

다중채널 시스템에서 가변 대역폭 절환을 위한 신호처리 알고리즘

유재호*, 김현수*, 최동현*, 정재학* 정회원

Signal processing algorithm for converting variable bandwidth in the multiple channel systems

Jaeho Yoo*, Hyeonsu Kim*, Donghyun Choi*, Jaehak Chung* *Regular Members*

요약

다중채널 신호처리 알고리즘은 사용 주파수 대역의 가변성, 효율적인 전송전력 할당, 서로 다른 전송률과 대역을 요구하는 서비스 형태를 충족시키기 위한 가변 주파수 대역 변환을 요구한다. 다중채널 시스템의 다중 반송파 신호에 대하여 역다중화/다중화를 통한 주파수 대역 재할당의 방식에는 개별채널 방식, 단단트리 방식, 블록 방식이 있다. 본 논문에서는 다중 반송파 신호의 채널 대역을 가변할 수 있는 향상된 개별채널 처리 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 CIC 필터(cascaded integrator comb filter)와 half-band필터를 이용해 데시메이션(decimation)과 인터폴레이션(inter-polaration)을 수행하며, FIR low-pass필터를 통해 다중 반송파 신호에서 각 부채널을 필터링(filtering)하여 채널 대역을 재할당한다. 전산모의 실험을 통해 역다중화와 다중화에 의해 가변 채널 대역의 변환이 효율적으로 이루어지는 것을 확인하였다.

Key Words : Flexible frequency band reallocation; Overlapped window; Perfect reconstruction; Overlap & add method.

ABSTRACT

The algorithm of multiple channel signal processing requires the flexibility of variable frequency band, efficient allocation of transmission power, and flexible frequency band reallocation to satisfy various service types which requires different transmission rates and frequency band. There are three methods including per-channel approach, multiple tree approach, and block approach performing frequency band reallocation method by channelization and dechannelization in the multiple-channel signal. This paper proposes an improved per-channel approach for converting the frequency band of multiple carrier signals efficiently. The proposed algorithm performs decimation and interpolation using CIC(cascaded integrator comb filter), half-band filter, and FIR filter. In addition, it performs filtering of each sub-channel, and reallocates channel band through FIR low-pass filter in the multiple-channel signal. The computer simulation result shows that the perfect reconstruction of output signal and the flexible frequency band reallocation is performed efficiently by the proposed algorithm.

I. 서론

다중채널 신호처리 알고리즘은 주어진 주파수 대역에서 다양한 형태의 서비스를 다수의사용자 에서 제공하기 위해 여러 독립된 채널을 각 사용자 에게 할당한다. 그러므로 다중채널 신호처리는 입력 과 출력의 FDM(frequency division

multiplexing) 신호의 개수와 대역폭이다른 비대칭적인 다중채널 반송파 신호에 대하여 효율적으로 채널을 변환할 수 있어야 한다[1]. 즉, 다중채널 신호처리 알고리즘은 주파수 대역 가변성, 전송전력의 효율적인제어, 완벽한 신호 복원, 그리고 채널 변환 같은 신호 처리를 요구한다[2].

다중채널 신호처리 알고리즘의 가변 주파수 변환은 위성통신 시스템의 디지털 신호처리기와 SDR(Software-defined

* 인하대학교 전자공학과 (jchung@inha.ac.kr)

접수일자 : 2009년 11월 29일, 수정완료일자 : 2010년 1월 5일, 최종게재확정일자 : 2010년 3월 31일

Radio)에 응용되고 있다. 위성통신시스템에 응용되는 가변 주파수 변환을 위한 다중채널 신호처리 알고리즘에 대한 연구는 최근에 활발히 진행되고 있으며 낮은 복잡도 그리고 왜곡 없는 신호처리 등의 다중채널 신호처리 알고리즘이 주요 연구 주제이다[3],[4],[5].

