

# 인공 잡음 환경하에서의 효율적인 백색 가우시안 잡음 대역 선정 방법

## An Effective Method for Selection of WGN Band in Man Made Noise(MMN) Environment

신 승 민 · 김 영 수

Seung Min Shin · Young Soo Kim

### 요 약

본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 잡음 환경에서 전파 배경 잡음 측정 시스템의 효과적인 측정을 위한 백색 가우시안 잡음 대역 선정 방법을 제안한다. 산업기기들로부터 발생하는 인공 잡음은 주로 광대역으로 발생하는 임펄스성 잡음으로 현대 잡음 레벨 증가의 주 요소이다. 기존의 특이값 분해에 기반한 방법은 주로 백색 스펙트럼 성질에 기초하여 판별하는 방법으로 광대역 신호에 대하여 그 성능을 효과적으로 내지 못하는 단점이 있다. 제안된 방법은 특이값 분해 기반 방법을 가우시안 특성 기반 방법과 병행함으로써 광대역 환경에서도 백색 가우시안 잡음 대역을 효과적으로 판단할 수 있는 성능을 제공한다. 또한, 가우시안 특성 기반 방법으로써 신호 강도 확률 분포 그래프 이용 방법이 갖고 있는 판정의 정확도를 개선하는 모델링을 통한 파라미터 추정 기반 방법을 제시하였다. 제안된 방법의 효율성을 입증하기 위하여 실제 측정 시스템에서 획득한 데이터에 적용하여 제안 방법이 광대역 환경에서 기존의 방법에 비하여 우수함을 보였다.

### Abstract

In this paper, an effective method has been proposed for selection of white Gaussian noise(WGN) band for radio background noise measurement system under broad band noise environment. MMN which comes from industrial devices and equipment mostly happens in the shape of broad band noise mostly like impulsive noise and this is the main reason for increasing level in the present radio noise measurements. The existing method based on singular value decomposition has weak point that it cannot give good performance for the broad band signal because it uses signal's white property. The proposed method overcomes such a weakness of singular value decomposition based method by using signal's Gaussian property based method in parallel. Moreover, this proposed method hires a modelling based method which uses parameter estimation algorithm like maximum likelihood estimation(MLE) and gives more accurate result than the method using amplitude probability distribution(APD) graph. Experiment results under the natural environment has done to verify feasibility of the proposed method.

Key words : Noise Measurement, White Gaussian Noise(WGN), SVD, Weibull Distribution, APD, MMN

### I. 서 론

무선 통신 서비스 및 무선 기기 설계 등에서 통신 환경에 대하여 현황을 파악하는 것은 매우 중요하

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(NIPA-2010-(C1090-1011-0006))과 교육과학기술부 및 한국연구재단의 지원(No. 2009-0076683)을 받아 수행된 연구 결과임.」

경희대학교 전자·전파공학과(Department of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University)

· 논문 번호 : 20100812-107

· 교신저자 : 김영수(e-mail : yskim@khu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 10월 19일

다. 이러한 환경을 반영하는 기준값을 기초로 모든 설계가 이루어졌을 때보다 효율적이고 최적화된 결과가 얻어질 것이기 때문이다. 이러한 환경에 대한 참조값으로 가장 공식적이고 빈번하게 인용되는 자료는 ITU-R에서 1970년대 미국에서의 측정 데이터를 기초로 작성된 권고안 P.372<sup>[1]</sup>이다. 권고안이 발표된 후 현재까지 각국에서 많은 분야에 대하여 참조되고 있는 실정이다. 이러한 오래된 데이터는 현대의 무선 환경이 예전에 비하여 매우 달라져서 현재의 무선 환경 특성을 제대로 반영하지 못한다는 문제가 제기되고 있다<sup>[2],[3]</sup>.

각 선진국들은 이러한 현실적인 문제에 대응하여 무선 통신 자원인 주파수 이용량 동향에 대하여 정량적이고 보다 확실한 근거가 될 수 있는 조사를 시도하고 있다<sup>[4],[5]</sup>. 소위 동 분야 기술 선진국으로 알려진 미국, 영국, 독일, 네덜란드 등에서 일련의 유사한 연구가 진행되고 있으며<sup>[6],[7]</sup> 우리나라에서도 중앙전파관리소의 고유 업무로써 최근 수년간 세계적 기술 동향에 보조를 맞추기 위하여 지속적으로 주파수 이용량 조사의 새로운 인식과 재정비에 힘을 쏟고 있다. 또한, 2009년 전국의 전파 잡음 분포를 측정하는 사업이 한국전파진흥원 주관으로 진행되었는데<sup>[4]</sup>, 이것은 앞에서 제기된 문제점에 대한 가장 확실하면서 직접적인 답을 실천하는 것이라 할 수 있겠다.

