

무한 등비급수와 행렬을 이용하여 멀티 패스 신호 전송과 네트워크 크기에 의한 계산의 복잡성을 줄이고 근접 노드의 영향을 고려한 전력선 통신 채널 모델

論 文

58-2-6

Power Line Channel Model Considering Adjacent Nodes with Reduced Calculation Complexity due to Multipath Signal Propagation and Network Size Using Infinite Geometric Series and Matrices

申宰榮* · 鄭智采†
(Jae-Young Shin · Ji-Chai Jeong)

Abstract - We proposed a power line channel model. We adopted advantages of other power line channel models to calculate channel responses correctly and simply. Infinite geometric series reduced the calculation complexity of the multipath signal propagation. Description Matrices were also adopted to handle the network topology easily. It represents complex power line network precisely and simply. Newly proposed model considered the effect of the adjacent nodes to channel responses, which have been not considered so far. Several simulations were executed to verify the effect of the adjacent nodes. As a result we found out that it affected channel responses but its effect was limited within certain degree.

Key Words : PLC, Channel modeling, Multipath

1. 서 론

전력선 통신은(PLC) 유력한 홈네트워킹 방식으로 떠오르고 있다. 데이터 통신을 위하여 새로운 기반 설비의 설치 없이 기존에 존재하는 전력선 네트워크를 사용하므로 비용적인 측면에서 다른 통신 방식과 차별성을 가진다. 전력선 네트워크는 데이터 통신을 위하여 설계되지 않아서 데이터 신호 전송에 여러 가지 어려움이 존재한다. 전력선은 50~60Hz의 전력 주파수에 최적화 되어 있으므로 고주파를 사용하는 광대역 통신에는 적합하지 않다. 또한 다중 분기와 가정 내 가전제품 임피던스와 전력선의 특성 임피던스(characteristic impedance)의 차이로 발생하는 임피던스 부정합(impedance mismatch)으로 인하여 멀티 패스 신호 전송 현상이 발생하여 신호 전송에 문제점이 존재한다. 이러한 어려움과 문제점을 극복하기 위한 연구를 위하여 여러 가지 전력선 통신 채널 모델이 제안되었다. 여러 가지 제안된 전력선 통신 채널 모델 가운데 [1], [2]에서 제안된 채널 모델은 전력선 네트워크를 여러 개의 서브네트워크(subnetwork)의 직렬연결로 표현하였다. 이런 경우 전체 채널 응답은 ABCD행렬, 또는 각 서브네트워크에서의 서브 채널

응답의 곱으로 나타낼 수 있으므로 비교적 전력선 네트워크를 간단하게 표현할 수 있는 장점을 가진다. 따라서 이 채널 모델은 전력선 통신에 관한 연구에 가장 널리 사용된다. [4]에서 제안된 채널 모델은 네트워크 묘사 행렬(description matrix)을 이용하여 전력선 네트워크의 여러 가지 파라미터를 행렬의 성분으로 표현하였다. 따라서 복잡한 전력선 네트워크를 간단하게 표현할 수 있어 실제적인 전력선 네트워크 형태를 쉽게 묘사할 수 있는 장점이 존재한다. 또한 무한개의 멀티 패스를 통한 신호 전송을 간단히 표현하기 위하여 채널 모델이 [3]에서 제안되었다. 이러한 전력선 통신 채널에 관한 채널 모델들은 각각의 장점을 가지고 있지만, 이러한 장점들이 각각 다른 역할을 하기 때문에 여러 가지 채널 모델의 장점을 종합하여 간단하고 정확하게 전력선 통신 채널을 묘사할 수 있는 채널 모델에 관한 필요성이 발생하였다. 본 논문에서는 현재까지 제안된 전력선 채널 모델의 장점을 모두 수용한 새로운 채널 모델을 제안하였다. 따라서 실제적인 전력선 네트워크를 간단하고 정확하게 표현하여 그 채널 응답을 구할 수 있다. 새로 제안된 전력선 통신 채널 모델은 기본적으로 [1], [2]에 제안된 채널 모델과 같이 전력선 네트워크를 여러 개의 서브네트워크의 직렬연결로 나타낸다. 전력선 네트워크에서 발생하는 무한개의 멀티 패스를 통한 신호 전송의 계산을 간단히 하기 위하여 무한 등비급수(infinite geometric series)를 이용하였고 [3], 여러 개의 가전제품이 연결되어 있는 실제적인 전력선 네트워크를 간단하고 정확하게 나타낼 수 있도록 전력선 네트워크를 네트워크 묘사 행렬을 이용하여 표현하였다. 따라서 네트워크에 존재하는 각 분기(branch)의 길이, 네트워크에 연결되어 있는 부하 임피던스(load impedance)의 크기,

* 準 會 員 : 高麗大 情報通信大 컴퓨터 · 電波通信工學科 碩士課程

† 교신저자, 正會員 : 高麗大 情報通信大 컴퓨터 · 電波通信工學科 正教授 · 工博

E-mail : jcj@korea.ac.kr

接受日字 : 2008年 11月 7日

最終完了 : 2008年 12月 24日

반사 계수(reflection coefficient), 그리고 전송 계수(transmission coefficient)를 네트워크 행렬의 성분으로 표현하였다 [4]. 또한 지금까지의 전력선 채널 모델에 관한 연구에서 고려하지 않았던 직접 경로(direct path)에 있는 분기 이외에, 근접 노드(adjacent node)에 존재하는 분기가 채널 응답에 미치는 영향을 연구하여, 채널 응답 계산에 반영하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 현재까지 제안된 전력선 통신의 채널 모델의 특징 및 장단점을 소개한 후, 전력선 네트워크에서의 멀티 패스 신호 전송에 대하여 분석하였다. 이러한 분석을 바탕으로 근접 노드(adjacent node)의 의미를 정의한 후, 근접 노드를 고려한 전력선 통신 채널 모델을 새롭게 제안하였다. 3장에서는 근접 노드가 채널 응답에 어떠한 영향을 나타내는가에 대하여 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 결론적으로 근접 노드는 채널 응답에 영향을 주는 것으로 나타나, 정확한 채널 응답을 계산하기 위하여 근접 노드의 영향을 고려해야 한다는 사실을 확인하였다. 그러나 근접 노드의 영향은 원경도(degree of distantness, DD) 1인 근접 노드로 제한되었다. 마지막으로 4장에는 본 논문의 결론을 나타내었다.

