

論文2002-39TC-9-1

실내 환경에서 무선 LAN Access Point의 위치 설정 최적화 (The Access Point Placement Optimization of Wireless LAN in Indoor Environment)

林國贊*, 姜勳*, 崔聖勳*, 李顯洙**

(Guk-Chan Lim, Hun Kang, Sung-Hoon Choi, and Hyon-Soo Lee)

요약

실내 환경에서 무선 LAN의 AP(Access Point) 위치의 최적화 설계는 서비스의 품질 및 비용 절감과 직결되는 중요한 문제이다. 최적의 AP 위치를 찾기 위해서는 AP의 위치에 따른 서비스 지역의 전파 강도뿐만 아니라 환경 및 사용자 요구 트래픽에 대한 지역적 특성도 고려되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 전파 예측 모델을 기반으로 다중 AP의 위치를 최적화 시켜주는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 서비스 지역에 대하여 사용자 정의 파라미터를 설정하여, 유연성 있는 AP 위치 설정이 가능하도록 하였고, 홉필드 신경망 알고리즘을 이용한 최적화를 수행하였으며, 전파 예측 모델은 패스-로스 모델(path-loss model)을 사용하였다. 시뮬레이션 결과, 최적의 AP 위치를 계산하는 과정을 효과적으로 줄였고, 전체 서비스 지역에 대한 품질을 높일 수 있는 다중 AP의 위치 설정이 가능함을 확인하였다.

Abstract

The optimal AP placement for wireless LAN is important factor for improving service quality and reducing cost. Decision of AP placement is depend on radio signal strength, environment factor and logical area property, which is user's frequently posed place. This paper proposes optimal multiple AP placement method based on radio prediction tool. The proposed method can get flexibility in multiple AP placement using user defined parameter and the optimization design uses Hopfield network algorithm. And path-loss model is used for one of radion prediction model. The result of simulation shows that it is efficiently reduces the process to find optimal AP placement. And the proposed optimization design of multiple AP placement can improve service quality for wireless LAN.

Keywords : 무선 LAN, Access Point, 신경망, 최적화, 홉필드 네트워크

I. 서론

멀티미디어 시대의 도래로 통신망의 대역폭에 대한 수

요는 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 수요는 유선뿐만 아니라 무선 LAN 시스템에서도 필수적인 요소로 부각되고 있다. 특히, 무선 LAN 시스템은 기존 유선 기반 통신이 갖지 못하는 이동성 및 관리의 편리성, 설치의 유연성 등 사용자에게 다양한 기능을 제공하고 있으며, 관련 기술의 발전 또한 활발하게 진행되고 있다. 이러한 무선 LAN 기술은 1~2Mbps의 전송속도를 갖는 IEEE 802.11과 11Mbps로 전송속도를 향상시킨 802.11b, 그리고 1999년 5GHz에서 6~54Mbps의 전송속도를 갖는

* 正會員, LG電子 WLL端末研究所

(WLL Mobile Lab. LG Electronics Inc.)

** 正會員, 慶熙大學校 電子計算工學科

(Dept. of Computer Engineering Kyunghee University)

接受日字:2002年7月30日, 수정완료일:2002年8月12日

IEEE 802.11a 표준이 있다^[1-3].

IEEE가 정의한 MAC 프로토콜 구조는 인프라스트럭처(infrastructure)와 애드 혹(ad hoc)으로 정의되어 있다. 이 중에서 인프라스트럭처 구조는 무선 스테이션(wireless station)과 이를 유선망으로 연결하는 하나 이상의 AP(Access Point)로 구성된다. AP는 사이트의 설정위치에 따라서 환경 영향이나 건물 구조로 인한 전파의 감쇠 영향을 크게 받는다. 따라서, 다양한 환경 파라미터를 고려한 AP의 위치 설정이 필수적이지만, 기존의 설계에서는 엔지니어들의 경험적 정보에 의존한 설계가 이뤄지고 있어서 최대의 효율을 기대하기가 어렵다^[4-5].

특정 서비스 지역에서 적은 수의 AP로 최대의 효율을 얻거나, 전지역을 서비스하기 위한 최소의 AP수를 결정하는데는 AP 위치 설정의 최적화가 필요하다. 이를 위해서는 AP위치에 따른 서비스 지역의 전파 수신 강도를 직접 모두 측정해야만 하는데, 사실상 이러한 작업은 매우 어렵기 때문에 전파 예측 모델을 이용한 방법이 주로 사용된다.

본 논문에서는 전파 예측 기술의 하나인, 패스-로스 모델을 기반으로 특정 서비스 지역의 전파크기를 예측한 후, 최대의 효율성을 얻을 수 있도록 AP의 위치 설정을 최적화 해주는 방법을 다룬다. 또한, 서비스 지역을 사용자가 주로 위치하는 지역에 우선 순위를 부여하여 유연성 있는 AP의 위치 설정 방법에 대해서도 소개한다. 이를 위해 본 논문에서는 신경망의 최적화 알고리즘을 이용하였으며, 시뮬레이션 결과 단시간에 최적의 AP 위치 설정이 가능함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 전파 예측 모델을 설명하고, 3장에서 AP 최적화의 입력을 위한 선처리(pre-processing) 과정에 대하여 기술한다. 4장에서는 신경망을 이용한 AP 위치 설정 최적화 시스템의 구조 및 동작 절차를 살펴보고, 5장에서는 시뮬레이션 결과를 기술하며, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 전파 예측 모델

1. 실내환경에서의 전파 전달

전파 전달은 실외와는 다르게 날씨에 대한 환경 영향은 적지만, 실내의 레이아웃(layout)에 의한 영향이 매우 크다. 벽이나, 창, 문, 가구와 같은 실내의 다양한 재료들에 의해 전파가 감쇠되고, 다양한 반사파의 영향으로 하나의 패스 이상으로 수신자가 전파를 받게된다. 이를

멀티패스 페이딩(multipath fading)이라 하는데, 이로 인하여 수신 신호레벨이 열화 되어 신호의 복원이 어렵게 될 수도 있다. 그림 1은 실내 환경에서 발생할 수 있는 직접파, 반사파, 굴절파, 분산파에 대한 전파 전달을 모델링한 그림이다^[6].

