

특이값 분해를 이용한 효율적인 백색가우시안 잡음대역 선정 방법

정희원 신 승 민*, 종신회원 김 영 수*, 정희원 김 상 태**, 석 미 경**

An Effective Selection of white Gaussian Noise Sub-band using Singular Value Decomposition

Seung-min Shin* *Regular Member*, Young-soo Kim* *Lifelong Member*,
Sang-tae Kim**, Mi-kyung Suk** *Regular Members*

요 약

배경잡음 측정은 전파환경 조사 및 주파수 점유율의 비교기준인 임계레벨을 산출하는데 반드시 수행되어야 하는 매우 중요한 과정이다. 배경잡음 측정은 측정대상 대역에서 가급적 잡음만으로 구성된 부대역을 선정하고, 선정된 표본 부대역에 대하여 잡음전력을 측정하여 대상대역에 대한 대표값으로 사용하는 과정으로 이루어 진다. 본 논문에서는 배경잡음으로 백색가우시안 잡음을 가정하고, 잡음 측정의 첫 번째 단계에서 신호가 적고 대부분 잡음으로만 구성된 대역을 선별하는데 적용될 수 있는 특이값 분해 (singular value decomposition, SVD)를 이용한 잡음대역 선정 방법을 제안한다. 기존에 널리 쓰여지는 방법인 신호강도확률분포 (amplitude probability distribution, APD) 방법과의 성능비교를 통하여 우수성을 확인하였다.

Key Words : noise measurement, WGN, SVD, spectrum occupancy, APD

ABSTRACT

Measurement of the background radio noise is very important process being used in survey of radio noise environment, calculating the threshold level for the frequency occupancy measurement and so forth. First step of background radio noise measurement is to select the sample sub-band which is mostly dominated by the background white Gaussian noise (WGN) within the target band. The second step is to carry out the main measurement of radio noise on this selected sample sub-band for the representative value of the noise power. In this paper, a method for selection of sample sub-band for the effective background radio noise measurement using SVD is proposed under the assumption that background radio noise is WGN. The performance of the proposed method is compared with that of the APD method which is widely used for the same purpose. Simulation results are shown to demonstrate the high performance of the proposed method in comparison with the existing APD method.

I. 서 론

무선 주파수 대역의 재정비는 현대의 급속히 증

가하는 무선통신의 이용량을 고려해 볼 때 필수불가결한 사항이다. 2006년부터는 주파수 회수, 재배치에 관한 법률이 제정되어 실행되면서 실사용하는

※ 본 연구는 2003년도 경희대학교 지원에 의한 결과임

* 경희대학교 전자·전파공학과 무선통신시스템 연구실 (yskim@khu.ac.kr, sm706@khu.ac.kr),

** 한국전자통신연구원 전파신호처리 연구실 (stkim@etri.re.kr, mksuk@etri.re.kr)

논문번호: KICS2008-09-393, 접수일자: 2008년 9월 5일, 최종논문접수일자: 2008년 12월 6일

주파수채널에 대한 합리적인 할당에 가속화가 이루어지고 있다. 이러한 주파수 회수, 재배치 개념에 대한 구체적 과정은 현재 무선채널 상황을 정확하게 조사하는 것에서부터 시작한다. 기타 행정적 간섭조사와 연계하여 현재 무선채널에 대한 직접적인 사용을 나타내는 주파수 점유율에 관한 측정은 무엇보다도 중요하다. 주파수 점유율이란 어떠한 임계 레벨에 대하여 수신신호의 전력을 비교하여 신호전력이 임계레벨을 넘어서면 점유된 것으로, 또한 그렇지 않은 경우에는 점유되지 않은 것으로 간주하여 전체 관측 시간에 대한 점유시간 비율을 나타낸 지표이다^{[9][10]}. 정의에서 말해주듯이 효과적인 주파수 점유율 측정을 위하여는 임계레벨이 중요한 역할을 하는데, 이러한 임계레벨은 측정 당시의 환경을 반영하는 값으로 전파 잡음전력 측정을 통하여 결정된다^[11]. 하지만, 잡음의 시간과 공간에 따라 변하는 랜덤 성질 때문에 정확한 전력값을 측정하는 것은 매우 어려운 과제이다.

전파 배경잡음의 종류에는 크게 열잡음 등에 의한 백색가우시안 잡음과 번개나 인공잡음 (man-made noise)에 의한 임펄스 잡음 (impulsive noise) 등이 있다^[13]. 본 논문에서는 이러한 잡음 종류 중에서 보다 일반적 원인에 의한 백색가우시안 잡음에 대하여 초점을 맞추어 기술한다.

배경잡음전력의 측정은 크게 두 가지 단계로 구성된다. 먼저, 대상 주파수 대역에 대하여 신호원이 적으면서 대부분 잡음만이 존재하는 표본 부대역을 선정한다. 그 이유는 주파수 변화에 따른 잡음전력의 변화는 측정대역내에서 비교적 크지 않기 때문에 표본으로 선택된 부대역의 측정값을 전체 대상 대역에 대하여 대표값으로 쓰기 위함이다^[3]. 두번째 단계로, 선정된 대역에 대하여 잡음전력을 측정한다. 이때, 첫 번째 단계에서 백색가우시안 잡음만이 존재할 가능성이 있는 부대역을 선정하는 일은 두 번째 단계에서 진행되는 잡음전력 측정 결과의 정확성에 큰 영향을 주는 중요한 기초작업이다.

