
위치인식기반의 차세대 무선 PAN 알고리즘 개발에 관한 연구

조주필*

A Study on the Development of Next Generation Wireless PAN Algorithms with Location Awareness Technique

Juphil Cho*

이 논문은 2011년도 군산대학교 교수장기국외연수경비의 지원에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 위치인식기반 WPAN 시스템에서 송수신 안테나간의 상관관계가 존재하는 MIMO-OFDM 환경인 경우 채널의 페이딩에 의한 영향을 완화시키고 통신링크 성능향상과 신뢰성을 증대시킬 수 있는 CS(channel sounding) 기법을 제안하며, 또한 본 논문에서는 sounding 신호를 통해 채널 전파특성을 측정하여 CS기법으로 추정 오차가 최적화된 송신단과 수신단간의 채널 전파특성을 측정한다. 이 제안된 기법을 통해 수신단에서 간단한 연산을 통하여 채널 용량을 증가 시켜 주며, 송신단에서 채널의 정보를 이용하여 최적의 전력 할당 할 수 있고, 채널 용량의 증가를 얻을 수 있게 된다.

ABSTRACT

In this paper, we propose the channel sounding scheme which is made for ideal communication between some application as well as the short distance of high speed data transmission in MIMO-OFDM system for Wireless PAN. This method is able to perceive the duration of the impulse response through the delaying of power delay profile, modeled a power delay profile which has an attenuate characteristic, and obtained the coefficient of channel response by ML (maximum likelihood). Through the amplitudes, phases and delays associated with each multipath component which were acquired from this channel sounding scheme, we can describe the wave propagation characteristics of channels between the transmitter and receiver so that the receiver could enhance not only the reliability but also the ability of communication link. Multi agent system models can be used to analyze the path of the system within any time frame. Further, parameter values can be perturbed to examine how the path of the system changes in response to exogenous shocks.

키워드

위치인식기반, PAN, 다중 안테나기법, 채널 사운딩, 페이딩

Key word

Location awareness, PAN, MIMO, channel sounding, fading

* 정회원 : 군산대학교 전파공학과(stefano@kunsan.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 21

심사완료일자 : 2012. 05. 15

I. 서 론

전세계적으로 무선통신 분야에서는 WLAN (wireless local area network), WPAN (wireless personal area network) 등의 근거리 무선통신망에 관한 연구 및 개발 경쟁이 가속화되고 있으며 시장 전망으로 볼 때 향후 이 분야에 대한 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 예측되고 있다. 특히 WPAN은 수십 센티미터에서 수 미터에 이르는 맥내 및 근거리 데이터 전송과 더불어 주변 장치간의 원활한 통신을 위해 개인화된 무선 네트워크를 지칭하며 일상생활을 보다 생산적이고 효율적으로 만들어 가는데 근본적인 목표를 두고 있다[1][2]. 이를 위하여 IEEE 802.15 TG3는 2.4GHz 대역에서 고속 데이터 전송을 목표로 하는 Wireless PAN 기술을 연구하고 있으며, 이를 위해 10m거리에서 55Mbps 데이터 전송속도를 얻는 것을 목표로 하고 있다.

고속 WPAN의 기술표준인 IEEE 802.15.3은 WLAN의 표준인 IEEE 802.11b보다 좁은 반경 50미터 내에서 2.4 GHz~2.4835 GHz ISM 대역을 이용해 11, 22, 33, 44, 55Mbps속도의 다양한 데이터 전송을 지원한다. 이 표준에서는 전력 소모량이 매우 낮은 것이 특징이며 멀티미디어 데이터 스트리밍의 QOS (quality of service)를 보장할 수 있도록 사용자에게 시간 슬롯을 할당하는 TDMA 방식을 채택하고 있다. 휴대용 가전 및 통신 기기들은 고화질 비디오, 오디오 및 이미지 파일 전송 등의 대용량 데이터 전송을 필요로 한다. Wireless PAN 기술이 적용되는 단거리 및 근거리 무선 통신 시스템에서는 간섭특성을 고려하여 채널 특성을 분석하는 채널 사운딩 기술을 이용할 수 있다. Wireless PAN 전송 채널에 존재하는 Piconet 잡음이나 다중 접속 잡음과 같은 많은 간섭원이 발생하는 열악한 전송 채널 환경을 극복하기 위해, 채널 사운딩 신호를 전송하고, 이 신호를 통해서 채널응답의 상태를 파악한다.