전파 배경 잡음의 측정에서 주로 지적하고 있는 과거 데이터의 부정확성의 핵심 내용은 시간이 경과하면서 실제값이 증가 추세에 있다는 것이다. 수십 년의 경과시간 동안 많은 환경의 변화가 있었겠지만 그중에서 이러한 결과를 발생시킨 주 요인을 찾는 데 관심을 갖지 않을 수 없다.

주파수 이용 현황 조사 목적의 측정 활동은 스펙트럼 상에 점유되지 않은 때의 잡음 바닥의 값인 전파 배경 잡음 레벨을 측정하는 즉, 백색 가우시안 잡음의 레벨 분석이 추가되어 왔다. 하지만 최근 연구의 주장은 기본적인 측정 결과에서 보여지는 이러한 잡음 바닥은 단지 백색 가우시안 잡음이 아닐 수도 있다는 것이다<sup>[3],[6]</sup>. 상승 추세에 있는 이러한 전파 배경 잡음 레벨값에 대하여 온도 상승 등에 의한 백색 가우시안 잡음 자체의 레벨 상승도 있을 수 있지만 도심 등의 환경이 광범위하게 퍼지고 도심 환경에서의

산업기기 등의 사용량이 늘어나면서 발생하는 인공 잡음(Man-Made Noise: MMN)의 영향으로 잡음 레벨이 상승할 수도 있다는 점 또한 간과해서는 안될 이유이다.

다시 한 번 정리하면 인공 잡음은 도심이나 공장 지대를 중심으로 무선, 기계 장치 등에서 부산물로 생성되는 원하지 않는 잡음으로 기존의 백색 가우시안 잡음 대역을 판정하는 방법이 오류를 일으킬 수 있는 광대역의 특성을 갖는다. 본 논문에서는 산업 기기들이 만들어낸 인공 잡음 환경하에서 무선 배경 잡음을 측정하는 방법을 제안하였다.

II장에서는 기존 방법들 중 가장 널리 쓰이고 있는 신호 강도 확률 분포 그래프를 이용한 백색 가우시안 잡음 판정법과 전파 배경 잡음 측정 시스템을 위한 효과적인 방법으로 기존 제안된 방법인 특이값을 이용한 방법에 대하여 요약한다. III장에서 본 논문에서 제안하는 전파 배경 잡음 측정 시스템에서 적용 가능한 백색 가우시안 잡음 대역을 선정하는 방법을 설명하였으며, IV장에서 제안한 방법의 실효성을 증명하기 위하여 실환경에서 수행한 측정 실험을 소개하고, 이에 따른 결과 데이터를 분석하였고, V장에서 결론을 정리하였다.

## II. 기존의 백색 가우시안 잡음 대역 판정 기법

### 2.1 신호 강도 확률 분포 그래프를 이용한 백색 가우시안 잡음 판정

전파 배경 잡음은 여러 잡음원이 더해져 나타나는 결과값으로써 주된 원인은 열잡음에 기인한다. 열잡음은 모든 시스템에 존재하는 잡음으로서 백색 가우시안 분포를 따르고, 중심 극한 정리에 의하여도 가우시안 분포로 모델링할 수 있다. 따라서, 전파 배경 잡음은 일반적으로 백색 가우시안 잡음으로 모델링이 되며, 이러한 백색 가우시안 특성은 전파 배경 잡음의 대표적인 특징이라 할 수 있다.

이러한 백색 가우시안 특성을 이용하여 잡음을 구분하는 방법 중 대표적인 방법이 신호 강도 확률 분포(amplitude probability distribution) 그래프의 패턴을 이용하는 방법이다<sup>[3]</sup>.

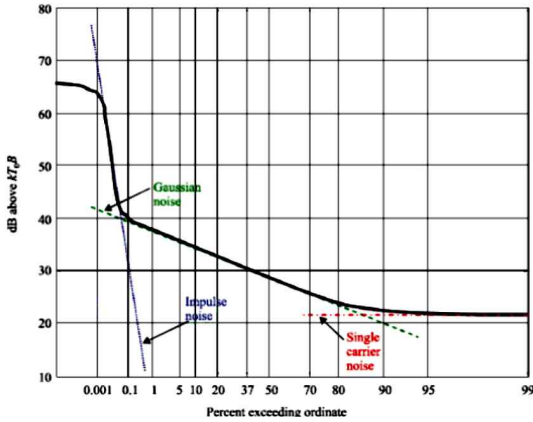


그림 1. 신호 강도 확률 분포 그래프  
Fig. 1. Amplitude probability distribution graph.

신호 강도 확률 분포 그래프는 그림 1에서 보여지는 바와 같이 가로축을 레일리 스케일로 하여 가우시안 특성을 가진 신호가 직선으로 나타나도록 한 그래프이다. 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 약 37% 되는 지점의 값이 평균 전력이 된다<sup>[3]</sup>.