무선 LAN에서 이용되는 스프레드 스펙트럼(spread spectrum)방식은 멀티패스 페이딩성을 가지고 있어, 특별한 페이딩 대책 없이도 고품질의 통신이 가능하지만 이를 고려한 설계가 필요하다. 또한, 무선 LAN은 ISM (Industrial Scientific Medical) 대역을 사용하므로, 전자 레인지나 의료용 장비 등의 다른 ISM 대역 발생 기기의 간섭도 고려해야한다. 이러한 간섭들은 배경 잡음을 상승시켜 무선 LAN 통신에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

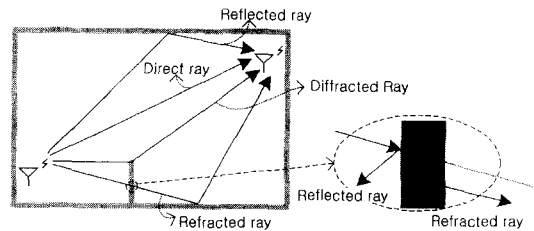


그림 1. 실내 전파 전달 모델링

Fig. 1. The modeling of radio transmit in indoor.

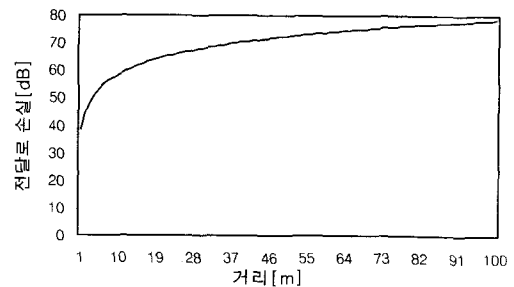


그림 2. 자유공간에서 거리에 따른 전달 손실

Fig. 2. The transmit loss depend on distance in free space.

2. 전달로 손실

무선 LAN에서 사용되는 주파수는 이동체 통신용의 주파수로는 비교적 높은 주파수이고 전달손실도 크기 때문에 고출력의 송신이 요구된다. 표준전달 모델에서 수신 전력(P_r)은 식 (1)과 같이 주어지며, 이때 자유공간에서의 전달로 손실(Γ_{fs})은 식(2)과 같다^[7].

$$P_r = P_t - L_f + G_{at} - \Gamma + G_{ar} - L_{fr} \quad (1)$$

$$\Gamma_{fs} = -27.552 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2)$$

여기서 각각의 파라미터는 아래와 같이 정의되고 그림 2는 자유공간에서 거리에 따른 전달 손실을 나타낸다.

P_t : 송신 출력[dBm]

L_{ft} : 송신 피더 손실[dB]

G_{at} : 송신 안테나 이득[dBi]

Γ : 전달로 손실[dB]

G_{ar} : 수신안테나 이득[dBi]

L_{fr} : 수신 피더 손실[dB]

d : 전달거리[m]

f : 주파수 [MHz]

3. 전파 예측 모델

실내 환경에서는 수신단과 송신단의 위치뿐만 아니라 다양한 환경 파라미터에 의하여 수신단의 전파 강도가 결정된다. AP의 위치에 따라서 전지역의 전파 크기를 직접 측정하기가 매우 어렵기 때문에, 일반적으로 전파 전달 예측 모델(propagation prediction model)을 이용한다. 전파 예측 모델에는 측정 방법에 따라 크게 패스-로스 모델(path-loss model)^[4,5]와 레이-트레이싱 모델(ray-tracing model)^[6,8]로 구분할 수 있다.

레이-트레이싱 모델은 전자기파 전달의 물리적인 원리를 이용한 방법으로 비교적 정확하지만, 복잡한 계산 식으로 인하여 계산 속도가 매우 느리다. 간소화와 선처리 과정을 통하여 계산 속도를 개선한 방법도 있지만 사이트에 사용되는 재료의 전자적 파라미터 및 사이트의 형상 등에 대한 정확한 입력 데이터베이스를 필요로 하는 단점이 있다.

패스-로스 모델은 계산이 비교적 빠르고 간단하며 적용하기 쉽다. 또한, 특정 포인트에 대한 경험적 측정 자료에 의존하므로 노트북과 무선 LAN 카드를 제외하고 어떠한 공간적인 실험 기구도 필요로 하지 않는다. 반면에, 샘플 포인트 측정값을 토대로 전체 지역의 수신 강도를 예측하므로 정확성이 떨어지고 다른 사이트에 포괄적으로 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 정확성을 보다 높이기 위해 유전자 알고리즘(genetic algorithm)이나 신경망(neural algorithm)을 이용하여 전파를 예측하는 방법도 있다.

전파 예측 모델에서 계산식의 파라미터는 패스-로스 모델과 레이-트레이싱 모델 모두 특정한 수식으로 정의

되어 있다. 본 논문에서는 패스-로스 모델을 이용하여 사이트에서 직접 측정된 자료 기반으로 전체지역에 대한 전파의 강도를 예측하는 수식을 만들었지만, 레이-트레이싱 모델을 이용하여 전파 예측 수식을 만들 수 있다. 이렇게 전파를 예측하는데 사용되는 수식은 최적의 AP 위치를 설정하기 위하여 신경망의 최적화 시스템으로 입력된다.

III. 최적화 시스템의 전처리 과정

본 장은 최적화 시스템의 전처리 과정에 대하여 설명한다. 서비스 대상지역을 대상으로 패스-로스 모델을 이용한 전파 예측 수식의 설정과정과, 지역별 사용자 요구 트래픽을 반영하기 위한 사용자 정의 파라미터 설정 및 건물 평면도의 다양한 정보를 단일 그래프로 표현하는 방법에 대하여 기술한다.