잡음전력 측정에 있어서 적절한 부대역을 선정하기 위한 여러 연구가 있었으며 그중 대표적인 방법은 신호강도확률분포를 이용하는 방법이다. 신호강도 확률분포 그래프는 가우시안 잡음에 대해서는 37% 지점을 읽음으로써 평균 잡음전력까지 쉽게 구할 수 있는 장점이 있지만^[1], 직선패턴으로 가우시안 특징을 판별하는 방법은 작은 신호의 혼재 상황에서는 눈으로만 판별하는데 한계가 있을 수 있다. 따라서, 본 논문은 이러한 신호강도확률분포 이용방법의 한

계를 극복하는, 보다 분석적이고 객관적인 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 무선 배경잡음의 백색가우시안 특성을 추출하여 표본 부대역을 효과적으로 선정하는 방법으로써, 자기상관행렬의 특이값 분해 기법을 이용한 선형대수학적 측정지표를 개발하였다. 기존의 직관적 관찰, 또는 단순한 전력레벨 비교에 비하여 다소 계산량이 증가하지만, 현대의 프로세서 기술은 이러한 신호처리기법을 실시간으로 구현하는데 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

본 논문에서 제안하는 방법이 실제 환경에 적용되었을 때의 타당성을 입증하기 위하여 제안된 방법을 실환경 측정에 적용하여 그 효용성을 검증하였다. 실환경 측정은 IV장에 설명하는 계측장비를 이용하여 측정되었으며, 비교적 안정된 스펙트럼 변화를 보이는 환경인 V/UHF 대역에서 수행되었다. 실환경 측정 실험을 통하여 전력레벨이 낮은 신호의 존재 상황에서도 신호강도확률분포 이용방법 보다 효과적인 판별 성능을 가짐을 증명하였다.

본 논문은 II장에 기존의 백색가우시안 배경잡음을 판별하는 방법인 신호강도확률분포 이용방법에 대하여 설명하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 백색가우시안 배경잡음 특성추출에 기반한 표본 부대역 선정 방법에 대하여 기술한다. IV장에서는 시뮬레이션 및 실환경 측정에 쓰인 잡음전력레벨 측정시스템을 소개하고, V장에서 제안된 방법을 적용한 실험에 대한 결과와 분석을 기술한 후 VI장에서 결론을 정리하였다.

II. 신호강도확률분포 그래프

전파 배경잡음은 크게 임펄스 잡음과 백색가우시안 잡음으로 구분하는데, 기본이 되는 경우가 백색가우시안 잡음이다. 배경잡음은 여러 잡음원이 더해져 나타나는 결과값으로서 주된 원인은 열잡음에 기인한다. 열잡음은 모든 시스템에 존재하는 잡음으로서 백색가우시안 분포를 따르고, 중심극한정리에 의하여도 가우시안 분포로 모델링할 수 있으므로 백색가우시안 특성은 배경잡음에 대한 대표적인 특징이라 할 수 있다.

이러한 백색가우시안 잡음의 특징을 이용하여 잡음을 구분하는 방법 중 대표적인 방법이 신호강도 확률분포 그래프의 패턴을 이용하는 방법이다^[1].

잡음의 평균전력은 다음과 같이 정의된다.

$$w_0 = E \{w\} \quad (1)$$

여기서, w 는 잡음의 순간전력을 나타내고, $E\{\cdot\}$ 는 기대값을 의미한다.

전파 배경잡음은 위에 언급한대로 백색가우시안 특성을 이용하여 다음과 같은 확률밀도함수 (probability density function, PDF)로 표현할 수 있다.

$$p(w) = \frac{1}{w_0} e^{-\frac{w}{w_0}} \quad (2)$$

무선공학에서는 다음식에서 보이는 신호강도확률분포함수를 많이 이용하는데, 특정값 이상의 누적을 취하는 형태가 된다.

$$A(w) = P(W > w) = \int_w^{\infty} p(W) dW \quad (3)$$

백색가우시안 잡음에 대한 표현식 식(2)을 식(3)에 대입하여 정리하면 식(4)와 같은 백색가우시안 잡음의 신호강도확률함수가 된다.

$$A(w) = e^{-\frac{w}{w_0}} \quad (4)$$

이때, 순간전력 w 와 평균전력 w_0 가 같아지는 경우 즉, $w = w_0$ 인 경우의 신호강도확률분포의 값은 다음과 같다.

$$A(w_0) = e^{-1} \approx 0.368 \quad (5)$$

신호강도확률분포 그래프는 그림 1에서 보여지는 바와 같이 가로축을 레일리 스케일로하여 가우시안 특성을 가진 신호가 직선으로 나타나도록 한 그래프이다^[2]. 직선 패턴을 관찰하는 것만으로도 쉽게 수신 신호의 가우시안 성분을 파악할 수 있고, 앞쪽에 높게 솟은 부분은 임펄스성 신호가 있음을 알려준다. 또한, 순수 가우시안 잡음에 대해서는 식(5)에서와 같이 약 37%되는 지점의 값이 평균전력이 된다^[1].

