

논문 2009-46TC-1-5

무선 중계시스템의 무선 궤환 간섭 채널 측정 및 특성 분석

(Characterization of Wireless Feedback Interference Channels of a Wireless Repeater Using Sounding Measurements)

문우식*, 임성빈**, 김현채***, 권낙원***

(Woosik Moon, Sungbin Im, Hyunchae Kim, and Nagwon Kwon)

요약

본 논문에서는 송신안테나에서 송신된 신호가 자신의 수신안테나로 수신되어 발생하는 궤환 간섭 채널을 측정하는 방법과 측정된 데이터를 통해 궤환 간섭 채널을 분석한 결과에 대하여 기술한다. 2 GHz 대역의 WCDMA 신호를 사용하여 고속도로 변에서 측정 실험을 하였다. 고속도로변은 고속으로 이동하는 차량에 의해 높은 도플러 주파수와 에너지가 큰 궤환 신호가 발생한다. 채널 측정은 신호발생기의 신호와 수신된 신호를 중간주파수로 다운 컨버트하고 동시에 샘플링하여 저장하였고 저장된 데이터를 LS (Least Square) 알고리즘으로 채널의 계수 값을 구하였다. 채널 분석을 위해 시간에 따른 전력 지연 프로파일과 산란 함수를 계산하고, 지연 확산, 도플러 확산, 핑거의 수, 지연에 따른 감쇄에 대하여 분석한다. 궤환 간섭 채널은 송신안테나와 수신안테나가 고정되어 있고 주위에 있는 이동하는 물체와 고정된 물체에 의해 형성된 다중경로를 통해 발생하는 채널로, 일반적인 기지국과 이동국의 채널 모델과는 다른 특성을 가지고 있다. 따라서 분석된 결과를 이용하여 무선 중계시스템의 설계와 성능검증을 위한 지침을 제시한다.

Abstract

This paper presents the method of measuring the feedback interference channel, which is developed between the transmit and receive antennas of a wireless repeater by receiving the transmit signal at the receive antenna of the identical repeater, and experiment results obtained by analyzing the measurements. This experiment uses 2 GHz WCDMA signal and is carried out near a highway. The high-speed mobiles on highways cause reflected signals with high Doppler frequencies and large energy. In order to characterize the feedback channel, the power delay profile and the scattering function are estimated by identifying the delay spread, the Doppler spread, the number of fingers, and the attenuation with delay. Since the feedback interference channel is constructed between the fixed TX and RX antennas, which is dependent upon the multipaths developed by moving or fixed objects around the antennas, the channel shows different properties comparing to the conventional channels between the base station and the mobile station. Therefore, the results presented in the paper are expected to provide guidelines for designing and evaluating wireless repeater systems.

Keywords: 채널특성, 전력지연프로파일, 산란함수, 지연확산, 도플러확산

I. 서론

최근, 넓은 주파수 대역폭과 높은 전송 주파수를 갖

는 대용량, 초고속 무선통신 서비스가 발달하고 있다. 높은 전송 주파수로 인해 셀의 크기가 작아져, 서비스 품질 향상을 위해 더 많은 중계기를 필요로 한다. 동일 채널 중계기는 이 문제에 훌륭한 답을 제공한다. 동일 채널 중계기는 광중계기보다 유지비가 저렴하고, 설치가 자유롭고 유지보수가 용이하다.

동일채널 중계기는 궤환 간섭 채널이 존재하는데, 궤환 간섭 채널은 전송안테나에서 방사된 신호가 자신의 수신안테나로 수신되어 겪는 채널로 송신안테나와 수신안테나 사이의 직접경로와 주위에 있는 여러 물체에 의

* 학생회원, ** 정회원, 송실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

*** 정회원, (주)솔리테크

(SOLiD TECHNOLOGIES, INC.)

※ 본 논문은 (주)솔리테크의 연구비 지원으로 이루어 졌음.

접수일자: 2008년9월11일, 수정완료일: 2009년1월19일

해 발생하는 다중경로를 갖는 채널이 형성된다. 이런 궤환 간섭 채널은 수신신호에 간섭으로 작용하여 중계기의 성능을 저하시킨다.

일반적으로 동일 채널 중계기는 궤환 간섭 채널에 의한 간섭을 제거하기 위하여 궤환 간섭 채널 추정기법과 FIR 필터를 사용하는데 FIR 필터 길이가 증가하면 연산량과 시스템 지연시간이 증가한다. 효율적인 시스템을 설계하고 성능을 검증하여 시스템을 운영하려면 궤환 간섭 채널의 전파특성에 대한 측정과 분석이 필요하다. 채널의 전파특성에는 다중경로의 수, 지연에 의한 감쇄, 도플러 편이, 지연 등이 있다.