신호 강도 확률 분포 방법은 그래프의 패턴으로 특성을 한눈에 알 수 있다는 장점이 있는 반면 동시에 같은 내용이 치명적 단점으로 작용한다. 다시 말해서, 특성을 관찰하는 것이 그래프를 눈으로만 확인하는 것이어서 보는 이의 주관에 따라 판단의 오차가 있을 수 있다는 단점이 있다. 신호 전력이 크고 특성이 확실한 경우에는 패턴이 명백히 구별이 되지만, 신호 전력이 작은 미약 신호가 잡음 사이에 포함되어 있다면, 그래프의 직선 패턴이 확실히 구별되지 않아 눈으로만 판별하는 데에 한계가 있다.

## 2-2 특이값분해 기법을 이용한 백색 가우시안 잡음 판정

특이값 분해 기법을 이용한 백색 가우시안 잡음 대역 판정 방법의 기본 개념은 잡음 이외의 신호가 존재하는 경우에 자기 상관 행렬의 차수(rank)와 고유값 분포가 변경될 수 있다는 성질에 기반을 둔다. 다시 정리하자면, 잡음만 존재하는 경우에는 이론적으로 자기 상관 행렬의 모든 고유값이 같지만, 신호

가 존재하는 경우에는 특정 고유값이 큰 값을 갖기 때문에 신호 존재 여부를 판단하는 척도로 이러한 특성을 이용한다.

대부분의 문제에서 측정된 신호 성분에 대해서 암시적이거나 혹은 정확한 선형 모델이 존재한다. 확정 신호 모델인 경우에 측정값의 평균은 선형 모델을 갖고, 랜덤 프로세스인 경우에 공분산이 선형 모델을 갖는다. 측정 신호로부터 간섭을 추출하는 기법들은 결과적으로 측정값의 이차식(quadratic) 형태 혹은 선형 변환이다. 이러한 선형 모델을 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, 신호 행렬이 선형 모델로 구성되지 않는 경우에 측정 행렬을 낮은 차수의 행렬로 근사화 하는데 적절한 분해 도구이고, (ii) SVD는 주요 부공간과 덜 지배적인 부공간으로 분리시키는데 유용한 도구이다. 즉, 측정 행렬을 어떤 부공간의 스패(span)으로 본다면 이것을 SVD는 이 행렬을 서로 직교인 주요 부공간과 덜 지배적인 부공간으로 분리시킬 수 있다 (예: 신호부 공간, 잡음부 공간). (iii) 모델 행렬의 SVD는 의사 역행렬(pseudo-inverse)을 직교적으로 분해하여, 모델 행렬로부터 투영 운운자(projection operators)를 구할 수 있게 해준다. 이러한 SVD의 중요성 때문에 본 방법의 착안점이 되었던 것이다<sup>[10]</sup>.

참고문헌 [8]에 설명된 바와 같이 수신 신호의 공분산 행렬로부터 특이값 분해 과정을 거쳐 구한 특이값을  $\sigma_k$ 라고 하면 이것을 이용하여 계수 근사화 과정을 거쳐 결과적으로 다음과 같은 특성 파라미터  $\nu(k)$ 를 추출하였다<sup>[4],[8],[10]</sup>.

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

여기서,  $k$ 는 크기 순으로 배열된 특이값 중에서 임의의 특이값에 대한 참조를 나타내며,  $h$ 는 최대 계수 즉, 특이값의 총 갯수를 나타낸다.

정규화된 비율인 파라미터  $\nu(k)$ 는  $k$ 가  $h$ 에 가까워짐에 따라 1로 수렴한다. 측정 데이터로부터 구성된 신호 공분산 행렬  $A$ 를 가정할 때,  $A$ 의 계수가  $h$

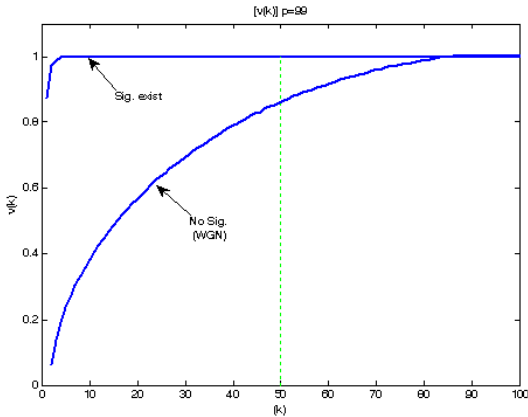


그림 2. 전형적인  $\nu(k)$  그래프: 신호가 있는 경우와 없는 경우  
 Fig. 2.  $\nu(k)$  graphs of two typical cases: including signal & WGN.