다중채널 시스템의 디지털 신호처리기에서 적용 되고 있는 다중채널 신호처리 알고리즘은주파수 영역에서 CIC필터를 기반으로 한 주파수 변환 방법이 많이 사용 되고 있다[6]. 현재, 다중채널 시스템은 다중 반송파 신호에 대하여 역다중화/다중화의 고연산량, 다중 채널 대역의 재할당이 효율적이지 못하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 디지털 신호처리 알고리즘으로 연산이 간단하며 가변 채널 변환에도 적절히대응할 수 있는 개별채널 처리 알고리즘을 제안한다. 제안된 개별채널 처리 알고리즘은 복조와 재변조부를 이용한 채널 변환 방식이므로 각 부채널의 채널 대역 재할당을 위한 부가적인 회로가 불필요 하다는 장점을 가지고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은가변 주파수 변환을 위한 제안한 다중채널 신호처리 알고리즘의 요구 조건을 보 이고, III장에서는 전산모의 실험을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 검증하였고 마지막 IV장에서 결론을 맺는다..

II. 논문 인용의 예

본 논문에서 고려한 개별채널 처리 알고리즘의 역다중화 과정은 다중 반송파에 대하여 CIC와 half-band필터로 데시메이션을 하게 되고 FIR low-pass필터로 각 부채널을 분리 해 내는 과정이다[6]. 다중화과정은 역다중화 과정과 대칭되는 구조를 갖으며 각 필터는 인터플레이션을 수행한다. 개별 채널 처리 알고리즘은 CIC와 halfband필터로 데시메이션과 인터플레이션을 수행하기 때문에 다른 디지털 채널 처리 알고리즘에 비해 데시메이션과 인터플레이션의 비율을 효율적으로 결정 할 수 있다.

부채널 역다중화/다중화 알고리즘에 대한연구는 최근에 활발히 진행되고 있으며 시스템에 적용하기 위해서는 연산량, 복잡도, 성능 및 구현 가능성을 종합적으로 trade-off하여 알고리즘을 적용해야 한다. 연산 소자의 구현에 있어 큰 부분을 차지하는 곱셈 연산을 고려해 볼 때 부채널 수가증가하면 블록신호 처리방식이 가장 유리하나 부채널 수가 50개 이하로 구성될 경우, 제안한 개별채널 처리방식이 곱셈에 있어 연산량 효율이 우수하다.

개별채널 처리방식은 부채널 운용에 있어 가장 유연한 구조이며, 연산량에서의 단점이 있으나 다단 데시메이션/ 인터플레이션 구조를 통한 개선된 알고리즘으로 극복할 수 있다 [7]. 즉, 채널다운컨버터, CIC(Cascaded Integrator Comb) 데시메이션/인터플레이션 필터, halfband 필터, 가변 채널 필터 등의 다단 구조로 연산량을 줄이면서 동시에 유연한 구조를 가질 수 있다. 제안한 개별채널 처리방식은 다단 구조의 CIC(CascadedIntegrator Comb) 다단 구조의 halfband필터, FIR low-pass필터로 구현할 수 있으며 이를 도식화하면 아

래의 같이 나타낼 수 있다. 그림 1은 개별채널 처리방식의 역다중화를 나타내고 그림 2는 개별채널 처리 방식의 다중화를 나타낸다.



그림 1. 개별채널 처리방식의 역다중화 블록도

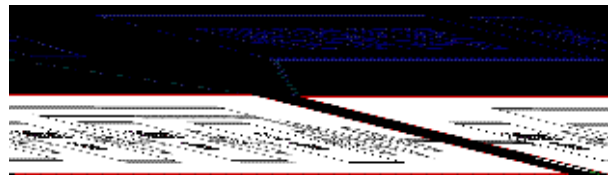


그림 2. 개별채널 처리방식의 다중화 블록도

개별채널 처리 알고리즘은 다중채널 신호처리를 하는 다른 알고리즘에 비해 연산이 간단하며 높은 주파수 해상도에도 적절한 대응을 할 수 있다. 그리고 복조와 재변조부를 이용한 채널 스위칭 방식이므로 각 부채널의 입력 IF주파수와 다른 출력 IF주파수를 할당할 때 부가적인 회로가 필요하지 않다.

1. CIC(cascaded integrator comb) 필터

CIC는 integrator와 comb필터로 이루어져 있으며 샘플링 주파수의 변화에 유연하게 대처할 수 있다[7].그림 3은 CIC 데시메이션의 블록도를 나타낸다.



