

전력선 통신 채널 모델링에 관한 연구*

정영화**

요 약

본 논문은 전력선 통신 실험을 보다 빠르고 효율적으로 수행할 수 있는 전력선 채널 모델링에 관한 것이다. 용량성 부하 채널 시뮬레이터는 대내망 전력선 모델 개발에 있어서 필수적인 실험 장비이다. 실제 전력선 채널 환경을 모델링한 이 실험 장비를 이용한 총 245 개의 용량성 부하 채널에 대하여 주파수 응답법에 의한 채널 모델링을 행하였다. 용량성 부하 채널 시뮬레이터를 사용한 실험 데이터 결과와 모델링된 채널 필터를 통과한 결과를 비교하였을 때 큰 오차 없이 실제 전력선 통신상의 용량성 부하 실험을 대체할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 홈 네트워킹이나 디지털 정보가전 구현을 위한 솔루션으로서 전력선통신 기술에 대한 관심과 기대가 매우 높아지고 있다. 특히 디지털 정보가전이나 사이버 아파트, 홈 네트워킹 등과 같은 최신 기술 수요의 요구에 따라 이들 분야의 강력한 솔루션으로 등장하고 있다.[1][2][3] 최근에서야 국내에서도 몇몇 업체를 중심으로 전력선통신 기술의 상용화를 위한 많은 노력들이 이루어지고 있으며, 대내망용 저속 PLC 칩의 상용화를 일부 이루었다. 또한 가입자망용 고속 PLC 기술 분야에 있어서도 1M~50Mbps 급의 PLC 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 전력선 통신 기술 자체에 대해서는 상당한 기술력을 보유하고 있음에도 불구하고 전력선통신 채널에 대한 분석 및 모델 성능 실험 자동화를 위한 채널 모델뱅크 구축에 대한 연구는 상당

히 미흡한 실정이다. 이러한 분석이 무엇보다도 필요한 이유는 한 건물 또는 가정내에서 전력선은 네트워크처럼 연결되어 있다는 것이 장점인 반면에 채널 특성은 어느 하나도 같지 않다는 점에 기인한다. 또한 가정내 여러 곳에 부착되어 있는 전원 콘센트를 통하여 연결하게 되는 각종 전자기기들로 인한 특성 변화는 예측하기조차 어려운 정도이다. 거기에 불규칙한 주파수 영역에 따른 심한 감쇠 변화는 전력선 통신이 왜 어려운 기술인가를 잘 나타내 주고 있다.[4][5] 따라서 앞으로 더욱 활발해질 디지털 정보가전 분야나 홈네트워킹 분야에서의 전력선 통신 기술의 발전을 위해서는 전력선 채널에 대한 보다 깊은 연구가 이루어져야 한다.[6] 기본적인 전력선 채널 특성 및 잡음 특성뿐만 아니라 다양한 전자기기에 따른 채널 특성 변화와 잡음 영향 분석, 건물과 가정집에서의 채널 영향 등 보다 많은 실험에 의한 전력선 채널 분석과 채널 모델링등이 이루어져야 상용화에 앞서 보다 안정적인 전력선 통신 기술의 개발에 기초가 될 수 있다.

* 이 연구는 2001년 남서울대학교 교비연구비 지원에 의하여 연구되었음.

** 남서울대학교 전자정보통신 공학부

본 논문에서는 가정에서 가전을 비롯한 각종 전자기기를 사용할 때에 그 기기로 인하여 영향을 받게 되는 용량성 부하 시험을 수행하는데 필요한 용량성 부하 채널 시뮬레이터에 대하여 간단한 주파수 응답법을 사용한 채널 모델링을 통하여 채널 모델 필터뱅크를 구축하였다. 채널 모델링 방법을 통한 결과를 실제 시뮬레이터를 이용한 실험 결과와 비교하였을 때 큰 차이가 없음을 확인하였으며, 이 필터뱅크를 이용하여 전력선 통신 채널에 대한 용량성 부하 실험 자동화가 가능함을 확인하였다.

