

논문 2010-5-20

# 잡음에 강인한 셀 아이디 검출 및 SNR 추정 알고리즘

## Cell ID Detection and SNR Estimation Algorithms Robust to Noise

이중현, 배진호

Chong Hyun Lee, Jin Ho Bae

**요약** 본 논문에서는 이동 기지국 채널 환경에 적용될 수 있는 이동 기지국 Cell ID 검출 및 신호대잡음비 추정 알고리즘을 제안한다. 제안된 Cell ID 추정 알고리즘은, 부공간(Subspace)을 이용하여 이동 셀 내에서 사용 중인 Cell ID를 추정하는 알고리즘이다. 제안된 이동기지국 SNR 추정 알고리즘은 고유값과 잡음 부공간 수를 이용하여 SNR을 추정하는 알고리즘이다. 모의실험을 통하여 기존의 상관계수를 이용한 방법들과 제안된 알고리즘들을 비교한 결과 Cell ID 검출 및 신호대잡음비 추정 성능이 매우 우수함이 입증하였고, 배경 잡음 및 간섭 신호로 인한 열악한 고속 채널환경에서 제안된 알고리즘이 적합함을 보였다.

**Abstract** In this paper, we propose robust cell ID detection algorithm and SNR estimation algorithm applicable to mobile base station, which can be operated independently. The proposed cell ID estimation uses signal subspace to estimate cell IDs used in cell. The proposed SNR estimation algorithm uses number of noise subspace vectors and the corresponding eigen-vectors. Through the computer simulations, we showed that performance of the proposed cell ID detection and SNR estimation algorithms are superior to existing correlation based algorithms. Also we showed that the proposed algorithm is suitable to fast moving channel in high background noise and strong interference signal.

**Key Words :** Cell ID, SNR Detection and Estimation, Subspace, WiBro-Evolution

### 1. 서론

IEEE802.16.m에서 표준화가 진행되고 있는 WiBro-Evolution은 기존 WiBro(IEEE802.16e)에 대한 업그레이드 버전으로서 모바일 브로드밴드 시장을 목표로 삼고 있는 시스템이다. WiBro-Evolution을 이용하게 될 경우에는 기존의 WiBro에 비하여 전송용량 또는 채널용량의 개선이 이뤄짐과 동시에 시속 300km급의 고속이동성이 지원된다. 또한 이동통신시스템에서 등장하고 있는 안테나 기술, 네트워크 기술, IPv6기술 등 다양한 관련 핵심기술들이 기존의 WiBro에 첨가되어 효율성을 가짐으로 인해서 향후 새로운 모바일 브로드밴드 시장의 핵심기술

중의 하나로 자리매김 할 것으로 예상되고 있다. 기존 WiBro 시스템의 경우에는, 고정식 Cellular 형태의 기지국을 사용하며 이들은 백본망이 유선으로 연결되어 있으며 기지국을 설치 시 Cell Planning에 의해 고정된 Cell ID를 할당 받아 이동통신 서비스를 제공한다.

그러나 TICN망과 같이 기지국의 위치가 유동적인 환경에서는 기지국 자체가 이동하게 되므로 백본망과 통신을 무선으로 할 수 밖에 없으며, 간혹 이러한 무선신호도 끊어질 경우가 발생하여 기지국이 독립적으로 운용해야 할 경우도 발생한다. 또한 기지국 자체가 이동하게 되어 고정된 Cell ID를 사용할 수 없는 문제도 발생하게 된다. 그러므로 이동기지국의 초기 설정 과정에서 주변 기지국들이 사용하는 Cell ID를 검출하고 및 신호대잡음비(SNR) 검출과정을 수행하여 최적화된 주파수, Cell ID,

\*정회원, 제주대학교 해양시스템공학과  
접수일자 2010.9.10 수정일자 2010.10.6  
게재확정일자 2010.10.15

신호대간섭잡음비(SINR) 등의 파라미터를 설정하는 알고리즘 개발과 성능 검증 과정이 필요하다.