기존의 무선통신 채널 연구는 단말과 기지국 사이의 채널에 대한 연구가 주로 이루어졌고, 궤환 채널에 대한 연구는 미비한 실정이다. 동일채널 중계기를 위한 궤환 간섭 채널 측정은 중계기가 설치되는 도심지, 시외, 도로변, 건물 안 등 여러 지역에서 유용하게 사용될 수 있다.

실험을 수행한 장소는 고속도로변(경상남도 함안 남해 고속도로변)으로 고속으로 이동하는 자동차에 의해 빠른 주파수 선택적 페이딩이 일어나는 지역이다. 동일 채널 중계기는 간섭신호가 크고, 빠른 주파수 선택적 페이딩이 일어날 때 문제가 발생하므로 위 장소를 실험 장소로 선택하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 궤환 간섭 채널을 측정하기 위한 시험장치 및 방법에 대하여 기술하며, III장에서는 실제로 측정한 실험 데이터에 대한 채널 분석결과를 설명하며, IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 궤환 간섭 채널 측정

본 논문에서 고려하는 궤환 간섭 채널은 아날로그 신호발생기에서 신호가 발생되어 송신안테나로 송신되고 다중경로를 거쳐 동일한 중계기의 수신안테나로 수신된 채널을 나타낸다. WCDMA 무선 중계기에서 발생하는 궤환 채널을 측정하기 위하여 신호 발생기에서 2 GHz 대역의 WCDMA 신호를 발생시킨다. 이 신호는 3.84 Mcps 칩속도, 5 MHz 대역폭, 10 ms의 주기를 갖는다. 신호의 주기는 다중경로에 의한 채널의 최대 지연보다 충분히 커서 채널 측정에 영향을 주지 않는다^[1~4].

1. 측정 장치

궤환 채널의 특성을 측정하기 위하여 이 실험에는 신호발생기, 송신증폭기, 송신안테나, 수신안테나, 수신증폭기, 필터, 다운컨버터, A/D 변화장치가 있는 저장 시스템이 사용되었다. 신호발생기는 Agilent 사의 E4438C ESG 모델을 사용하였고, 데이터 저장 시스템은 National Instrument사의 PXI-1044 본체에 PXI-8196 real-time embedded controllers, 그리고 2 채널, 14 bit, 100 MHz로 샘플링 하는 PXI-5122 digitizer를 사용하였다. 그리고 샘플링 된 신호는 하드디스크에 실시간으로 저장된다. 송신 증폭기는 2 GHz 대역에서 동작하도록 되어 있으며, 최대 5 W 까지 증폭이 가능하다. 수신 증폭기는 2 GHz 대역에서 동작하는 LNA (Low Noise Amplifier) 이다. 그리고 SAW (Surface Acoustic Wave) 필터가 사용되었다. 송신안테나로는 기지국용 배열 안테나가 사용되었고, 수신안테나는 지향성 파라볼라 안테나가 사용되었다.

2. 측정 방법

실험은 남해고속도로변에서 수행하였다. 실험 장소는 고속도로변으로 주위에는 고층 건물이 없고, 고속도로 건너편에 낮은 주택과 창고 그리고 논밭이 있고 산은 멀리 떨어져 있는 환경이다. 안테나는 도로변 10 m 높이에 설치되어 있으며 주요 반사체는 고정되어 있는 도로와 인근 건물 그리고 이동하는 자동차이다. 고속도로 변은 이동하는 차량에 의해 빠른 주파수 선택적 페이딩이 일어나는 지역이고, 동일 채널 중계기는 간섭신호가 크고 빠른 주파수 선택적 페이딩이 일어날 때 문제가 발생하므로 이 지역을 선택했다.

그림 1은 측정 장비들의 연결을 보여준다. 먼저 궤환

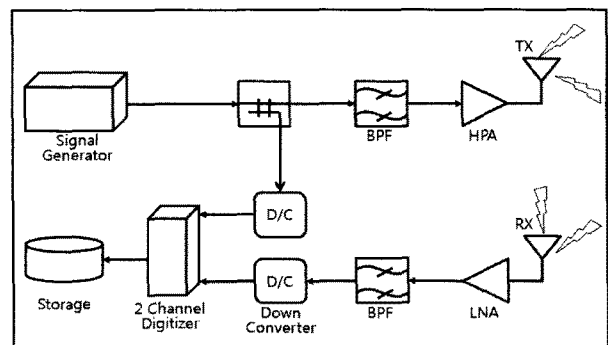


그림 1. 채널 측정장치에 대한 도식도

Fig. 1. A schematic representation of the measurements setup.