그림 3. CIC 데시메이션의 블록도

Integrator는 1의 계수를 갖는단일 폴 IIR 필터로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$y[n]=y[n-1]+x[n] \quad (1)$$

식 (1)은accumulator로 알려져 있으며 이에 대한 전달함수는 평면에서 식 (2)와 같이 표현된다.

$$H_z = \frac{1}{1-z^{-1}} \quad (2)$$

높은 샘플링 주파수에서 동작하는 comb필터는 대칭되는 FIR필터 구조를 갖으며 다음의 식 (3)와 같이 표현된다.

$$y[n]=x[n]-x[n-RM] \quad (3)$$

식 (3)에서 M 은 데시메이션 비율이며 R 은 differential delay로 양의 정수를 나타내며 일반적으로는 1과 2로 제한된다. 그리고 comb필터의 전달함수는 z 평면에서 다음의 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$H_c=1-z^{-RM} \quad (4)$$

차수가 N인 CIC의 전달 함수는 식 (5)와 같게 표현되며 사각 인펄스 응답을 갖는 N차 FIR필터와 동일한 전달 함수를 갖는다.

$$H_z = H_i^N(z)H_c^N(z) = \frac{(1-z^{-RM})^N}{(1-z^{-1})^N} \quad (5)$$

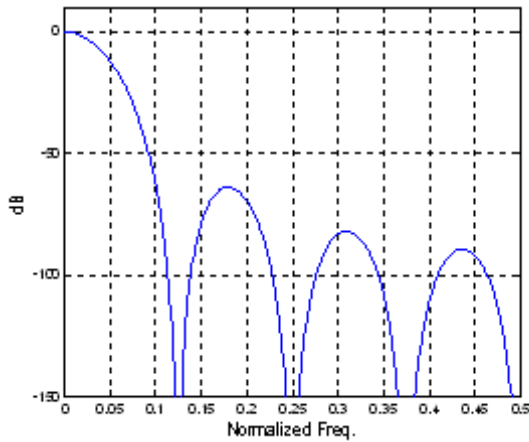


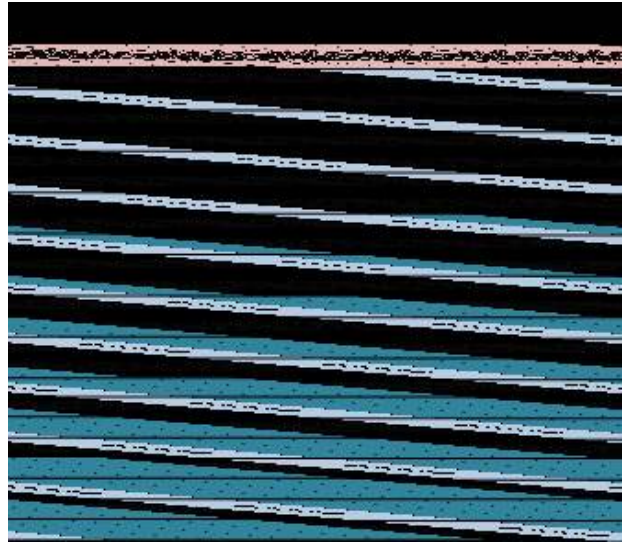
그림 4. M=8 CIC 데시메이션 주파수 응답

그림 4는 CIC의 차수 N은 5, 데시메이션 비율 R은 8, differential delay M은 1의 주파수 응답을 나타낸다. 위의 식 (5)에서 FIR필터의계수가 모두 1이고 대칭이기 때문에 CIC는 선형 위상 응답과일정한 값을 갖는 group delay를 갖는다.

2.. Halfband 필터

Halfband 필터는 디지털 신호 처리의 과정인 데시메이션과 인터폴레이션을 수행하는 필터이다. 데시메이션과 인터폴레이션을 수행한다는 점에서CIC와 공통점을 갖지만 데시메이션 비율과 인터폴레이션 비율이 2로 고정되어 있는 것이특징이다[8]. 표 1은Halfband 필터의 계수를 나타낸다.

표 1. Halfband 필터의계수



Halfband필터는 FIR필터이며식(6)을 통해 필터 계수의 약 반정도가 0으로 되어 있는 것을 알 수 있다.

$$h_{\pm 2} = h_{\pm 4} = h_{\pm 6} = \dots = h_{\pm(N-1)} = 0$$

$$h_0 = 2 \sum_{i=1}^N h_i, \quad H[e^{j(\pi-\omega)}] = H(0) - H(e^{j\omega}) \quad (6)$$

위의 식 (6)에서 $H(e^{j\omega})$ 는 $\sum_{i=-N}^N h_i e^{-j\omega i}$ 로 표현된다.