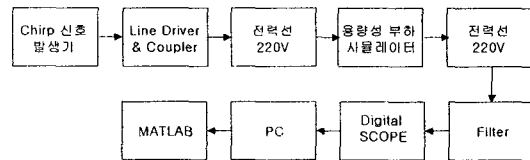
II. 전력선 채널 모델링

2.1. 전력선 채널 특성 측정

통신 시스템의 개발에 있어서 통신 채널에 대한 특성 정보 획득은 필수적이며, 이 채널 특성 정보를 얻기 위하여 채널 특성에 대한 광범위한 측정 작업이 수행되어야 한다. 이러한 채널 특성 측정 방법으로 PN 시퀀스의 자기 상관 특성을 이용한 STDCC(Swept Time-Delay Cross-Correlation) 방법과 단일 주파수 신호를 채널에 송신한 후 수신측에서 주파수 분석기를 가지고 주파수별 이득을 얻음으로써 채널 특성을 얻는 방법인 주파수 조사 방법, 그리고 시변 특성을 얻기 위하여 한 개의 주파수 성분만을 갖는 톤(tone) 신호를 채널에 인가하여 시간에 따른 수신 신호 전력을 관측하는 방법인 Continuous Wave 측정 방법 등이 있다. 본 논문에서는 100KHz~400KHz 까지 선형적으로 변하는 Chirp 신호를 사용하여 그 대역에서의 채널 특성 데이터를 얻는 방법을 사용하였다.

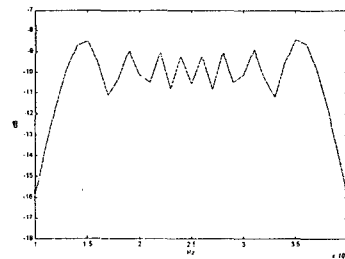
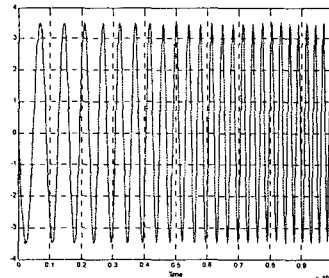
현재 단일 또는 이중 캐리어 방식의 전력선 통신 방식이나 확산대역통신 방식을 이용하는 방식[5] 모두 100KHz~400KHz 대역을 사용하고 있으며, 일부에서는 규격으로 정하고 있으므로 이 대역만의 주파수 특성을 얻어 분석하여도 문제가 없다.

(그림 1)에서는 채널 특성을 측정하기 위한 실험 구성도를 보인다.



(그림 1) 채널 특성을 측정하기 위한 실험 구성도

(그림 2)는 100KHz~400KHz Chirp 신호와 주파수 스펙트럼을 보인다.



(그림 2) 100KHz~400KHz Chirp 신호와 주파수 스펙트럼

2.2. 채널 모델링 방법

본 논문에서는 측정된 채널 특성 데이터를 가지고 채널 모델링을 수행하기 위하여 식 (1)과 같은 주파수 응답법을 이용하였다.

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \quad (1)$$

여기서 $H(f)$ 는 전력선 통신 채널 전달함수, $X(f)$ 는 입력 Chirp 신호에 대한 주파수 응답, $Y(f)$ 는 출력 신호에 대한 주파수 응답이다.

$H(f)$ 를 역 푸리에 변환함으로서 전력선 채널의 임펄스 응답 $h(t)$ 를 구할 수 있다.

여기서 전 채널을 모델링하는데 적합한 tap 수를 선택함으로써 FIR 필터로 모델링 할 수 있다. 본 논문에서는 실험을 통하여 64tap이 적절함을 알 수 있었다.

III. 용량성 부하 채널 시뮬레이터

3.1. 용량성 부하 채널 시뮬레이터 구조

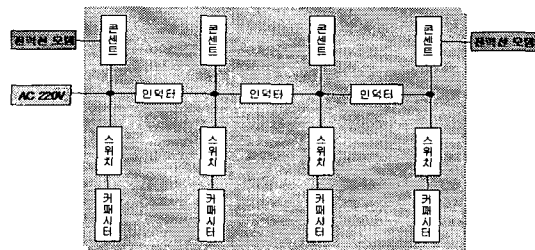
하나의 전력선 통신 모델 칩을 개발하기 위해서는 많은 실험을 거쳐야 하는데, 이는 전력선 통신 채널의 특성상 매우 다양한 형태의 채널 특성을 가지기 때문이다. 따라서 개발 기간 단축과 비용 절감 등의 효율적인 개발을 위해 실제 전력선 채널 환경에 근접한 특성을 갖는 실험 장비가 요구된다. 그러한 장비중 하나가 용량성 부하 채널 시뮬레이터이다. 이 장비를 사

용하여 전력선 통신 제품의 정상적인 실험이 가능하며, 통신 성능의 안정화를 이룰 수 있다.