간섭 채널을 측정하기 위하여 신호 발생기에서 2 GHz 대역의 WCDMA 신호를 발생시킨다. 발생된 신호는 둘로 나뉘어 하나는 다운 컨버터로 가고 나머지는 송신 증폭기로 간다. 증폭된 신호는 송신 안테나를 통해 방사된 후 다중경로를 거쳐 수신안테나로 수신된다. 수신된 신호는 LNA에서 증폭하고 SAW 필터를 거쳐 저장 시스템으로 간다. 다운 컨버터는 2 GHz 대역의 두 신호(송신 신호와 수신된 신호)를 중심 주파수가 3.125 MHz의 중간주파수 신호로 만든다. 2 채널 디지털이저는 두 신호를 14 bit, 12.5 MHz로 동시에 샘플링하고, 실시간으로 하드디스크에 저장한다^[5].

III. 측정 데이터 분석

궤환 채널을 분석하기 위하여 TDL (Tapped Delay Line) 채널 모델을 사용하였다. TDL 모델은 FIR 필터로 구현할 수 있고, 그 계수는 전력 지연 프로파일 값과 같다^[6]. 샘플링 속도가 12.5 MHz이므로 TDL의 모델의 한 탭은 0.08 μ s를 갖는다. TDL 모델의 필터 길이는 궤환 채널의 다중경로에 의한 최대 지연 시간 보다 길어야 한다. 측정결과에 의하면 채널의 최대지연은 10 μ s 보다 작아 필터길이를 125 탭 (10 μ s)으로 하였다. 전력 지연 프로파일을 구하기 위해서는 저장된 두 신호를 기저대역으로 변환하고 LS (Least Square) 알고리즘을 이용하여 계수를 구한 후 통과대역폭 2.5 MHz를 갖는 LPF를 통과시켰다. 시변 채널에서 블록 구간 동안 채널이 변화하지 않는다고 가정하기 때문에 블록이 너무 길면 시변하는 채널의 변화를 따라가지 못하고, 너무 짧으면 추정오차가 커진다. 본 논문에서는 LS 알고리즘의 블록 사이즈로 12,500 샘플 (1 ms)을 사용하였다. LS 알고리즘은 다음과 같다^[6].

$$\bar{w} = \bar{\Phi}^{-1} \bar{z} \quad (1)$$

\bar{w} 는 TDL 모델의 계수로 필터 길이 M 을 갖는 $M \times 1$ 벡터이다. $\bar{\Phi}$ 는 송신 데이터 $u(i)$ 의 상관행렬로 다음과 같이 구한다.

$$\bar{u}(i) = [u(i), u(i-1), \dots, u(i-M+1)]^T \quad (2)$$

$$\bar{\Phi} = \sum_{i=M}^N \bar{u}(i) \bar{u}^H(i) \quad (3)$$

\bar{z} 는 송신 데이터 $u(i)$ 와 수신 데이터 $r(i)$ 의 cross-correlation 벡터이다.

$$z(-k) = \sum_{i=M}^N u(i-k)r^*(i), 0 \leq k \leq M-1 \quad (4)$$

$$\bar{z} = [z(0), z(-1), \dots, z(-M+1)]^T \quad (5)$$

이와 같이 전력 지연 프로파일을 구하면 이를 이용하여 산란함수 (scattering function)를 구할 수 있다. 채널을 wide-sense stationary uncorrelated scattering (WSSUS) random process로 가정하고, 지연시간 τ 와 도플러 주파수 ν 를 두개의 변수로 갖는 산란 함수 $S(\tau, \nu)$ 를 구할 수 있다^[7-8].

1. 고속도로의 소통이 원활한 경우의 궤환 채널

먼저 고속도로 소통이 원활한 경우에 측정한 궤환 채널을 분석하였다. 그림 2는 1 ms 마다 정규화 된 전력 지연 프로파일을 1초 동안 시간에 따라 모아 놓은 것을 3차원으로 표현한 것이다. 10 μ s까지 지연시간을 표시하였고 4 μ s까지 에너지가 큰 핑거들이 나타난다. 1초 동안 계수 값들의 에너지 변화가 심한 것으로 보아 도플러의 영향이 큼을 알 수 있다. 첫 번째 경로의 전력이 가장 크고, 나머지 경로는 지연이 길어질수록 작아진다. 그리고 1초 동안 크기의 변화는 심하지만, 핑거가 나타나는 지연시간은 일정하게 나타나고 있다.