신호강도확률분포 방법은 그래프의 패턴으로 특성을 한눈에 알 수 있다는 장점이 있는 반면 동시에 같은 내용이 치명적 단점으로 작용한다. 다시말해서, 특성을 관찰하는 것이 그래프를 눈으로만 확인하는 것이어서 보는 이의 주관에 따라 판단의 오차가 있을 수 있다는 단점이 있다. 신호전력이 크고 특성이 확실한 경우에는 패턴이 명백히 구별이 되지만, 신호전력이 작은 미약신호가 잡음사이에 포함되어 있다면, 그래프의 직선패턴이 확실히 구별되지 않아 눈으로만 판별하는 데에 한계가 있다.

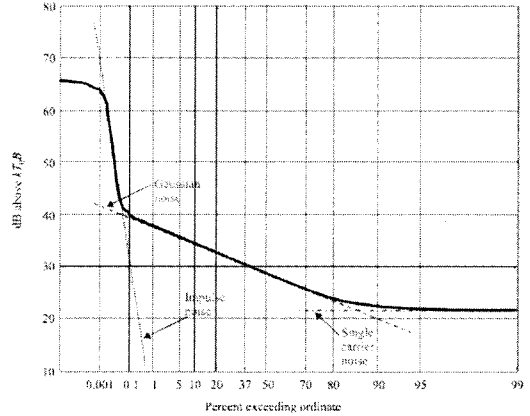


그림 1. 신호강도확률분포 그래프

III. 자기상관행렬을 이용한 잡음대역 선정

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 기본원리는, 잡음 이외의 신호가 존재하는 경우에 자기상관행렬의 계수 (rank)와 고유값분포가 변경될 수 있다는 성질을 이용하는 것이다. 다시 말해서, 잡음만 존재하는 경우에는 이론적으로 자기상관행렬의 모든 고유값이 같지만, 신호가 존재하는 경우에는 특정 고유값이 큰 값을 갖기 때문에 신호존재여부를 판단하는 척도로 이러한 특성을 이용한다.

3.1 고유값-고유벡터 분석

우선 자기상관행렬의 고유값특성을 알아보기 위하여, 자기상관시퀀스를 이용한 고유값-고유벡터 분석을 살펴본다.

M 개의 복소정현파로 구성되어 있는 신호의 자기상관시퀀스 (autocorrelation sequence, ACS)의 일반식은 다음과 같이 표현된다.

$$r_{xx}(k) = \sum_{i=1}^M P_i e^{j2\pi f_i k T} + \sigma^2 \delta(k) \quad (6)$$

여기서, P_i 와 f_i 는 각각 i 번째 신호의 전력과 주파수를 의미하고, σ^2 는 백색 가우시안 잡음의 평균전력을 나타낸다.

$(p+1) \times (p+1)$ 크기를 갖는 p 차 토플리츠 (Toeplitz) 자기상관행렬 R_x 는

$$R_x = \begin{bmatrix} r_{xx}(0) & r_{xx}^*(1) & \dots & r_{xx}^*(p) \\ r_{xx}(1) & r_{xx}(0) & \dots & r_{xx}^*(p-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{xx}(p) & r_{xx}(p-1) & \dots & r_{xx}(0) \end{bmatrix} \quad (7)$$

이며, 백색잡음에 섞인 복소정현파의 경우에 R_x 는 신호자기상관행렬 S_x 와 잡음자기상관행렬 W_x 의 합으로 표현될 수 있다.

$$R_x = S_x + W_x = \sum_{i=1}^M P_i s_i s_i^H + \sigma^2 I \quad (8)$$

여기서, S_x , W_x 와 단위행렬 I 는 $(p+1) \times (p+1)$ 크기를 갖고, s_i 는 $(p+1)$ 차원의 열벡터로서 M 개 신호에 대한 신호벡터를 나타낸다.

$$s_i = [1 \exp(j2\pi f_i T) \dots \exp(j2\pi f_i pT)]$$

여기서, $[\]'$ 는 전치연산자 (transpose operator)를 나타낸다.

자기상관행렬의 차수 p 가 신호개수 M 보다 크면, 신호 행렬 S_x 는 계수 M 을 갖는데, 이유는 s_i 가 직교벡터이고, 외적 (outer product) $s_i s_i^H$ 가 계수 1인 행렬이기 때문이다. 잡음 행렬 W_x 는 최대계수 (full rank)인 $(p+1)$ 을 갖는다.

식(8)에 표시된 신호행렬 S_x 는 에르미티안 (Hermitian)이고 반양정치 (positive semidefinite) 행렬로서 다음과 같이 고유값-고유벡터 분해 (Eigen-decomposition)가 가능하다.

$$S_x v_i = \lambda_i v_i, \quad i=1, 2, \dots, p+1 \quad (9)$$

S_x 를 행렬로 다시 표현하면 다음의 식(10)과 같이 쓸 수 있다.

$$S_x [v_1 \dots v_{p+1}] = [v_1 \dots v_{p+1}] \text{diag} [\lambda_1, \dots, \lambda_M, \underbrace{0, \dots, 0}_{(p+1-M) \text{ 및}}] \quad (10)$$

$$S_x V = V \Lambda$$

여기서, V 는 직교행렬로서 $V^H V = V V^H = I$ (H 는 복소전치연산자를 의미한다.) 성질을 가지며, 고유값 λ_i 는 내림차순 (decreasing order)을 갖는다.

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_M \geq \lambda_{M+1} = \dots = \lambda_{p+1} = 0$$

양변에 V^H 를 뒀쪽곱 (post-multiply)하면 다음식과 같다.

$$S_x = V \Lambda V^H = \sum_{i=1}^{p+1} \lambda_i v_i v_i^H = \sum_{i=1}^M \lambda_i v_i v_i^H \quad (11)$$

S_x 는 계수 M 을 가지므로 Λ 의 M 개의 큰 고유값은 0보다 크고 $(p+1-M)$ 개의 고유값은 0을 갖는다.