(그림 3)에서 보이는 바와 같이 용량성 부하 채널 시뮬레이터는 콘센트 노드별 간격을 15m로 하였으며, 노드#1에서 노드 #4까지의 총 길이는 45m이다.

각 노드마다 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5μF의 캐패시터 부하를 걸 수 있도록 하였다. 또한 전력선 통신에서 악조건 배선 구조인 권선 형태로 감아 일정한 인덕턴스를 갖는 구조로 구성하였다.

(그림 3)은 용량성 부하 채널 시뮬레이터 내부 구성도를 보인다.



(그림 3) 용량성 부하 채널 시뮬레이터 내부 구성도

3.2. 용량성 부하 인가

가정용 가전 제품은 대부분 노이즈나 EMI방사 및 전도를 줄이기 위하여 공통(Common) 잡음 필터를 사용하며, 이는 용량성 부하로 작용한다. 가전제품 중 가장 높은 용량성 부하는 2.2μF이므로 2.2μF/630V의 용량성 부하를 실험에 필요한 의사 부하로 하여야 한다. 그러나 더욱 악조건에서도 통신이 가능하여야 하므로 실험에 사용된 용량성 부하 채널 시뮬레이터는 3.5μF까지 인가할 수 있도록 하였다. 표 1은 가전제품(LG)의 전원 입력단의 저항성부하와 용량성 부하를 보이고 있다.

<표 1> 가전제품(LG)의 전원 입력단의 저항성부하와 용량성 부하

가전제품	저항성부하	용량성 부하	가전제품	저항성부하	용량성 부하
세탁기 인버터형	110 Ohm	0.47uF	에어컨 인버터형	22 Ohm	0.1uF
세탁기 일반형	110 Ohm	0.1uF	에어컨 일반형	22 Ohm	0.1uF
냉장고 인버터형	110 Ohm	0.47uF	TV SMPS Free Voltage	81 Ohm	0.1uF
일반형	110 Ohm	0.1uF	VCR SMPS Free Voltage	181 Ohm	0.1uF
전자레인지	110 Ohm	0.1uF	형광등 인버터형	181 Ohm	0.1uF
밥솥: IH형	32 Ohm	2.2uF	전기 장판 일반형	220 Ohm	0.1uF
일반형	32 Ohm	0.1uF	믹서기 일반형	81 Ohm	0.1uF
청소기	81 Ohm	0.1uF	전기 드릴 일반형	81 Ohm	0.1uF

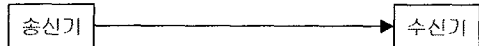
전력선 통신 모뎀 성능 실험에서는 'single', 'double', 'multiple' 용량성 부하 인가 실험을 행한다. 따라서 각각에 대한 채널 특성 데이터를 얻기 위하여 <표 2>, <표 3>, <표 4>와 같은 장표를 이용하며, 송수신 위치로 0m 위치의 콘센트에 송신 모뎀을 접속하고, 45m 위치의 콘센트에 수신 모뎀을 접속하여 실험한다.

'single' 용량성 부하 인가 실험의 경우 <표 2>에 따라 각각 한개 위치의 콘센트에 0.5uF~3.5uF의 단일 용량성 부하를 인가하여 송신 신호와 수신 신호를 측정하며, 28개의 채널 실험을 행한다.

'double' 용량성 부하 인가 실험의 경우 <표 3>에 따라 각각 두개 위치의 콘센트에 0.5uF~3.5uF의 단일 용량성 부하를 동시에 인가하여 송신 신호와 수신 신호를 측정하며, 84개의 채널 실험을 행한다.

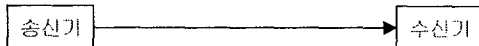
'multiple' 용량성 부하 인가 실험의 경우 <표 4>에 따라 각각 3개 이상 위치의 콘센트에 0.5uF~3.5uF의 단일 용량성 부하를 동시에 인가하여 송신 신호와 수신 신호를 측정하며, 133개의 채널 실험을 행한다.