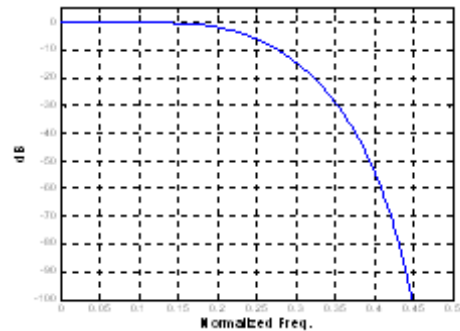


그림 5. Halfband 필터 3의 주파수 응답

그림 5는Halfband 필터 3의 주파수 응답을 나타낸다.

3. FIR low-pass 필터

Halfband 필터는 디지털 신호 처리의 과정인 데시메이션과 인터폴레이션을 수행하는 FIR low-pass필터는 다중 반송파에 대해 각 부채널의 필터링을 수행한다[9][10]. 개별채널 처리 알고리즘에서 CIC와 halfband 필터는 데시메이션을 수행하므로 FIR low-pass 필터의 필터링 정확도가 개별채널 처리 알고리즘의 성능을 좌우한다. FIR low-pass 아래의 식 (7)과 같이 표현되며 전달 함수는 식 (8)과 같이 정의할 수

있다.

$$y[n] = \sum_{k=0}^M b_k x[n-k] \tag{7}$$

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{k=0}^M b_k e^{-j\omega k} = \sum_{k=0}^M h[k] e^{-j\omega k} \tag{8}$$

FIR low-pass필터의 설계 시 고려 사항은 passband 주파수, stopband 주파수, SINR이 있다. FIRlow-pass필터는 FIR 필터이므로 설계 시 고려되는 사항에 의해 필터 계수의 차수가 결정된다.

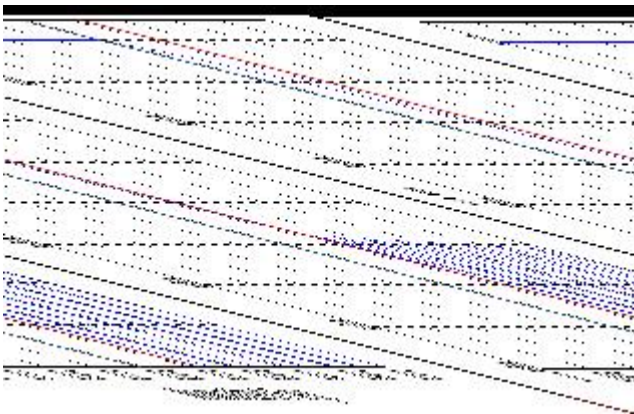


그림 6. FIR low-pass필터의 주파수 응답

그림 6은 passband 주파수 0.244, stopband 주파수 0.305, 필터 차수 36의 주파수 응답을 나타낸다.

4. 채널 대역 재할당

다중채널 신호처리 알고리즘은 부채널 단위의 주파수 대역 변환이 요구되기 때문에 각 부채널의 주파수 재할당 후, 왜곡 없이 출력 신호의 복원을 수행해야 한다. 채널 대역 재할당은 채널처리 알고리즘에 따라 주파수 변조나 matrix기법에 의해 수행된다. 제한한 개별채널 처리 알고리즘은 채널화와 역채널화 수행 후에 변조를 통해 채널 대역 재할당을 수행한다. 개별채널 처리 알고리즘은 다중 반송파 신호에 대하여 채널화 과정과 FIRlow-pass 필터의 필터링으로 각 부채널을 분리하기 때문에 부가적인 회로가 필요 없으며 역채널화 과정 후에 재변조를 통해 쉽게 각부채널의 입력 주파수 대역과 다른 출력 주파수 대역을 할당할 수 있다[11].

