

표준 부호 디지털 코딩을 이용한 비가청 이진 랜덤 신호 발생에 관한 연구

남명우*, 이영석**

Study on the Generation of Inaudible Binary Random Number Using Canonical Signed Digit Coding

MyungWoo Nam*, Young-Seok Lee**

요 약 디지털 워터마킹은 인간의 감각으로 감지할 수 없고 통계적인 방법에 의하여 검출되지 않는 정보를 디지털 데이터에 삽입하는 기술이다. 일반적으로 디지털 음향 신호에 대한 워터마킹은 의미 있는 정보를 갖는 이진 시퀀스를 원래의 디지털 음향 신호에 삽입하여 구현한다. 그러나 삽입된 이진 정보는 원래의 디지털 음향 신호의 관점에서는 잡음으로 작용하여 원래의 음향 신호를 왜곡 시키거나 열화 시키는 원인으로 작용한다. 본 논문에서는 인간의 가청 주파수 영역에서 이진 정보의 삽입으로 인한 원 음향 정보의 왜곡을 최소화시킬 수 있는 이진 정보 발생 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 표준부호 디지털 코딩을 이용한 방법으로서 인접한 데이터간의 주파수 간섭을 최소화 하여 인간의 가청 주파수 영역에서의 이진 정보 시퀀스의 영향을 최소화 하도록 구현하였다. 제안한 방법은 일반적인 이진 정보발생 방법과 주파수 분석 비교를 통하여 성능을 평가하였다.

ABSTRACT Digital watermarking is imperceptible and statistically undetectable information embeds into digital data. Most information in digital audio watermarking schemes have used binary random sequences. The embedded binary random sequence distorts and modifies the original data while it plays a vital role in security. In this paper, a binary random sequence to improve imperceptibility in perceptual region of the human auditory system is proposed. The basic idea of this work is a modification of a binary random sequence according to the frequency analysis of adjacent binary digits that have different signs in the sequence. The canonical signed digit code (CSDC) is also applied to modify a general binary random sequence and the pair-matching function between original and its modified version. In our experiment, frequency characteristics of the proposed binary random sequence was evaluated and analyzed by Bark scale representation of frequency and frequency gains.

Keywords : Imperceptibility, Binary random sequence, CSD, Perceptual region. HAS

1. 서 론

최근 컴퓨터를 이용한 네트워크 기술의 발달로 인하여 부가가치를 갖는 멀티미디어 데이터의 유통이 활성화된 반면에 창작자의 창작의욕

을 떨어뜨리고 디지털 창작물의 부가가치를 절하시키는 멀티미디어 데이터의 불법 복제 및 유통이 사회적 문제로 대두되고 있다. 이에 대한 현실적 기술 대응으로서, 유통되는 멀티미디어 콘텐츠에 저작권과 관련된 데이터를 삽입하고

This study is under study by the University Academic ratio Chungwoon 2011 support

* Corresponding Author : Department of Electronic CAD at Hyejeon College

** Department of Electronic Engineering at Chungwoon University, Incheon, Korea

Received August 3, 2015

Revised August 8, 2015

Accepted August 13, 2015

이를 통하여 디지털 콘텐츠의 창작자 또는 저작자의 소유권을 주장할 수 있는 워터마킹 기술이 널리 사용되고 있다[1].

워터마킹 기술에서 디지털 데이터의 지적 재산권을 증명할 수 있는 정보를 포함하는 워터마크는 1과 0 또는 1과 -1과 같은 갖는 이진 정보로 구성되어 있으며 각 정보는 비밀 키(secret key)에 의하여 생성된 이진 랜덤 시퀀스에 의해 비화된(encrypted) 후 디지털 콘텐츠에 삽입되는 것이 일반적이다. 특히 디지털 오디오 콘텐츠에 워터마크를 삽입하는 디지털 오디오 워터마킹 기술은 비가청성(inaudibility)을 원칙으로 하여 원래의 오디오 콘텐츠에 워터마크를 삽입하여도 디지털 오디오 콘텐츠의 사용자가 콘텐츠의 품질에 이의를 제기하지 않을 정도의 오디오 품질을 요구한다.