<표 2> 'single' 용량성 부하 인가 실험 장표



	0m	15m	30m	45m
0.5/1/1.5uF				
2/2.5/3uF				
3.5uF				
		0.5/1/1.5uF		
		2/2.5/3uF		
		3.5uF		
			0.5/1/1.5uF	
			2/2.5/3uF	
			3.5uF	
				0.5/1/1.5uF
				2/2.5/3uF
				3.5uF

<표 3> 'double' 용량성 부하 인가 실험 장표



	0m	15m	30m	45m
0.5/1uF				0.5~3.5uF
1.5/2uF				0.5~3.5uF
		0.5/1uF		0.5~3.5uF
		1.5/2uF		0.5~3.5uF
			0.5/1uF	0.5~3.5uF
			1.5/2uF	0.5~3.5uF

<표 4> 'multiple' 용량성 부하 인가 실험 장표

송신기	→ 수신기		
0m	15m	30m	45m
	0.5uF	0.5uF	0.5~3.5uF
	1/1.5uF	1/1.5uF	0.5 ~3.5uF
	2uF	2uF	0.5 ~3.5uF
0.5uF	0.5uF		0.5 ~3.5uF
1/1.5uF	1/1.5uF		0.5 ~3.5uF
2uF	2uF		0.5 ~3.5uF
0.5uF		0.5uF	0.5 ~3.5uF
1uF		1/1.5uF	0.5 ~3.5uF
2uF		2uF	0.5 ~3.5uF
0.5uF	0.5uF	0.5uF	0.5 ~3.5uF
1uF	1uF	1uF	0.5 ~3.5uF
1.5uF	1.5uF	1uF	0.5 ~3.5uF

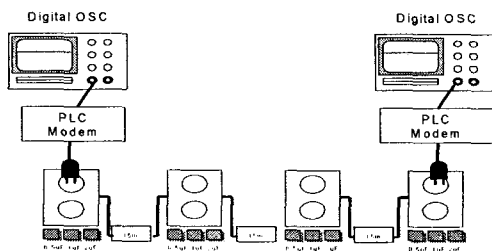
4.1. 채널 모델링 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 용량성 부하 채널 시뮬레이터를 사용하여 전력선 모델 통신 실험시 수행하는 총 245개 채널을 대상으로 각 채널에 대한 모델링 결과를 얻었다.

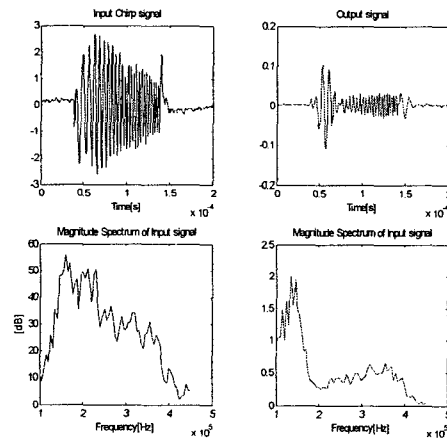
(그림 5)에서 'single' 용량성 부하 인가 채널 중 15m 콘센트 위치에 2uF 용량성 부하를 인가하였을 때의 입력신호와 출력신호에 대한 측정 결과들을 보인다. 그림에서 0m 위치의 콘센트로 송신한 Chirp 신호와 45m 위치의 콘센트에서 측정한 출력신호를 각각 보이고 있다. 또한 각각의 입력과 출력 신호에 대한 주파수 응답을 보이고 있다. 입력 신호가 찌그러져 나타나는 것은 전력선에 입력신호를 인가할 때의 임피던스 매칭 문제에 기인한다.

IV. 실험 및 고찰

실험은 플래넷의 용량성 부하 채널 시뮬레이터를 이용해 이뤄졌다. 그리고 그림 4에 이 용량성 부하 채널 시뮬레이터를 이용한 실험 환경을 도시하였다.