본 논문에서는 CS(Channel Sounding)기법을 이용하여 MIMO-OFDM 시스템의 채널용량을 측정하는 기법을 제안하였다. 사운딩 신호를 이용하여 채널 정보를 파악하여 채널 용량을 최대화하기 위해 각 부채널별로 전력을 Water-pouring 알고리즘을 이용하여 할당 하였으며, 송신측에서 각 송신 안테나별로 독립적이고 동일한 전력을 갖는 신호를 송신하였다. 채널용량을 최대화하기 위해서는 각 부채널별로 전력을 Water-pouring 알고리즘

을 이용하여 할당 하였다.

IEEE 802.15.3에서 제시하는 채널 모델에서 CS기법을 이용한 시뮬레이션 결과를 보면, 송신단에서 채널 정보를 아는 경우에 채널 용량의 증가를 얻을 수 있음을 보였다. 2장에서는 본 논문에서 제안한 CS 기법을 이용한 MIMO-OFDM 시스템의 채널용량 추정기법을 보이고 있고, 3장에서는 모의실험 결과, 4장에서는 결론을 맺고 있다.

II. CS를 이용한 채널용량추정 기법

MIMO-OFDM시스템에서 채널 행렬은 송신단과 수신단의 안테나간의 간격등으로 인한 공간 페이딩 상관성이 발생한다. 송신단에서 채널의 정보를 모르는 경우는 MIMO 채널의 채널 용량은 R 개의 동일한 전력을 갖는 병렬로 연결된 SISO 형태의 부채널들의 채널용량의 합과 같다. 하지만 송신단에서 채널의 정보를 알고 있다면 송신단과 수신단에서 간단한 연산을 통하여 채널용량을 증가시킬 수 있다.

표 1에 향후 무선 홈 네트워크를 위한 IEEE 802.15.3과 IEEE 802.11x 기술들의 개요를 나타내고 있다. 또한 이 표준을 사용하는 네트워크는 무선기거나 다른 네트워크로부터 간섭을 받게 되면 자동으로 채널을 변경할 수 있으며 기존의 블루투스를 비롯한 IEEE 802.11 및 IEEE 802.11b 등과의 공존이 가능하다[3].

표 1. IEEE 802.15.3과 IEEE 802.11x 기술 비교.
Table. 1 Comparison of technology between IEEE 802.15.3 and IEEE 802.11xs

	802.11b,g	802.11a	802.15.3
Freq. Band(GHz)	2.4	5	2.4
Data rate(Mb/s)	22	54	55
# of Video Ch.	2	5	4
Complexity	3X	4X	1.5X
Connect Time	N/A	N/A	<<1sec

MIMO-OFDM시스템의 채널 환경인 송신측과 수신측 수신 안테나 어레이의 측면에서 θ 의 각도와 τ 의 시간지연을 갖는 위치에 scatterer가 위치한다고 가정하고 그 위치에서의 복소 크기가 $S(\theta, \tau)$ 라고 가정하자. 송신

안테나 어레이의 측면에서는 ϕ 의 각도에 같은 scatterer 가 존재한다고 할 수 있다.

채널특성 변수는 θ, ϕ, τ 가 되며 ϕ 는 θ 에 의해 변하는 값이다. MIMO-OFDM 시스템에서 채널 임펄스 응답에 대해 간략하게 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다 [4],[5].

$$H(\tau) = \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{\tau_{\max}} S(\theta, \tau) a(\phi_k, \theta_k) g(\tau - \tau') d\tau' d\theta \quad (1)$$

여기에서 τ_{\max} 는 채널의 최대 확산 지연이며, $g(\tau)$ 는 송신단의 펄스 정형 필터와 수신단의 정합필터의 결합된 응답을 의미한다. 식 (1)에서 크기, 위상, 지연을 측정하기 위해서 여러 번 순간측정되며, 무선 채널의 통계적인 변수값을 이끌어 내어 평균을 취하면 된다[6]. 여러 전파 환경에 관한정보는 무선 채널 임펄스 응답으로 기술 되는 변수에 의해서 주변측정을 할 수 있다.