2. 전력선 통신 채널 모델의 개선점 및 새로운 채널 모델

2.1 전력선 통신 채널 모델

2.1.1 서브네트워크의 직렬연결을 이용한 채널 모델

[1], [2]에서 제안된 채널 모델은 전력선 네트워크를 여러 개의 서브네트워크의 직렬연결로 표현하였다. 이 모델은 전력선 네트워크를 간단하게 표현할 수 있다는 장점을 가지고 있어 전력선 통신을 연구하는데 가장 널리 사용되는 전력선 통신 채널 모델이다. 그러나 [7]에 제시된 실제적인 전력선 네트워크처럼 각 서브네트워크에 다중 분기가 존재하는 경우 서브네트워크상에서 반사계수, 전송계수를 계산하기가 어려워 실제적인 환경을 반영하기 어려운 점을 가진다. 또한 전력선 네트워크의 규모가 커질수록 네트워크를 다루기가 복잡해지기 때문에 간단한 네트워크를 표현하기는 적합하지만 복잡한 실제적인 네트워크를 표현하기는 어렵다.

2.1.2 행렬을 이용한 채널 모델

[4]에서 제안된 채널 모델은 복잡한 전력선 네트워크를 네트워크 묘사 행렬(description matrix)를 이용하여 나타냈다. 이 행렬을 이용하면 각 분기의 길이, 부하 임피던스의 크기, 반사 계수, 그리고 전송 계수를 행렬의 성분으로 간단하게 처리할 수 있어 크고 복잡한 네트워크를 다루기 편리하다. 그러나 전력선 네트워크에서의 멀티 패스 신호 전송에 대한 가장 일반적인 모델을 채택하여 채널 응답을 계산하여, 멀티 패스 신호 전송에 관한 보다 자세한 분석적 표현이 필요하다.

2.1.3 무한 등비급수를 이용한 채널 모델

현재까지 제안된 대부분의 전력선 통신 채널 모델은 멀티 패스 신호 전송을 전송된 주요한 신호 성분의 합으로 표현하였다. 그러나 [3]에서 제안한 채널 모델은 멀티 패스 신호의 합을 무한 등비급수를 이용하여 간단하게 표현하였다. 따라서 멀티 패스 신호 전송에 대한 계산이 간단해졌으나, 그럼에도 불구하고 이 모델은 [1], [2]에서 사용된 서브네트워크의 직렬연결 방식을 다른 방식으로 해석하여 전체적인 채널 응답을 구하는 방법이 다소 복잡해졌다. 따라서 간단한 채널 응답을 구할 수 있는 방식이 새롭게 요구된다.

2.2 새롭게 제안하는 전력선 통신 채널 모델

2.2.1 직접 경로 채널 응답

새롭게 제안된 전력선 통신 채널 모델은 현재까지 제안된 전력선 통신 채널 모델의 장점을 종합하였다. 또한 지금까지 연구에서 다루지 않았던 근접 노드가 채널 응답에 미치는 영향을 고려하였다. 따라서 채널 응답을 정확하고, 간결하게 구할 수 있다. 전력선 네트워크상에 한 개의 분기점에 접속된 다중 분기와, 부하 임피던스와 전력선의 특성 임피던스의 차이에 의한 임피던스 부정합에 의한 신호의 반사가 계속 이루어져 멀티 패스 신호 전송이 발생한다. 그 중에서 반사를 거치지 않고 직접 전송되는 신호 성분을 line-of-sight (LOS)라 정의하고, 이때의 신호 전송 경로를 직접 경로(direct path)라고 정의한다. 또한 반사를 통하여 전송되는 신호 성분을 obstructed (OBS)라 정의한다 [6]. OBS는 신호가 분기점(internal junction)인 C와 터미널(terminal)인 T 사이를 반복하여 지나면서 전송된다. 멀티 패스 신호 전송 계산에 필요한 반사 계수, 전송 계수는 그림 1(a)에 나타나 있다. 신호는 무한개의 전송 패스(path)를 통하여 전송되므로 (즉, $C_{x-1} \rightarrow C_x \rightarrow C_{x+1}$ (LOS), $C_{x-1} \rightarrow C_x \rightarrow T_x \rightarrow C_x \rightarrow C_{x+1}$, $C_{x-1} \rightarrow C_x \rightarrow T_x \rightarrow C_x \rightarrow T_x \rightarrow C_x \rightarrow C_{x+1}$ (OBS) 등)

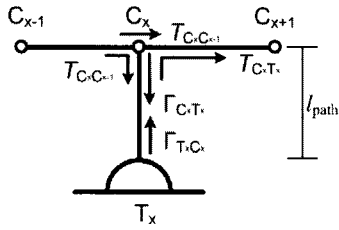
$LOS = \{ \prod_{i=1}^n T_i \} e^{-\gamma L}$ 이고 L은 송신부와 수신부를 연결하는

직접 경로의 길이를 나타낸다. OBS인 경우 신호의 합은 $a = \Gamma_{T_x C_x} \Gamma_{C_x T_x} e^{-2\gamma l_{pm}}$, $r = \Gamma_{T_x C_x} \Gamma_{C_x T_x} e^{-2\gamma l_{pm}}$ 인 무한 등비급수,