그림 3은 1초 동안 전력 지연 프로파일을 평균해서 나타내고 있다. 그림을 보면 평균적으로 유효한 다중경로가 5.5 μ s까지 나타나는 것으로 나왔다. 첫 번째 경로

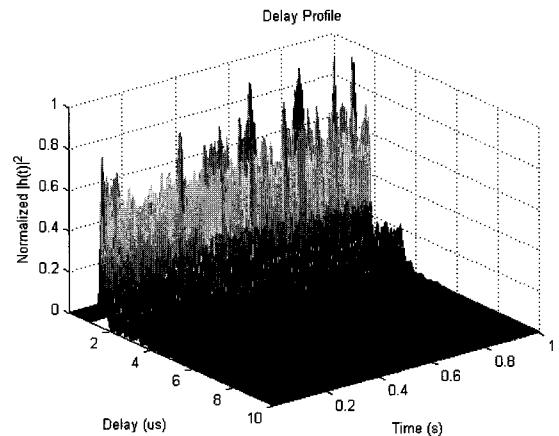


그림 2 시간에 따른 전력 지연 프로파일
Fig. 2. Power delay profile with respect to time and delay.

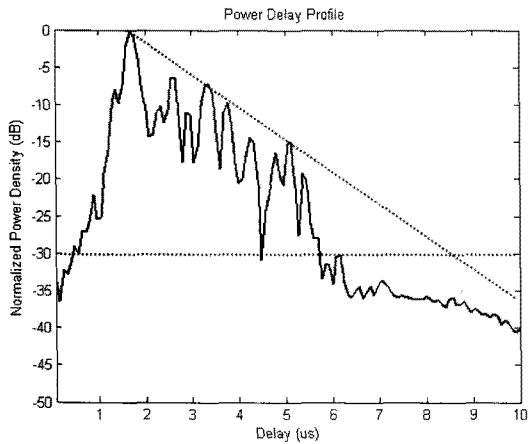


그림 3. 평균 전력 지연 프로파일
Fig. 3. Average power delay profile.

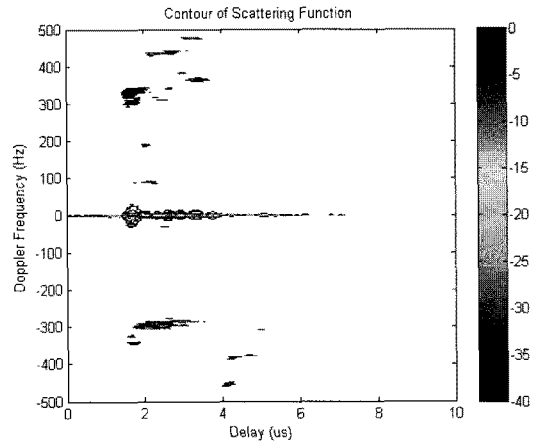


그림 5. 산란 함수의 윤곽식도
Fig. 5. Contour diagram of the scattering function.

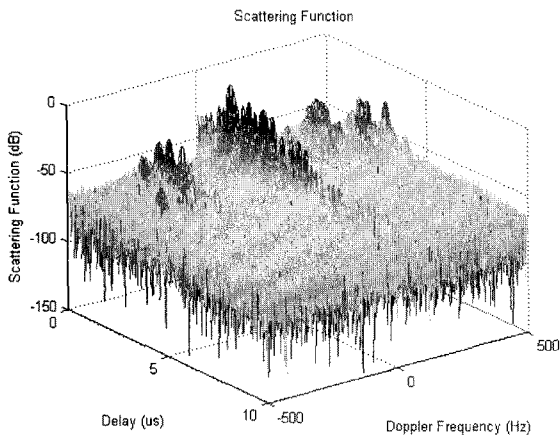


그림 4. 3차원 산란 함수
Fig. 4. Mesh diagram of the scattering function.

가 1.7 μs 에서 나타남으로 3.8 μs 차이가 난다. 송수신 안테나가 함께 고정되어 있으므로 마지막 지연은 첫 번째 지연보다 570 m 더 떨어져 있다고 할 수 있다. 그리고 궤환 신호는 지연시간에 따라 로그 스케일로 감소하는 것으로 나타났다.

그림 4는 궤환 채널의 지연 프로파일을 이용하여 구한 산란 함수이다. 산란함수는 1초 동안 구한 1,000개의 지연 프로파일을 푸리에 변환하여 구하였고, +500~ -500 Hz까지 나타내며 분해능은 1 Hz이고, 지연시간은 10 μs 까지 표시하였다.

그림 5는 산란함수를 지연과 도플러 주파수에 대하여 -40 dB까지 윤곽선으로 표시한 것이다. 최고 침투값은 잡음으로부터 60 dB 위에 있고 0 Hz, 1.7 μs 에 위치해 있다. 도플러는 +450~-450 Hz까지 폭넓게 있으며, +300 Hz, -300 Hz에서 큰 에너지를 갖는다. 이 도플러

성분은 1.7~3 μs 사이에 있고 그 값이 최고 피크에 대하여 -20 dB 정도 되며 양과 음 도플러 주파수에 비슷하게 분포하고 있다. 핑거의 수는 7개로 나타난다.