이런 측정은 채널 sounder을 필요로 하며, 채널의 정보를 파악하는데 도움이 되는 사운딩 신호를 송신측에서 보내고 수신측 channel sounder가 사운딩 신호를 수신하면 채널 사운딩 기법에 의해서 채널 정보를 알 수 있다. Wireless PAN에 의한 MIMO-OFDM 시스템에서의 채널 sounder는 무선 채널의 임펄스 응답과 관련된 변수의 측정을 허용하는 장치이다.

2.1. MIMO-OFDM 에서 사운딩신호 이용

MIMO-OFDM 시스템은 사운딩 신호로 채널 상태를 파악하고, 이러한 최적화된 채널을 이용해 고속데이터 통신을 가능하게 할 수 있다. 채널 특성을 얻기 위하여 transmitter에서 보내지는 사운딩 신호는 다음과 같이 표현된다.

식 (2)에서 사운딩 신호는 여러 경로를 걸쳐 수신기에 도달한다.

$$s(t) = \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_i \delta(t - iT) \cos(w_n(t - iT)t) \quad (2)$$

다중경로 채널에서 수신된 신호는 전송된 신호 세기의 감쇠(α_i), 시간지연(τ_i), 위상천이(ϕ_i)가 된 신호가 된다. 감쇠, 시간지연, 위상천이는 채널의 상태에 관한 정보를 알려주는 값이다. 사운딩구간에서 수신된 j 번

째 신호 벡터를 행렬을 이용한 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S = \begin{bmatrix} s_1(L-1)..s_1(0) & .. & s_{n_r}(L-1)..s_{n_r}(0) \\ .. & .. & .. \\ s_1(M-1)..s_1(M-L)..s_{n_r}(M-1)..s_{n_r}(M-L) \end{bmatrix} \quad (3)$$

행렬 S 는 사운딩 신호로 이루어진 $(M - L + 1) \cdot n_r L$ block-Toeplitz 행렬이다. MIMO채널에서 j 번째 송신 안테나로부터 j 번째 수신 안테나 사이의 시변 채널 임펄스 응답(time-varying channel impulse response)은 시간 t 에서 $(t - \tau)$ 사이에 임펄스가 가해졌을 때 행렬 $H(t, \tau)$ 로 표현할 수 있다.

식 (4)는 MIMO-OFDM 시스템의 송신측과 수신측간의 채널 행렬의 모델링 이다.

$$H(t, \tau) = \sum_{l=0}^L \begin{bmatrix} s_{\theta 1}(\Omega_l) & s_{\phi 1}(\Omega_l) \\ s_{\theta 2}(\Omega_l) & s_{\phi 2}(\Omega_l) \\ \dots & \dots \\ s_{\theta N}(\Omega_l) & s_{\phi N}(\Omega_l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_l^{\theta\theta} & \gamma_l^{\theta\phi} \\ \gamma_l^{\phi\theta} & \gamma_l^{\phi\phi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{\theta 1}^*(\Omega_l) & s_{\theta 2}^*(\Omega_l) & \dots & s_{\theta N}^*(\Omega_l) \\ s_{\phi 1}^*(\Omega_l) & s_{\phi 2}^*(\Omega_l) & \dots & s_{\phi M}^*(\Omega_l) \end{bmatrix} \quad (4)$$

MIMO-OFDM시스템에서 사운딩 신호는 임펄스 형태의 자기 상관 함수를 가질 뿐만 아니라 송신 안테나간의 서로 다른 사운딩 신호는 서로 통계적으로 상관성이 없는 신호이어야 한다.

n_r 개의 송신 안테나와 n_r 개의 수신 안테나를 갖는 MIMO 채널에서 j 번째 수신 안테나에서 시간 τ 에서 수신된 신호는 다음과 같다.