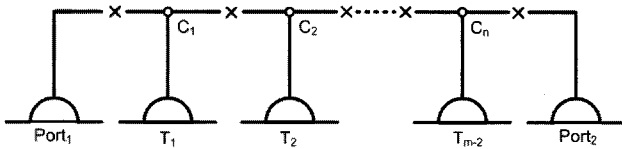
$a/(1-r)$ 로 표현할 수 있다 [3]. 따라서 무한개의 멀티 패스를 고려한 전송 신호는 LOS와 OBS의 합으로 나타낼 수 있고, 만약 직접 경로에 전체 N개의 분기가 존재하면, 근접

노드가 없는 채널 응답은 $H(f) = D = LOS \times \prod_{i=1}^N (OBS_i + 1)$ 로

표현할 수 있으며, OBS_i 란 무한 등비급수를 이용하여 계산된 i 번째 분기에서 반사되어 전송되는 신호의 합이다. 근접 노드(adjacent node)를 송신부(Port1)와 수신부(Port2)사이에서 LOS 또는 OBS 신호 전송과 관련된 분기가 있는 노드 이외에 Port1과 Port2에 인접한 노드로 정의하면, 만약 그림 1(b)처럼 근접 노드가 존재하지 않는 채널인 경우의 채널 응답을 직접 경로 응답(direct path response)으로 정의하고 D라고 표기한다. 결과적으로 직접 경로 응답은 한 개의 서브네트워크에 몇 개의 분기가 있는지에 상관없이 직접 경로에 연결된 전체 분기의 개수만 고려하여 계산한다.



(a)



(b)

그림 1 (a) 분기가 1개 존재하는 서브네트워크상의 반사계수와 전송 계수 (b) m개의 터미널과 n개의 분기점으로 이루어진 근접 노드가 없는 전력선 네트워크. Port₁은 송신부, Port₂는 수신부임

Fig. 1 (a) Reflection and transmission coefficient on a subnetwork with single branch (b) power line network with m terminals and n internal junctions. Port₁ is transmitting part, Port₂ is receiving part

2.2.2 근접 노드를 고려한 채널 응답

근접 노드에 존재하는 분기의 영향을 반영한 멀티 패스 신호 전송을 고려하여 채널 응답을 계산하였다. 편의상 직접 경로로부터 근접 노드가 얼마나 멀리 떨어져 있는지에 대한 정도를 근접 노드의 원격도(degree of distantness)로 정의하였다. 그림 2는 원격도 1인 근접 노드가 존재하는 전력선 네트워크를 나타낸다. 앞에서 언급한 것과 같이 근접 노드를 고려하지 않고 송신부와 수신부 사이를 지나는 신호의 성분만을 고려한 채널 응답을 D라고 하면, 근접 노드의 영향을 고려한 채널 응답은 D와 근접 노드에 연결된 분기에서 반사되어 돌아오는 신호 성분의 합으로 표현된다. 따라서 채널 응답은

$$H(f) = D + D \cdot A_1 = D \cdot (A_1 + 1) \quad (1)$$

$$A_1 = a_1 = S_{ad_{i1}}$$

으로 표현되고, S_{ad_{i1}}은 C₁과 T_{ad_{i1}} 사이에서 반사되어 전송되는 멀티 패스 신호 성분의 합이다.

일반적으로 전력선 네트워크는 그림 1(b)와 같이 버스형 토폴로지(bus topology)를 가진다. 그러나 부분적으로 별형 토폴로지(star topology)의 네트워크 형태를 가져 한 개의

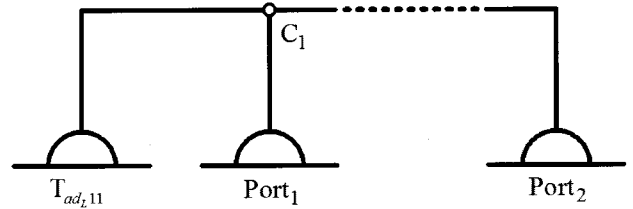


그림 2 원격도 1인 근접 노드를 가지고 있는 전력선 네트워크. T_{ad_{i1}}는 Port₁ 바로 옆에 붙어 있으므로 원격도 1로 정의된다

Fig. 2 Power line network with degree of distantness 1 adjacent node. T_{ad_{i1}} is defined degree of distantness 1 as it is connected to Port₁ directly

분기점에 다중 분기가 연결된 경우가 존재한다. 그림 3은 가장 간단한 별형 토폴로지로 한 개의 분기점에 두 개의 분기가 연결된 네트워크이다. 이런 경우 멀티 패스 신호 전송은 분기가 한 개 존재하는 경우와 달리, 각 분기에서의 멀티 패스 신호와 두 개의 분기를 동시에 고려한 멀티 패스 신호 전송으로 나누어 계산한다. 따라서 채널 응답은

$$H(f) = D + D \cdot A_1 = D \cdot (A_1 + 1) \quad (2)$$

$$A_1 = a_1 = LOS_{ad_{i1}} + OBS_{ad_{i1}} \{ (S_{ad_{i1}} + 1)(S_{ad_{i2}} + 1) - 1 \}$$

으로 표현되고, LOS_{ad_{i1}} = Γ_{C_{ad_{i1}},C₁} T_{C₁,C_{ad_{i1}}} e^{-2γl_{path}} 은 C_{ad_{i1}}과 C₁에서의 반사계수와 전송 계수, 그리고 감쇄 계수(attenuation factor)의 곱으로 표현된다. OBS_{ad_{i1}} = T_{C_{ad_{i1}},C₁} T_{C₁,C_{ad_{i1}}} 은 C_{ad_{i1}}과 C₁에서의 전송 계수, 그리고 감쇄 계수의 곱으로 표현된다. S_{ad_{i2}}는 C_{ad_{i1}}과 T_{ad_{i2}} 사이에서 반사되어 전송되는 멀티 패스 신호 성분의 합이다.