본 논문에서는 열악한 채널 상황에서 동작이 가능한 이동 기지국 수신 알고리즘들로서, 부 공간(Subspace) 추정을 이용한 알고리즘들이다. 제안된 Cell ID 추정 알고리즘은, 부공간을 이용하여 사용 중인 Cell ID를 추정하며, 제안된 이동기지국 SNR 추정 알고리즘은 고유값(eigenvalue)을 이용하여 SNR을 추정하게 된다. 본 논문에서 제안된 알고리즘들은 기존의 상관계수를 이용한 방법들 보다 그 성능이 매우 우수함을 보인다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 연구를 위한 배경 및 기존의 상관값 기반의 추정알고리즘을 소개한다. 제 3장에서는 제안된 알고리즘들이 서술된다. 제 4장에서는 제안된 알고리즘을 검증하기 위해 다양한 실험 결과가 제시되고 제 5장에서는 결론을 기술한다.

## II. 배경 및 기존의 알고리즘

WiBro 프레임은 길이가 5ms로 구성되어 있으며 처음 심볼은 프리엠블이 할당되어 있고 DL(Down Link)심볼이 그 다음에 할당되어 있다. 그림1과 같이 TTG 심볼이 UL(Up Link) 심볼과 구별되기 위해 삽입이 되어 있으며 RTG 심볼은 UL 심볼과 다음 프프임의 경계를 구분하기 위해 할당되어 있다. 프리엠블은 그림2와 같이 CP(Cyclic Prefix)와 반복된 세 개의 파형으로 구성되어 있다.

프리엠블은 매 3번째 부반송파에 할당되어 전송되고 나머지 2개의 반송파는 "0"이 할당되어 그림3과 그림4와 같이 시간 영역에서 반복 특성을 보이게 된다.

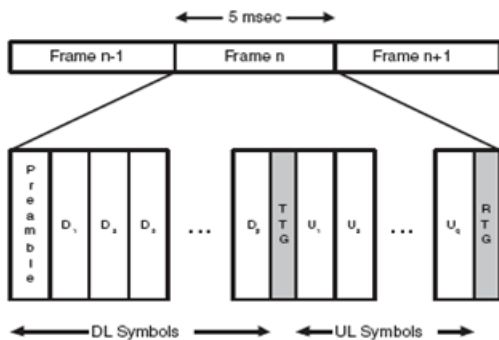


그림 1. WiBro의 프레임 구조  
Fig. 1. Structure of Wibro frame

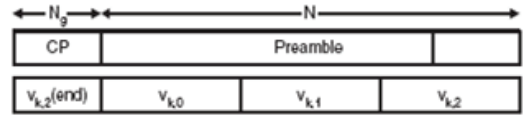


그림 2. 프리엠블 구조  
Fig. 2. Structure of preamble

프리엠블의 길이는 2의 배수 관계로 정확히 3개의 동일한 패턴이 반복되지 않는다. 그러나 상관함수 관점에서는 매우 유사한 반복 특성을 보이게 된다. 그림3과 4는 N=2048인 프리엠블 구조와 시간영역에서의 구조를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같은 반복 구조를 이용한 많은 검출 알고리즘이 많이 제안되었다.

173 zeros	851 subcarrier BPSP symbols on every 3 <sup>rd</sup> used carrier	DC	851 subcarrier BPSP symbols on every 3 <sup>rd</sup> used carrier	172 zeros
-----------	---	----	---	-----------

그림 3 주파수 영역에서의 프리엠블 구조  
Fig. 3. Structure of preamble in frequency domain

CP(L)	Block A (682)	0	Block B (682)	0	Block C (682)
-------	---------------	---	---------------	---	---------------

그림 4 시간영역에서의 프리엠블 구조  
Fig. 4. Structure of preamble in time domain

프리엠블을 이용하여 Cell ID를 검출하는 대표적인 알고리즘은 아래와 같다.