III. 전산모의실험 및 결과

본 절에서는 다중 반송파 신호의 역다중화와 다중화를 위해 개별채널처리 알고리즘을 적용한 전산모의 실험을 하였다. 전산모의 실험을 위한 개별채널 처리 알고리즘 입력 신호의 대역폭은 1MHz이며 guard band는 20%이다. CIC의 차수 N은 5, 데시메이션 비율 \downarrow 은 8, differential delay \uparrow 은 1이다. FIRlow-pass 필터 계수의 차수는 passband 주파수

0.4MHz, stopband 주파수 0.5MHz, SINR에 의해 36으로 결정된다. 그림 7은 다중채널의 입력 신호를 나타내며 그림8은 제안된 개별채널 처리 알고리즘의 역다중화 과정을 수행한 신호의 이론적인 주파수 응답을 나타낸다.

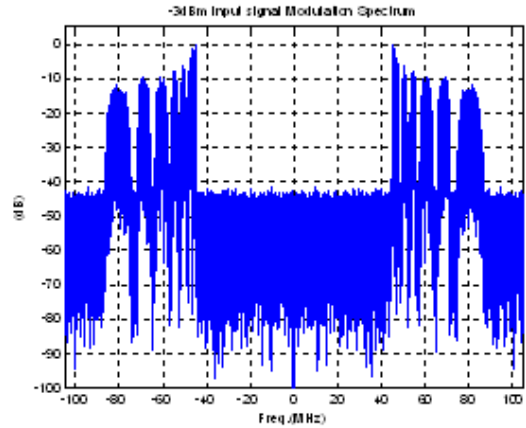


그림 7. 다중채널의 입력신호

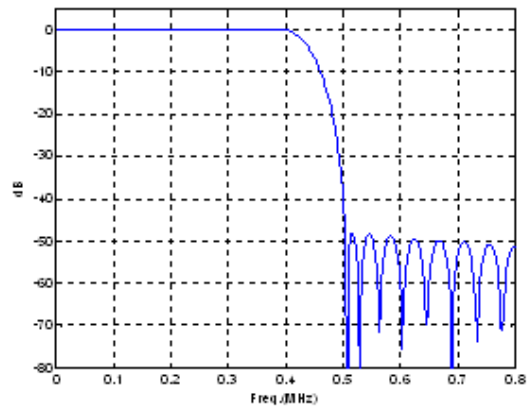


그림8. 이론적인 채널화 과정의 출력 신호

그림9는 전산모의실험을 한 FIR low-pass필터의 출력 신호이다. FIRlow-pass 필터의 계수는 passband 주파수 -0.4~0.4MHz내에서 SINR이 약 40dB정도를 만족하게 설계 되었으며 그림 8과 그림 9를 통해 FIR low-pass필터의 이론적인 출력 신호와 전산모의 실험 결과가 일치하는 것을 확인하였다.

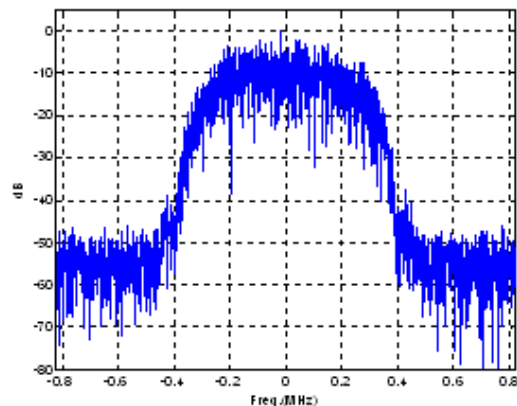


그림9. 역다중화 과정의 출력 신호

IV. 결 론

다중채널 시스템에 사용되고 있는 실시간 다중채널 신호처리는 디지털신호 처리부에서 수행되며 디지털 신호 처리부는 트래픽 채널의 역다중화와 다중화를 수행하는 중요한 기능을 한다. 트래픽채널의 데시메이션과 필터링, 인터플레이션의 디지털 채널 처리 과정을 수행하여 다른 샘플링 주파수를 갖는 각 부채널의 역다중화와 다중화를 수행한다. 역다중화와 다중화 수행 시 각 부채널의 간섭을 제거하고 부채널전력을 제어한다. 또한, 디지털 채널 처리부는 각 부채널의 입력 IF주파수와 다른 출력 IF주파수를 할당할 수도 있다.

