

논문 2015-52-2-1

건물 내 메시지 전달특성 측정시스템 설계 및 측정결과 분석

(Design and Data Analysis of Signal Measurement System for In-Building Propagation Characteristics)

김 정 호*

(Jeong-Ho Kim[©])

요 약

최근 들어 다양한 센서를 장착한 스마트 건물의 등장이 가시화 됨에 따라 센서로부터 데이터의 수집과 분석이 중요하게 되었다. 센서로부터 데이터를 획득하기 위해서는 일정구간의 유선화는 불가피하나 유선화 구간을 최소화하고 건물에 따라서는 센서간의 통신을 무선으로 함을 목표로 하고 있다. 이러한 케이블링에 따른 비용부담과 건물의 손상 등을 방지하기 위해서는 무선화가 가능한 구역의 선정 및 건물 구조에 따른 신호전달 특성을 객관적으로 파악하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 건물 내 신호전달 특성을 측정하기 위한 시스템의 설계를 다루고 시뮬레이션을 통해 시스템의 동작을 확인하며, 동작이 검증된 시스템을 적용하여 건물 내의 신호전달특성을 측정하고 측정된 데이터를 기반으로 그 특성을 분석한다.

Abstract

Recently, the collection of the sensor data and its analysis become important as the smart buildings equipped with the various sensors appear as a usual scene. The interconnection through the wire cable among the sensors is indispensable because of the information collections such as the temperature, the humidity, and the luminance in the rooms and the hallways for the effective management of the in-building energies. However, these interconnections through the cabling will be very costly, time-consuming, and a difficult task since they will cause some damages to the buildings. Therefore, the interconnections through the unwired connections are required in terms of the deployment effectiveness such as time and cost In this paper, the design and the operation appropriateness are confirmed through the simulation of the signal measurement system for in-building propagation characteristics based on signature sequence and the analysis of the collected measurement data is performed thereafter.

Keywords : Signal measurement, In-Building propagation characteristics, Signature sequence, In-Building measurement

I. 서 론

본 논문에서는 건물 내에서의 신호전달 특성을 측정하기 위한 측정시스템을 설계하고 건물 내부의 신호전달특성을 측정하고 분석한다. 건물 내의 전파신호 전달 환경은 다양한 건축자재와 구조를 적용함으로써 인하여

신호 전달특성이 다양하게 나타나고 이에 따라 신호전달특성의 측정에 기반한 스마트 건물관리 시스템 개발에 필요한 측정시스템의 설계 및 분석이 요구된다. 본 연구에서는 이와 같은 공학적 문제의 해결을 위해 기준 신호 발생기를 설계하고 송신기와 수신기 간의 신호전달경로의 특성에 따른 메시지 레벨에서의 품질을 측정하고 분석하는 시스템을 설계하여 검증하고 신호를 측정한다. 설계의 유효성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하여 시스템 레벨의 동작을 확인하고, 실제 실내 환경에서 신호전달 특성을 측정하여 분석하고 건물 내를 원홉(one hop) 네트워크의 구성 가능성을 검토한다.

* 평생회원, 이화여자대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, Ewha Womans University)

© Corresponding Author(E-mail: jho@ewha.ac.kr)
접수일자: 2014년09월20일, 수정일자: 2014년10월20일
게재확정: 2015년01월26일

이를 위해 측정된 데이터를 기반으로 신호전달 특성을 분석하고 추출한다.

본 논문에서는 건물 내 신호전달 특성을 측정하기 위한 시스템을 설계하고 시뮬레이션으로 검증된 시스템을 기반으로 실측데이터를 수집하고 분석하는 시스템을 구성하였다. 잡음과 간섭이 있는 상황에서 실내에서 신호전달 특성 확인이 용이하도록 시그니처 시퀀스를 정의하는 것이 필요하며 이를 토대로 보다 실제적인 특성측정이 가능하도록 하는 것이 매우 중요하다. 본 설계를 바탕으로 실측을 통하여 보다 실제적인 데이터를 수집하여 실제 측정된 상황을 보다 면밀하게 분석하고자 한다.

II. 건물 내 측정시스템 설계 및 시뮬레이션을 통한 검증

건물 내의 전파 전달환경은 신호경로가 외벽과 구조물에 둘러 쌓인 환경으로 복도와 건물 내부가 분리되어 구성되어 있으며, 복도식과 계단식 건물 등의 기본 구조에 따라 전파환경이 변화한다. 기본구조는 사용 주파수 대역의 선정, 시그니처 시퀀스, 데이터 전송율, 변조 방법 선택, 송신전력, 데이터 수집 및 분석, 적합한 송신기 위치 추정 절차 등이다.