### 1. Schmidl 알고리즘[1]

이 방법은 OFDMA-TDD WiBro 시스템에 적용 가능하며 이 방법은 아래 식과 같이 반복되는 프리엠블과 입력 신호의 상관관계를 이용하여 동기 및 Cell ID를 추정하는 방법이다.

$$P_m = [A_m A_m A_m] \quad (1)$$

$$M_m(d) = \frac{|P_2(d)|^2}{R_2(d)^2} \quad (2)$$

여기서  $A_m$ 은 시간 영역에서의 반복되는 수열이고  $P_m$ 은 기본 WiBro 프리엠블의 구조이고  $P_2(d)$ 와  $R_2(d)$ 는 아래와 같다.

$$P_2(d) = \sum_{k=0}^{L-1} r^*(d+k)r(d+k + \frac{L}{2}) \quad (3)$$

$$R_2(d) = \sum_{k=0}^{L-1} \left| r(d+k + \frac{L}{2}) \right|^2 \quad (4)$$

### 2. Minn 알고리즘[2]

이 방법은 Schmidl 알고리즘[1]을 개선한 것으로 timing metric에 의한 불확실성을 제거하여 동기 추정 성능을 향상시킨 기법이다. 이 방법은 아래 식과 같이 반복되는 프리엠프와 입력 신호의 상관성을 이용하여 동기 및 Cell ID를 추정하는 것이다.

$$P_{Minn} = [M_{Minn} M_{Minn} - M_{Minn} - M_{Minn}] \quad (5)$$

동기 매트릭은 다음과 같이 주어진다.

$$M_{Minn}(d) = \frac{|P_2(d)|^2}{(R_2(d))^2} \quad (6)$$

여기서  $P_2(d)$ 와  $R_2(d)$ 는 아래와 같다.

$$P_2(d) = \sum_{m=0}^1 \sum_{k=0}^{N/4-1} r^*(d + \frac{N}{2}m+k)r(d + \frac{N}{2}m+k + \frac{N}{4}) \quad (7)$$

$$R_2(d) = \sum_{m=0}^1 \sum_{k=0}^{N/4-1} \left| r(d + \frac{N}{2}m+k + \frac{N}{4}) \right|^2 \quad (8)$$

### III. 부공간 기반 추정 알고리즘

본 장에서는 선형대수의 기법 중 부공간을 이용하여 Cell ID 및 SNR을 추정하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 SNR과 SINR이 열악한 채널환경에서 효과적으로 파라미터들을 검출하는데 적합하다. 또한, 상황에 따라 데이터 블록의 크기를 임의로 조절 가능하며, 주 고유 벡터 추출을 위한 다양한 알고리즘을 적용할 수 있기 때문에, 입력 신호의 특성에 적합한 알고리즘 선택할

수 있어 계산량을 조절할 수 있는 장점이 있으며 EVD(Eigenvalue Decomposition), SVD(Singular value Decomposition), QRD(QR Decomposition), 방식 등과 같은 다양한 고속 블록 데이터 신호처리 알고리즘을 적용할 수 있어 DSP 칩을 이용하여 효율적으로 알고리즘을 구현할 수 있다. 또한, 배경잡음에 따른 문턱치를 상황에 맞게 조절함으로써 신호 검출확률 및 신호 미검출(Miss) 확률을 선택할 수 있는 장점이 있다.