그러나 인간 청각 시스템(human auditory system: HAS)은 워터마크의 삽입에 따른 오디오 콘텐츠의 왜곡 또는 열화에 매우 민감하게 반응하는 감각 기관으로서 백색 잡음(white noise)과 같은 주파수 특성을 갖는 이진 랜덤 시퀀스를 워터마크로 사용하는 워터마킹 기술에서는 워터마킹된 오디오 신호의 품질에 영향을 미치는 것이 불가피하다. 워터마킹으로 인한 오디오 콘텐츠의 왜곡의 청각적 인지를 최소화하는 전형적인 방법으로는 삽입하려는 워터마크에 적절한 이득(gain)을 적용하여 오디오 콘텐츠가 워터마킹으로 인한 왜곡의 영향을 덜 받도록 하는 방법이 있으나 이와 같은 일반적인 방식은 워터마크의 검출 율을 떨어뜨리거나, 각종 악의적인 워터마킹 공격에 취약한 약점이 있다[2].

인간 청각 시스템은 귀에 수신되는 오디오 신호의 주파수 특성에 의하여 서로 다른 이득을 갖는 대역 통과 필터들(band pass filters)의 집합으로 모델링된다. 그리고 이들 가운데 인간이 민감하게 인지하는 주파수 대역인 0Hz-23.1KHz의 가청 주파수 대역(audible frequency band)에 삽입된 워터마크 정보를 포함하는 랜덤 시퀀스는 오디오 콘텐츠의 품질에 영향을 주어 워터마크의 비가청성을 떨어뜨리는 원인으로 작용한다.

이상으로 알아본 바와 같이 워터마크 정보를 삽입하기 위하여 사용하는 이진 랜덤 시퀀스에 의한 일반적인 워터마킹 기술은 삽입되는 랜덤 시퀀스로 인한 디지털 오디오 콘텐츠의 왜곡과 이에 따른 콘텐츠의 품질 저하를 피할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 워터마크 정보를 삽입하기 위하여 인간 청각 시스템의 가청 주파수 대역에서 오디오 콘텐츠의 품질을 떨어뜨리는 전형적인 이진 랜덤 시퀀스를 사용하는 대신에 비가청성을 증대시킨 새로운 이진 랜덤 시퀀스의 발생 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 인접한 워터마크의 이진 성분 간에 상호 주파수 성분 상쇄에 의한 인간 청각 영역의 비가청성을 증대시키는 방법으로 일반적인 이진 랜덤 시퀀스로부터 일련의 과정을 거쳐 생성하였다. 제안된 이진 시퀀스는 푸리에 분석을 통하여 인간의 가청 주파수 영역에서 전력이 감소하는 것을 확인하여 비가청성이 향상되었음을 보여주었으며 실제로 제안한 방법으로 이진 랜덤 시퀀스를 발생시켜 주파수 특성을 확인함으로써 제안한 시퀀스의 특성을 실험적으로 증명하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 인간 청각 시스템의 모델링

인간의 생리적인 청각 구조는 크게 외이(outer ear), 중이(middle ear), 내이(inner ear) 세 가지로 구분한다[3]. 외이에서 들어오는 미약한 신호가 중이의 고막(tympanic membrane)을 진동한다. 진동 신호는 3개의 뼈(malleus, incus, stapes)를 통해 신호를 증폭한다. 증폭된 신호는 내이의 달팽이관(cochlea)에 있는 유모세포(hair cell)로 전달된 후 청각 신경(Auditory nerve)을 통해 뇌로 전달된다. 외이와 중이를 통해 증폭된 신호는 달팽이관 안에 있는 세포막의 유모 세포에서 가청 주파수 영역별로 인식한다. 달팽이관에서는 특정 구간별로 주파수 응답(frequency response) 특성을 그림 1과 같이 표현한다.