$$y_j(\tau) = \sum_{i=0}^{n_r} \sum_{k=0}^{L-1} h_{i,j}(k) s_i(t-k) + w_j(\tau) \quad (5)$$

식(5)에서 $h_{i,j}$ 는 i 번째 송신 안테나로부터 j 번째 수신 안테나까지의 채널 임펄스 응답을 의미한다. S_i 는 i 번째 송신 안테나로부터 송신되는 사운딩 신호이며

W_j 는 j 번째 수신 안테나에 더해지는 부가 잡음이다. 사운딩 구간에서는 서로 다른 형태의 사운딩 신호가 전송되며 수신단에서 사운딩 신호를 이용한 채널 파악이 가능한 형태의 충분한 길이를 가지는 M 개로 가정한다. 또한, 다른 경로에서는 $\sum_{k=1}^M s_k(\tau_p)s_k(\tau_r)$ 에 의한 자기상관 사운딩 신호를 통하여 결합된다[7].

$$\sum_{k=1}^M Y_k s_k(\tau_p) = \sum_{r=0}^{P-1} a_r e^{j\theta_r} \sum_{k=1}^M s_k(\tau_p)s_k(\tau_r) \quad (6)$$

상기한 바와 같이 $\sum_{k=1}^M s_k(\tau_p)s_k(\tau_r)$ 은 $\tau_{rp} = \tau_r - \tau_p$ 에 대한 자기 상관 사운딩 신호로 표현된다. 자기 상관으로 표현된 $R_s(\tau_{rp})$ 에 관한 식 (6)은 다음과 같은 식으로 표현 할 수 있다.

$$S^T(\tau)Y = R(\tau)\hat{C} \quad (7)$$

여기서 $S(\tau)$ 는 지연된 사운딩 신호 $s_k(\tau_p)$ $M \times P$ 행렬의 열로 구성되고, R 은 ij^{th} 요소인 $R_s(\tau_{ij})$, $P \times P$ 행렬이다. Y 는 $M \times 1$ 벡터, \hat{C} 은 각각의 다중경로 성분 에 결합된 실제 복소수 크기 $C = \{\beta\}_{i=0}^{P-1}$ 의 $P \times 1$ 감쇄 벡터를 포함한 추정치이다.

2.2. 채널사운딩 기법을 이용한 채널 용량 추정

MIMO-OFDM시스템의 채널사운딩 기법은 다음과 같이 이루어진다.

$$\begin{aligned} \hat{h}_j^{CS} &= \arg \min |r_j - Sh|^2 \\ &= (S^H S)^{-1} S^H r_j \\ &= h_j + (S^H S)^{-1} S^H \end{aligned} \quad (8)$$

CS(채널 사운딩) 기법의 평균자승오차(mean square error: MSE)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} MSE &= E \left[|h_j - \hat{h}_j^{CS}|^2 \right] \\ &= tr \left[(S^H S)^{-1} S^H S (S^H S)^{-1} \right] \\ &= \sigma^2 \cdot tr \left[(S^H S)^{-1} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서 사운딩 신호 S 는 CS의 추정오차를 최소화 하도록 최적화 될 수 있다. 그리고 사운딩 신호의 전 력이 σ_i^2 인 경우의 최소 CS 추정오차는 다음과 같은 필 요충분조건으로부터 얻을 수 있다.

$$S^H S = \sigma_i^2 I_{n_{it}} \cdot (N_i - L + 1) \quad (10)$$

CS기법의 최소평균 자승 오차(minimum MSE)은 다 음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} MMSE &= \min E \left[|h_j - \hat{h}_j^{CS}|^2 \right] \\ &= \frac{n_i L \sigma^2}{\sigma_i^2 (N_i - L + 1)} \end{aligned} \quad (11)$$

MIMO-OFDM 시스템에서 채널 행렬은 송신단과 수 신단의 안테나간의 간격등으로 인한 공간 페이딩 상관 성이 발생한다.