### 1. Cell ID 추정 알고리즘

제안된 cell ID 추정 알고리즘의 전단은 신호를 일정 길이로 수집하는 프레임단위 신호 수집부로 구성되어 있다. 수집된 신호를 벡터로 구성하고 구성된 벡터로부터 누적벡터를 생성하며 누적 벡터를 행렬로 구성하는 누적 벡터 및 행렬 생성부, 생성된 행렬에서 가장 우세한 고유 벡터를 추출하는 주 고유 벡터(principal eigen-vector) 추출부, 수집된 신호를 이용하여 Cell ID 검출에 사용될 문턱치(Threshold)를 계산하는 문턱치 계산부, 주 고유 벡터와의 상관 값을 계산하기 위해 사전에 기준신호 행렬을 저장하고 있는 기준 신호 행렬부, 주 고유벡터 추출부에서 생성된 벡터와 기준 신호 행렬과의 상관 값을 계산하는 상관벡터계산부, 상관벡터계산부에서 계산된 상관 값을 이용하여 Cell ID를 검출하는 Cell ID 검출부로 구성되어 있다. 전반적인 알고리즘 블록도는 그림5와 같다.

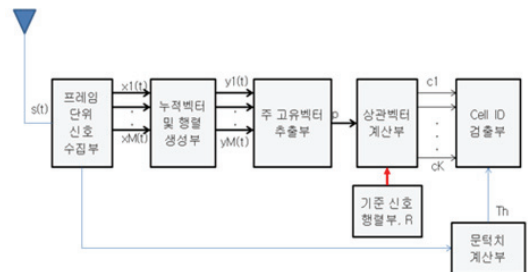


그림 5. Cell ID 추정 알고리즘 블록도  
Fig. 5. Block diagram of Cell ID estimation

프레임단위 신호 수집부는 입력 신호 s(t)를 수신한 후 프레임단위의 신호 벡터  $\mathbf{x}_i, i=1, \dots, M$ 을 누적한다. 누적 벡터 및 행렬 생성부는 프레임단위 신호 벡터를 이용하여 새로운 누적 벡터,  $\mathbf{x}_i, i=1, \dots, M$ 과 누적 행렬,  $\mathbf{Y}$ 를 구하는 과정이며 아래 식 (9), (10) (11)을 통해 얻어진다.

$$y_1 = x_1 \quad (9)$$

$$y_i = y_{i-1} + x_i, i = 2, \dots, M \quad (10)$$

$$Y = [y_1 y_2 \dots y_M] \quad (11)$$

여기서 M은 프레임 수를 의미한다.

주 고유 벡터 추출 부는 프레임단위 신호 수집부의 출력 행렬에 대하여 행렬분해를 수행하고 주 고유벡터를 추출한다. 이때 다양한 알고리즘 적용이 가능하며 식 (12)는 SVD를 이용한 과정이다.

$$[USV] = SVD(Y) \quad (12)$$

$$p = SVD(U(:,1)) \quad (13)$$

여기서 p는 추출된 주 좌측 고유벡터를 의미한다.

기준 신호 행렬부는 전송된 신호에 대한 사전 정보 행렬로 다음과 같은 식 (14)로 표현된다. 이 행렬은 신호 검출을 위한 기준 행렬로 사용된다.

$$R = [r_1 r_2 \dots r_K] \quad (14)$$

여기서 K는 검출할 신호의 수를 의미한다.

상관벡터계산부는 주 고유 벡터 추출부의 출력 벡터 p와 기준 신호 행렬 R과의 상관관계를 계산하는 부분으로 아래의 식 (15)로 표현되며 벡터 c를 출력한다.

$$c = [c_1 c_2 \dots c_K] = p^T R \quad (15)$$

여기서 T는 전치행렬을 의미한다.

Cell ID 검출부는, 상관벡터계산부출력 신호 c를 문턱치와 비교하여 Cell ID를 검출하는 부분으로 식 (16)과 같이 표현되며 검출된 Cell ID 인덱스를 출력한다.

$$\text{if } c_i > Th, i=1, \dots, K, i\text{번째 신호검출} \quad (16)$$

여기서 Th는 검출을 위한 문턱치를 의미한다.

문턱치 계산부는 신호 검출을 위한 문턱치를 산출하는 부분으로 다양한 계산 방법이 가능하며 일례로 식 (17)과 같이 표현할 수 있다.

$$Th = \alpha |s(t)|^2 \quad (17)$$

여기서 α는 선택 가능한 가변 상수이고, |s(t)|<sup>2</sup>은 수신 신호 전력을 의미한다.