1. 패스-로스 모델을 이용한 전파 예측 수식 설정

무선 LAN시스템에서는 그림 1과 같이 다양한 경로를 통하여 데이터가 수신된다. 패스-로스 모델에서 멀티패스 영향은 고려하지 않고 직접파 경로만을 고려한 수신 신호 강도, RSSI(Receive Signal Strength Index)는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$RSSI(X) = PL(X) - \sum O_i * L_i \quad (3)$$

여기서 $PL(X)$ 는 방해물이 없는 자유공간에서의 거리로 인한 손실률이다. X 는 송신단과 수신단 사이의 거리이고, O_i 는 i 번째 방해물의 수이며, L_i 는 i 번째 방해물에 의한 전파의 손실률을 나타낸다.

$PL(X)$ 은 식 (2)을 이용하여 계산될 수 있지만, 패스-로스 모델의 경험적 데이터를 수집하기 위해 직접 측정한다. $PL(X)$ 은 실내 환경 및 무선 LAN 카드의 특성에 귀속되는 값으로 본 논문에서는 표 1과 같은 측정 데이터를 얻었다. 거리가 '0'일 때, 최대 전파세기 '100%'을 기준으로 거리에 따른 수신 전파 세기(signal strength)와 수신 감도(link quality)를 나타낸다. 데이터의 신뢰성을 위해서 두 종류의 802.11b 무선 LAN 카드를 사용하였으며, 5회 반복 측정된 데이터의 평균값을 사용하였다.

식 (4)은 표 1에서 측정된 데이터를 토대로 설정한 $PL(X)$ 수식이다. 이론상으로 거리에 따라 감쇠 비율은 그림 2와 같이 지수 적으로 증가하나 사이트의 측정결

과 직선에 가까운 수직을 얻을 수 있었다. 그림 3은 거리에 따른 실제 측정 신호 강도와 수신 감도, 식 (4)에 의한 계산 값을 나타내었다. 실제 측정 데이터와 식 (4) 값의 차이는 무선 LAN카드 종류 및 반복 측정에서 발생하는 오차 범위이므로, 본 논문에서는 무시한다.

$$PL(X) = -0.95X + 102.875 \quad (4)$$

표 2는 방해물(L_i)에 따른 신호 강도와 감도의 측정

데이터이다. 본 논문에서는 대상 지역의 주된 방해물이 시멘트벽과 나무 칸막이임으로, 이에 대한 영향만을 고려하였다.

표 2와 같은 측정 데이터를 토대로 방해물(L_i)에 대한 감쇠 정도를 식 (5)과 같이 특정한 파라미터로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} L_0 \text{ (시멘트 벽)} &= 21.2\% \\ L_1 \text{ (나무 칸막이)} &= 0.3\% \end{aligned} \quad (5)$$

표 1. 자유공간에서의 수신 신호 강도
Table. 1. The receive signal strength data in free space.

거리 (m)	signal strength (%)	link quality (%)	거리 (m)	signal strength (%)	link quality (%)
4.5	98.6	97.2	36	70.2	63.6
9	97.2	91.6	40.5	66.4	62.4
13.5	90.4	78.2	45	58.4	59.8
18	78.4	68.8	49.5	52.6	52.6
22.5	82.2	70.2	54	46.6	54.0
27	74.4	66.2	58.5	47.6	48.0
31.5	71.6	67.8	63	43.0	46.0

표 2. 방해물에 따른 수신 신호 강도
Table. 2. The receive signal strength data depend on obstacle.

거리(m)	시멘트 벽	나무 칸막이	signal strength(%)	Link Quality(%)
13.5	0	0	90.4	78.2
	0	1	90.1	77.7
	1	0	69.2	63.8

2. 사용자 정의 파라미터 설정

그림 4는 무선 LAN 서비스를 실시하고자 하는 건물 실내의 평면도이다. 그림 4에서 '유선 LAN 설치 지역'은 대용량의 서버가 설치되거나 실험실과 같이 고정된 유선 LAN 포트가 존재하는 지역으로 무선 LAN의 사용빈도가 낮은 지역이고, '계단 및 엘리베이터 지역'의 경우에는 무선 LAN 사용이 없는 지역이다. 반면에 '회의실'의 경우에는 이용자가 매우 가변적이고 모든 사용자가 높은 데이터 전송률을 갖기를 원하는 지역이다. 즉, 하나의 실내 환경에도 신호 강도가 균등하게 넓은 지역을 커버할 수 있는 AP의 위치뿐만 아니라 사용자에게 보다 요구 트래픽 정도를 있는 AP 위치 설정 방법이 필요하다. 본 논문에서는 식 (6)과 같이 사용자 정의 파라미터, UDP(User Defined Parameter)을 설정하여 사용자의 유연성을 AP 위치 설정과정에 포함시켰다. 본 논문에서 UDP는 '0~3'까지의 정수값 레벨을 갖도록 하였고 레벨 '3'은 무선 LAN의 이용정도가 가장 높은 지역을 의미한다.

$$UDP = \{ x | x = 0, 1, 2, 3 \} \quad (6)$$

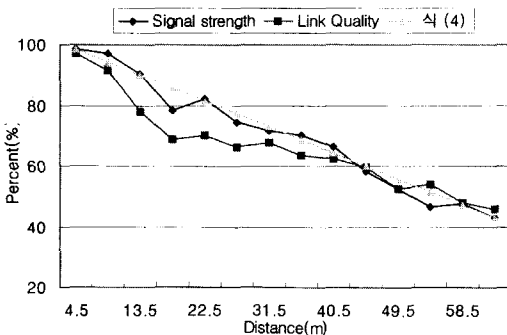


그림 3. 자유공간에서의 거리에 따른 수신 신호 강도 그래프

Fig. 3. The graph of receive signal strength depend on distance in free space.

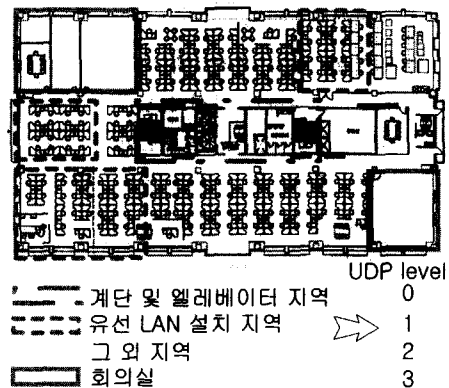


그림 4. 실내 평면도의 예
Fig. 4. An example of indoor floor plan.