1. 건물 내 신호전달 특성 측정 시스템의 구성

건물 내 신호전달 특성 측정을 위해서는 적합하게 구성된 식별 가능한 시그니처 시퀀스가 필요하다. 본 목적을 위해 기본 패턴을 발생하는 블록을 만들고 간섭이나 잡음에 의한 채널의 품질이 열화 되더라도 이를 확인할 목적의 구분된 패턴을 정의한다. 이로부터 디지털 전송을 진행한다. 패턴을 비트 열로 변환하고 이를 다시 대역폭 효율이 상대적으로 높고 향후 개량을 통해 높은 차수의 변조를 가능케 하는 QPSK를 적용한다. 두 비트 열로부터 얻은 이진 I-채널과 Q-채널의 신호에 대하여 채널로 전송하기 위해 대역폭이 최소화 될 수 있도록 RRC(root raised cosine) 필터로 파형을 생성한다. 파형은 43탭의 샘플로 구성된다. 아래 그림 1에는 매트랩(Matlab) 기반의 시뮬링크(Simulink)를 활용하여 진행된 시스템 설계가 나타나 있다. 시그니처 시퀀스가 선택되고 송신단 처리가 완료되면 이 신호는 채널로 송신된다. 이 때 채널에서 발생하는 잡음은 가산성

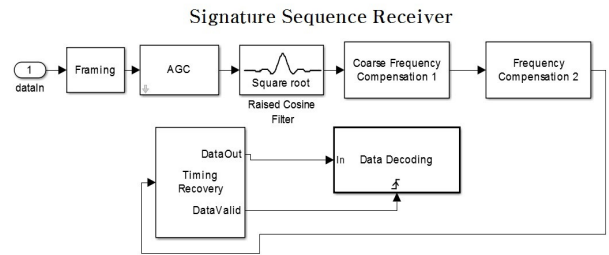


그림 1. 건물 내 신호전달 특성 측정 시스템 구성도
Fig. 1. In-Building Signal Characteristic Measurement System Configuration.

백색 잡음(additive white Gaussian noise)이라 가정한다^[1].

2. 시뮬레이션 결과 및 해석

본 시스템에서 사용한 시그니처 시퀀스의 기본 구조는 메시지 패턴에 프레임의 시작점을 찾는 동기를 맞추기 위한 13비트의 바커 시퀀스(Barker Sequence)를 사용한다. 수신단에서는 동기 시퀀스와의 상관값을 계산하고 이를 기초로 시작점을 구한다. 심볼 동기 알고리즘에 의해 이러한 2배 초과 샘플링된 샘플 열로부터 최적의 시간을 선택한다. 바커 시퀀스를 발생하는 모듈에서 얻은 시퀀스와 동기를 이룬 샘플로부터 (QPSK 복조된 I-채널과 Q-채널의 샘플) 상관값을 구한다. 이때 구한 상관값이 가장 큰 시점이 프레임의 시작점을 나타낸다. 주요 시스템과 신호전송대역에 대한 파라미터는 표 1에 나타나 있다. 비트 전송율은 500kbps로 센서 데이터를 전송하는데 필요한 전송율을 반영한다. 건물 내 신호전송 특성 측정에 측정자에게 신호의 적절한 수신 여부를 판단할 수 있는 시그니처 시퀀스의 생성하고 이에 대한 수신단의 처리가 필요하다.

서로 다른 신호를 구분하기 위한 시그니처 시퀀스는

표 1. 시스템 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

Parameters	Value
Carrier Frequency	450 MHz
Bandwidth	100 kHz
Modulation	QPSK
Waveform	Raised Cosine Pulse r=0.5
Message	Signature Sequence
Bit Rate	500 kbps
Oversampling rate	4
Channel Model	In-Building, AWGN

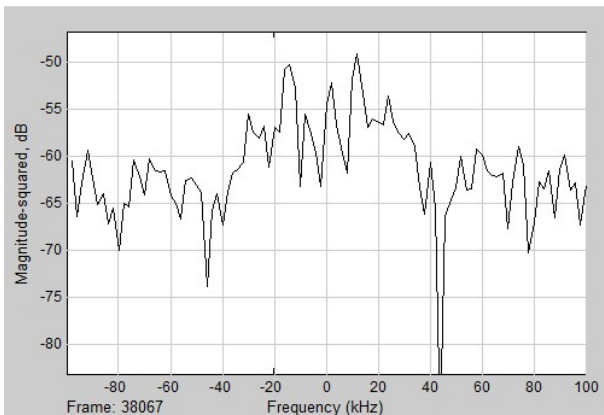


그림 2. 수신된 실측 펄스(Received pulse shape)
Fig. 2. Received signal pulse spectrum.