잡음행렬 W_x 는 직교 고유벡터를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$W_x = \sigma^2 I = \sigma^2 V V^H = \sum_{i=1}^{p+1} \sigma^2 v_i v_i^H \quad (12)$$

식(11)과 식(12)로부터 자기상관행렬 R_x 는 다음과 같이 주어진다.

$$R_x = S_x + W_x = \sum_{i=1}^M (\lambda_i + \sigma^2) v_i v_i^H + \sum_{i=M+1}^{p+1} \sigma^2 v_i v_i^H \quad (13)$$

식(13)을 행렬로 다시 표현하면 다음 식(14)와 같다.

$$R_x = V \begin{bmatrix} \lambda_1 + \sigma^2 & & & & 0 \\ & \ddots & & & \\ & & \lambda_M + \sigma^2 & & \\ & & & \sigma^2 & \\ 0 & & & & \ddots \\ & & & & & \sigma^2 \end{bmatrix} V^H \quad (14)$$

식(14)에서 잡음이 없는 경우에는 행렬 Λ 가 계수 M 을 갖고 잡음이 존재하는 경우에는 최대계수를 갖는다. 신호가 섞인 잡음인 경우의 자기상관행렬의 고유값 분포를 보면 M 개의 큰 고유값과 $(p+1-M)$ 개의 작은 고유값을 갖는다^{[6][8][12]}.

3.2 특이값 분해 (SVD)를 이용한 신호/잡음대역 판단 파라미터 설계

대부분의 문제에서 측정된 신호 성분에 대해서 암시적이거나 혹은 정확한 선형모델이 존재한다. 확정 신호모델인 경우에 측정값의 평균은 선형 모델을 갖고, 랜덤 프로세스인 경우에 공분산이 선형모델을 갖는다. 측정신호로부터 간섭을 추출하는 기법들은 결과적으로 측정값의 이차식 (quadratic) 형태 혹은 선형변환이다. 이러한 선형모델을 기반으로 하여 잡음 및 간섭을 추출하는 이론에서 SVD가 매우 중요한 역할로 작용하고 있다. 그 이유는 크게 3가지로 분류될 수 있다. (i) 신호가 잡음으로 섞여 있고, 신호행렬이 선형모델로 구성되어지는 경우에 측정행렬을 낮은 차수의 행렬로 근사화하는데 적절한 분해 도구이고, (ii) SVD는 주요 부공간과, 덜 지배적인 부공간으로 분리시키는데 유용한 도구이다. 즉 측정행렬을 어떤 부공간의 스패 (span)으로 본다면 이것을 SVD는 이 행렬을 서로 직교인 주요 부공간과

덜 지배적인 부공간으로 분리시킬 수 있다. (예: 신호부공간, 잡음부공간) (iii) 모델행렬의 SVD는 의사역행렬 (pseudo-inverse)를 직교적으로 분해하여, 모델행렬로부터 투영운용자 (projection operators)를 구할 수 있게 해준다. 이러한 SVD의 중요성 때문에 이 절에서는 어떤 행렬의 특성을 제공하는 SVD의 이론과 성질에 대해서 살펴보도록 한다⁷⁾.

정리 1 : A 를 $m \times n$ 복소행렬이라고 할때, 다음 형태를 만족하는 $m \times m$ 의 유니터리 (unitary) 행렬 U 와 $n \times n$ 의 유니터리행렬 V 가 존재한다.

$$A = U \Sigma V^H \quad (15)$$

여기서, Σ 는 $m \times n$ 대각 행렬이며 0 혹은 양수인 실수이다.

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_h \geq 0, \quad h = \min(m, n) \quad (16)$$

대각성분 σ_k 는 행렬 A 의 특이값이라고 말한다. 증명은 참고문헌 [4]에 주어져 있다. σ_k 가 $A^H A$ 와 $A A^H$ 의 고유값의 제곱근과 같음은 잘 알려져 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 SVD가 행렬의 계수근사화에 매우 유용한 도구라는 사실 때문에 계수근사화 문제에 매우 사용되고 있다. 계수근사화하는 방법과 이론은 다음과 같다.

정리 2 : 행렬 A 에 프로비니어스놈 (Frobenius norm)면에서 가장 잘 근사화된 행렬 $A^{(k)}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$A^{(k)} = U \Sigma_k V^H \quad (17)$$

여기서, U 와 V 는 식(15)와 같으며 Σ_k 는 σ_{k+1} 부터 σ_n 까지 0으로 세팅된 행렬이다.

$$\|A - A^{(k)}\|_F = \left[\sum_{i=k+1}^h \sigma_i^2 \right]^{1/2}, \quad 0 \leq k \leq h \quad (18)$$

식(18)에서 $A^{(k)}$ 의 A 에 대한 근사화 정도는 $(h-k)$ 개의 특이값에 의존한다. k 가 h 에 가까워질수록 차이는 점점 작아지고 $k=h$ 일 때 식(18)은 0이 될 것이다.