2. 한방향이 정제되는 경우의 궤환 채널

교통 정체로 한쪽 방향이 막혀 있는 경우에 대한 채널 분석을 앞 절에서 소통이 원활할 때와 동일한 순서로 채널을 분석한다. 먼저 측정시간에 따른 다중 경로의 전력 지연 프로파일을 계산한 결과가 그림 6에 있다. 4 μs 까지 다중경로가 큰 값을 가지고 있고, 1초 동안 에너지의 변화가 심해 도플러의 영향이 큰 것으로 보인다.

그림 7은 전력 지연 프로파일을 평균한 값이다. 5.5 μs 에 유효한 마지막 다중경로가 있고 1.8 μs 에 첫 번째 경로가 있다. 3.7 μs 차이로 550 m 정도 차이가 있다.

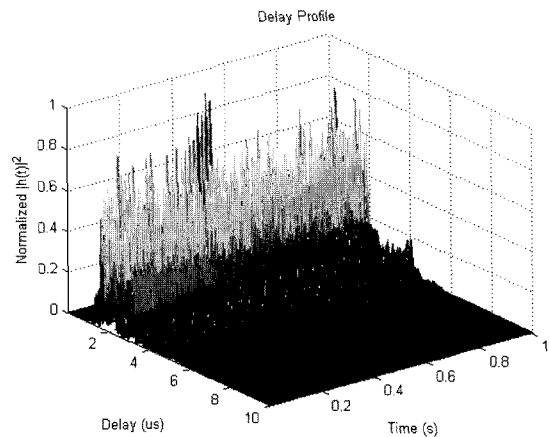


그림 6. 시간에 따른 전력 지연 프로파일
Fig. 6. Delay profile with respect to time and delay.

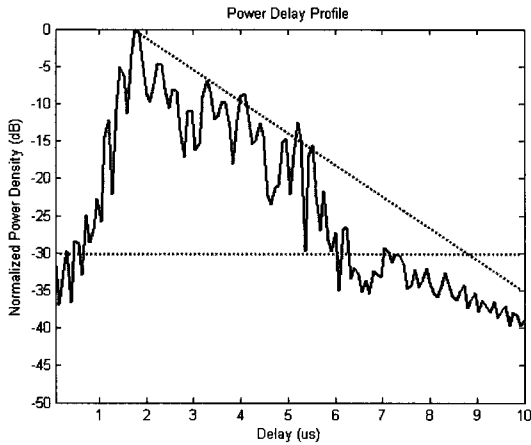


그림 7. 평균 전력 지연 프로파일
Fig. 7. Power delay profile average.

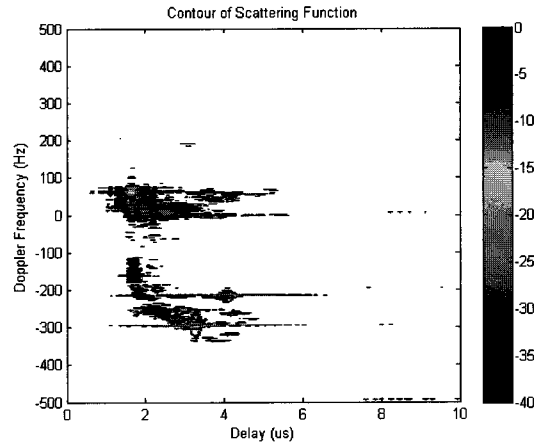


그림 9. 산란 함수의 윤곽선도
Fig. 9. Contour diagram of the scattering function.

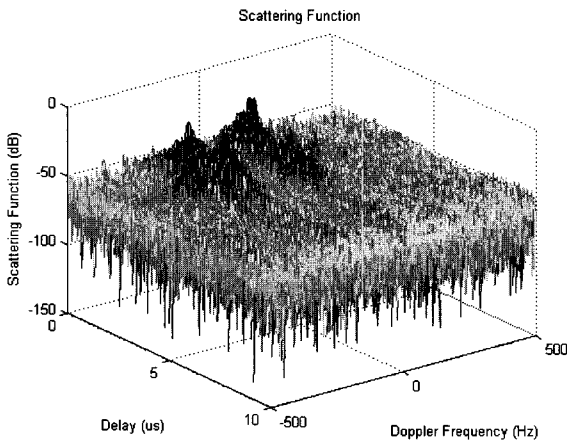


그림 8. 3차원 산란 함수
Fig. 8. Mesh diagram of the scattering function.

