Encoding

예측한 결과, 즉 오류를 부호화할 때 콘텍스트(context) 방법 또는 DPCM/PCM 방법을 이용하여 부호화한다. 콘텍스트 모델은 여러 형태로 만들 수 있으나, JPEG-LS와 CALIC에서는 국부 경사(local gradient)에 따른 오류 즉, 예측한 값과 실제 화소 값의 차이를 모델링하여 구한다. 그러므로 콘텍스트에 대한 움직임(activity)은 예측에 대한 확률적 형태를 나타낸다^[11~13].

예측 잔여 오류는 허프만(Huffman) 또는 골롬(Golomb) 콘텍스트 인코더를 이용하여 부호화한다. 골롬(Golomb) 인코더는 부호화 테이블을 저장할 필요가 없어 매우 효과적인 코딩 방법이다^[10]. 특히 2^k 형태의 골롬-라이스(Golomb-Rice) 코드는 더욱 간단한 코딩 과정을 가진다. 골롬(Golomb) 코드는 가변 길이 코드이며 허프만(Huffman) 코드와 비슷하다. 그렇지만 값에 대한 확률적 모델을 바탕으로 하기 때문에 적응적으로 부호화를 할 수 있다. 임의의 수를 부호화하기 위하여 먼저 제수(divisor)로 나누고 이에 따른 몫과 나머지를 구한다. 몫은 unary notation으로 부호화하고 나머지는 binary notation으로 부호화한다. 실제로 몫과 나머지를 구분하기 위하여 먼저 몫을 부호화한 다음 구분자를 표기하고 나머지를 부호화한다. 골롬-라이스(Golomb-Rice) 코드는 쉬프트(shift)와 마스크(mask)를 이용하여 나누기 연산을 할 수 있어 효율적인 구현이 가능하다. 예를 들어 0 ~ 7까지의 수를 제수 4인 골롬-라이스(Golomb-Rice) 코드로 나타내면 다음과 같다.

VLIDC^[16]에서 이용한 DPCM/PCM 방법은 2x2 블록

표 1. 골롬-라이스 코드
Table 1. Golomb-Rice code.

Code	Value	Quotient	Remainder
1 00	0	0	0
1 01	1	0	1
1 10	2	0	2
1 11	3	0	3
0 1 00	4	1	0
0 1 01	5	1	1
0 1 10	6	1	2
0 1 11	7	1	3

표 2. VLIDC 코드
Table 2. VLIDC code.

mode	coding mode	bit shift [R/G/B]	mode	coding mode	bit shift [R/G/B]
0	DPCM	0/0/0	8	DPCM	4/4/4
1	DPCM	1/0/1	9	DPCM	5/4/5
2	DPCM	1/1/1	10	DPCM	5/5/5
3	DPCM	2/1/2	11	PCM	6/5/6
4	DPCM	2/2/2	12	reserved	N/A
5	DPCM	3/2/3	13	reserved	N/A
6	DPCM	3/3/3	14	reserved	N/A
7	DPCM	4/3/4	15	reserved	N/A

을 구성하는 4개의 화소들의 예측 차이를 하위비트 쉬프트하여 절단함으로써 영상 데이터를 압축한다. 이때 R,G,B 각각 쉬프트하는 형태를 다음과 같이 모드화하여 4개의 비트로 부호화한다.

III. 제안하는 준무손실 알고리즘

제안하는 준무손실 알고리즘은 연산량과 메모리를 고려하여 예측기를 MED^[6]를 사용하고, 슬라이스 단위로 두 개의 허용오류범위에 따른 부호화량을 예측하고, 이에 따라 허용오류범위를 정하여 적응적으로 부호화함으로써 비트량을 조절한다.