오차 $\|A - A^{(k)}\|_F$ 가 행렬 A 의 크기 (size)에 의존하지 않도록 하기 위한 적절한 계수근사화 척도는 식 (19)와 같이 특이값 전체의 합으로 정규화하는 것이다.

$$\nu(k) = \frac{\|A^{(k)}\|_F}{\|A\|_F} = \left[\frac{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^h \sigma_i^2} \right]^{1/2} \quad (19)$$

분명히 정규화된 비율은 k 가 h 에 가까워짐에 따라 1로 수렴한다. 식(19)로부터 A 의 계수가 h 보다 훨씬 작은 경우에는 척도 $\nu(k)$ 는 1에 빨리 수렴할 것이고, A 의 계수가 h 에 근사하다면 1에 수렴하는 속도가 늦어질 것이다. 어떤 특성대역에 신호 존재 여부를 판단하기 위한 방법으로 $\nu(k)$ 의 이러한 성질을 이용하는 것이 본 논문의 기본 아이디어이다. 표 1에 지금까지 기술한 제안된 알고리즘을 시스템에 적용할 때 효과적인 운용이 가능하도록 간략하게 정리하여 보았다.

표 1. 잡음대역선정을 위한 제안 알고리즘의 요약

단계	내용
1	자기상관행렬 R_x 의 차수 p 를 결정한다.
2	$(p+1) \times (p+1)$ 자기상관행렬 추정자 \widehat{R}_x 를 구한다. $\widehat{R}_x = \begin{bmatrix} \hat{r}_x(0) & \hat{r}_x^*(1) & \hat{r}_x^*(2) & \dots & \hat{r}_x^*(p) \\ \hat{r}_x(1) & \hat{r}_x(0) & \hat{r}_x^*(1) & \dots & \hat{r}_x^*(p-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{r}_x(p) & \hat{r}_x^*(p-1) & \hat{r}_x^*(p-2) & \dots & \hat{r}_x(0) \end{bmatrix}$ $\in \mathbf{C}^{(p+1) \times (p+1)}$ 여기서, $\hat{r}_x(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} x(n+m)x^*(n)$
3	\widehat{R}_x 의 SVD 연산을 수행한다. $\widehat{R}_x = U \Sigma V^H$
4	특이값 σ_k 를 이용하여 제안된 척도 $\nu(k)$ 를 계산한다. $\nu(k) = \frac{\ \widehat{R}_x^{(k)}\ _F}{\ \widehat{R}_x\ _F} = \left[\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_k^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_{p+1}^2} \right]^{1/2}$
5	$\nu(k) = 0.95$ 를 만족시키는 k 값을 구한다 : $k > \frac{p+1}{2}$ 조건을 만족하면 WGN으로 구성된 대역으로 간주하고, 그렇지 않을 경우, WGN외에 기타 신호가 있는 것으로 간주한다.

IV. 측정시스템

본 논문에서 제안하는 방법의 효용성을 검증하기 위하여 실제환경에 적용하는 실험을 하였다. 본 장에서는 실험에 사용된 측정 장비들을 소개한다.

수신기는 시간 샘플링이 가능한 표준측정기를 이용하였다. 표 2와 표 3에 잡음측정시 사용된 수신기와 안테나에 대한 기본적인 사양이 주어져 있다. 반드시 필요조건은 아니지만 수신기의 대략적인 성능을 한정할 수 있는 조건들이다.

그림 2는 수신기와 안테나를 포함한 측정시스템의 구성도를 나타낸다. 안테나로부터 수신된 신호는 RF 동축케이블을 통하여 수신기의 안테나 제어부로 연결되어 필요한 경우 적절한 감쇄 및 증폭을 통해 측정하기에 적합하도록 한다. 본 실험에서는 감쇄 및 증폭없이 수신된 신호를 바로 수신기 본체의 입력으로 연결하였다. 측정수신기로는 실환경 측정에 대하여 Rohde & Schwarz FSQ26 장비와 실험실 장비를 통한 시뮬레이션에 대하여 Tektronix RSA6114A가 사용되었다. 수신기와 PC는 IEEE 488 프로토콜을 이용한 GPIB 케이블로 연결하여 PC에서 자동화된 프로그램에 의하여 수신기를 제어할 수 있도록 하였다. 또한, 수집된 신호 데이터를 PC로 전송할 수 있도록 하여 신호 데이터를 처리, 분석하였다.

다음장에 언급되는 다중반송파 시뮬레이션을 위하여는 안테나 대신 Rohde & Schwarz SML03 신호발생기를 사용하였다.

표 2. 수신기 사양 (FSQ26)

기능 파라미터	설정 내용
주파수 범위	20 kHz ~ 26.5 GHz
ADC 분해능	14 bit
복조 대역폭	28 MHz
샘플링율	10 kHz ~ 81.6 MHz
GPIB interface & compatible command set	for control and data transmission

표 3. 안테나 사양 (HK309)

기능 파라미터	설정 내용
주파수 범위	20 MHz ~ 1.3 GHz
Polarization	linear
VSWR	< 3
이득	-24 dBi ~ -2 dBi
온도 범위	-40°C ~ +70°C

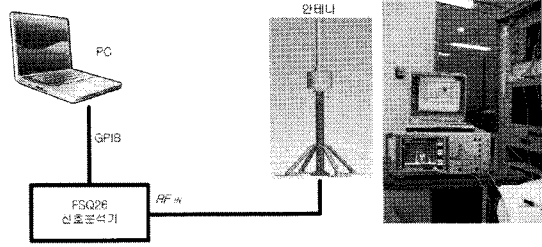


그림 2. 측정 시스템 구성도

V. 측정결과 및 분석

본 장에서는 앞장에서 언급한 측정 시스템과 측정 알고리즘을 이용하여 V/UHF 대역내에서 부대역을 구성하여 각 부대역에 대해서 제안된 방법과 전통적 방법인 신호강도확률분포 이용방법을 비교한다.