1.8 μs 에서 6 μs 사이에 나타나는 핑거는 11개로 증가하였다. 차량이 서행하면서 반사체의 수가 증가한 것으로 예측된다. 핑거의 크기는 로그 스케일로 감소한다.

그림 6에서 구한 전력 지연 프로파일에 대해 지연과 도플러를 변수로 하는 산란 함수의 3차원 그림이 그림 8에 도시되었고, 윤곽선도가 그림 9에 있다.

그림 8을 보면 3개의 큰 첨두값이 보인다. 가장 큰 첨두값은 도플러 -290 Hz, 지연시간 3.3 μs 에서 나타났고, 도플러 -220 Hz, 지연 4.1 μs 에서 두번째로 큰 첨두값, 도플러 70 Hz, 지연 1.7 μs 에서 세번째 첨두값이 나타났다. 소통이 원활한 경우에 최대 첨두값이 있던 도플러 0 Hz, 지연 1.7 μs 에서는 에너지가 최대 첨두값보다 20 dB 아래에 있다. 도플러 0~80 Hz, 지연 1.7~2 μs 에 에너지가 몰려 있다. 반대편 차선의 소통은 원활하여 -200~-300 Hz의 도플러 주파수가 나타났다. 가

장 큰 두 개의 피크는 대형차량에 의해 순간적으로 발생한 것으로 추정된다.

동일 채널 중계기에서 간섭제거를 위해 주로 사용되는 LMS (Least Mean Square) 계열 적응필터는 현재 채널을 추정하는데 이전의 채널과 오차를 사용하므로 채널의 변화가 심하고 궤환 신호가 에너지가 클수록 채널 추정의 오차가 커지게 되고 중계기가 발산할 수 있다. 위와 같은 분석결과로 고속도로변의 궤환 채널은 450 Hz에 달하는 도플러 주파수를 가질 수 있으면, 대형차량에 의해 매우 큰 에너지를 갖는 도플러 성분이 있을 수 있다. 다중경로에 의한 지연은 로그 스케일로 감소하는 것으로 나타났다. 두 경우의 평균 전력 지연 프로파일을 보면 1.7 μs 에서 첫번째 첨두값이 나타나서 5.5 μs 이후 20 dB 감소하는 것을 볼 수 있다. 문턱값을 -30 dB로 하였을 때, 7.5 μs 면 -30 dB 이하로 에너지가 감소할 것이다.

3. 궤환 채널의 지연 확산과 도플러 확산

가. 지연 확산

지연확산은 다중경로 채널의 특징을 나타내는 중요한 파라미터이다. 다중경로 채널에서 수신된 신호는 전송된 신호의 세기 (β_k), 시간지연 (τ_k), 위상천이 (θ_k)로 된 신호이기 때문에 다중경로 채널의 기저대역 임펄스 응답은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h(t) = \sum_k \beta_k e^{j\theta_k} \delta(t - \tau_k) \tag{6}$$

임펄스 응답의 τ_k 와 β_k 에 의해 정의되는 지연확산은

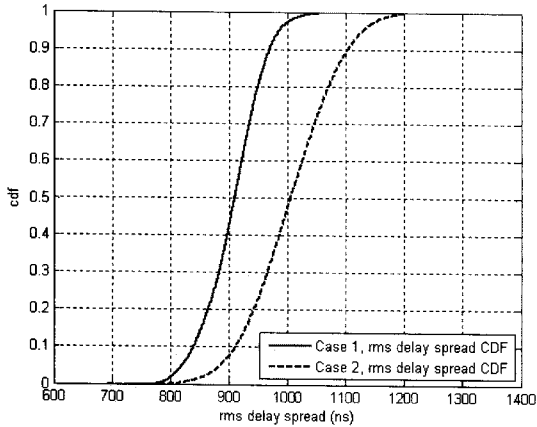


그림 10. rms 지연 확산의 누적분포도
Fig. 10. rms delay spread CDF (Cumulative distribution function).

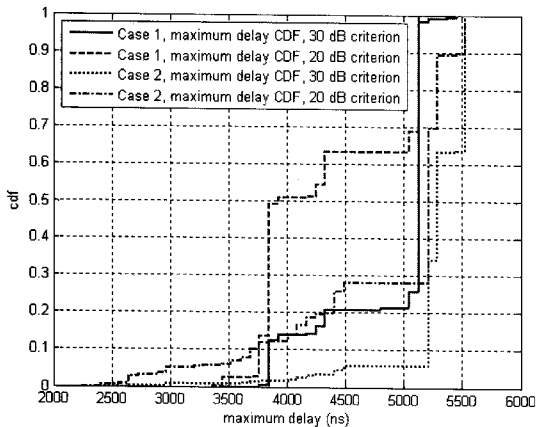


그림 11. 최대 지연의 누적분포도
Fig. 11. Maximum delay CDF.