1. 슬라이스단위 비트량 예측

허용 오류 범위에 따라 슬라이스 별로 인코딩 비트량이 차이가 생긴다. 즉 허용 오류 범위를 0으로 하면 무손실 압축이 되지만 그 만큼 압축 효율이 떨어진다. 반대로 오류 허용 범위를 크게 하면 화질의 많은 열화를 가져올 수 있다. 슬라이스 별 인코딩 비트량 예측은 2개의 오류 허용 범위를 설정한다. (Near, Near_h (=Near+1)) 그리고 두 개의 오류 허용 범위에 따른 슬

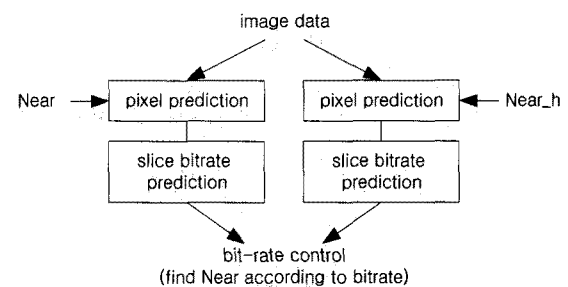


그림 4. 부호화량 컨트롤
Fig. 4. bit-rate control.

error1	error2	error3
error4		

그림 5. 골롬 코딩 k를 구하기 위한 데이터
Fig. 5. Data for k of Golomb encoding.

라이스의 인코딩 비트량을 예측한다.

화소예측은 앞서 설명한 바와 같이 주변화소들을 이용하여 현재 위치의 화소값을 예측한다. 슬라이스 비트량 예측은 골롬(Golomb) 인코딩 방식에 따른 비트량을 예측한다. 골롬(Golomb) 인코딩은 예측 오류를 2의 k승 (2^k)으로 나누어 몫(unary), 구분자(separator), 나머지(binary)로 표현한다. 예를 들어 예측오류가 20이고 k가 4이면 0 1 0100 으로 인코딩된다. k가 1일 경우 000000000 1 0 으로 인코딩된다. 따라서 적절한 k를 선택하는 것이 중요하다. 제안한 알고리즘은 주변 화소들의 예측 오류 절대값과 바로 전 화소의 오류허용범위의 합을 이용하여 다음과 같이 적절한 k를 선택하였다

```

TSAD = |Error1|+|Error2|+|Error3|+|Error4|;
for(golombk = 0; MVcnt<TSAD; golombk++){ (5)
    MVcnt = MVcnt * 2;
}
    
```

여기서 예측 오류(Error)는 -128~127 범위의 값을 가진다. 선택한 k를 이용하여 실제 부호화를 하지 않고 다음과 같이 Near, Near_h(=Near+1)에 따른 인코딩 비트를 카운트하여 슬라이스별 부호화 비트량 예측한다. 이때 예측 오류는 음수도 가질 수 있으므로 골롬(Golomb) 인코딩방식에 맞게 양수로 전환하는 오류 매핑(Error Mapping)을 먼저 하고, k를 이용하여 몫, 구분자, 나머지에 해당하는 비트를 카운트한다.

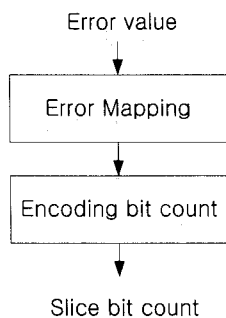


그림 6. 슬라이스 부호화 비트 카운트
Fig. 6. Bit count of slice encoding.

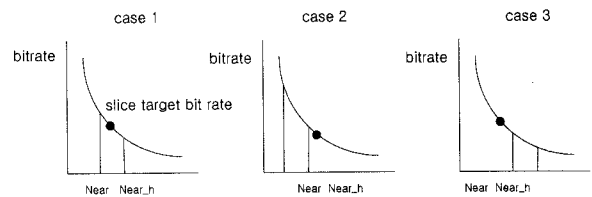


그림 7. 허용오류범위(Near) 예측
Fig. 7. Near prediction.

2. Bit-rate control

기존 알고리즘들은 단순히 허용 예측 오류를 프레임별로 정하고 준무손실 압축을 한다. 즉, 원하는 부호화량에 정확히 맞게 부호화하지 못한다. 따라서 전송대역폭에 적절하게 압축량을 조절하여 전송할 수 없다. 본 논문에서 제안하는 방법은 전송대역폭에 맞게 프레임별 목표 비트량을 정하고 압축을 프레임 목표 비트량에 맞추어 부호화하도록 한다.