그림 4는 근접 노드에 2개의 분기점과 4개의 터미널이 존재하는 전력선 네트워크를 나타낸다. 신호는 원격도 1의 근접 노드와 원격도 2의 근접노드에서 반사를 반복하여 전송된다. 따라서 채널 응답은 (3)과 같이 표현되고 LOS_{ad_{i2}} = Γ_{C_{ad_{i2}},C_{ad_{i1}}} T_{C_{ad_{i1}},C_{ad_{i2}}} e^{-2γl_{path}} 으로 C_{ad_{i1}}과 C_{ad_{i2}}에서 반사 계수, 전송계수, 그리고 감쇄계수의 곱으로 표현된다. OBS_{ad_{i2}} = T_{C_{ad_{i2}},C_{ad_{i1}}} T_{C_{ad_{i1}},C_{ad_{i2}}} e^{-2γl_{path}} 이고 C_{ad_{i1}}과 C_{ad_{i2}}에서 반사 계수, 그리고 감쇄계수의 곱으로 표현된다.

$$H(f) = D(A_1 + 1)$$

$$A_1 = a_1 + a_2$$

$$a_1 = LOS_{ad_{i1}} + OBS_{ad_{i1}} \{ (S_{ad_{i1}} + 1)(S_{ad_{i2}} + 1) - 1 \}$$

$$a_2 = OBS_{ad_{i1}} (S_{ad_{i1}} + 1)(S_{ad_{i2}} + 1) LOS_{ad_{i2}} + OBS_{ad_{i2}} \{ (S_{ad_{i1}} + 1)(S_{ad_{i2}} + 1) - 1 \}$$

$$\times \{ (S_{ad_{i21}} + 1)(S_{ad_{i22}} + 1) - 1 \}$$

$$= OBS_{ad_{i1}} (S_{ad_{i1}} + 1)(S_{ad_{i2}} + 1) [LOS_{ad_{i2}} + OBS_{ad_{i2}} \{ (S_{ad_{i21}} + 1)(S_{ad_{i22}} + 1) - 1 \}] \quad (3)$$

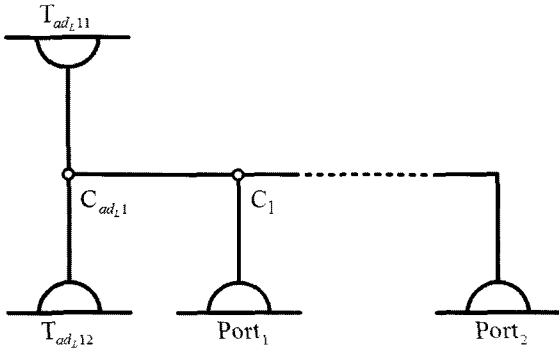


그림 3 한 개의 분기점에 두 개의 분기가 연결되어 있는 전력선 네트워크

Fig. 3 Power line network with two branches at one internal junction

일반적으로 가정 내 전력선 네트워크는 그림 5와 같이 송신부 뿐만 아니라 수신부 근처에도 여러 개의 근접 노드가 존재하므로 모든 근접 노드로부터 반사되어 전달되는 멀티패스 신호 성분을 모두 고려해야 한다. 따라서 채널 응답은 (4)로 표현되고

$$\begin{cases}
 H(f) = D(A_1 + 1)(A_2 + 1) \\
 A_1 = \sum_{j_L=1}^x a_{j_L}, \quad A_2 = \sum_{j_R=1}^y a_{j_R} \\
 a_{j_L} = \begin{cases}
 LOS_{adLj_L} + OBS_{adLj_L} \left\{ \prod_{k=1}^{K_1} (S_{adLjk} + 1) \right\} & (j_L = 1) \\
 \prod_{p=1}^{j_L-1} (OBS_{adLp}) \prod_{q=1}^{j_L-1} \prod_{r=1}^{K_q} (S_{adLqr} + 1) \\
 \times [LOS_{adLj_L} + OBS_{adLj_L} \prod_{i=1}^{K_1} (S_{adLji} + 1) - 1] & (j_L \geq 2)
 \end{cases}
 \end{cases} \quad (4)$$

a_{j_R} 의 경우 j_L 을 j_R 로 대체한다. x 와 y 는 각각 송신부와 수신부 근접 노드의 최대 원격도이고, K_1 은 원격도 1인 근접 노드에 연결된 분기의 개수이다. K_q, K_n 은 각각 원격도 q 와 n 인 분기점에 연결되어 있는 분기의 개수이다.

채널 응답을 구하기 위한 계산의 복잡도를 줄이기 위하여 원격도가 2보다 큰 근접 노드는 채널 응답에 미치는 영향이 제한적이라고 가정하여, 채널 응답에 영향을 미치는 근접 노드는 원격도 1인 근접 노드로 제한된다고 가정하면 채널 응답은 (5)와 같다.

$$\begin{cases}
 H(f) = D(A_1 + 1)(A_2 + 1) \\
 A_1 = LOS_{adL1} + OBS_{adL1} \left(\prod_{k=1}^{K_L} (S_{adL1k} + 1) \right) \\
 A_2 = LOS_{adR1} + OBS_{adR1} \left(\prod_{k=1}^{K_R} (S_{adR1k} + 1) \right)
 \end{cases} \quad (5)$$