## 2. SNR 추정 알고리즘

제안된 부공간에 기반한 SNR 추정 알고리즘의 전단은 이전 절의 프레임단위 신호 수집부, 누적벡터 및 행렬 생성부, 고유 값 추출부, 신호수집부에서 누적 벡터 수를 이용하여 SNR 추정에 사용될 고유 값의 총수를 계산하는 고유값 계수부, 고유값 계수부에서 계산된 값을 이용하여 SNR을 검출하는 SNR 계산부로 구성되어 있다. 전반적인 알고리즘 블록은 그림6과 같다.

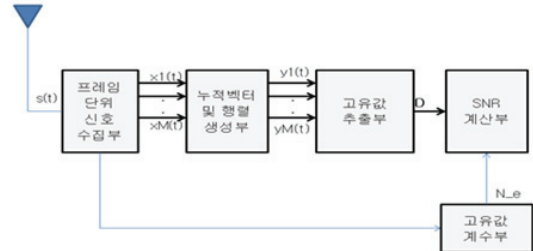


그림 6. SNR 추정 알고리즘 블록도  
Fig. 6. Block diagram of SNR estimation

제안된 알고리즘에서 고유값 추출부까지의 과정은 3.1 절의 과정과 동일하다. 고유값 계수부는 입력 신호벡터의 수를 이용하여 평균 고유값을 계산에 사용되는 잡음 부 공간에 해당되는 고유 벡터의 수를 판정하는 부분이다. 이 부분은 입력 신호벡터의 수에 따라 가변하며 사전 실험에 의해 결정될 수 있다.

SNR 계산부는, 고유값 계수부의 출력 즉, 평균을 산출에 필요한 잡음 부공간에 해당되는 고유값의 수와 아래의 식을 이용하여 (18)을 이용하여 SNR을 계산한다.

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{\sigma^2(TX_{sig})}{\text{mean}(e(1:N_e))} \right) \quad (18)$$

여기서  $\sigma^2(TX_{sig})$ 는 전송된 프리엠블의 전력을 의미하고,  $mean(\cdot)$ 은 평균을 의미한다. 또한  $\mathbf{e}$ 는 고유값 벡터이며  $N_e$ 는 고유값 계수부에서 얻어진 고유값의 총수를 의미한다.

#### IV. 실험결과

본 절에서는 아래 그림과 같이 단일 경로 신호가 동일한 타이밍에 수신된 채널상황에서의 실험결과를 소개한다. 모의실험에서 사용된 파라미터는 아래와 같다.

- (1) 부채널 수: 1024.      (2) Cell ID 수 : 101.
- (3) 사용중인 cell ID: 1, 2    (4) 누적 프레임 수: 100

그림7은 프리엠블 코드와 부반송과 할당된 IFFT 변환되어 전송신호로 측정된 신호 전력은 각각 3.4956dB와 -27.0965dB 이다.

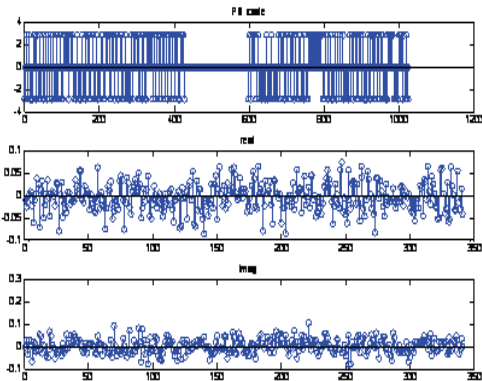


그림 7 프리엠블과 IFFT된 전송신호  
Fig. 7. Preamble and transmitted IFFT signal

상기 전송신호에 잡음이 부가되어 SNR=-40dB인 AWGN 채널에서의 송신 및 수신 결과형은 그림8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 잡음에 의한 매우 열악한 채널상황임을 알 수 있다.