3. 그래프 표현

복잡한 평면도에서 신호 강도에 영향을 주는 요소의 추출을 쉽게 하고, 화소단위의 표현으로 인한 계산의 복잡성을 줄이기 위하여 그림 4와 같은 평면도를 그림 5와 같이 블록도로 간소화하여 표현한다. 그림 5에서 방해물이 있는 블록의 명함은 L_i 의 크기에 따라 구분하면 방해물에 의한 전파감쇠 상황을 보다 쉽게 파악할 수 있다. 여기서 행과 열은 각 블록의 인덱스를 나타낸다.

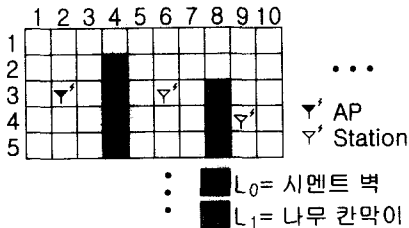


그림 5. 간소화 블록도 표현
Fig. 5. A representation of simple block diagram.

그림 5에서 하나의 블록을 'BLK(행, 열)'로 나타낸다면, BLK(3,2)에 AP가 위치하는 경우, BLK(3,6)에 위치하는 스테이션은 하나의 장애물 즉, L_0 의 감쇠영향을 받으며, BLK(4,9)에 위치하는 스테이션은 L_0, L_1 의 감쇠영향을 받게된다.

또한, 사용자 정의 파라미터인, UDP는 각 블록에 대하여 설정되어야 하므로 'UDP(행, 열)'로 표현한다.

그림 6은 블록도의 각 BLK와 RSSI, UDP 관계를 그래프로 표현한 예이다. 여기서, 노드는 특정 블록의 BLK를 나타내고, 각 노드는 UDP를 갖고, 노드 사이를 연결하는 선은 RSSI를 나타낸다. 여기서, Tx와 Rx 위치에 따라서 'RSSI(Tx, Rx)'로 표현하면, RSSI는 식 (3) 통하여 구할 수 있으며, RSSI(Tx, Rx)와 RSSI

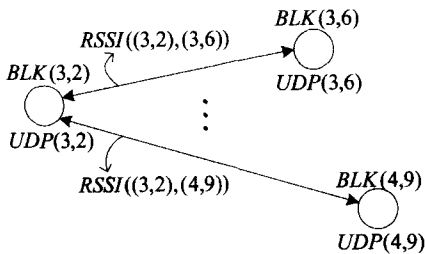


그림 6. 블록도의 그래프 표현
Fig. 6. A graph representation of block diagram.

(Rx, Tx)은 AP와 스테이션이 양방향 통신이므로 같은 값을 가지게 된다.

그림 6과 같은 그래프는 AP 위치에 따른 모든 블록과의 관계 정보를 포함한다. 최적화 시스템은 그림 6과 같은 그래프 표현을 입력받으며, BLK, UDP, RSSI의 정보를 기반으로 최적화를 수행하게 된다.

본 논문에서는 수신 신호의 강도를 계산하는데 패스-로스 모델을 적용하였지만, 레이-트레이싱 모델 등의 다른 방법이 적용될 수 있다. 대부분의 전파 예측 모델은 수식이 특정하게 고정되기 때문에, 전파 예측 단계는 다양한 방법의 적용이 가능하다.

IV. 신경망을 이용한 Access Point 위치 설정 최적화 시스템

본 장에서는 홉필드 신경망의 구조와 AP 위치를 수학적으로 표현하기 위한 행렬 표현방법 및 홉필드 신경망의 최적 AP 위치 설정을 위한 동작 조건과 에너지 수식의 설정 과정에 대해 기술한다.

1. 홉필드 네트워크 구조

홉필드 신경망은 상호결합형 신경망 모델로 전체 에너지를 최소화한다는 동작 특성을 갖고, 연상기억이나 최적화 문제를 병렬적으로 해결하는데 많이 이용된다. 그림 7은 홉필드 신경망의 구조를 나타낸다.

홉필드 네트워크에서 각 뉴런 사이의 결합하중은 대칭이며($w_{i,j} = w_{j,i}$), 모든 뉴런은 비동기 적으로 동작하는 특성을 가진다^[9].

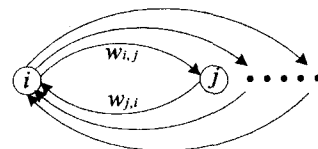


그림 7. 홉필드 신경망의 구조
Fig. 7. The structure of Hopfield neural network.

2 AP 위치의 행렬 표현

그림 5와 같은 블록도에서 특정 블록에 AP가 위치하는 경우 이를 수학적으로 표현하기 위하여 2차원 행렬, V_{ij} 로 표현한다. 그림 8은 BLK(3,2)와 BLK(4,9)에 각각 AP가 설정되는 경우를 행렬로 표현한 예이다. V_{ij} 는 AP의 존재 여부를 나타내는 값으로 '0' 또는 '1'의 값을 갖는다.

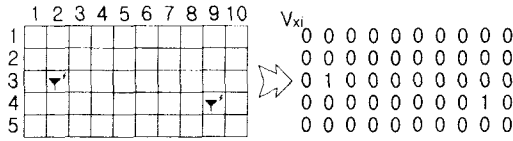


그림 8. AP 위치의 2차원 행렬 표현
Fig. 8. An two-dimension matrix representation of AP position.

V_{xi} 의 값이 '1'인 경우에는 $BLK(x, i)$ 에 AP가 위치함을 나타낸다.

그림 8과 같은 2차원 행렬 표현에서의 전체 네트워크 에너지는 식 (7)과 같이 주어진다.