먼저 인코딩을 하면서 부호화된 비트량에 따라 슬라이스별로 새롭게 목표 비트량을 정한다. 앞서 두 개의 예측 오류 허용 범위에 따른 예측 압축량은 다음 그림과 같이 크게 3가지 경우로 나눌 수 있다.

case 1인 경우 두 개의 오류허용범위를 예측한 비트량 사이에 슬라이스 목표 비트량이 있을 경우, Near로 부호화하면 슬라이스 목표비트량을 초과하고 Near_h로 부호화하면 슬라이스 목표 비트량 보다 낮게 부호화하는 것이므로 Near_h를 실제 허용오류범위로 설정하면 된다.

case 2인 경우 Rate-Distortion 곡선임을 이용하여 오류 허용범위 Near, Near_h를 우측으로 한 칸씩 이동하면서 다음 수식에서 새롭게 예측된 슬라이스 비트량이 슬라이스 목표 비트량에 적합하도록 구한다.

```

while( slicetargetbits < slicepredictedbits2) {
    Near = Near + 1;
    slicepredictedbitstmp = slicepredictedbits2;
    slicepredictedbits2 = slicepredictedbits2
        - ( slicepredictedbits1 -
            slicepredictedbits2 )
        * ( ( 2 * Near + 1 ) /
            ( 2 * ( Near + 2)+1 ) );
    slicepredictedbits1 = slicepredictedbitstmp;
}
    
```

여기서 slicepredictedbits1는 Near로 예측한 슬라이스 예측 부호화 비트량이고 slicepredictedbits2는 Near_h(=Near+1)로 예측한 슬라이스 예측 부호화 비트

량을 의미한다.

case 3인 경우 오류 허용범위 Near, Near_h를 좌측으로 한 칸씩 이동하면서 다음 수식에서 새롭게 예측된 슬라이스 비트량이 슬라이스 목표 비트량에 적합하도록 구한다.

```

while( slicepredictedbits1 <= slicetargetbits
  && Near > 0){
  Near = Near - 1;
  slicepredictedbitstmp = slicepredictedbits1;
  slicepredictedbits1 = slicepredictedbits1
    + ( ( 2 * (Near+3)+1)/
      ( 2 * (Near+1)+1 ) )
    * ( slicepredictedbits1 -
      slicepredictedbits2 );
  slicepredictedbits2 = slicepredictedbitstmp; }
    
```

IV. 실험

제안한 적응적 준무손실 영상 부호화 알고리즘을 테스트하기 위하여 다양한 패턴이 있는 512x512 RGB 영상들, "Lena", "Test1", "Test2", ... , "Test5"을 사용하였다. 또한 기존 준무손실 알고리즘과 비교하기 위하여 3배 압축에 따른 PSNR을 구하였다. 그림 8은 "Lena" 영상의 압축률 1, 2, 4배에 따라 압축하고 복원한 영상이다.

표 3은 제안하는 방법과 기존 알고리즘 VLIDC^[16]으로 압축을 3배로 하고 복원한 영상의 화질을 PSNR로 측정된 결과이다. 제안하는 알고리즘은 원하는 압축률



(b)



(c)



(a)

그림 8. Lena 복원 영상

(a) 1배 압축, (b) 2배 압축, (c) 4배 압축

Fig. 8. Lena reconstruction image of compression ratio (a) 1, (b) 2, (c) 4.

표 3. PSNR (dB)
Table 3. PSNR (dB).

	VLIDC	Proposed method
Lena	99.42	103.93
Test1	98.11	118.92
Test2	79.05	79.46
Test3	105.11	120.84
Test4	136.24	∞
Test5	108.95	108.86

로 부호화할 수 있지만 VLIDC는 압축률이 3배로 고정되어 있다. 제안하는 적응적 준무손실 영상 부호화 방

법이 향상된 결과를 얻을 수 있다. ∞ 은 무손실을 의미한다.