송신단에서 채널의 정보를 모르는 경우는 MIMO-OFDM 채널의 채널 용량은 R 개의 동일한 전력을 갖는 병렬로 연결된 SISO 형태의 부채널들의 채널용량의 합 과 같다. 하지만 송신단에서 채널의 정보를 알고 있다면 송신단과 수신단에서 간단한 연산을 통하여 채널용량 을 증가시킬 수 있다.

$$\tilde{y} = \sqrt{\frac{E_s}{n_T}} U^H H U D \tilde{s} + U^H d \quad (12)$$

식 (12)는 수신단에서 수신된 신호이다. 송신단에서 채널의 정보를 아는 경우에 채널 행렬 주파수응답이 병 렬로 연결된 R 개의 SISO채널로 분해될 수 있음을 보여 준다. MIMO-OFDM 채널 용량은 다음과 같다[9].

$$C_{know} = \sum_{i=0}^{N-1} \log_2 \left[1 + \frac{N\alpha^2}{L\sigma^2} \lambda_i \gamma_i \right] \quad (13)$$

식 (13) 에서 $\lambda_i (i=1,2,\dots,N-1)$ 는 행렬 HH^H 의 양수의 고유값을 의미한다. $\gamma_i = E[|s_i|^2]$ 는 i 번째 부채널의 전송 전력을 의미하며 $\sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i = n_r$ 를 만족한다. 채널 정보를 알고 있는 채널 용량은 송신단에서 최적의 전력 할당을 하여 채널 용량의 증가를 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안된 채널 사운드딩 기법은 송신단에서 사운드딩 신호를 수신단에 보내 채널 변화를 측정하며, 이 측정된 채널 정보들이 수신단에서 채널 상태를 파악한다. 송신단과 수신단에서 채널 상태를 알고 있기 때문에 수신단에서 간단한 연산을 통하여 채널 용량을 증가시켜 주며, 송신단에서 채널의 정보를 이용하여 최적의 전력 할당할 수 있고, 채널 용량의 증가를 얻을 수 있게 된다. 또한 제안된 방법을 이용하면 효율적인 정보 전송을 구현할 수 있고, 통신 링크 성능향상과 신뢰성을 증대시킬 수 있는 채널 추정 알고리즘 설계에 효과적이며, 채널 추정에 도움을 줄 것으로 판단된다.

III. 모의실험

상기 기술된 본문에서 MIMO-OFDM 시스템의 채널 용량이 송신단과 수신단의 안테나의 수에 비례하여 증가함을 확인할 수 있었다. 그림 1은 송신단에서 채널의 정보를 아는 경우와 모르는 경우에 있어서 해당 SNR에서의 다중 안테나의 여러 경우에 대한 채널용량의 값을 보이고 있다. 그림에서와 같이 제안한 기법을 이용하는 경우, 두 경우의 값이 안테나의 개수가 증가하더라도 유사한 값을 보이는 성능을 확인할 수 있었으며 특히 채널의 정보를 아는 경우 채널용량의 증가를 가져올 수 있었다. 이때 최적의 전력 할당은 Water-pouring 알고리즘을 이용하였다.

특히, 송신단과 수신단의 안테나 개수가 4*4 이상인 경우에 성능 차이가 뚜렷함을 확인할 수 있었다. 송신단에서 채널의 정보를 이용하여 최적의 전력 할당을 한 경우에 채널용량의 증가를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

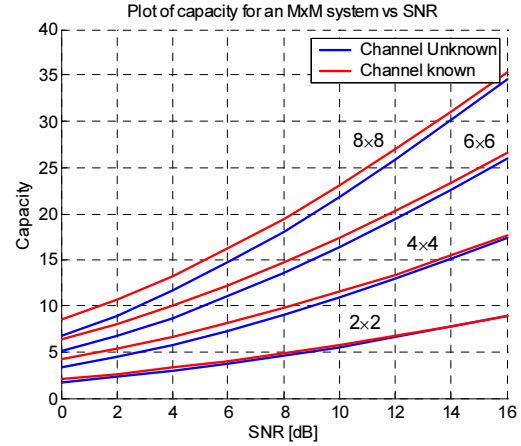


그림 1. 송신측의 채널의 정보를 아는 경우와 모르는 경우의 채널용량

Fig. 1 Channel capacity in case channel information of Tx. is known and unknown, respectively