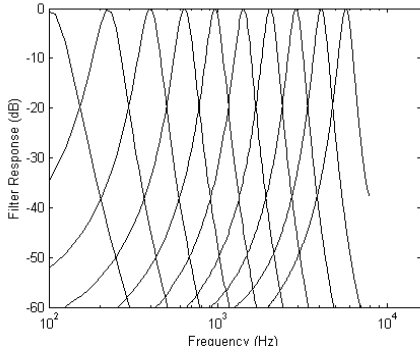


그림 1. 인간 청각 시스템의 주파수 응답 특성
Fig. 1 Frequency response of HAS

그림 1의 주파수 특성을 유모 세포 안의 가청 주파수 영역에 맞도록 모델링한 바크 스케일 (bark scale)로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Bark scale} = 13 \times \tan^{-1}(0.00076f) + 3.5 \times \tan^{-1}\left(\left(\frac{f}{7500}\right)^2\right) \quad (1)$$

식 (1)에서 인간의 청각이 가장 예민하게 반응하는 바크 스케일은 0에서 14.5 바크 스케일로 서 이 부분에서 잡음이 삽입되는 경우 인간의 청각 시스템은 다른 바크 스케일에서 삽입되는 잡음에 비하여 민감하게 반응하게 된다[4,5]. 즉 오디오 워터마킹에서 삽입되는 랜덤 시퀀스는 본래의 오디오 신호 입장에서는 잡음의 일종이므로 워터마크의 삽입은 오디오의 품질을 떨어 뜨리는 원인으로 작용한다.

2.2. 표준 부호 디지털 코딩

표준 부호 디지털 코딩(canonical signed digit coding: CSD)은 최소 해밍 거리를 갖는 부호 있는 디지털 표현이다[6]. 이진수를 표준 부호 디지털로 표현 할 경우 이진수에서 0이 아닌 디지털의 개수를 최소화할 수 있으며 인접한 비트들 사이에 0이 아닌 값이 존재하는 것을 허용하지 않는 특성이 있다. 표준 부호 디지털을 발생시키기 위한 구조는 그림 2와 같이 LSB(least

significant bit)에서 MSB(most significant bit)로 3비트를 단위로 하여 연산을 수행한다[7].

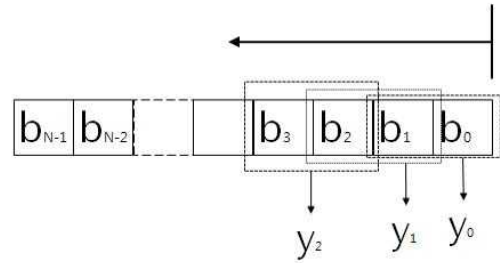


그림 2. 표준 부호 디지털 코딩 발생도
Fig. 2 Schematics of CSD generation

표 1은 표준 부호 디지털 코딩을 수행하기 위한 코딩 코드를 나타낸다. 그림 1 및 표 1에 의해 예를 들어 임의의 이진 랜덤 시퀀스 <0,1,1,1,0,1,1,0>은 표준 부호 디지털 코딩에 의하여 <1,0,0,0,-1,0,-1,0>로 바뀌며, 이 코딩은 인접한 비트에 0이 아닌 값을 허용하지 않는 특징이 있다.

표 1. 표준 부호 발생 코드 북

Table 1. Code book of CSD coding

b_{i+1}	b_i	c_i	y_{i+1}	c_{i+1}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	-1	1
1	1	0	-1	1
1	1	1	0	1

3. 비가청 시퀀스의 제안 및 실험

본 연구에서는 비가청성을 향상시키기 위한 랜덤 시퀀스를 그림 3과 같이 방법을 통하여 발생시키는 방법을 제안하였다.

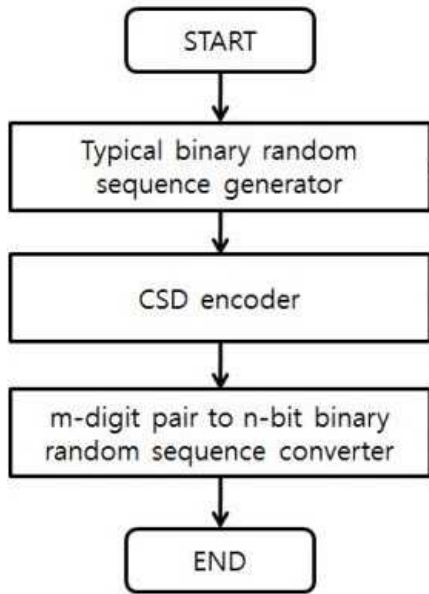


그림 3. 비가청성을 향상시킨 랜덤 시퀀스를 발생시키기 위한 신호 흐름도
 Fig. 3 Schematic diagram for generation of inaudible random sequence