다중채널 시스템에 분야에 적용할 수 있는 제안한 개별채널 처리 알고리즘은 다단 구조의 CIC(cascaded integrator combfilter)로 다단 데시메이션과 인터플레이션을 수행한다. 역다중화 시 CIC와 halfband필터를 통해 데시메이션을 수행하고 FIR low-pass필터로 부채널을 필터링한다. 그리고 다중화 시 halfband필터, CIC로 인터플레이션을 수행한다. 개별채널 처리 알고리즘은 디지털 채널 처리를 하는 다른 알고리즘에 비해 연산이 간단하며 높은 주파수 해상도에도 적절한 대응을 할 수 있다. 또한, 복조와 재변조부를 이용한 채널 스위칭 방식이므로 각 부채널의 입력 IF주파수와 다른 출력 IF주파수를 할당할 때 부가적인 회로가 불필요하다는 장점을 가지고 있다. 전산모의 실험을 통해 개별채널 처리 알고리즘의 역다중화와 역다중화가 완벽히 이루어짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Le Pera, F. Formi, M. Grossi, "Digital Transparent Processor for Satellite telecommunication Service," 2007 IEEE Aerospace Conference, pp. 1-9, March 2007.

[2] H. G. Gockler and B. Felbecker, "Digital onboard FDM demultiplexing without restrictions on channel allocation and bandwidth," 7th int. Workshop on Digital Sign. Processing Tech. for Space Comm., Oct., 2001.

[3] B.Arbesser-Rastburg, R. Bellini, F. Coromina, et al., "R&D directions for next generation broadband multimedia systems: an ESA perspective," In Proceedings of 20th AIAA International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit, Montreal, Quebec, Canada, May 2002.

[4] E. DelRe and L. Pierucci, "Next-generation mobile satellite networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No. 9, pp. 150-159, 2002.

[5] H. Johansson and P. Löwenborg. "Flexible frequency band reallocation networks based on

variable over sampled complex modulated filter banks." In Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Philadelphia, USA, March, 2005.

[6] E. B. Hogenauer, "An economical class of digital filters for decimation and interpolation," IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. 29, no. 2, pp. 155-162, April 1981.

[7] T. Saramaki and T. Ritonieni, "A modified Comb Filter Structure for Decimation," 1997 IEEE International-symposium on Circuits and Systems, pp. 2353-2356, Hong Kong, June 9-12, 1997.

[8] Cheng Shuiying; Chen Pengjv; Wu Chuanhua; "Configuration for the ten digital filters of HSP50214 (A/B)," Signal Processing Proceedings, 2000. WCCC-ICSP 2000. 5th International Conference, vol. 1, pp. 107-117, 21-25 Aug. 2000.

[9] L. R. Rabiner and R. E. Crochiere, "A novel implementation for narrow band FIR digital Tilters," IEEE Trans. Acoust.,Speech, Signal Processing, vol. ASSP-23, pp. 457-464, Oct. 1975.

[10] H. Samueli, "On the design of optimal equiripple FIR digital filters for data transmission applications," IEEE. Trans. Circuits Syst, vol. 2, pp. 97-100.

[11] G. Chiassarini and G. Gallinaro, "Frequency domain switching: algorithms, performances, implementation aspects," In Proceedings of the 7th Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications, Viareggio, Italy, September 1995.

저 자

유 재 호(Jaeho Yoo)

정회원



2008년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업
2008년 3월~현재 : 인하대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> 위성통신, MIMO, OFDM 시스템, LTE-Advanced

김 현 수(Hyeonsu Kim)

정회원



2008년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업
2008년 3월~현재 : 인하대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> 수중통신, MIMO, OFDM

시스템, LTE-Advanced

최 동 현(DonghyunChoi)

정회원



2009년 2월 : 인하대학교 전자공학과
졸업

2009년 3월~현재 : 인하대학교
전자공학과 석사과정

<관심분야> 수중통신, MIMO, OFDM
시스템, LTE-Advanced

정 재 학(Jaehak Chung)

정회원



1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과
졸업

1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과
석사

2000년 : University of Texas at
Austin 전기전산 박사

2000년~2001년 : post doctoral Fellow, University of
Texas at Austin

2001년~2005년 : 수석연구원, 삼성종합기술원

2005년~현재 : 부교수, 인하대학교

<관심분야> Cognitive Radio, 차세대 무선이동 통신,
UWB, MIMO-OFDM, Cross layer LTE-Advanced