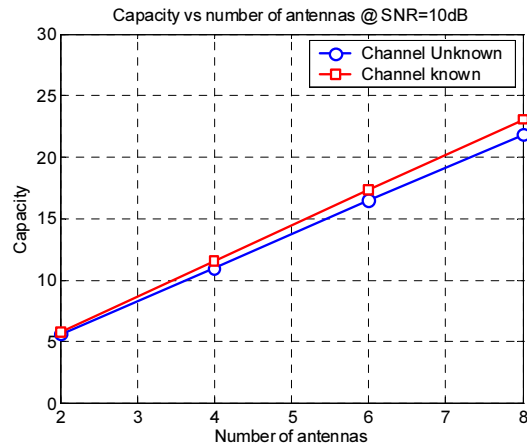


그림 2. SNR=10dB에서 송신측의 안테나개수에 따른 채널 용량

Fig. 2 Channel capacity according to antenna coefficient of Tx of SNR=10dB

그림 2는 SNR=10dB에서의 송수신 안테나의 개수에 따라서 송신단에서 채널의 정보를 아는 경우와 채널 정보를 모르는 경우에 관하여 Ergodic 채널 용량을 나타낸 것이다. 다중안테나의 개수가 2개 이상으로 변화하는 경우, 채널의 정보를 아는 경우에 채널의 용량이 증가함을 확인할 수 있었다.

특히, 본 제안 기법을 이용하는 경우 별다른 차이가 발생하지 않았으며 이를 통해 본 논문에서 제안된 채널 용량 추정기법의 성능이 기존 기법에 비해 개선되었다고 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 CS기법을 이용하여 MIMO-OFDM채널용량 측정 기법을 제안하였다. 사운딩 신호를 이용하여 채널 정보를 파악하여 채널 용량을 최대화하기 위해서 각 부채널별로 전력을 Water-pouring 알고리즘을 이용하여 할당하였다. 송신측에서 각 송신 안테나별로 독립적이고 동일한 전력을 갖는 신호를 송신한다. 채널용량을 최대화하기 위해서는 각 부채널별로 전력을 Water-pouring 알고리즘을 이용하여 할당하였다.

IEEE 802.15.3에서 제시하는 채널 모델에서 CS기법을 이용한 시뮬레이션 결과를 보면, 송신단에서 채널 정보를 아는 경우에 채널 용량의 증가를 얻을 수 있음을 보였으며, 채널 정보를 모르는 경우에도 제안 기법을 이용하여 우수한 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다. 따라서 앞으로는 CS기법을 이용한 시변 채널에서 정확한 채널을 추정할 수 있는 알고리즘의 개발 및 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] 신요안, 양석철, 오종욱, "IEEE 802.15 WPAN 기술 표준화 동향" Telecommunications Review, 제 14권, 제 2호, pp. 130-147, 2004년 4월

[2] J. Karaoguz, "High-rate wireless personal area networks," IEEE Commun. Mag., vol. 39, no. 12, pp. 961-972, Dec. 2001.

[3] IEEE 802.15 Working Group for WPAN: <http://ieee802.org/15>

[4] A. Paulaj, R. Nabar, and D. Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communications*. Cambridge, U. K.: Cambridge University Press, 2003.

[5] A. J. Paulaj, D. A. Gore, R. U. Nabar, and H. Bolcskei, "An overview of MIMO communicationsA key to

gigabit wireless," Proc. of IEEE, vol. 92, no. 2, pp. 198-218, Feb. 2004

[6] Braun W., Dersch U. "A Physical Mobile Radio Channel Model." IEEE Transactions on Mobile Technology, Vol. 40, No. 2, pp. 101-110, May 1991

[7] Michael P. Fitz, P. Schniter., "A wideband channel Sounder." pp18-22, 2001

감사의 글

이 논문은 2011년도 군산대학교 교수장기국 외연수경비의 지원에 의하여 연구되었음.

저자소개

조주필(Juphil Cho)

한국정보통신학회 논문지 제16권 제8호 참조