보다 훨씬 작은 경우에는  $\nu(k)$ 가 1에 빨리 수렴할 것이고, A의 계수가  $h$ 에 근사하다면 1에 수렴하는 속도가 늦어질 것이다. 어떤 특성 대역에 신호 존재 여부를 판단하기 위한 방법으로  $\nu(k)$ 의 수렴 속도를 이용하는 것이 이 방법의 기본 착안점이다. 그림 2에 전형적인  $\nu(k)$ 의 그래프가 보여진다. 가로축은 100개의 특이값을 크기 순서대로 나열한 것 중  $k$ 번째 특이값을 나타내고, 세로축은  $\nu(k)$  값을 나타낸다.  $k$ 가 1부터 100으로 갈수록  $\nu(k)$  값이 1에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 위쪽에 표시된 선이 신호가 존재하는 경우의  $\nu(k)$  그래프를 나타내고, 아래쪽에 표시된 선이 신호가 없는 경우 즉, 백색 가우시안 잡음의 경우를 나타낸다.

### III. 전파 배경 잡음 측정 시스템에 적용 가능한 효과적인 백색 가우시안 잡음 대역 선정 방법

참고문헌 [8]에서 전파 배경 잡음 측정에 용이한 백색 가우시안 특성이 지배적인 대역을 선정하는 방법으로 기존 신호 강도 확률 분포의 방법보다 특이값 분해 방법에 기초한 방법이 현재의 전파 배경 잡음 측정 시스템에 적용하기 타당하며, 보다 우수한 성능을 나타내는 것을 설명하였다.

하지만 이러한 우수한 장점에도 불구하고 수신기 필터 대역폭을 넘어서는 대역폭을 가진 신호가 존재

하는 경우에 특이값들이 모두 큰 값을 갖게 되어  $\nu(k)$  수렴 패턴이 마치 백색 가우시안 잡음의 경우처럼 보인다. 전체적으로 높아진 특이값의 크기를 보면 백색 가우시안 잡음의 경우와 다른 것을 알 수 있지만 전파 배경 잡음 측정 시스템에 적용될 때 패턴의 수렴 속도를 따지는 방법에서는 치명적 결함이 생길 여지가 있다. 무선 배경 잡음 측정의 대상으로 주로 백색 가우시안 잡음을 고려하지만, 현대의 잡음 측정에서 예전과 다른 특징 중의 하나는 광대역으로 발생하는 인공 잡음이다. 이것은 주로 산업기기 등에 의하여 발생하는 임펄스성 잡음으로 주로 측정 시스템의 수신기 필터 대역폭을 넘어서는 광대역인 경우가 대부분이다<sup>[9]</sup>.

이러한 잡음을 포함한 환경에서 백색 가우시안 잡음 대역을 효과적으로 선정하여 잡음 레벨을 측정하는 방법을 제안한다. II장과 III장에 소개한 두 가지 방법을 다시 한 번 잘 살펴보면 신호 강도 확률 분포 이용 방법은 백색 가우시안 잡음의 가우시안 성질에 기초하여 판별하고 있으며, 특이값 분해 이용 방법은 주로 백색 스펙트럼 성질에 기초하여 판별하는 것이라 할 수 있다. 따라서 두 가지 방법을 혼용하는 것이 보다 정확한 백색 가우시안 잡음의 특성 판별이 될 것이다. 단지, 신호 강도 확률 분포 그래프는 II장에서 설명한 바와 같이 직선 패턴으로 백색 가우시안 신호에 대한 개략의 직관적인 판단을 하는 데에는 유리하나, 그 정확성면에서는 데이터 샘플에 대하여 그려진 직선 패턴을 다시 정확한 직선 형태인지에 대하여 판단해야 하는 면에서 오차가 클 수밖에 없다. 본 논문에서는 이러한 취약점을 극복할 수 있는 보다 효과적인 방법을 제안한다.

산업기기들로부터 발생하는 것으로 알려진 인공 잡음은 주로 광대역으로 발생하는 시간적으로 임펄스에 가까운 형태를 나타낸다. 또한, 이러한 임펄스성 잡음은 와이블 전력 분포를 갖는 임펄스열로써 모델링된다. 와이블 분포(Weibull distribution)는 다음과 같은 형태의 확률 밀도 함수(probability density function: PDF)를 갖는다<sup>[3],[9]</sup>.

$$p(w) = abw^{b-1}e^{-aw^b} \tag{2}$$

여기서,  $a$ 와  $b$ 는 각각 와이블 분포의 크기(scale)와

모양(shape)을 나타내는 파라미터이다. 이때, 관심의 대상은 모양 파라미터  $b$ 가 2인 경우 레일리 분포가 되어 신호 강도 확률 분포 그래프의 직선 패턴과 같은 의미를 갖는다. 이렇듯 와이블 분포의 파라미터 추정을 통하여 원래의 수신 신호 샘플 데이터로부터 직접 신호의 가우시안 특성을 알아보는 방법이 기존의 신호 강도 확률 분포 그래프에서 패턴을 인식하는 방법보다 더 정확한 결과를 나타낸다. 또한, 이러한 파라미터 추정 방법이 많은 양의 측정을 일련의 자동화 과정에 의하여 수행하는 시스템에 보다 효율적이다.