제안한 방법은 시드(seed)를 이용하여 이진 랜덤 시퀀스를 발생시키는 것으로부터 시작한다 [8]. 발생한 이진 시퀀스는 인접한 디지털이 0이 아닌 값을 허용하지 않도록 하기 위하여 표준 부호 디지털 코딩을 실시한다. 디지털 코딩의 결과를 인접한 디지털과 순서쌍으로 나타내면 그림 4와 같이 8개의 디지털로 이루어진 이진 시퀀스의 경우에는 16개의 시퀀스 가운데 하나로 맵핑된다. 맵핑의 결과로 만들어진 시퀀스의 특징은 측정 위치에 인접한 디지털이 측정 위치의 디지털과 항상 부호가 반대라는 점이다. 이와 같이 제안된 이진 시퀀스는 주파수 분석을 통하여 그 특성을 분석할 수 있다.

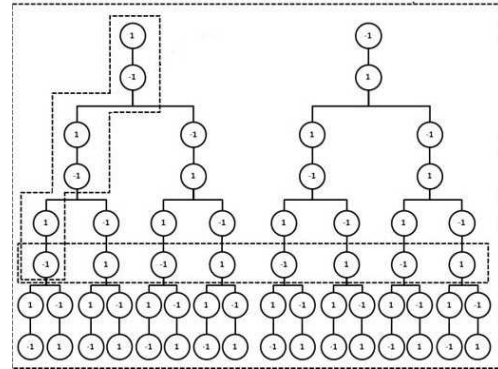


그림 4. 8비트의 디지털을 이용하여 인접한 디지털의 순서쌍을 이용하여 발생한 이진 시퀀스
 Fig. 4 Binary sequence generated from pairs of adjacent digits using 8 digits

지연 성분 n_0 를 갖는 임의의 지점 i 에서 발생한 디지털의 주파수 성분은 $e^{2\pi f(n_0+i)}$ 로 나타낼 수 있고 인접한 지점 $i+1$ 의 주파수 성분은 $e^{2\pi f(n_0+i+1)}$ 로 나타낼 수 있다. 만약 앞에서 제안한 방법을 이용하여 이진 시퀀스를 발생시키는 경우에는 인접한 디지털의 부호가 틀리기 때문에 두 디지털들의 주파수 성분 $\delta_d(f)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_d(f) = \cos(2\pi f n_0) \Delta \cos + j \sin(2\pi f n_0) \Delta \sin \quad (2)$$

이때,

$\Delta \cos$ 는 $\cos(2\pi f i) - \cos(\pi f(i+1))$ 이고 $\Delta \sin$ 은 $\sin(2\pi f i) - \sin(\pi f(i+1))$ 이다. 만약 인접한 디지털의 부호가 반대가 아니라면 $\delta_s(f)$ 는 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$\delta_s(f) = \cos(2\pi f n_0) \Delta R + j \sin(2\pi f n_0) \Delta I \quad (3)$$

이때, ΔR 은 $\cos(2\pi f i) + \cos(\pi f(i+1))$ 이고 ΔI 는 $\sin(2\pi f i) + \sin(\pi f(i+1))$ 이다.

그림 5는 식 (2)와 식 (3)의 각각의 주파수 성분을 로그 스케일로 표현되는 인간의 청각 시스템을 고려하여 나타낸 것이다. 그림에서 붉은 선은 본 연구에서 제안한 이진 시퀀스의 주파수 특성을 나타내고 파란 선은 인접한 디지털이 일반적인 이진 시퀀스 발생에 의하여 만들어진 디지털들의 주파수 특성을 나타낸다. 이 결과가 의미하는 것은 본 연구에서 제안한 이진 시퀀스가 기존의 이진 시퀀스에 비하여 인간의 가청영역에서 주파수 이득이 적게 나타나기 때문에 정보의 은닉에 더 유리한 특성을 나타낸다는 것이다. 이와 같은 특성은 워터마킹과 같이 음악 또는 영상에서 디지털 저작물의 소유권을 주장할 수 있는 정보를 이진 시퀀스를 이용하여 삽입하는 워터마킹 기술에서 매우 적합한 특성이다.