만약 Port₁의 좌측으로 근접 노드가 존재하지 않으면 $A_1 = 0$, Port₂의 우측으로 근접 노드가 존재하지 않으면

$A_2 = 0$ 이다. K_L 은 송신부 좌측의 원격도 1인 근접 노드에 존재하는 분기의 개수이고, K_R 은 수신부 우측 원격도 1인 근접 노드에 존재하는 분기의 개수이다.
 $LOS_{adL1} = \Gamma_{C_{adL1}C_1} T_{C_1C_{adL1}} e^{-2\gamma l_{p_{adL1}}}$, $OBS_{adL1} = T_{C_{adL1}C_1} T_{C_1C_{adL1}} e^{-2\gamma l_{p_{adL1}}}$,
 $LOS_{adR1} = \Gamma_{C_{adR1}C_n} T_{C_nC_{adR1}} e^{-2\gamma l_{p_{adR1}}}$, $OBS_{adR1} = T_{C_{adR1}C_n} T_{C_nC_{adR1}} e^{-2\gamma l_{p_{adR1}}}$ 이고 S_{adL1k}, S_{adR1k} 는 송신부 좌측과 수신부 우측의 원격도 1의 근접 노드에 연결되어 있는 k 번째 터미널과 분기점 사이에서 반사에 의한 멀티 패스 신호 성분의 합이다.

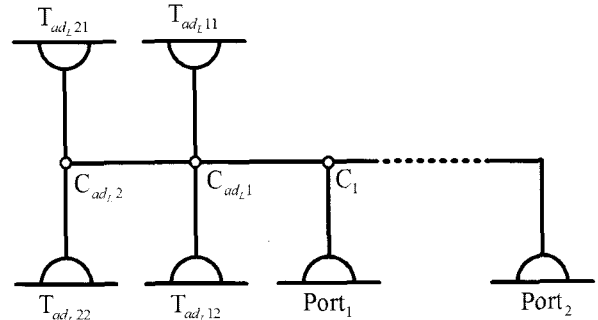


그림 4 2개의 분기점과 4개의 터미널로 구성된 원격도 2까지의 근접 노드가 존재하는 전력선 네트워크

Fig. 4 Power line network with degree of distantness 1 and 2 adjacent nodes which consist of four terminals and two internal junctions

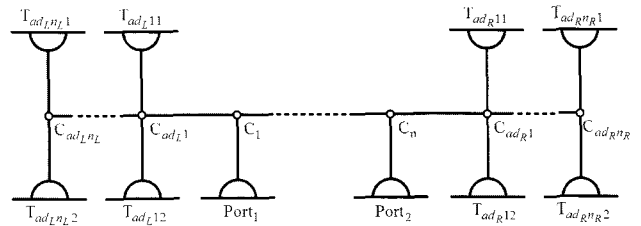


그림 5 일반적인 가정 내 전력선 네트워크 모델. 제시된 네트워크의 Port₁의 좌측으로 $2n_L$ 개의 근접 노드, Port₂의 우측으로 $2n_R$ 개의 근접 노드가 존재함

Fig. 5 General indoor power line network model. $2n_L$ adjacent nodes at the left side of Port₁, and $2n_R$ adjacent nodes at the right side of Port₂

2.3 제안된 채널 모델에 대한 검증

새로 제안된 채널 모델을 검증하기 위하여 [2]에 제시된 테스트 네트워크를 이용하였다. 전력선은 지름 1.6mm인 two-wire VVF 케이블을 사용하였고 케이블의 분포 정수 (distributed constant)는 [5]에 제시된 측정값을 사용하였다. 그림 6은 [2]에 제시된 채널 모델과 새롭게 제안된 채널 모델을 이용하여 계산된 채널 응답의 비교이다. 두 가지 모델을 이용하여 계산된 채널 응답이 동일하다는 것을 확인하였다.

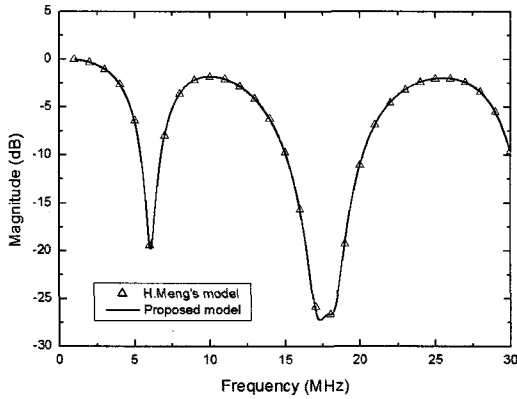


그림 6 기존의 채널 모델과 새롭게 제안된 채널 모델을 이용하여 계산된 테스트 네트워크의 채널 응답 비교
 Fig. 6 Comparison of calculated channel response using existing channel model and newly proposed channel model

3. 근접 노드가 채널 응답에 미치는 영향

전력선 통신 채널에 관한 연구 중, 현재까지 진행된 연구에서는 부하 임피던스와 분기의 개수가 채널 응답에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 또한 채널 응답에 영향을 미치는 요소들 중 직접 경로에 관계된 요소들의 영향만을 고려하였다. 따라서 본 연구에서는 근접 노드에 존재하는 분기가 채널 응답에 미치는 영향을 고려한 전력선 통신 채널을 모델링하였다. 근접 노드를 고려한 전력선 네트워크의 채널 응답을 계산하기 위하여 전력선 네트워크의 다양한 형태를 가지고 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 이용된 전력선 네트워크의 형태는 다음과 같다.