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{x,y,i,j} T_{xi,yj} V_{xi} V_{yj} - \sum_{x,i} I_{xi} V_{xi} \quad (7)$$

여기서, $T_{xi,yj}$ 는 $BLK(x, i)$ 와 $BLK(y, j)$ 간의 결합계수이고, I_{xi} 는 $BLK(x, i)$ 의 역치이다.

3. 최적의 AP 위치 설정을 위한 조건과 홉필드 네트워크 에너지 수식 설정

AP 위치에 대한 행렬 표현에서 최적의 AP 위치를 찾기 위해서는 표 3의 조건을 모두 만족해야 한다.

표 3에서 '조건 1'은 사용자가 지정한 AP 수에서 최적화가 이뤄지도록 하기 위한 조건이다. '조건 2'는 $\sum_{x,i} RSSI(x, i)$ 및 $\sum_{x,i} UDP(x, i)$ 가 최대인 $BLK(x, i)$ 가 AP의 위치로 설정하기 위한 조건이다. '조건 3'은 하나의 AP와만 연합(association)하기 위한 조건으로 사이트에 두 개 이상의 AP가 설치되는 경우에 다수의 AP에 의해 서비스가 가능한 블록이 발생한다. 이러한 블록에 위치한 스테이션은 각 AP의 비콘(beacon)신호를 탐지하여 전파의 강도 및 AP의 트래픽 등을 고려하여, 재연합(reassociation)과정을 통해 하나의 AP와만 연합하게 된다.

모든 AP는 그림 9와 같이 자신이 서비스 할 수 있는 지역에 대한 BSS(Basic Service Set)를 형성한다. BSS의 집합인 ESS(Extended Service Set)는 BSS가 겹치지 않거나 부분적으로 혹은 완전히 BSS가 중첩되는 형태를 가질 수 있다. BSS가 겹치지 않는 ESS형태에서는 상대적으로 적은 수의 AP로 넓은 지역을 서비스 할 수 있지만, 특정 BSS에 트래픽이 집중되는 경우에는 해당 스테이션들의 성능이 급격히 저하된다. 반면에 BSS가 중첩되는 경우에는 여러 AP에게 트래픽을 균등하게 분할 할 수 있기 때문에 각 스테이션의 데이터 전송률을

높일 수 있지만, 넓은 지역을 서비스 할 수 없게 된다. '조건 4'는 전체 지역을 적은 수의 AP로 서비스 할 수 있도록 하기 위한 조건이다. 높은 트래픽을 요구하는 지역은 조건 2의 UDP에 의해 다중의 AP가 설정될 수 있게 함으로써 결과적으로 전체 성능이 향상되는 방향으로 AP의 위치가 설정되게 된다.

BLK가 5개인 경우를 고려해 보면, 그림 10의 (a)와 같이 그래프의 모든 노드는 RSSI값으로 상호 완전 연결

표 3. 최적의 AP 위치 설정을 위한 조건
Table. 3. The conditions to plan optimal AP position.

조건 1. AP위치의 행렬 표현에서 활성화되는 1의 수 ($\sum V_{xi}$)는 사용자가 지정한 AP 수와 동일해야 한다.
조건 2. 그래프 표현에서 ' $BLK(AP위치)$ ' 노드와 연결된 ($RSSI \neq 0$), 모든 노드의 UDP 및 RSSI값의 합은 최대가 되어야 한다.
조건 3. 모든 ' $BLK(x, i)$ '는 하나의 AP에게만 영향을 받는다.
조건 4. 중첩되는 BSS(Basic Service Set)는 최소가 되어야 한다.

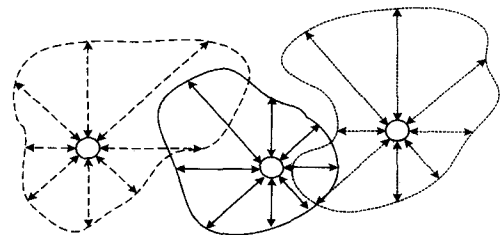


그림 9. AP 위치에 따른 BSS
Fig. 9. The BSSs depend on AP position.

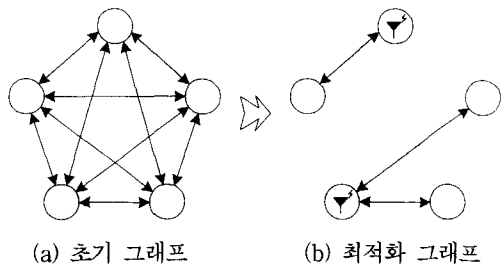


그림 10. 그래프의 최적화 과정
Fig. 10. An procedure of graph optimization.

(full-connected)되어 있다. 여기서 RSSI와 UDP값에 기반하여 최적화 과정을 통하여 특정 노드가 AP 위치로 설정되면, 그 외 모든 노드는 한 AP와만 연합한다. 그림 10의 (b)는 AP가 2개인 경우의 최적화된 그래프의 예를 나타낸다.

표 3의 최적 AP 위치 설정 조건에 대한 각각의 홉필드 에너지 수식은 식 (8), (9), (10), (11)과 같다.

$$E_1 = \frac{A}{2} (\sum_x \sum_i V_{xi} - n)^2 \tag{8}$$

$$E_2 = -\frac{B}{2} \sum_x \sum_i V_{xi} TRR(x, i) \tag{9}$$

$$E_3 = \frac{C}{2} \sum_x \sum_i \sum_j \sum_y V_{xi} V_{yj} RSSI((x, i), (y, j)) \tag{10}$$

$$E_4 = -\frac{D}{2} \sum_x \sum_i \sum_j \sum_z \sum_k V_{xi} V_{yj} COM(RSSI((x, i), (z, k)), RSSI((y, j), (z, k))) \tag{11}$$

여기서 A, B, C, D 는 임의의 홉필드 에너지 상수 값이고, x, i, y, j, z, k 는 BLK의 인덱스를 나타낸다. n 은 사용자가 정의한 AP의 개수이고 $RSSI((x, i), (y, j))$ 는 $BLK(x, i)$ 와 $BLK(y, j)$ 사이의 전파 강도로 식 (12)과 같이 계산될 수 있다. TRR (Total Received Radio)은 특정 블록에 AP가 위치할 때, 다른 모든 블록의 전파 이득을 나타내는 함수로 식 (13)과 같다. COM (Compare) 함수는 두 파라미터 중에서 큰 값을 리턴 하는 함수이다.