### 3-1 최대 우도(Maximum Likelihood) 추정자 구현

최대 우도는 어떠한 확률변수에서 샘플링한 값들을 토대로 그 확률변수의 파라미터를 구하는 방법으로 어떠한 파라미터가 주어졌을 때 원하는 값들이 나올 확률(우도)을 최대로 만드는 파라미터를 선택하는 방법이다<sup>[13]</sup>.

어떤 파라미터  $\theta$ 로 결정되는 확률변수들의 집합  $D_\theta = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ 이 있고,  $D_\theta$ 의 확률 밀도 함수가  $f$ 이고, 그 확률변수들에서 각각 값  $x_1, x_2, \dots, x_n$ 을 얻었을 경우, 우도  $L(\theta)$ 는 다음과 같다.

$$L(\theta) = f_\theta(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{3}$$

여기서, 우도를 최대로 만드는  $\theta$ 의 추정값  $\hat{\theta}$ 는 다음과 같다.

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} L(\theta) \tag{4}$$

또한,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 이 모두 독립적이고, 같은 확률분포를 가지고 있다면  $L$ 은 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$L(\theta) = \prod_i f_\theta(x_i) \tag{5}$$

일반적으로 로그 함수는 단조 증가하므로,  $L$ 에 로그를 씌운 값의 최대값은 원래값  $\hat{\theta}$ 와 같고, 이 경우 계산이 비교적 간단해진다.

$$L^*(\theta) = \ln L(\theta) = \sum_i \ln f_\theta(x_i) \tag{6}$$

본 논문에서 사용된 와이블 분포의 파라미터 추정

시에 최대 우도 추정자를 사용하였다. 추정 알고리즘 구현의 주요 내용은 다음과 같다. 겐벨(Gumbel) 분포의 파라미터 추정 알고리즘을 차용하였는데, 배경은 다음과 같은 이유에 기인한다. 일반화된 극단값(Generalized Extreme Value: GEV) 분포의 제 III 타입인 와이블 분포 함수  $F(X)$ 에 대하여  $X$ 의 자연 로그를 취한  $\ln X$ 에 대한 같은 분포 함수  $F(\ln(X))$ 는 GEV 분포의 제 I 타입인 겐벨 분포 함수와 같다. 이후, 비교적 단순하게 계산되는 겐벨 분포의 모양 파라미터에 대하여 역수를 취해 주면 구하고자 하는 와이블 분포의 모양 파라미터와 등가이다<sup>[11],[12]</sup>.

## IV. 전파 배경 잡음 측정 시스템 및 실험 환경 측정 실험 결과 분석

본 논문에서 제안하는 방법의 효용성을 검증하기 위하여 실제 환경에 적용하는 실험을 하였다. 수신기는 시간 샘플링이 가능한 표준측정기를 이용하였다. 표 1과 표 2에 잡음 측정 실험에 사용된 주요 측정 장비인 수신기와 안테나의 기본 사양을 소개한다.

그림 3은 수신기와 안테나를 포함한 측정 시스템의 구성도를 나타낸다. 안테나로부터 수신된 신호는 RF 동축 케이블을 통하여 수신기의 입력으로 연결되 기전 적절한 증폭을 통해 측정후 분석하기에 적합하도록 하였다. 참고로 사용된 증폭기는 ZFL-1000LN+ 저잡음 증폭기로서 측정 대역에 선로 손실을 포함하여 최소 약 7 dB 이상의 이득을 주어 측정 수신기 내부 잡음과 수신 신호를 구분하는데 도움을 준다. 측정 수신기와 PC는 IEEE 488 프로토콜을 이용한 GPIB 케이블로 연결하여 PC에서 자동화된 프로그램에 의하여 수신기를 제어할 수 있도록 하였다. 또한, 수

표 1. 수신기 사양(FSQ26)

Table 1. Specification for receiver(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 2. 안테나 사양(RS16)

Table 2. Specification for antenna(RS16).