- i) 송신부 또는 수신부 단측에 근접 노드가 존재하는 경우
- ii) 송신부와 수신부 양측에 동일한 원격도를 가지는 근접 노드가 존재하는 경우
- iii) 송신부와 수신부 양측에 서로 다른 원격도를 가지는 근접 노드가 존재하는 경우

3.1 근접 노드의 영향을 연구하기 위한 시뮬레이션 조건

근접 노드가 채널 응답에 미치는 영향을 연구하기 위하여 그림 7에 나타난 테스트 네트워크를 이용하여 채널 응답을 계산하였다. 테스트에 사용된 전력선은 지름 1.6mm two-wire VVF 케이블을 이용하였고, 케이블의 분포 정수는 [5]에 제시된 측정값을 사용하였다. 각 분기의 길이와 각 분기점 사이의 거리는 2m이고, 채널 응답 측정 지점 터미널의 임피던스는 케이블과의 임피던스 매칭(matching)을 위하여 케이블의 특성 임피던스(Z_0)값을 가진다. 측정 지점이 아닌 터미널은 개방(open)상태로 근사적으로 $10^6 \Omega$ 의 임피던스 값을 가진다. i), ii) 경우를 고려한 채널 응답은 4, 8, 12, 16, 20m 길이의 채널을 가지고 시뮬레이션을 이용하여 계산하였다. 또한 iii) 경우 송신부 좌측의 근접 노드의 최대 원격도는 1부터 4까지 변화시키고, 수신부 우측의 근접 노드의 최대 원격도는 4로 고정하였다. 채널의 길이는 12m로 고정하여 채널 응답을 계산하였다.

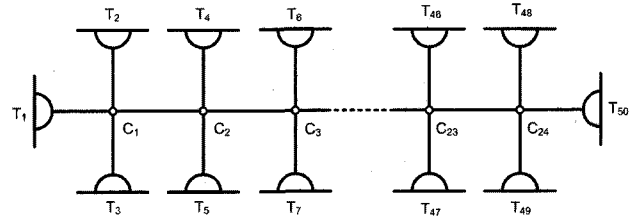


그림 7 시뮬레이션을 위한 테스트 네트워크. 50개의 터미널과 24개의 분기점으로 구성됨
 Fig. 7 Test network for simulations. It consists of 50 terminals and 24 internal junctions

3.1.1 송신부 또는 수신부 단측에만 근접 노드가 존재하는 경우

수신부 또는 송신부 단측에 근접 노드가 존재하는 경우를 고려하여 채널 응답을 계산하였다. 그림 8은 원격도 0, 즉 직접 경로에 연결되어 있는 분기만 고려한 경우와 원격도 1까지 근접 노드를 고려했을 경우부터 원격도 4까지 근접 노드를 고려했을 경우 계산된 채널 응답을 나타낸다. 채널 응답의 계산 결과를 비교하면 직접 경로에 연결된 분기만 고려한 채널 응답과 근접 노드의 영향을 고려한 채널 응답에 차이가 존재함을 확인했다.

그림 9는 8m의 채널 길이를 갖는 채널의 채널 응답이다. 그림 8과 같이 직접 경로만 고려한 채널 응답과 근접 노드의 영향을 고려한 채널 응답에 차이가 있음을 나타낸다. 하지만 원격도 1까지 고려한 경우와 각각 원격도 2, 3, 4까지 근접 노드를 고려한 경우 채널 응답에 큰 차이가 없음을 확인되었다.

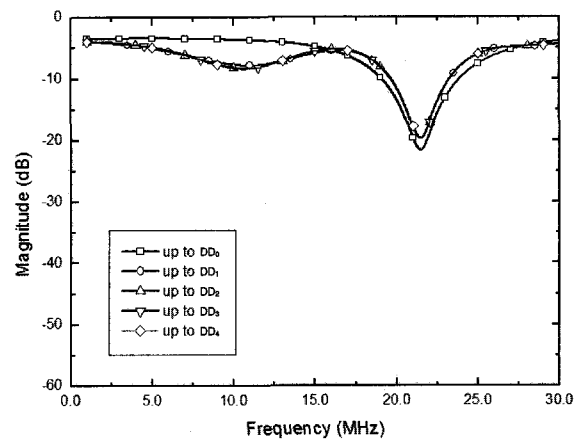


그림 8 직접 경로에 연결된 분기(원격도 0)부터 수신부 단측에 최대 원격도가 4인 근접 노드까지 고려한 4m 채널 길이를 가지는 T₂와 T₃ 사이의 계산된 채널 응답
 Fig. 8 Calculated 4m channel responses between T₂ and T₃ considering adjacent nodes with maximum degree of distantness from 0 to 4 at the receiving part

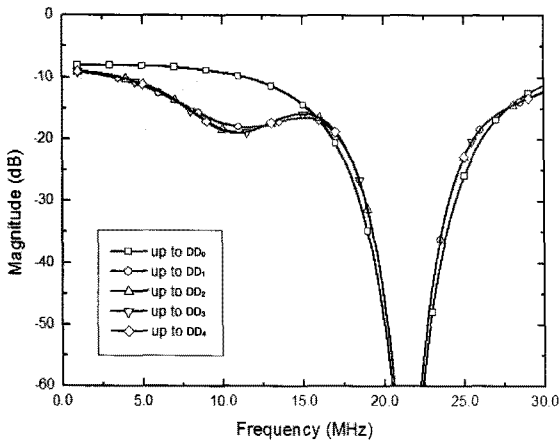


그림 9 직접 경로에 연결된 분기(원격도 0)부터 수신부 단측에 최대 원격도가 4인 근접 노드까지 고려한 8m 채널 길이를 가지는 T_2 와 T_7 사이의 계산된 채널 응답
 Fig. 9 Calculated 8m channel responses between T_2 and T_7 considering adjacent nodes with maximum degree of distantness from 0 to 4 at the receiving part

3.1.2 송신부와 수신부 양측에 동일한 원격도를 가지는 근접 노드가 존재하는 경우

수신부 또는 송신부 양측에 동일한 원격도를 가지는 근접 노드가 존재하는 경우를 고려하여 채널 응답을 계산하였다. 그림 10과 11은 송신부와 수신부 양측에 모두 근접 노드를 가지는 채널의 계산된 채널 응답을 나타낸다. 직접 경로만을 고려한 채널 응답과 근접 노드를 고려한 채널 응답의 차이가 현저하게 나타났다. 그림 8, 9와 마찬가지로 원격도 1까지의 근접 노드가 채널 응답에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 원격도가 2 이상이 되면 근접 노드가 채널 응답에 미치는 영향이 제한되는 사실이 확인되었다.