다중경로의 특징을 나타낼 수 있는 간단한 파라미터이며, rms 지연 확산은 임펄스 응답의 2차 모멘트이고 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_\tau \equiv \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2} \tag{7}$$

$$\overline{\tau^n} \equiv \frac{\sum_k \tau_k^n \beta_k^2}{\sum_k \beta_k^2}, \quad n = 1, 2 \tag{8}$$

그림 10은 소통이 원활한 경우(Case 1)와 한방향이 정체된 경우(Case 2)에 대해 10초 동안 측정된 10,000 개의 전력지연프로파일의 rms 지연 확산을 구하고 누적분포도를 그린 것이다. Case 1의 평균 rms 지연 확산은 907 ns이고 rms 지연 확산의 99% 이상이 1,050 ns

표 1. 최대 지연의 누적분포표

Table 1. Maximum delay CDF for figure 11.

	Case 1 30dB	Case 1 20dB	Case 2 30dB	Case 2 20dB
평균 최대지연시간	4,881	4,342	5,267	4,858
CDF 0.5	5,120	3,920	5,280	5,200
CDF 0.99	5,360	5,120	5,520	5,520
CDF 1	5,440	5,200	5,760	5,520

이내에 있다. Case 2의 평균 rms 지연 확산은 1,004 ns 이고 99% 이상이 1,200 ns 이내에 있다. 고속도로가 정체되어 있는 Case 2의 경우에서 많은 차량이 반사체로 작용하여 rms 지연 값이 증가함을 보이고 있다.

그림 11은 최대지연시간의 누적분포를 나타낸 것이고, 표 1은 그림 11의 누적분포 값을 정리한 것이다. 5,000~5,500 ns 사이에서 누적분포가 크게 증가하였고 많은 최대지연시간 값들이 여기에 위치한다. 전체 99%의 최대지연값이 5,520 ns 이내에 있고, 5,760 ns가 가장 긴 최대지연시간이다. 최대지연시간은 궤환 신호를 제거하기 위한 필터의 길이를 결정하는데 중요한 파라미터가 된다.

나. 도플러 확산

도플러 확산은 채널의 시변특성을 나타내는 중요한 파라미터이다. 도플러 확산은 도플러 스펙트럼의 rms로 채널에 의한 스펙트럼의 변이 정도를 나타낸다. 도플러 스펙트럼은 산란함수를 지연에 대하여 적분해서 구할 수 있다.

그림 12는 Case 1과 2의 도플러 스펙트럼을 나타낸 것으로 측정데이터 10초간의 산란함수를 적분하여 구하였다. 차량의 소통이 원활한 Case 1의 경우 0 Hz에 도플러 스펙트럼이 집중되어 있고 좌우로 -300 Hz와 350 Hz, 430 Hz에 도플러가 모여 있다. 소통의 원활한 경우 고속도로를 지나가는 차량의 빈도가 적기 때문에 고속도로 주위 지형에 의해 도플러 주파수가 없는 궤환 신호가 많이 수신되고, 주행하는 차량에 의해 -300 Hz와 350 Hz, 430 Hz의 도플러 주파수가 발생하였다. Case 2는 한쪽 방향이 정체되는 고속도로 환경에서의 도플러 스펙트럼이다. 도로가 서행하는 많은 차량으로 덮여있어 고속도로 주위 지형에 의한 0 Hz에서의 도플러 스펙트럼은 감소하였고 0~80 Hz 사이에서 서행하는 차

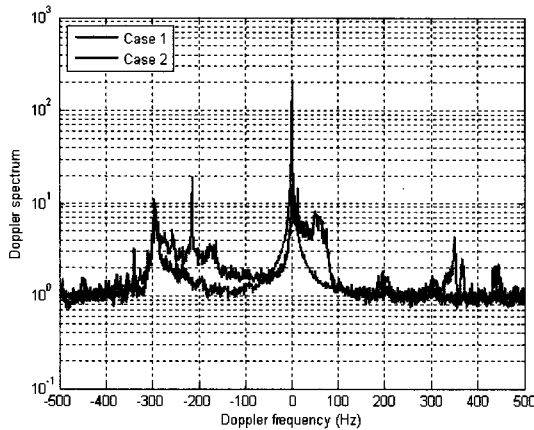


그림 12. 고속도로로 소통이 원활한 경우와 정체되는 두 경우에 대하여 구한 도플러 스펙트럼
Fig. 12. Doppler Spectrum of two case.