사양	내용
주파수	1 ~ 6 GHz
사용 가능한 주파수	0.5 ~ 8.5 GHz
커넥터(female)	50 ΩN
Mounting tube	22 mm
등방성 이득(Isotropic gain)	typ. -2...+3 dBi
안테나 계수(Antenna factor)	30...45 dB/m
SWR typ.	2
SWR max.	3
최대 입력 전력	50 W
Half power beamwidth	80° ~ 50°
무게	1 kg

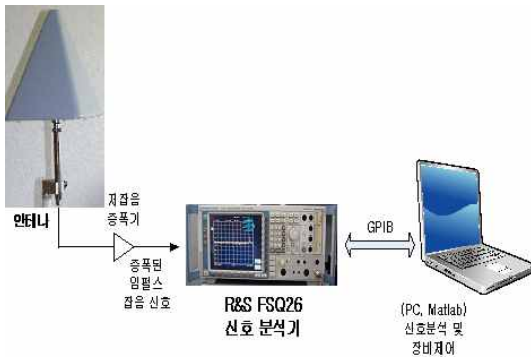


그림 3. 측정 시스템 구성도

Fig. 3. Configuration of measurement system.

잡힌 신호 데이터를 PC로 전송할 수 있도록 하여 신호 데이터를 처리, 분석하였다.

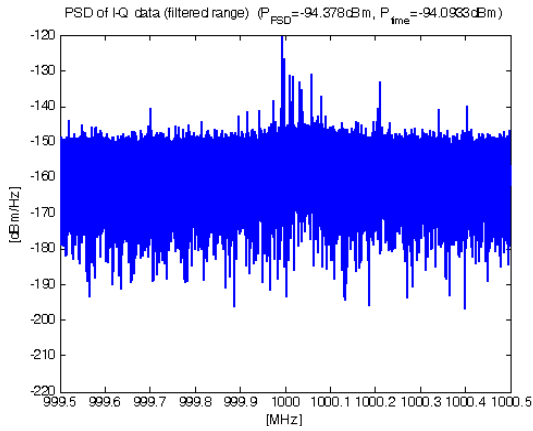
실험에 사용된 잡음원으로는 전동 드릴, 헤어 드라이어, 진공 청소기, 자동차 등을 이용하여 안테나에 입사되는 입력 신호를 생성하였다. 이것들은 생활에서 쉽게 접하는 인공 잡음원들로 그 특징을 좀더 명확히 보고자 안테나에 근접하여 동작시킨 뒤 측정하였다.

중심 주파수는 1 GHz를 사용하였는데, 이는 사전에 스펙트럼 분석기로 실험 환경의 대략적인 스펙트럼 검토 과정을 통하여 비교적 이용량이 적어 보이며 변화 정도가 안정적으로 보여지는 구간을 임의로 선택한 것이다. 장비의 특성과 광대역 측정 실험의

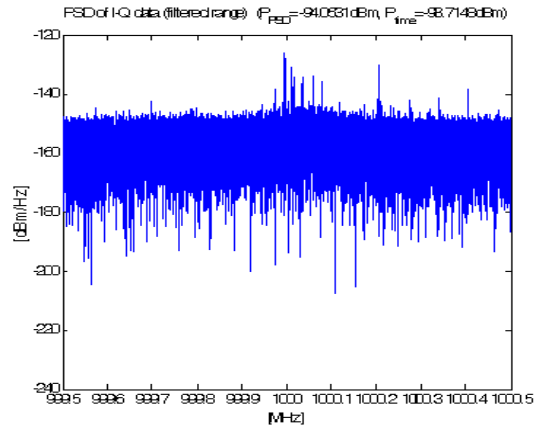
목적에 충족된다고 판단되는 대역폭을 1 MHz로 하여 디지털화된 데이터는 1.25 MHz 샘플링율로 변환되었다. 매 경우에 대하여 수집한 데이터는 모두 I, Q 각 100,000 샘플을 획득하였다. 특이값 분해 방법의 계산에는 이중 일부만을 사용하였는데, 매 3,000개의 데이터를 이용하여 자기상관계수 총 100개를 구하여 100×100 크기의 자기 상관 행렬 행렬을 구성하고 특이값 분해를 하여 특이값을 구하였다. 또한, 와이블 분포의 파라미터 추정시에는 Maximum-Likelihood 추정 방법에 의하여 신뢰도 95 %를 갖고 추정된 모양 파라미터  $b$ 를 레일리 분포를 의미하는 2와 비교하였다.

그림 4에서 (a)는 신호의 전력 스펙트럼 밀도를 나타내는데, 전체적인 패턴에서 잡음 바닥이 약 -150 dBm에서 형성되고, 1 GHz 근처에 다른 곳보다 조금 높은 신호가 분포되어 있는 것을 관찰할 수 있다. 또한, (b) 그림은 특이값 분해를 이용하여 백색 가우시안 잡음의 특성을 판단하는 그래프로써 0.95되는 지점이 중앙으로부터 우측에 위치하는 것으로 백색 가우시안 특성이 지배적이라 판단할 수 있다. 그림 (c)는 추정된 와이블 분포의  $a, b$  파라미터를 이용하여 마치 신호 강도 확률 분포에서 레일리 스케일이 직선으로 나타나도록 한 것과 마찬가지로 와이블 분포가 직선 패턴을 나타내도록 한 그래프에 수신 데이터를 '+'점으로 표시한 것이다. 여기서 구한 와이블 분포의  $b$ 파라미터값은 1.9954로써 2에 매우 근접하여 수신 신호의 각  $I, Q$  데이터가 가우시안 특성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