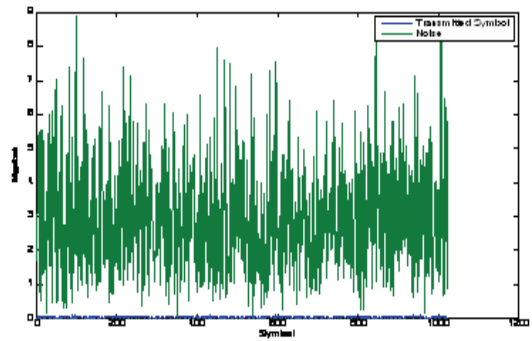


그림 8. 송신 및 수신 신호  
Fig. 8. Transmitted and received signals

위와 같은 상황에서 제안된 cell ID 추정 알고리즘을 사용하여 파라미터를 추정한 결과가 아래 그림과 같다. 이때 사용된 문턱치는  $Th=0.14$ 이다.

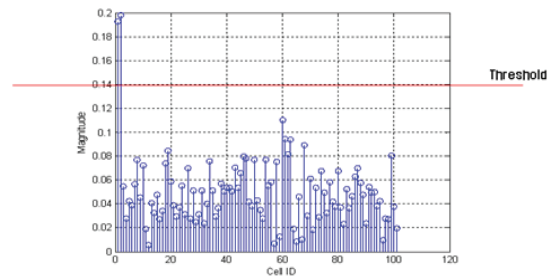


그림 9 제안된 알고리즘을 이용한 Cell ID 검출 결과  
Fig. 9. Cell ID detection result using the proposed algorithm

다음 그림은 기존의 Schmidl 알고리즘과 단순 상관치를 사용하였을 경우의 결과이다. 위의 실험 결과를 비교하면 열악한 환경에서 제안된 알고리즘이 매우 안정적으로 cell ID 를 검출할 수 있음을 알 수 있다.

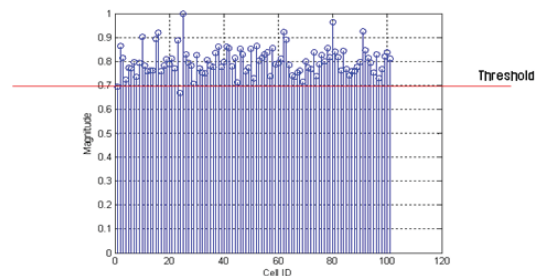


그림 10 Schmidl 알고리즘을 이용한 Cell ID 추정결과  
Fig. 10. Cell ID estimation result using Schmidl algorithm

다음은 제안된 SNR추정 알고리즘 실험결과이다. 실험에서 사용된 파라미터는 이전과 동일하다. 우선, SNR 변화에 따른 고유값의 수를 파악하기 위하여 SNR을 0dB에서 -40dB까지 변화하여 기준 SNR과 제안된 알고리즘에서 필요한 고유치 벡터의 수를 비교하여 그 결과를 아래 그림에 도시하였다. 사용된 프레임의 수는 50이다.

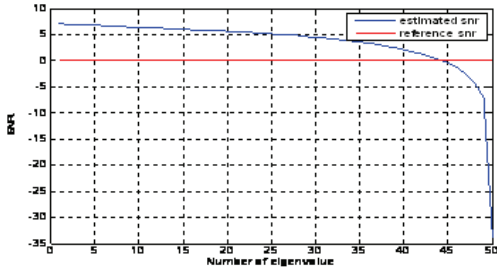


그림 11. 고유치 수 추정 결과 (SNR=-10dB)  
Fig 11. Eigen-value Estimation result

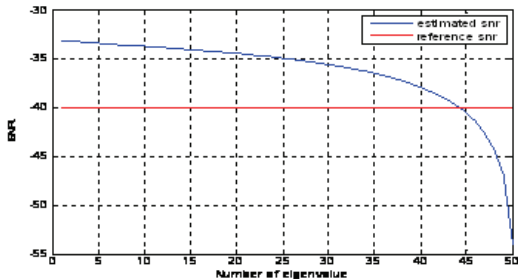


그림 12. 고유치 수 추정 결과 (SNR=-40dB)  
Fig 12. Result of eigen-vector number estimation