측정된 결과 중 스펙트럼 분석기로 보았을 때 큰 전력을 갖는 신호가 없어 보이는 즉, 잡음만으로 구성되어있다고 추정되는 부대역에 대하여 중심주파수 311.5 MHz, IF 대역폭 1 MHz 필터, 1.25 MHz 샘플링율의 파라미터로 획득한 신호 데이터를 사용하였다. 신호강도확률분포 그래프를 그리는데 사용된 데이터는 100,000 샘플이며, 자기상관계수를 구

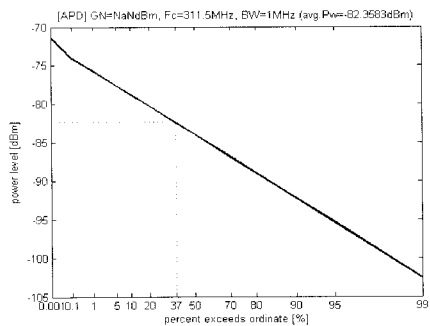


그림 3. 백색가우시안 잡음의 신호강도확률분포 그래프

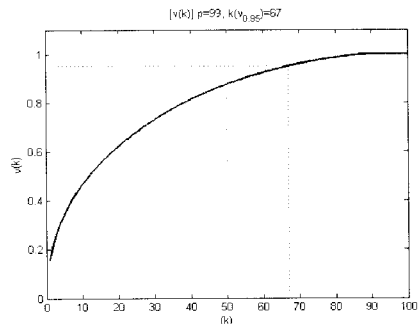


그림 4. 백색가우시안 잡음에 대한 v(k) 그래프

하는데 사용된 샘플의 개수는 5,000개이다. 그림 3은 신호강도확률분포 방법을 통하여 알아본 결과로써, 직선패턴을 나타내기 때문에 가우시안 특성이 강하다는 것을 알 수 있다. 그림 4는 $p=99$ 인 자기상관행렬을 구성하여 계산한 결과인데, $v(k)=0.95$ 되는 k 값이 67이므로 $(p+1)/2=50$ 보다 큰 값으로써 이 부대역은 잡음만으로 구성되었다고 판단할 수 있었다.

신호가 존재하는 부대역을 선정하여 중심주파수 326.6 MHz 신호를 IF 대역폭 300 kHz 필터를 이용하여 수신하여 375 kHz 샘플링율로 획득한 데이터를 분석한 결과가 그림 5와 그림 6에 주어졌다. 그림 5의 신호강도확률분포 그래프는 앞쪽이 블록한 모양으로 잡음 이외의 신호가 존재함을 쉽게 알 수 있으며, 그림 6의 결과 그래프로부터도 $v(k)$ 값은 이미 $k=2$ 에서 0.95값보다 큰 값을 가지고 있으므로 제안된 방법의 판단기준에 의거하여 신호가 존재함을 알 수 있다.

신호강도확률분포 그래프의 직선 패턴을 기준으로 가우시안 신호와 비가우시안 신호의 존재유무를 구별할 수 있다고 알려져 있다. 하지만 어떤 경우,

신호가 포함되었음에도 불구하고 직선과 크게 구별되지 않는 패턴을 보인다. 이러한 경우 제안된 방법은 효율적으로 신호의 존재를 판단할 수 있다.

표 4는 제안한 방법과 신호강도확률분포 그래프 패턴과의 성능을 비교한 결과를 보인다. 세가지 부대역에 대해서 각 방법들을 적용해본 결과, 부대역 3에서 신호강도확률분포 그래프로 신호의 존재를 파악하지 못한 반면에, 제안한 방법은 효과적으로 판단하였다. 그림 7과 그림 8에 이러한 차이를 보이는 신호강도확률분포 그래프와 제안된 $v(k)$ 그래프를 보인다. 신호가 존재하는 대역에서 그림 7의 신호강도확률분포 그래프는 직선과 구별하기 힘들지만, 그림 8에서와 같이 제안된 방법은 $v(k)=0.95$ 되는 k 값이 1인 것으로 명확히 신호의 존재를 판단할 수 있다. 자기상관함수를 구하는데 이용된 신호의 샘플개수는 5,000개이며 총 100,000개의 샘플을 사용하여 신호강도확률분포를 구하였다. 더구나, $p=19, 49, 99, 199$ 인 경우에 대하여 각각 크기가 다른 자기상관행렬을 구성하여 제안된 방법을 적용한 결과 차수에 관계없이 일관되게 정확한 결과를 제공함을 알 수 있다.