$$RSSI((x, i), (y, j)) = PL(\sqrt{(x-y)^2 + (i-j)^2}) - \sum O_i * L_i \tag{12}$$

$$TRR(x, i) = \sum_y RSSI((x, i), (y, j)) * UDP(y, j) \tag{13}$$

홉필드 네트워크는 최소에너지에 수렴하도록 동작함으로써 최적의 상태에서 전체 에너지가 최소가 되도록 해야 한다. 식 (8)은 전체 활성화되는 1의 수가 사용자가 지정한 값 보다 적거나 많으면 에너지를 증가시키는 수식이고, 식 (9)은 UDP 및 RSSI를 고려한 서비스 정도를 나타내는 수식으로 클수록 사용자의 요구에 맞는 위치임을 의미하므로 에너지를 감소시킨다. 식 (10)은 하나의 AP 서비스 범위 안에 다른 AP가 존재하는 경우 두 개 이상의 AP로부터 수신 가능한 블록이 증가하는 경우를 줄이기 위한 수식으로, 두 블록의 RSSI값만큼 에너지를 증가시키는 수식이다. 식 (11)은 둘 이상의 AP에게 영향을 받는 블록의 경우에 해당 블록에 강한 전파를 주는 AP에게만 영향을 받도록 하여 모든 블록

을 대상으로 서비스 정도를 나타내는 값으로 에너지를 감소시키는 수식이다.

주어진 문제를 해결하기 위한 전체 에너지 수식은 $E_1 + E_2 + E_3 + E_4$ 가 되고, 이를 식 (7)과 비교하면 결합 계수와 역치는 각각 식 (14)과 식 (15)과 같다.

$$T_{xi, yj} = -A - C RSSR((x, i), (y, j)) + D * \sum_z \sum_k COM(RSSI((x, i), (z, k)), RSSR((y, j), (z, k))) \tag{14}$$

$$I_{xi} = An + B TRR(x, i) \tag{15}$$

식 (14)과 식 (15)의 설정 값을 기반으로 홉필드 네트워크를 표 4와 같이 시간발전 규칙 따라 동작시키면 최소 에너지 상태에 수렴하게 되고, 이 때의 행렬, V_{xi} 의 출력값이 최적의 AP 설정 블록이 된다.

표 4. 홉필드 네트워크 시간발전 규칙

Table. 4. The processing rule of Hopfield network.

Step 1. 그래프로 표현된 노드 중에서 랜덤하게 하나를 선택한다.
Step 2. 선택된 노드인, $BLK(x, i)$ 로의 입력 총합, $u_{xi}(t)$ 를 구한다. $u_{xi}(t) = \sum_{x, i \neq y, j} T_{xi, yj} v_{yj}(t) + I_{xi}$
Step 3. $u_{xi}(t)$ 의 값에 따라서 $BLK(x, i)$ 의 출력인, $v_{xi}(t+1)$ 을 갱신한다. if ($u_{xi}(t) \geq 0$) $v_{xi}(t+1) = 1$ else $v_{xi}(t+1) = 0$
Step 4. $BLK(x, i)$ 이외의 노드인 $BLK(y, j)$ 의 출력은 변화시키지 않는다. $v_{yj}(t+1) = v_{yj}(t)$
Step 5. 전체 에너지가 특정 값에 수렴될 때까지 Step 1로 돌아간다.

4 볼츠만-머신(Boltzmann-machine) 적용

홉필드 신경망은 에너지 함수가 감소하는 방향으로만 동작되므로 그림 11과 같이 네트워크 에너지의 극소점에서 상태가 수렴될 수 있다. 이러한 경우에 v_{xi} 의 출력 상태는 표 3의 조건을 모두 만족하지 않은 경우로 최적의 AP 위치에 해당되지 않는다.

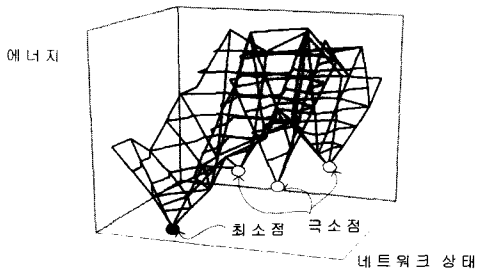


그림 11. 네트워크 상태에 따른 에너지 관계
Fig. 11. The relationship between network state and energy.

볼츠만-머신은 표 4의 시간 발전 규칙을 확률적인 동작으로 확장한 것으로, 네트워크 에너지가 증가하는 상태로도 천이도 작은 확률로 허용한다. 따라서, 에너지 함수가 최소점으로 수렴하도록 동작 성능을 향상시킬 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과

그림 4의 '40m * 60m' 실내 평면도를 대상으로 '10 * 20'의 블록도로 표현하면, 그림 12와 같다. 또한, 무선 LAN 사용자의 트래픽의 요구 정도에 따른 UDP 레벨을 나타내었다. AP는 천장에 설치한다고 가정하고 사용자 환경에서 나무 칸막이는 높이가 낮기 때문에, 이로 인한 전파 감쇠 영향은 고려하지 않는다. 시멘트벽은 UDP 레벨이 '0'인, 계단과 엘리베이터 지역을 둘러싸고 있는 구조이다.

표 5와 표 6은 전파 예측 모델을 이용하여 무선 LAN의 최적 AP 위치를 찾는 주요 과정을 나타낸다. 표 5는 순차적 계산 방법을 이용한 과정이고, 표 6은 본 논문에서 제안한 신경망을 이용한 과정을 나타낸다.