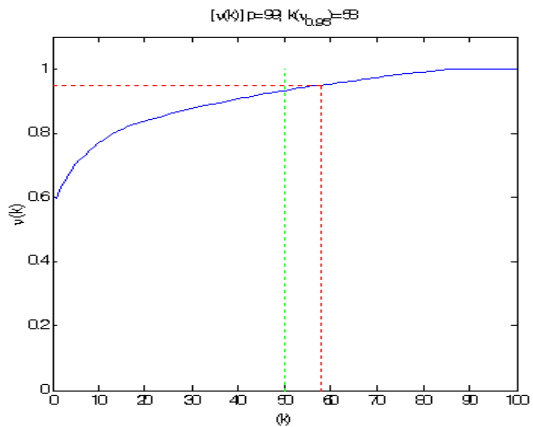
그림 5는 입사신호로 전동 드릴을 사용한 결과를 보여준다. (a)에서 보면 이전에 약 -150 dBm 정도에 형성되었던 잡음 바닥이 높아진 것을 관찰할 수 있다. 주목할만한 결과로 (b)의 판정 그림은 전동 드릴에 의해 임펄스 신호가 추가로 입사하였음에도 불구하고 측정 신호가 백색 가우시안 잡음이 지배적인 것으로 판단하고 있다는 것이다<sup>[8]</sup>. (c)의 결과에서는 확연히  $b=1.6337$ 로 2와 비교적 큰 차이를 보이며, 데이터 산점도에서도 진폭이 큰 신호 부분이 이상적인 추정값과 많이 벗어나는 모양을 볼 수 있다. 이렇듯 주로 스펙트럼 영역에서 백색 성질에 비중을 두어 추정하는 (b)의 특이값 이용 판정법은 이러한 광대



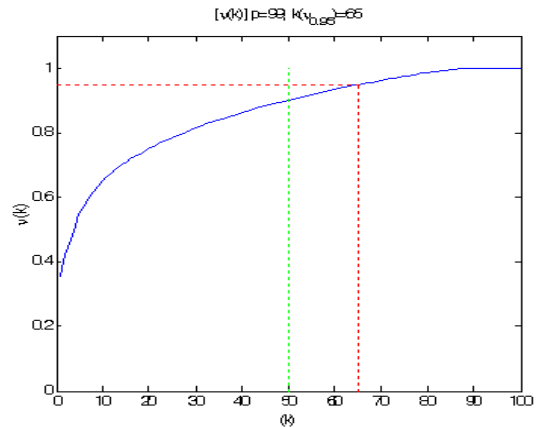
(a) 전력 스펙트럼 밀도  
(a) Power spectral density



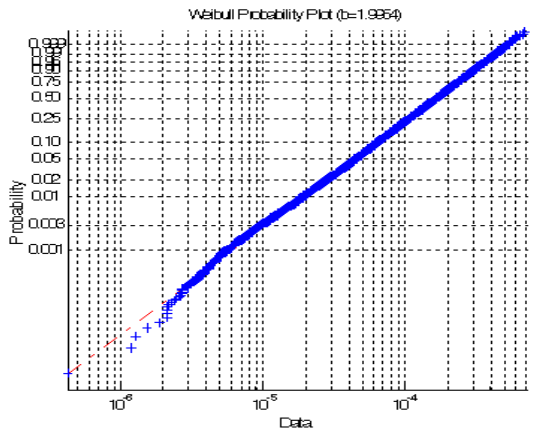
(a) 전력 스펙트럼 밀도  
(a) Power spectral density



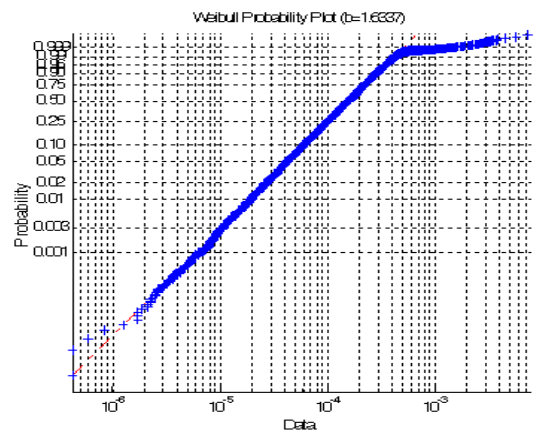
(b) 특이값 분해를 이용한 백색 가우시안 잡음 판정  
(b) Selection of WGN band using SVD based method



(b) 특이값 분해를 이용한 백색 가우시안 잡음 판정  
(b) Selection of WGN band using SVD based method



(c) 와이블 피팅  
(c) Weibull fitting



(c) 와이블 피팅  
(c) Weibull fitting

그림 4. 입력 신호가 없을 때의 무선 배경 잡음  
Fig. 4. Radio background noise without any input signal.