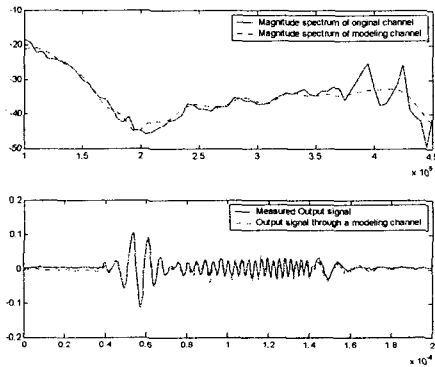
(그림 4) 용량성 부하 채널 시뮬레이터를 이용한 실험 환경



(그림 5) 15m 콘센트 위치에 2uF 용량성 부하를 인가하였을 때의 입력신호와 출력신호에 대한 측정 결과

(그림 6)에서는 측정된 채널의 주파수 응답과 64tap FIR 필터로 모델링된 채널의 주파수 응답 결과를 보인다. 실험을 통하여 64tap 이상의

FIR 필터로 모델링하였을 때 전 채널을 원래 특성과 유사하게 모델링 할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 그림 6에서 측정된 용량성 부하 채널 시뮬레이터 채널을 통과한 신호와 모델링된 FIR 필터를 통과한 신호를 비교하여 나타내었다. 두 신호를 비교하였을 때 큰 차이가 없었으며 이들 신호를 가지고 송신 데이터 '1','0'를 판단할 때 모델링 채널을 이용하여 실험하여도 실제 시뮬레이터를 이용한 실험과 큰 차이가 없음을 확인하였다.

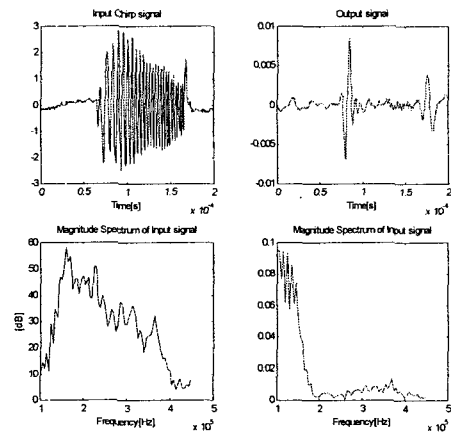


(그림 6) 채널 모델링 결과(주파수 응답비교와 신호비교)

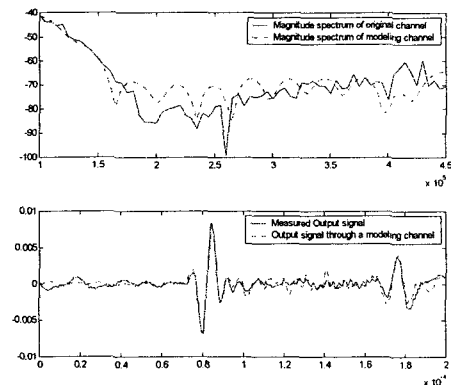
(그림 7)은 'double' 용량성 부하 인가 채널중 15m 와 45m 콘센트 위치에 각각 2 μ F 용량성 부하를 인가하였을 때의 입력신호와 출력신호에 대한 측정 결과들을 보인다. 그림에서 0m 위치의 콘센트로 송신한 Chirp 신호와 45m 위치의 콘센트에서 측정된 출력신호를 각각 보이고 있다. 또한 각각의 입력과 출력 신호에 대한 주파수 응답을 보이고 있다.

(그림 8)에서는 측정된 채널의 주파수 응답과 64tap FIR 필터로 모델링된 채널의 주파수 응답 결과를 보인다. 또한 (그림 8)에서 측정된 용량성 부하 채널 시뮬레이터 채널을 통과한 신호와

모델링된 FIR 필터를 통과한 신호를 비교하여 나타내었다. 'double' 용량성 부하 인가 채널에 대해서 모델링 채널을 이용하여 실험하여도 역시 실제 시뮬레이터를 이용한 실험과 큰 차이가 없음을 확인하였다.