QPSK 변조를 거쳐 4개의 위상으로 매핑(mapping)되고 각각 I채널과 Q채널의 데이터 비트로 매핑되어 QPSK 신호 변조신호로 합성된다.

이후 위의 신호는 중간 주파수로 매핑되고 대역통과 신호가 되어 RF신호로 주파수 전이 후 안테나를 통하여 방사되고 건물 내 공간으로 신호의 전파가 이루어진다. 얻어진 신호는 기본적으로 사각형의 넓은 주파수 대역폭을 가지므로 효율적인 주파수 대역 사용을 위해서는 펄스 성형(Pulse shaping)이 필요하다. 본 논문에서는 23 탭을 갖는 RRC(root raised cosine) 펄스로 다음 그림 2는 펄스 성형된 신호에 채널에서의 잡음이 추가되어 얻어진 스펙트럼의 파형을 나타낸다^{[2]-[4]}.

송신단에서 RRC펄스를 사용하고 수신단에서도 동일하게 RRC펄스를 사용하여 ISI(inter-symbol interference)가 없는 신호전송 체계를 적용할 수 있다. 수신단에서 RRC필터를 적용함으로써 ISI가 없거나 매우 적은 값을 갖도록 제어가 가능하며 본 시뮬레이션에서는 표 1에 주어진 바와 같이 roll-off factor를 0.5로 적용하여 대역폭 효율을 얻으면서도 ISI를 최소로 할 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 관찰하고자 하였으며 이에 부합한 결과를 얻을 수 있다.

III. 건물 내 신호전달 특성 측정결과 수집 및 분석

본 건물 내 신호전달 측정에서는 신호에 가우시안 잡음이 추가되어 신호의 왜곡이 일어나는 환경에서의 특성을 분석하였으며, SNR의 값에 따른 신호의 스캐터 플롯을 살펴봄과 동시에 문자레벨의 신호수신특성을 측정하고 분석하였다. 삽입된 시그니처 시퀀스에 따라서

정상적으로 신호의 수신이 이루어지는 가를 확인할 수 있었으며, 이에 따른 시스템의 성능을 평가하고 분석하고자 하였다. 이를 통해 시스템의 정상적 동작을 확인하고 펄스성형 필터와 그 파라미터의 변화에 따른 특성을 확인할 수 있었고, 잡음에 따른 영향을 분석하는 것이 가능하였다. 채널에서 삽입된 잡음이 I 채널과 Q 채널의 데이터 파형을 왜곡시키며, 전송된 QPSK 심볼 신호파형이 RRC 파형으로 변환되어 한 심볼 구간 동안의 충분한 샘플 값이 I 채널과 Q 채널에 나타남을 관찰할 수 있었다. 파형은 심볼의 전구간을 그리므로 원점을 지나는 경우가 발생하고 이에 따른 대역폭의 확장이 발생한다. 또한 잡음에 의해 신호파형의 전력이 원 신호 파형보다 넓은 곳에 나타났다.

실제 건물 내에서 서로 분리된 두 공간에서 신호를 전송한 후 수신 특성을 측정하고 분석하였다. 다음 그림 3은 전송된 시그니처 시퀀스의 수신성능 특성을 보여준다. 그림에서 위의 그래프는 시그니처 메시지의 오류확률이고 아래의 그래프는 문자(character)단위의 오류확률이다. 송신 신호가 증가함에 따라 수신성능의 개선이 이루어짐을 확인할 수 있었고, 문자오류보다 메시지 오류확률이 높음을 알 수 있다. 이는 오류정정을 하지 않음에 따른 측정결과로 메시지 내에 하나의 문자오류가 발생하더라도 메시지 오류로 간주하기 때문에 나타나는 현상이다. 수신전단의 기능을 살펴보면 수신된 파형으로부터 심볼 동기를 이루기 전에 주파수 드리프트(frequency drift)를 보상한다. 바커 시퀀스로부터 위상보상을 위한 위상오프셋(phase offset)을 추출한다.

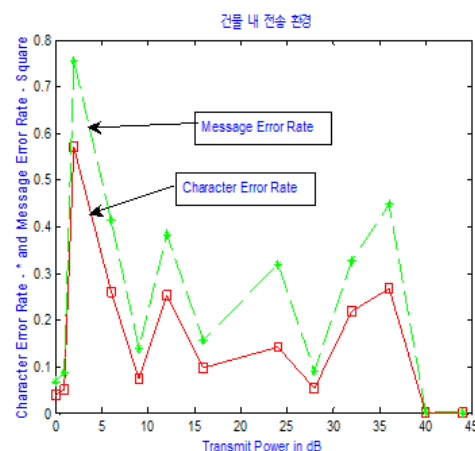


그림 3. 신호 수신 품질 측정 결과
Fig. 3. Received signal quality measurement results.