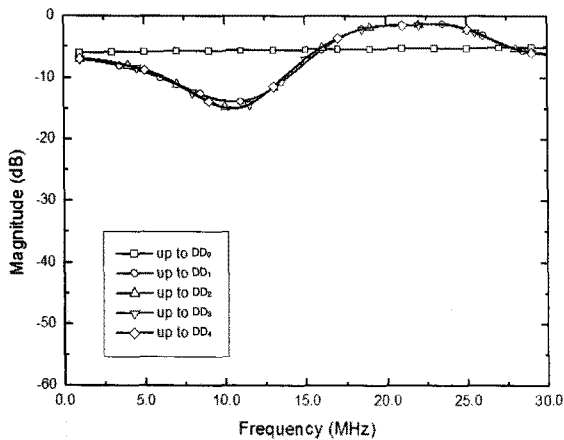


그림 10 직접 경로에 연결된 분기(원격도 0)부터 송신부와 수신부 양측에 동일한 최대 원격도 4인 근접 노드까지 고려한 4m 채널 길이를 가지는 T_{24} 와 T_{25} 사이의 계산된 채널 응답
 Fig. 10 Calculated 4m channel responses between T_{24} and T_{25} considering adjacent nodes with same maximum degree of distantness from 0 to 4 at both sides

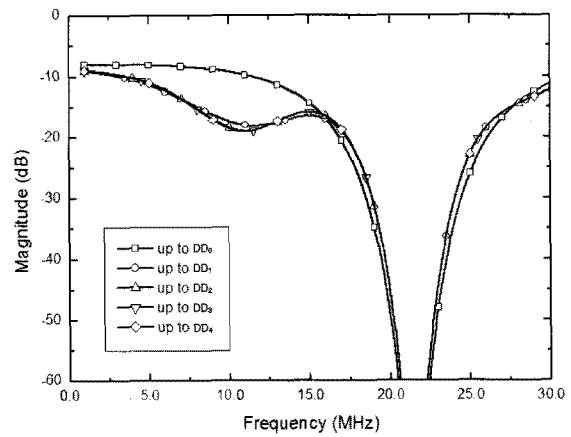


그림 11 직접 경로에 연결된 분기(원격도 0)부터 송신부와 수신부 양측에 동일한 최대 원격도 4인 근접 노드까지 고려한 8m 채널 길이를 가지는 T_{22} 와 T_{27} 사이의 채널 응답
 Fig. 11 Calculated 8m channel responses between T_{22} and T_{27} considering adjacent nodes with same maximum degree of distantness from 0 to 4 at both sides

3.1.3 송신부와 수신부 양측에 상이한 원격도를 가지는 근접 노드가 존재하는 경우

수신부와 송신부 양측에 상이한 원격도를 가지는 근접 노드가 존재하는 경우를 고려하여 채널 응답을 계산하였다. 서로 상이한 원격도를 가진다는 것은 송신부 근처에 존재하는 근접 노드의 최대 원격도와 수신부 근처에 존재하는 근접 노드의 최대 원격도가 상이함을 의미한다. 예를 들면, 그림 5를 기준으로 송신부 좌측으로 C_{adL1} , C_{adL2} , C_{adL3} 이 존재하고 수신부 우측으로 C_{adR1} , C_{adR2} 이 존재하면 송신부 측에는 원격도 3까지의 근접 노드가 존재하고, 송신부 측에는 원격도 2까지의 근접 노드가 존재한다. 이러한 경우 송신부 좌측의 최대 원격도는 3, 수신부 우측의 최대 원격도는 2이므로 서로 상이한 원격도를 나타내는 근접 노드를 가진다. 그림 12과 13은 송신부와 수신부 양측에 원격도가 상이한 근접 노드가 존재하는 채널의 계산된 채널 응답을 나타낸다. 앞의 결과와 마찬가지로 직접 경로만을 고려한 채널 응답과 근접 노드를 고려한 채널 응답의 차이가 나타났다. 또한 원격도 1의 근접 노드는 채널 응답에 영향을 나타냈지만, 원격도가 2 이상인 근접 노드는 채널 응답에 미치는 영향이 제한된다는 사실이 확인되었다.

3.2 시뮬레이션 결과 분석 및 고찰

채널 응답을 구하기 위한 시뮬레이션 결과, 직접 경로에 관련된 분기만 고려했을 경우와 근접 노드까지 고려했을 경우에 채널 응답이 다르다는 사실을 확인하였다. 따라서 실제적인 전력선 통신 채널을 모델링하여 채널 응답을 계산하기 위해서는 직접 경로 뿐 아니라 근접 노드의 영향을 고려해야 한다는 사실을 확인하였다. 하지만 직접 경로와 거리가 멀어질수록, 즉 원격도가 커질수록 근접 노드가 채널 응