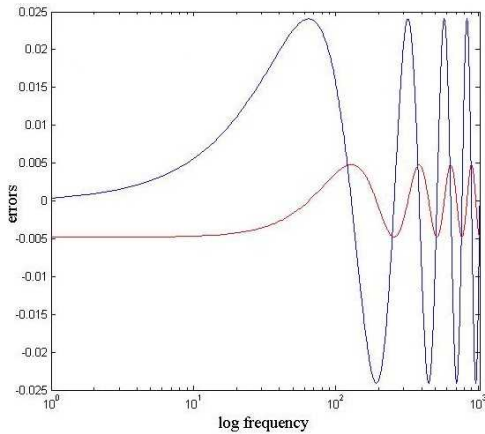


그림 5. 제안한 이진 시퀀스(붉은선)와 일반적인 이진 시퀀스 (파란선)의 가청 주파수 영역에서의 주파수 특성

Fig. 5. Frequency characteristics of the proposed (red line) and general(blue line) binary sequences

식 (2) 및 (3)과 그림 5를 통하여 가청 주파수 영역에서 제안한 이진 시퀀스와 전형적인 이진 시퀀스간의 주파수 이득의 차이는 그림 6과 같이 나타난다. 그림으로부터 각 주파수 샘플들에 대한 제공오차는 가청 주파수 영역에서 크게 나타나는 특성을 보인다.

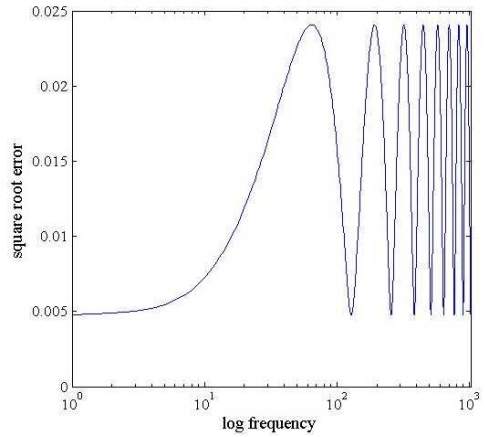


그림 6. 제안한 이진 시퀀스 (붉은선)과 전형적인 이진 시퀀스 (파란선) 간의 제공오차 특성

Fig. 6. Square root characteristics between the proposed and typical binary sequences

본 연구에서는 이와 같은 이론적 결과를 실제 이진 시퀀스를 발생시켜 실험함으로써 적용 가능성을 보여주었다. 그림 7은 임의의 시퀀스를 이용하여 발생시킨 이진 랜덤 시퀀스의 주파수 특성을 나타낸다.

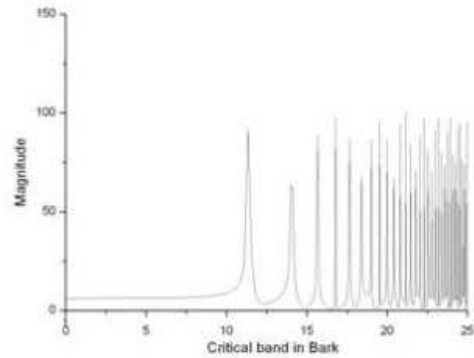


그림 7. 전형적인 이진 랜덤 시퀀스의 주파수 특성

Fig. 7. Frequency characteristics of a typical binary random sequence

그림에서 나타난 바와 같이 가청 주파수 영역인 0에서 15 바크 스케일에서 두 개의 피크로부터 발생하는 주파수 성분이 나타난 것을 확인

할 수 있다. 이와 같은 주파수 특성을 갖는 이진 랜덤 시퀀스에 정보를 삽입하여 임의의 오디오 시퀀스에 삽입하는 경우에 완전한 은닉이 불가능하다. 이와 달리 그림 8은 본 연구에서 제안한 이진 랜덤 시퀀스의 주파수 특성을 나타낸다.