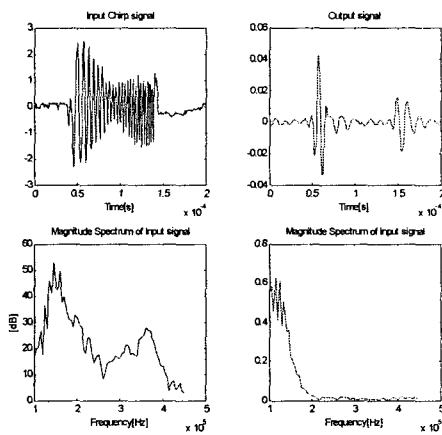
(그림 7) 15m 와 45m 콘센트 위치에 각각 2 μ F 용량성 부하를 인가하였을 때의 입력신호와 출력신호에 대한 측정 결과



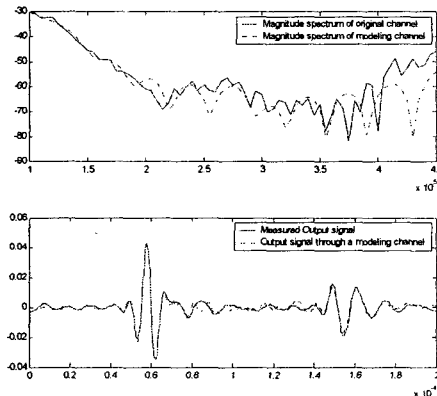
(그림 8) 채널 모델링 결과(주파수 응답 비교와 신호비교)

(그림 9)에서는 'multiple' 용량성 부하 인가 채널중 15m, 30m, 그리고 45m 콘센트 위치에

각각 2μF 용량성 부하를 인가하였을 때의 입력 신호와 출력신호에 대한 측정 결과들을 보인다. 그림에서 0m 위치의 콘센트로 송신한 Chirp 신호와 45m 위치의 콘센트에서 측정한 출력신호를 각각 보이고 있다. 또한 각각의 입력과 출력 신호에 대한 주파수 응답을 보이고 있다.



(그림 9) 15m, 30m, 그리고 45m 콘센트 위치에 각각 2μF 용량성 부하를 인가하였을 때의 입력신호와 출력신호에 대한 측정 결과



(그림 10) 채널 모델링 결과(주파수 응답 비교와 신호비교)

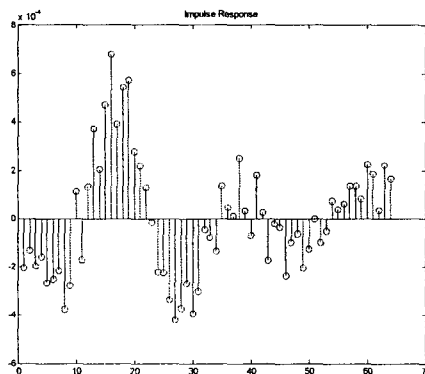
(그림 10)에서는 측정된 채널의 주파수 응답

과 64tap FIR 필터로 모델링된 채널의 주파수 응답 결과를 보인다. 또한 그림 10에서 측정된 용량성 부하 채널 시뮬레이터 채널을 통과한 신호와 모델링된 FIR 필터를 통과한 신호를 비교하여 나타내었다. 'multiple' 용량성 부하 인가 채널에 대해서 모델링 채널을 이용하여 실험하여도 실제 시뮬레이터를 이용한 실험과 큰 차이가 없음을 확인하였다.

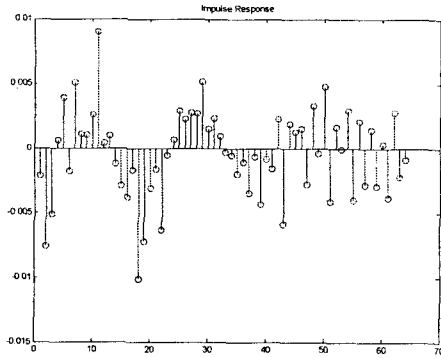
4.2. 채널 모델링 필터 뱅크 구축

채널 모델링을 통하여 얻어진 총 245개의 채널들에 대한 64tap FIR 필터 계수를 이용하여 채널 모델링 필터 뱅크를 구축함으로써 용량성 부하 채널 시뮬레이터를 이용한 전력선 통신 실험을 자동화할 수 있었다.