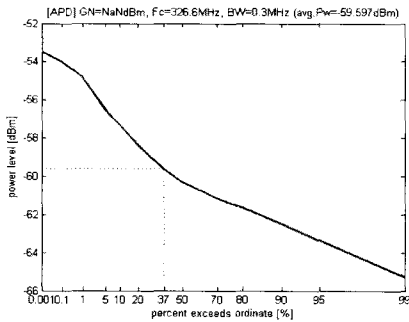


그림 5. 비가우시안 신호가 섞인 백색가우시안 잡음의 신호강도확률분포 그래프

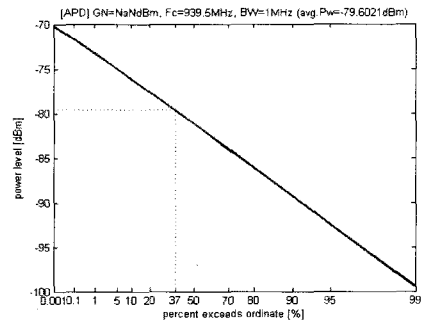


그림 7. 표 4의 부대역 3 신호에 대한 신호강도확률분포 그래프

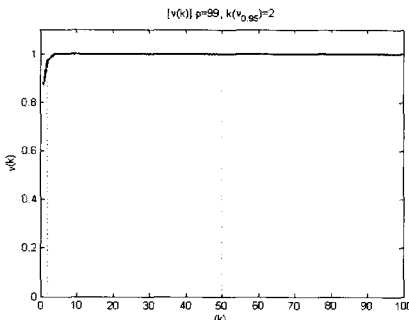


그림 6. 비가우시안 신호가 섞인 백색가우시안 잡음의 $v(k)$ 그래프

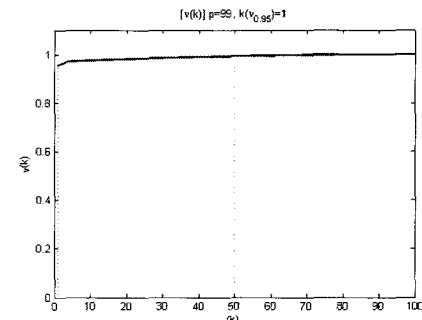


그림 8. 표 4의 부대역 3 신호에 대한 $v(k)$ 그래프

표 4. 제안방법과 신호강도확률분포 방법의 성능비교

		부대역 1 ($f_c=311.5$ MHz, IFBW =1 MHz)	부대역 2 ($f_c=326.6$ MHz, IFBW =300 kHz)	부대역 3 ($f_c=939.5$ MHz, IFBW =1 MHz)
주파수 영역 확인		잡음만으로 구성	잡음 + 신호	잡음 + 신호
신호강도확률분포 그래프 패턴		선형	비선형	선형
자기상관 함수의 특이값에 대한수렴 패턴	p=19	$k(v_{0.95})=14$	$k(v_{0.95})=1$	$k(v_{0.95})=1$
	p=49	$k(v_{0.95})=34$	$k(v_{0.95})=2$	$k(v_{0.95})=1$
	p=99	$k(v_{0.95})=67$	$k(v_{0.95})=2$	$k(v_{0.95})=1$
	p=199	$k(v_{0.95})=130$	$k(v_{0.95})=2$	$k(v_{0.95})=1$

* $k(v_a)$ 는 식 $v(k)=a$ 을 만족하는 k 값을 표시한다.

신호강도확률분포 방법과 제안한 방법의 차이를 좀 더 자세히 관찰하기 위하여 신호발생기를 가지고 다중반송파를 발생시켜 신호의 갯수와 전력을 변화시켜가며 두 방법을 비교하여 분석하였다. 표 5에 제안 방법의 결과를 나타낸다. $p=99$ 인 경우, 중심값인 $k=(p+1)/2=50$ 인 지점에서의 값을 나타내는데, 이 값을 기준값인 0.95와 비교하여 가우시안 신호의 존재 여부를 판단한다. 이때 순수 잡음신호의 전력은 약 -97 dBm이었다. 채널 전력 -97 dBm, 다중반송파 갯수 4개인 경우, 앞의 그림 7, 그림 8의 결과 그래프와 유사한 결과를 관찰할 수 있었다. 신호강도확률분포 방법이 거의 직선패턴으로 신호의 존재를 파악하지 못하는 반면에 제안된 방법으로는 $v(k)=0.95$ 되는 k 값이 $(p+1)/2=50$ 보다 작은 4값을 나타내어 신호의 존재를 파악할 수 있다. 이 실험을 통하여 제안된 방법은 신호의 전력이 잡음보다 낮은 경우에도 판별이 가능할 정도로 우수한 결과를 보였으며 앞의 예와 마찬가지로 신호강도확률분포 방법에 비하여 우수한 판별능력을 보여주었다.

VI. 결 론

배경잡음의 평균전력을 정확히 측정하기 위하여 신호원이 없는 잡음만으로 구성되어 있는 대역에서 측정하는 것이 중요하다. 기존의 측정관련 문서^[2] 등에서 유사한 개념을 언급하고 있지만 단순한 레벨의 크기 비교에 기초한 방법을 사용하는 것으로 보여진다. 본 논문에서는 자동화된 측정시스템과 특

표 5. 채널전력과 멀티캐리어 갯수에 따른 $k=(p+1)/2$ 에서의 $v(k)$ 값

채널 전력 (dBm)	다중반송파 갯수							
	1	2	3	4	5	6	7	8
-70	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	1	1	1	1	1	1	1	1
-90	0.9999	0.9998	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9992	0.9991
-93	0.9995	0.9991	0.9984	0.9982	0.9975	0.9972	0.9968	0.9965
-95	0.9987	0.9975	0.9963	0.9956	0.9944	0.9936	0.9927	0.9919
-97	0.9971	0.994	0.9914	0.9898	0.9883	0.9857	0.9841	0.9831
-100	0.9881	0.9781	0.9729	0.9367	0.9624	0.9589	0.9521	0.9484
-105	0.9347	0.9108	0.8991	0.8691	0.8828	0.8725	0.8833	0.87