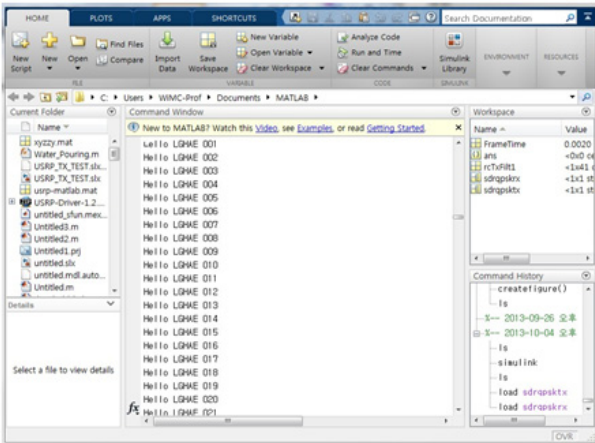


그림 4. 실측 메시지 (시그니처 시퀀스) 수신 결과 화면
Fig. 4. Received signature sequences.

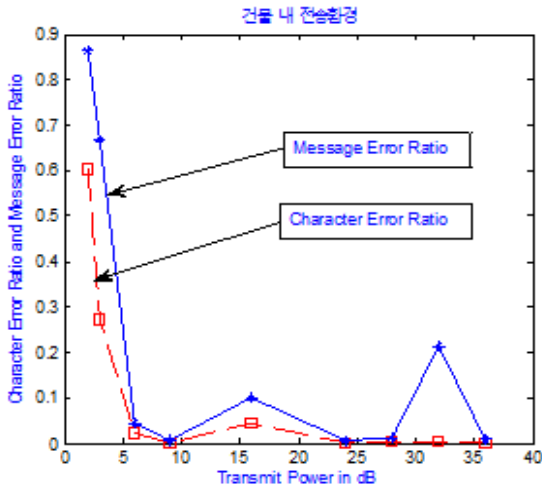


그림 5. 신호 수신 품질 측정 결과
Fig. 5. Received signal quality measurement results.

위상 오프셋으로 위상변조된 신호의 위상을 수정한다. 이후 프레임 동기를 맞추고 전송된 시그니처 시퀀스 비트 열을 추출하는 과정을 거친다. 추출된 비트 열은 다시 ASCII 코드로 변환되어 실제 해석가능한 시그니처 시퀀스로 복원된다.

ASCII코드로부터 시그니처 시퀀스로 변환된 후 측정 시스템의 화면에 출력하여 정상적 수신여부를 확인할 수 있었다. 그림 4는 임의의 시그니처 시퀀스를 생성한 후 지정된 인덱스에 따라 정상적으로 수신됨을 확인하여 실측 시스템 상에서 전체 측정시스템이 정상적으로 측정하고 동작함을 확인하고 설계의 적정성을 바탕으로 주어진 조건 하에서 아래 그림 5와 같은 데이터를 수집하였다. 그림에서 살펴보는 바와 같이 문자오류확률과 메시지 오류확률이 그림 3과 다르게 역전되어 있

는 것을 관찰할 수 있다. 이는 오류정정방식(콘볼루션 부호화)을 적용하여 얻을 측정결과로 보다 개선된 결과를 보여주고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 건물 내 신호전달 특성을 측정하기 위한 시스템을 설계하고 실제 건물 내에서 실측을 기반으로 측정 데이터를 수집하고 정상적으로 동작함을 검증하였다. 잡음과 간섭이 있는 상황에서 실내에서 신호전달 특성 확인이 용이하도록 시그니처 시퀀스를 정의하였으며 이를 토대로 보다 실제적인 특성측정이 이루어지도록 하였다. 향후 본 측정 데이터를 바탕으로 전달 특성을 파악하고 이를 통하여 보다 효과적인 건물 내 스마트 센서 네트워크를 구성할 수 있으며, 다양한 설계 데이터를 축적할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 양방향 신호전송과 수신을 위한 새로운 알고리즘을 적용하여 보다 효과적인 신호측정 및 분석이 가능한 시스템을 제안하고 평가하는 것이 요구된다.

REFERENCES

- [1] Di Pu and Alexander M. Wyglinski, Digital Communication Systems Engineering with Software-Defined Radio, pp. 253-282, Artech House, 2013.
- [2] P. Mohana Shankar, Introduction to Wireless Systems, pp. 22-52, Wiley, 2002..
- [3] Andrea Goldsmith, Wireless Communications, pp. 29-36, Cambridge, 2005.
- [4] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications - Principles and Practice 2nd Ed., pp. 227-229, Prentice Hall, 2002.

— 저 자 소 개 —

김 정 호(평생회원)
대한전자공학회 논문지
제 49권 TC편 제 5호 참조