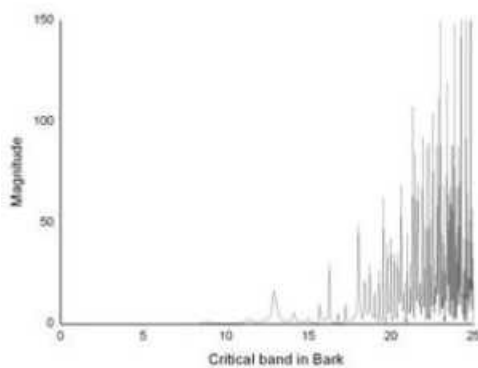


그림 8. 제안한 이진 시퀀스의 주파수 특성
Fig. 8. Frequency characteristics of the proposed binary random sequence

그림 8에서 관찰되는 것처럼 그림 8의 전형적인 이진 랜덤 시퀀스의 주파수 특성에 비하여 인간의 가청 주파수 영역인 0에서 15 바크 스케일에서 낮은 주파수 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 가청 주파수 영역에 정보를 은닉하는 워터마킹 기술 또는 음향 비화(audio encryption) 기술 등에서 인간의 청각으로부터 정보를 은닉하는 방법으로 응용할 수 있는 특성이 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 가청 주파수 영역에서 은닉성을 갖는 이진 랜덤 시퀀스를 제안하였다. 제안한 방법은 전형적인 방법으로 발생시키는 이진 랜덤 시퀀스를 이용하며, 시드를 통하여 발생시킨 이진 랜덤 시퀀스를 표준 부호 디지털 코딩을 통하여 인접한 디지털에 0이 아닌 디지털을 허용하지 않도록 변형 시킨 후, 디지털 쌍을 1과

-1로 표현되는 이진 랜덤 시퀀스로 변환 하는 방법을 사용하였다. 제안한 방법은 인접한 디지털 간에 같은 부호를 허용하지 않기 때문에 주파수 특성이 가청 주파수 영역에서 낮은 주파수 이득을 갖는 특성이 있다. 이와 같은 결과는 제안한 이진 랜덤 시퀀스 발생 방법이 시드에 의하여 발생 시킨 랜덤 신호를 정보로서 임의의 오디오 신호의 가청 주파수 영역에 삽입하는 경우에 삽입된 정보의 은닉성을 높일 수 있는 특성이 있다. 이와 같은 특성은 이진 랜덤 신호를 이용하여 메시지를 오디오 신호에 은닉 시키는 기술, 즉 워터마킹 기술과 같은 분야에 적합한 응용성을 갖는다.

REFERENCES

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, and F. T. Leighton, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, pp. 1673-1687, 1997.
- [2] D. Kirovski, W. Redmond and H. Malvar, "Robust spread-spectrum audio watermarking," *Proceedings in 2001 IEEE Int'l Conference on ASSP*, vol.3 pp. 1345-1348, June 1997.
- [3] D. T. Kemp, "Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system," *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 64, pp. 1386-1403, 1978.
- [4] J. O. Smith and J. S. Abel, "The Bark and ERB bilinear transforms", *IEEE Trans. Speech and Audio Processing*, vol. 76, pp. 697-708, Nov. 1999.
- [5] T. Sporer and K. Brandenburg, "Constraints of filter banks used for perceptual measurement", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 43, no. 3, pp.107-116, Mar. 1995.
- [6] A. R. Gustavo and G. Mercedes, "Efficient CSD recoding," *Microelectronics Journal*,

vol. 42, pp. 1090-1097, 2011.

- [7] T. Williams, M. Ahmadi, W. C. Miller, "Design of 2D FIR and IIR digital filters with canonical signed digit coefficients using singular value decomposition and genetic algorithms," *Circuits Systems Signal Processing*, vol. 26, pp. 69-89, 2007.
- [8] T. Patterson, "The optimum addition of points to quadrature formulae" *Math. of Comp.*, vol. 19, pp. 847 - 856. 1968.

저자약력

이 영 석(Young-Seok Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 인천캠퍼스 전자공학과 교수

<관심분야>

디지털신호처리, 워터마킹, 임베디드 시스템, 기계학습

남 명 우(MyungWoo Nam)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 혜전대학교 전자캐드과 교수

<관심분야>

디지털신호처리, 워터마킹, 회로설계, 마이크로프로세서