표 5의 순차 계산 알고리즘에서는 AP의 수가 늘어나면, 'Tx위치:BLK(x,i)'가 지수적으로 증가하므로 식 (16)과 같이 계산량이 폭발적으로 증가한다. 반면에, 표 6의 신경망의 홉필드 알고리즘을 이용한 방법은 식 (17)과 같이 AP 수에 상관없이 일정한 복잡도를 가진다.

$$(BLK의 수 - 1) \cdot BLK의 수 \cdot C_{AP의 수} \quad (16)$$

$$(BLK의 수)(BLK의 수 - 1)(BLK의 수 - 2) \quad (17)$$

그림 13은 시뮬레이션 과정을 나타낸다. 에너지 상수 및 AP의 수를 설정한 다음 'Weight 설정' 단계에서 식 (11)과 식 (12)에 따라 결합계수와 역치 값이 계산된다.

표 5. 최적 AP 위치를 찾기 위한 순차 계산 알고리즘

Table. 5. The sequential computation algorithm to search optimal AP placement.

```

for (x = 1; x ≤ 10; x++)
for (i = 1; i ≤ 20; i++) { // Tx위치:BLK(x,i)
TRR(x, i) = 0 // TRR(x, i) 초기화
for (y = 1; y ≤ 10; y++)
for (j = 1; j ≤ 20; j++) { // Rx위치:BLK(y,j)
if ((x ≠ y) (i ≠ j)) {
TRR(x, i) = TRR(x, i) + RSSI((x, i), (y, j)) * UDP(y, j);
.... // 모든 Rx위치에서의 전파 예측 강도 계산
}
}
search(최대의 TRR(x, i)); // 최대 TRR(x, i)의 BLK(x,i)가 최적 AP 위치
}
    
```

표 6. 최적 AP 위치를 찾기 위한 신경망의 홉필드 알고리즘

Table. 6. The Hopfield algorithm of neural network to search optimal AP placement.

```

for (x = 1; x ≤ 10; x++)
for (i = 1; i ≤ 20; i++) {
for (y = 1; y ≤ 10; y++)
for (j = 1; j ≤ 20; j++) {
Temp = 0;
for (z = 1; z ≤ 10; z++)
for (k = 1; k ≤ 20; k++) {
if ((x ≠ y) and (i ≠ j) and (x ≠ z) and (i ≠ k))
Temp = Temp + COM(RSSI((x, i), (z, k)), RSSI((y, j), (z, k)));
}
if ((x ≠ y) and (i ≠ j))
Txi, yj = -A - C RSSI((x, i), (y, j)) + D * Temp;
} // 각 BLK의 weight 설정 과정
Ixi = An + B TRR(x, i);
} // 에너지의 최소점이 최적 AP 위치
    
```

'초기화' 단계에서 그림 13의 (a)처럼, 랜덤하게 V_{xi} 값을 출력한다. '최적화' 단계에서는 표 4의 시간 발전 규칙에 따라 에너지의 최소점을 찾게 된다. 그림 13의 (b)와 (c)는 에너지의 최소점을 찾아가는 과정을 나타낸다. '최소 상태'는 에너지의 최소점에 도달했을 때의 상태로 그림 13의 (d)에 나타나 있다.

표 7은 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 여기서 에너지

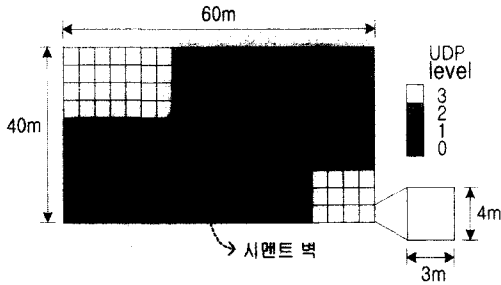


그림 12. 대상지역의 블록도 표현
Fig. 12. The block diagram of service area.

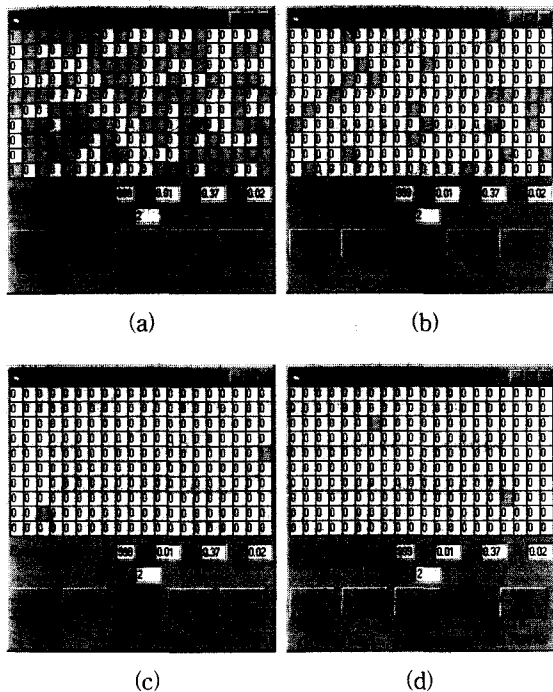


그림 13. 시뮬레이션 과정
Fig. 13. The procedure of simulation.

상수 A, B, C, D는 각각 1999, 0.01, 0.7, 0.02로 설정하였다. 최소 에너지 상태에서의 최적의 BLK 위치 (Optimal BLK Position), 최소 네트워크 에너지(Network Energy) 및 각 블록의 수신 강도(Signal Strength)를 나타낸다.

그림 14의 (a), (b), (c), (d), (e)는 각각 AP를 1, 2, 3, 4, 5, 6으로 설정한 경우에 블록의 수신강도를 명암으로 표현한 그림이다. 검은색일수록 전파의 수신강도가 강한 블록임을 나타낸다. AP의 수가 늘어날수록 UDP가 높은 곳에 사용자의 트래픽을 충분히 수용하기 위하여 AP가 중첩되어 설정됨을 알 수 있다. 그림 14의 (e)와 같이

표 7. 시뮬레이션 결과

Table. 7. The result of simulation.