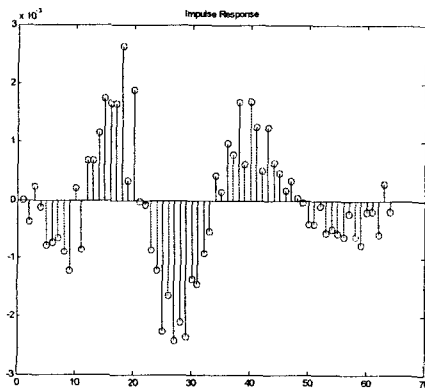
(그림 11)에 15m 콘센트 위치에 2μF 용량성 부하를 인가한 채널에 대한 모델링된 FIR 필터 계수를 나타내었으며, (그림 12)에 15m와 45m 콘센트 위치에 각각 2μF 용량성 부하를 인가한 채널에 대한 모델링된 FIR 필터 계수를 나타내었다. (그림 13)에는 15m, 30m, 그리고 45m 콘



(그림 11) 15m 콘센트 위치에 2μF 용량성 부하를 인가한 채널에 대한 모델링된 FIR 필터 계수



(그림 12) 15m와 45m 콘센트 위치에 각각 2 μ F 용량성 부하를 인가한 채널에 대한 모델링된 FIR 필터 계수



(그림 13) 15m, 30m, 그리고 45m 콘센트 위치에 각각 2 μ F 용량성 부하를 인가한 채널에 대한 모델링된 FIR 필터 계수

센트 위치에 각각 2 μ F 용량성 부하를 인가한 채널에 대한 모델링된 FIR 필터 계수를 나타내었다.

5. 결론

본 연구는 맥내망에서의 전력선 채널 특성을

기술하고, 용량성 부하 채널 시뮬레이터를 이용한 전력선 통신 실험을 실행하는데 있어서의 어려움과 시간적 소모를 줄이기 위해 간단한 채널 모델링 기법을 이용한 채널 모델 필터 뱅크를 구축하였으며, 이 모델링 시스템과 채널 시뮬레이터 장비와의 결과 비교를 통하여 채널 모델 필터 뱅크를 통한 실험이 유용함을 얻었다. 총 245 개의 채널을 모델링 하는데 있어서 가장 적절한 FIR 필터 tap 개수는 64개가 적합함을 실험을 통하여 알 수 있었다.

앞으로 사무실 환경이나 가정내 실제 환경에 대한 채널 특성 데이터 수집과 다양한 모델링 방법을 통한 채널 모델링에 대한 연구가 이루어져야 하겠으며, 또한 전력선 통신 모뎀 개발을 위한 실험 자동화에 대한 지속적인 연구가 함께 이루어져야 하겠다.

참고문헌

- 1) Shwehdi, M.H., & Khan, A.Z., Power line data communication interface using spread spectrum technology in home automation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(3), July 1996, pp. 1232-1237
- 2) Newbury, John E., & Morris, Kerry J., Power line carrier systems for industrial control applications, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 14(4), October 1999, pp. 1191-1196
- 3) Newbury, John, & Miller, William, Potential communication services using power line carriers and broadband integrated

- services digital network, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 14(4), October 1999, pp. 1197-1201
- 4) D. Radford, Spread spectrum data leap through AC power wiring, *IEEE Spectrum*, 33, Nov. 1996, pp. 48-53
 - 5) Liu, D., Flint, E., Gaucher, B., & Kwark, Y., Wide band AC power line characterization, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 45(4), 1999, pp. 1087-1097
 - 6) Ortigueira, M.D., Gerald, J.A.B., & Inacio, J.A.L., Communication over electric power lines, *Information Technological*, 11(6), 2000, pp. 181-188
 - 7) Hooijen, Olaf G., Channel model for the residential power circuit used as a digital communications medium, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 40(4), Part 1, November 1998, Pages 331-336

A study on the channel modeling for power line communication

Young-Hwa Jeong*

Abstract

This paper is concerned with a power line channel modeling for the more fast and efficiently power line communication experiment. A capacitor load channel simulator is a essential equipment in the power line modem development for in-house network. We accomplished a channel modelling by the frequency response method about the total 298 capacitor load channels. This channel data is acquired by the capacitor load simulator modeling a real power line channel environment. When the experiment results acquired from the capacitor load simulator were compared with the result from a channel filter, we confirmed to substitute capacitor load experiments on the actual power line communication without big error.

*School of Electronics & Info. & Comm. Engineering, Namseoul Univ.