량에 의한 도플러가 발생하였다. 반대방향으로는 차량의 소통이 원활하여 $-170 \sim -300$ Hz의 도플러 천이가 생겼다. -300 Hz 이하의 도플러 천이가 안보이고 -220 Hz에서 가장 강한 도플러가 발생하였다. Case 2는 교통 혼잡으로 자동차가 서행하면서 Case 1보다 도플러 주파수는 낮아졌지만 전체적으로 도플러 스펙트럼의 에너지가 높아졌다.

IV. 결 론

본 논문에서는 궤환 간섭 채널을 측정하고 특성을 분석하였다. 궤환 간섭 채널은 직접 경로와 주위의 사물에 의한 다중 경로를 통해 궤환되어 원신호에 간섭으로 작용한다. 이러한 궤환 간섭 채널의 특성을 파악하여 시스템 설계에 반영함으로써 시스템의 성능 향상을 이룰 수 있다. TDL (Tapped Delay Line) 채널 모델을 사용하였으며, 송신신호와 수신신호는 동시에 샘플링 하였고, 채널의 계수는 LS 알고리즘을 이용하여 구하였다. 고속도로변에서 소통이 원활한 경우와 한방향이 정체되고 있는 경우에 대하여 측정하였고, 이 측정 자료로 전력 지연 프로파일, 산란 함수, 지연 확산, 도플러 확산 등을 분석하였다. 궤환 채널 모델은 매우 높은 도플러 주파수를 가지고 있으며, 궤환 신호의 크기가 지연시간에 따라 로그 스케일로 감소하였다. 두 가지 측정 환경에서 최대 지연 시간은 비슷하였고, rms 지연 확산은 차량에 의한 신호 반사로 도로가 정체되는 경우에 조금 증가하였다. 그리고 도플러 확산은 고속도로의 차량통행 환경과 밀접한 연관이 있었다. 측정된 채널을

토대로 동일 채널 중계기는 궤환 간섭을 제거하기 위하여 $7.5 \mu\text{s}$ 이상의 필터 길이를 가져야 하고, 500 Hz에 달하는 도플러 주파수를 고려하여야 하고, 대형차량은 순간적으로 큰 에너지를 갖는 궤환 신호를 발생시킴으로 동일채널 중계기에서 순간적인 궤환 간섭에 의해 발산을 막는 설계가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Y. P. Zhang, "Indoor Radiated-Mode Leaky Feeder Propagation at 2.0GHz," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 50, no. 2, pp. 536-545, Mar. 2001.
- [2] P. C. Fannin, and A. Molina, "Analysis of mobile radio channel sounding measurements in inner city Dublin at 1.808GHz," *IEE Proc. Commun.*, vol. 143, no. 5, pp. 311-316, Oct. 1996.
- [3] John Austin, Walter P. A. Ditmar, Wai Keung Lam, Enric Vilar, and Kin Wa Wan, "A Spread Spectrum Communications Channel Sounder," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, no. 7, pp. 840-847, July 1997.
- [4] Xiongwen Zhao, Jarmo Kivinen, Pertti Vainikainen, and Kari Skog, "Propagation Characteristics for Wideband Outdoor Mobile Communications at 5.3 GHz," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 20, no. 3, pp. 507-514, Apr. 2002.
- [5] Adel A. M. Saleh, and Reinaldo A. Valenzuela, "A Statistical Model for indoor Multipath Propagation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-5, no. 2, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [6] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 4th Ed., Chap. 8, 2002.
- [7] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 4th Ed., Chap. 14, 2000.
- [8] J. K. Cavers, *Mobile Channel Characteristics*, Kluwer Academic Publishers, Chap. 5, 2002.

저 자 소 개



문 우 식(학생회원)
2007년 숭실대학교
정보통신전자공학부
학사 졸업
2007년~현재 숭실대학교
정보통신전자공학부
석사과정 재학중

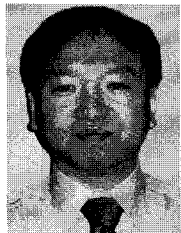
<주관심분야 : WCDMA, 채널 모델링, 적응 신호
처리>



임 성 빈(정회원)
1986년 서울대학교
전자공학과 학사
1988년 서울대학교
전자공학과 석사
1994년 University of Texas at
Austin 전기 및 컴퓨터
공학과 박사

1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
교수

<주관심분야 : 비선형 신호처리, 통신 시스템, 디
지털 방송 시스템>



김 현 채(정회원)
1995년 고려대학교 물리학과
학사 졸업
1998년 고려대학교 물리학과
석사 졸업
1998년~2000년 (주)신도리코
2000년~현재 (주)솔리테크

<주관심분야 : 통신>



권 낙 원(정회원)
2004년 경원대학교 전자공학과
학사 졸업
2003년~현재 (주)솔리테크 재직
<주관심분야 : 통신>