그림 5. 전동 드릴의 인공 잡음  
Fig. 5. Impulsive noise from electric motor.

역 신호에 대하여 취약점이 보이며, 앞서 제안한 대로 가우시안 관정을 동시에 함으로써 보완될 수 있다.

참고로, 본 실험에서 사용한 여러 잡음원들에 대하여 모두 그림 5에 보여지는 전동 드릴과 유사한 결과를 얻었으며, 단지 대부분의 실내 실험에서는 전동 드릴과 매우 유사한 결과를 얻은 것에 비해 실외에서 이루어진 자동차 엔진으로 부터의 잡음 측정 실험은 그 정도가 다소 뚜렷하지 못하였다. 이는 오픈된 사이트에서 발생하는 여러 기타 간섭 및 잡음 그리고, 실제 주행하는 자동차로 부터의 측정시 실내에서 이루어진 측정에 비하여 근접 측정을 하기 어려웠던 이유 등으로 분석된다.

### V. 결 론

와이블 분포의 파라미터 추정을 통한 가우시안 성질 추출과정을 함께 고려하여 보다 완벽한 백색 가우시안 특성 대역 선정 방법을 제안하였다.

또한, 실환경에서 측정 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 효용성을 검증하였고, 실험을 통하여 인공 잡음 환경에서 제안하는 방법이 기존 측정 방법을 효율적으로 보완하는 것을 보여주었다. 본 논문에서 제안하는 잡음 측정 방법이 공인된 표준 측정 방법이 되기 위하여 더욱 다양한 대역 및 잡음원 등에 대하여 검증이 지속적으로 이루어져야 하며, 와이블 분포의 파라미터 추정시에 보다 효율적인 추정 알고리즘을 적용하여 추정의 정확도를 개선하는 연구도 충분한 가치가 있다고 생각한다.

### 참 고 문 헌

[1] Rec. ITU-R P.372-8, "Radio noise".  
 [2] Mass consultants Ltd., "Autonomous interference monitoring system - Phase 2", *Final Report*, Mar. 2007.

[3] A. Wagstaff, N. Merricks, "Man-made measurement programme", *IEE Proc.-Commun.*, vol. 152, no. 3, Jun. 2005.  
 [4] 김영수, "전파인공잡음 측정 및 분석 알고리즘 연구", 한국전자통신연구원 최종연구보고서, 2009년.  
 [5] A. D. Spaulding, R. T. Disney, "Man-made radio noise, part 1 : Estimates for business, residential, and rural areas", *Office of Telecommunications Report*, 74-38, Jun. 1974.  
 [6] NTIA Report 02-390, "Man-made noise power measurements at VHF and UHF frequencies", Dec. 2001.  
 [7] Rec. ITU-R SM.1753, "Method for measurements of radio noise".  
 [8] 신승민, 김영수 외, "특이값 분해를 이용한 효율적인 백색가우시안 잡음 대역 선정 방법", *한국통신학회논문지*, 34(3), pp. 272-280, 2009년 3월.  
 [9] David Middleton, "Non-gaussian noise models in signal processing for telecommunications: New methods and results for class A and class B noise models", *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 45, no. 4, May 1999.  
 [10] Richard J. Vacarro, *SVD and Signal Processing II - Algorithms, Analysis and Applications*, Elsevier Science Publishers B. V., 1991.  
 [11] 우지용, 김명석, "극단치 분포의 모수 추정 방법 비교 연구(회기 분석법을 기준으로)", *한국통계학회논문집*, 16(3), 2009년.  
 [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Generalized\\_extreme\\_value\\_distribution](http://en.wikipedia.org/wiki/Generalized_extreme_value_distribution)  
 [13] <http://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%B5%9C%EB%8C%80%EC%9A%B0%EB%8F%84>



신 승 민



1996년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)

1998년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학석사)

1999년 8월~2003년 3월: 팬택기술연구소

2003년 3월~2005년 8월: 엑사텔레

콤기술연구소

1999년 3월~현재: 경희대학교 전파공학과 박사과정

[주 관심분야] CR, SDR, Smart Antenna, Spectrum Engineering 등

김 영 수



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1988년 12월: 미국 Arizona State University 전기 및 컴퓨터공학과 (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: 한국전자통신연구원 전파기술부, 전파응용연구실, 실장

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

1992년 9월~현재: 경희대학교 전자·전파공학과 교수

[주 관심분야] 통신 신호 처리, 이동 통신, SDR, MIMO System, RFID, Spectrum Engineering 등