이값 분해 기반의 분석적 방법을 제안하였다. 대상 대역을 각 부대역으로 나누어 각 부대역에 대하여 본 논문에서 제안하는 백색가우시안 특성 추출에 기반한 방법을 적용하면 잡음측정을 하기에 적당한 표본 부대역을 효과적으로 선정할 수 있다. 기존의 백색가우시안 잡음의 특성에 기반한 방법인 신호강도확률분포 방법을 비교대상으로 성능비교를 하였다. 제안된 방법은 전력이 약한 신호가 존재하는 경우에 신호의 존재 여부를 기존의 신호강도확률분포 방법보다 정확하게 판단할 수 있었다. 이러한 표본 부대역 선정과정 후에 잡음전력을 측정한다면 보다 신뢰성있고, 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에 기술하는 실험 데이터는 시간에 따른 스펙트럼 특성이 비교적 안정적인 V/UHF 대역에서 이루어 졌지만, 제안된 방법은 주파수에 독립적인 방법으로서 HF 대역과 같이 시간에 따른 변화가 큰 대역에서도 검증된 원리를 적용하는 것이 가능하리라 예상된다. 향후 부대역을 선정하는 첫 번째 단계 외에 선정된 대역에서 평균 잡음전력 레벨을 구하는 개선된 방법에 대한 연구도 고려해 볼 만하다.

참 고 문 헌

- [1] Report ITU-R P.2089, "The analysis of radio noise data"
- [2] Recommendation ITU-R SM.1753, "Method for measurements of radio noise"
- [3] Recommendation ITU-R P.372-9, "Radio noise"
- [4] Richard J.Vaccaro, "SVD and Signal Processing"

II - Algorithms, Analysis and Applications,
Elsevier Science Publishers B.V., 1991.

- [5] G.H.Golub, C.F.Van Loan, "Matrix computations," Johns Hopkins University press., Baltimore,1983.
- [6] S.Lawrence Marple,Jr., "Digital Spectral Analysis with Applications," Prentice- Hall, 1987.
- [7] Gilbert Strang, "Linear Algebra And It's Applications," Harcourt Brace Jovanovich, Inc. 1988.
- [8] Richard Everson, Stephen Roberts, "Inferring the Eigenvalues of Covariance Matrices from Limited, Noisy Data", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 48, No.7, July, 2000.
- [9] A.D.Spaulding, G.H.Hagn, "On the definition and estimation of spectrum occupancy," *IEEE Trans. on EMC*, vol. EMC-19, no.3, pp269-280, Aug. 1977.
- [10] RAPA 최종연구보고서, "주파수 이용동향 조사 분석에 관한 연구," Dec. 2003.
- [11] A.J.Gibson, L.Arnett, "Statistical modeling of spectrum occupancy", *Elec- tronics letters*, vol.29, no.259th Dec. 1993.
- [12] M.Wax, T.Kailath, "Detection of Signals by Information Theoretic Criteria," *IEEE Trans. on ASSP*, ASSP-33(2), pp.387-392, Apr. 1989.

신 승 민 (Seung-min Shin)

정회원



1996년 2월 경희대학교 전파공학
학과 (공학사)
1998년 2월 경희대학교 전파공학
학과 (공학석사)
1999년 8월~2003년 3월 팬택
기술연구소
2003년 3월~2005년8월 엑사텔

레콤 기술연구소

1999년 3월~현재 경희대학교 전파공학과 박사과정
<관심분야> CR, SDR, Smart Antenna, Spectrum
Engineering

김 영 수 (Young-soo Kim)

종신회원



1981년 2월 연세대학교 전자공
학과 (공학사)
1983년 2월 연세대학교 전자공
학과 (공학석사)
1988년 12월 미국 Arizona
State University 전기공학과
(공학박사)

1985년 5월~1986년 5월 Consultant, Signal-System
Technology Inc., U.S.A.

1986년 6월~1988년 12월 Research Associate,
Arizona State University

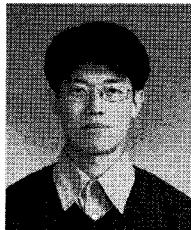
1989년 2월~1992년 8월 ETRI 전파기술부, 전파응
용연구실, 실장

2002년 1월~2003년 2월 Visiting Faculty, MPRG,
Virginia Tech., U.S.A.

1992년 9월~현재 경희대학교 전자·전파공학과 교수
<관심분야> 이동통신, SDR, MIMO System, RFID,
Spectrum Engineering

김 상 태 (Sang-tae Kim)

정회원



1993년 2월 한국해양대학교 전
자통신공학과 (공학사)
1995년 2월 한국해양대학교 전
자통신공학과 (공학석사)
2009년 2월 충북대학교 정보통
신공학과 (공학박사)
1995년 5월~1998년 12월 사라

콤(주)부설연구소

1999년 1월~현재 한국전자통신연구원

<관심분야> RF 설계, Spectrum Engineering

석 미 경 (Mi-kyung Suk)

정회원



2001년 2월 경북대학교 전자공
학과 (공학사)
2003년 8월 KAIST 전자공학과
(공학석사)

2004년 6월~현재 ETRI 전파기
술연구부, 연구원

<관심분야> Spectrum Monitoring,

Direction Finding