위 그림 11과 12 실험 결과로부터 SNR 계산을 위한 고유값의 수는 아래의 식과 언어짐을 알 수 있다.

$$N_e = N - 6 * (N / \text{mod}(50)) \quad (19)$$

여기서 N은 50의 배수인 프레임 수이다.

이 계산식을 이용하여 N=100,  $N_e=88$ 을 이용하여 제안된 알고리즘을 이용하여 SNR 추정한 결과가 아래의 표와 같다. 제안된 알고리즘을 이용하면 매우 정확하게 SNR을 예측할 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 제안된 알고리즘을 이용한 SNR 추정 결과

Table 1. SNR estimation result using the proposed algorithm

S N R (dB)	0	-10	-20	-30	-40
SNR 추정치	-0.092	-10.077	-19.79	-29.78	-40.05

#### IV. 결론

본 논문에서는 독립적인 기지국 운용이 발생하는 이동 기지국 채널 환경하에서의 적용될 수 있는 이동 기지국 수신 신호 분석 및 파라미터 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 Cell ID 추정 알고리즘은, 부공간을 이용하여 사용 중인 Cell ID를 추정하는 알고리즘이다. 제안된 이동기지국 SNR 추정 알고리즘은 고유값과 잡음 부공간 갯수를 이용하여 SNR을 추정하는 알고리즘이다. 모의실험을 통해 제안된 알고리즘들이 기존의 상관계수를 이용한 알고리즘들 보다 파라미터 검출 및 추정 성능이 매우 우수함이 입증하였다. 따라서 배경 잡음 및 간섭 신호로 인한 열악한 고속 채널환경에서 제안된 알고리즘이 유용하게 사용될 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] T.M.Schmidl and D.C. Cox., "Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM", *IEEE Trans. Comm.* vol 45, pp. 1613-1621, Dec. 1997
- [2] H.Minn, M.Zeng, and V.K.Bhargava, "On Timing Offset Estimation for OFDM System", *IEEE Comm Letters.* vol 4, pp. 242-244, July. 2000
- [3] G. Strang, *Linear Algebra and Its Applications.* Academic Press, 1980.
- [4] G. Stewart, "An updating algorithm for subspace tracking," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-40, pp. 1535 - 1541, June 1992.
- [5] G. H. Golub and C. F. Van Loan, *Matrix Computations.* Johns Hopkins University Press, 1989.

※ 이 연구과제는 국토해양부가 지원하는 2010년 제주씨그랜트사업단의 연구비로 수행되었다

### 저자 소개

#### 이 종 현(정회원)



- 1985년 한양대학교 전자공학과 공학사
- 1987년 Michigan Technological University 공학석사
- 2002년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
- 1990년~1995년 학국전자통신연구원

선임연구원

- 2000년~2002년 (주) KM Telecom 연구소장
- 2003년 3월~2006년 1월 서경대학교 전자공학과 전임강사
- 2006년 3월 ~ 현재 제주대학교 해양과학대학 해양시스템공학과 부교수

<주관심분야 : 통계학적 신호처리, 적응 배열 시스템, 수중/이동통신 시스템, 디지털 TV, UWB 전송기술>

#### 배 진 호(정회원)



- 1993년 아주대학교 전자공학과 공학사
- 1996년 KAIST 정보통신공학과 공학석사
- 2001년 KAIST 전자전산학과 공학박사
- 2002년 10월 ~ 현재 제주대학교 해양과학대학 해양시스템공학과 부교수

<주관심분야 : 광신호처리 및 통신, 레이다 및 소나 신호처리, 항해 시스템>