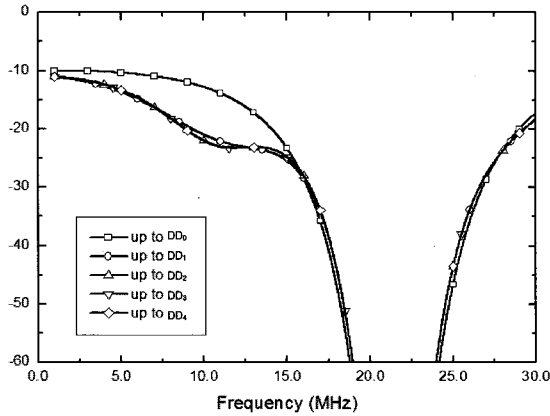


그림 12 송신부와 수신부 양측에 서로 상이한 원격도를 가지는 경우 송신부 근처의 근접 노드의 최대 원격도를 2로 설정하고 수신부 근처의 근접 노드의 최대 원격도를 4로 설정한 12m 채널 길이를 가지는 T_6 와 T_{14} 사이의 계산된 채널 응답

Fig. 12 Calculated 12m channel responses between T_6 and T_{14} considering adjacent nodes with different maximum degree of distantness 2 at transmitting part and 4 at receiving part

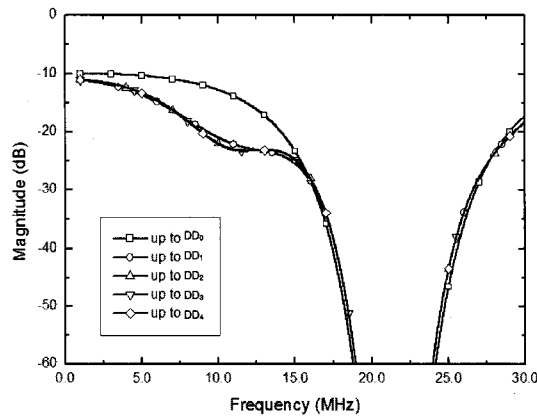


그림 13 송신부와 수신부 양측에 서로 상이한 원격도를 가지는 경우 송신부 근처의 근접 노드의 최대 원격도를 3으로 설정하고 수신부 근처의 근접 노드의 최대 원격도를 4로 설정한 12m 채널 길이를 가지는 T_8 와 T_{16} 사이의 채널 응답

Fig. 13 Calculated 12m channel responses between T_8 and T_{16} considering adjacent nodes with different maximum degree of distantness 3 at transmitting part and 4 at receiving part

답에 미치는 영향이 현저하게 줄어들었다. 그 이유는 신호 전송 경로가 길어지고, 임피던스 부정합에 의한 신호의 반사 때문에 신호의 크기가 직접 경로나 직접 경로와 가까운 곳에 위치한 근접 노드를 지나는 신호의 크기보다 훨씬 작기 때문이다. 따라서 3장에서 언급했던 가정과 같이 원격도 1의 근접 노드의 영향력만을 고려한 채널 모델은 유효하며, 이는 채널 응답을 계산하기 위해 필요한 계산량을 상당히 줄일 수 있음을 나타낸다.

4. 결 론

본 논문에서는 새로운 전력선 통신 채널 모델을 제안하였다. 기존의 전력선 통신 채널 모델의 장점을 종합하여 전력선 네트워크와 채널 응답을 간단하고 정확하게 구할 수 있도록 하였다. 무한 등비급수를 이용하여 멀티 패스 신호 전송을 간단하게 표현하였고, 네트워크 묘사 행렬을 이용하여 복잡한 전력선 네트워크를 쉽게 표현할 수 있도록 하였다. 또한 지금까지 전력선 통신 채널 모델에 관한 연구에서 연구되지 않았던 근접 노드가 채널 응답에 미치는 영향을 고려하여, 정확한 채널 응답을 구할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 결과를 분석하여 근접 노드가 채널 응답에 영향을 미치지 않는 그 영향력은 제한적이라는 사실을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 제 2차 Brain Korea 21 프로젝트의 지원에 의함

참 고 문 헌

- [1] Manfred Zimmermann and Klaus Dostert, "A Multipath Model for the Powerline Channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 50, no. 4, pp. 553 - 559, Apr. 2002
- [2] H. Meng, S. Chen, Y. L. Guan, C. L. Law, P. L. So, E. Gunawan, and T. T. Lie, "A transmission line model for high-frequency power line communication channel," in *Proc. 5th Int. Conf. Power System Technology (PowerCon 2002)*, vol. 2, pp. 1290 - 1295, Oct. 2002
- [3] Justinian Anatory, M. M. Kissaka, and N. H. Mvungi, "Channel Model for Broadband Power-Line Communication," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 22, issue 1, pp. 135 - 141, Jan. 2007
- [4] Despina Anastasiadou and Theodore Antonakopoulos, "Multipath Characterization of Indoor Power-Line Networks," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, issue 1, pp. 90 - 99, Jan. 2005
- [5] Shinji Tsuzuki, Takeshi Takamatsu, Hideyuki Nishio, Yoshio Yamada, "An Estimation Method of the Transfer Function of Indoor Power-line Channels for Japanese Houses," in *Proc. Int. Symp. Power-Lines Commun.*, pp. 55 - 59. Athens, Greece, 2002
- [6] "Home Networking Basis," Walter Y. Chen
- [7] Jaeyoung Shin, Jaehoon Lee, Jichai Jeong, "Time-Varying Channel Responses of Indoor Power-Line Network in a Typical Apartment for considering Various Impedances of Appliances and Transmission Distances", *Proc. 9th Int. Conf. Electronics, Information, and Communication(ICEIC 2008)*

저 자 소 개



신재영 (申宰榮)

1983년 3월 4일생. 2007년 고려대학교 전
파통신공학과 졸업. 2007년~현재 동 대
학원 컴퓨터·전파통신학과 석사과정

Tel : 010-3936-8334

E-mail : naraeshigo@korea.ac.kr



정지채 (鄭智采)

1953년 3월 14일생. 1980년 고려대 전자
공학과 졸업. 1988년 CMU졸업(공학).
1993년~1995년 포항공과대학교 조교수.
1995년~현재 고려대학교 교수

E-mail : jcj@korea.ac.kr