V. 결 론

본 논문에서, 적응적으로 부호화 비트량을 조절하는 준무손실 영상 부호화 방법을 제안하였다. 슬라이스별 허용오류범위에 따른 부호화량을 예측함으로써 전송 대역폭에 맞게 부호화량을 조절할 수 있다. 실험 결과, 제안한 알고리즘이 기존 준무손실 알고리즘에 비하여 거의 정확히 목표 부호화량에 맞추어 부호화할 수 있으며 또한 향상된 화질을 얻는다.

참 고 문 헌

- [1] X. Wu and N. Memon, "Context-based, adaptive, lossless image coding," *IEEE Trans. Communications*, vol. 45, no. 4, pp. 437-444, Apr. 1997.
- [2] X. Wu, "Efficient lossless compression of continuous-tone images via context selection and quantization," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 656-664, May 1997.
- [3] X. Wu and N. Memon, "Context-based lossless interband compression-extending CALIC," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 6, pp. 994-1001, Jun 2000.
- [4] E. Magli, "Optimized onboard lossless and near-lossless compression of hyperspectral data using CALIC," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 1, no. 1, pp. 21-25, Jan. 2004.
- [5] W. Ding, F. Wu, X. Wu, and S. Li, "Adaptive directional lifting-based wavelet transform for image coding", *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 16, no. 2, Feb. 2007.
- [6] M. J. Weinberger, J. Rissanen, and R. B. Arps, "Application of universal context modeling to lossless compression of gray-scale images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 5, pp. 576-586, Apr. 1996.
- [7] M. J. Weinberger, and G. Seroussi, "Sequential prediction and ranking in universal context modeling and data compression," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 43, pp. 1697-1706, Sept. 1997.
- [8] M. J. Weinberger, G. Seroussi, and G. Sapiro, "The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 8, pp. 1309-1324, Aug. 2000.
- [9] X. Li and M. T. Orchard, "Edge-directed prediction for lossless compression of natural images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 10, no. 6, pp. 813-817, Jun. 2001.
- [10] S. W. Golomb "Run-length encodings," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-12, pp. 399-401, Jul. 1966.
- [11] P. G. Howard and J. S. Vitter, "Fast and efficient lossless image compression," in *Proc. 1993 Data Compression Conf.*, Snowbird, UT, Mar. 1993, pp. 351-360.
- [12] N. D. Memon and K. Sayood, "Lossless compression of video sequences," *IEEE Trans. Communications*, vol. 44, no. 10, pp. 1340-1345, Oct. 1996.
- [13] E. S. G. Carotti and J. C. D. Martin, "Motion-compensated lossless video coding in the CALIC framework," *Proceedings of the 5th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*, Athens, GR, pp. 600-605, Dec. 2005.
- [14] G. D. Hann and P. W. A. C. Biezen, "An efficient true-motion estimator using candidate vectors from a parametric motion model," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 85-91, Feb. 1998.
- [15] R. B. Wittebrood and G. D. Hann, "Real-time recursive motion segmentation of video data on a programmable device," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 47, no. 3, pp. 559-567, Aug. 2001.
- [16] S. J. Lee, S. H. LEE, and D. H. Kim, "Method and apparatus for visually lossless image data compression," *Korea Patent No. 10-2008-0049535*, Samsung Electronics Ltd.

저 자 소 개



김 영 로(평생회원)

1993년 고려대학교 전자공학과
학사

1996년 고려대학교 전자공학과
컴퓨터공학 석사

2001년 고려대학교 전자공학과
컴퓨터공학 박사

2001년~2003년 삼성전자 시스템LSI 책임연구원

2003년~현재 명지전문대학 컴퓨터정보과 부교수

<주관심분야 : 신호 및 영상처리, 멀티미디어 통
신>



이 준 환(평생회원)

1991년 연세대학교 전자공학과
학사

1998년 Univ. of Michigan,
Electrical Engineering
and Computer Science
(EECS) 석사

2002년 Univ. of Michigan, EECS, 박사

1991년~1995년 삼성전자 시스템LSI 연구원

2003년~2008년 삼성전자 통신연구소 수석연구원

2008년~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 조교수

<주관심분야 : SoC/MPSoC 구조설계, Computer
Vision, 반도체설계, 저전력설계>