# AP	State of Minimum Energy		
	Optimal BLK Position	Network Energy	Signal Strength
1	(4,7)	-405.6	그림 14, (a)
2	(3,7) (8,17)	-3031.2	그림 14, (b)
3	(3,7) (8,17) (9,8)	-7793.3	그림 14, (c)
4	(1,11) (3,4) (3,7) (9,17)	-14832.2	그림 14, (d)
5	(1,6) (3,6) (3,11) (8,10) (10,19)	-24060.3	그림 14, (e)
6	(1,10) (4,4) (4,12) (6,7) (8,13) (10,20)	-35492.1	그림 14, (f)

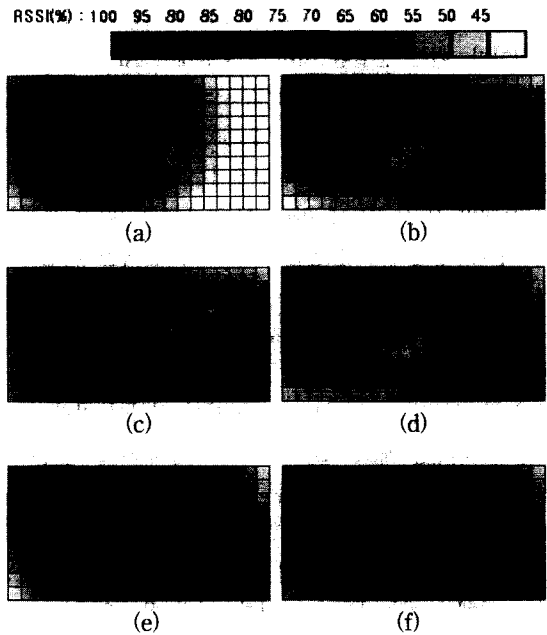


그림 14. AP 위치에 따른 수신 신호 강도

Fig. 14. The receive signal strength depend on AP position.

높은 트래픽 요구에 대응하기 위하여 다중 AP가 중첩되는 경우에는 각 AP의 채널이 간섭이 발생하지 않게 적절한 채널 할당이 이뤄져야 한다.

본 시뮬레이션에서 블록의 크기는 '4m * 3m' 이다. 따라서 선택된 하나의 블록을 더 작은 블록으로 나누어 다시 신경망의 최적화 시스템에 입력시키면 보다 정확한 AP 위치를 설정할 수 있다. 블록이 많을수록 신경망 시스템의 계산량은 급격하게 증가하기 때문에, 서비스 지역이 넓은 경우에는 여러 단계로 나누어 시뮬레이션

하는 것이 훨씬 효율적이다.

홉필드 신경망은 항상 최소 에너지 값에 수렴하는 것은 아니다. 따라서, 그림 13의 (c)와 같은 상태에서 에너지 극소점에 수렴하는 경우도 있기 때문에 적절한 에너지 상수값 설정이 필요하다. 또한, 볼츠만-머신과 같은 최소점 수렴률이 높은 알고리즘을 이용할 수도 있다. 제안한 AP 설정 방법은 반복 실행을 통하여 최소 에너지 상태에 수렴가능하며, 최적화 정도는 에너지 값으로 판별되기 때문에 쉽게 AP위치의 최적화 정도를 구분할 수 있다.

VI. Conclusion

무선 LAN에서는 AP의 위치에 따라 서비스 지역에 대한 품질이 다르게 되므로 적절한 AP위치 설정이 필수적이다. 이는 동일한 서비스 품질에서 AP의 수를 줄일 수도 있고, 같은 수의 AP로 서비스 품질을 향상시킬 수도 있으므로 매우 중요한 문제이다. 또한, 레이 아웃이 자주 변화하는 사무실 환경에서는 무선 LAN 사용자의 트래픽 요구 정도에 따라 AP의 위치를 다시 설계할 필요성이 빈번하게 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 AP의 최적 위치를 설정하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 실내 환경에서 낮은 복잡도로 빠른 시간에 다중 AP의 위치 설정을 최적화 해주는 방법을 제안하였다. 전파의 감쇠 정도를 파악하기 위하여 전파 예측 모델의 하나인 패스-로스 모델을 적용하였고, 최적화는 신경망의 홉필드 네트워크를 이용하였다. 사용자 정의 파라미터인 UDP을 두어, 무선 LAN 사용자의 트래픽 요구 정도를 최적화 과정에 반영함으로써 보다 유연성 있는 설계가 가능하도록 하였다. 실내 환경을 대상으로 한 시뮬레이션 결과, 빠른 시간에 최적의 AP 위치 설정이 가능하고, 트래픽을 여러 AP에게 적절히 배분될 수 있는 설계가 가능함을 확인하였다. 또한, 제안한 방법은

다양한 전파 예측 모델을 이용하여 실외환경에서도 적용이 가능하고 광범위한 지역의 AP 위치 설정에 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Jim Zyren and Al Petrick, "IEEE 802.11 Tutorial", <http://www.wirelessethernet.org>
- [2] 조용수, "무선 LAN 기술 동향", 한국통신학회지, 17권 11호, pp. 1566-1581, 2000.
- [3] Jim Geier, "Wireless LANs 2E: Implementing High Performance IEEE 802.11 Networks", SAMS, 2001.
- [4] R. H. Wu, et al., "Planning system for indoor wireless network", IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 47, no. 1, pp. 73-79, 2001.
- [5] S. A. Chen, et al., "Optimal prediction tool for wireless LAN using genetic algorithm and neural network concept", IEICE/IEEE APCC/OECC' 99, Japan, pp. 786-789, 1999.
- [6] Ji Z. Li BH, et al., "Efficient ray-tracing methods for propagation prediction for indoor wireless communications", IEEE Antennas & Propagation Mag., V.43 N.2, pp. 41-49, 2001.
- [7] 박선희, "무선 LAN과 응용: Wireless LAN System", 동역메카트로닉스, 1994
- [8] W. Honcharenko, et al., "Mechanisms governing propagation between floors in buildings", IEEE Trans, Antennas Propaga., vol. 41, no. 6, pp. 787-790, 1993.
- [9] James P. Coughlin, Robert H. Baran, "Neural Computation in Hopfield Networks and Boltzmann Machines", Univ of Delaware pr, 1995.

저 자 소 개



林 國 贊(正會員)

현재 : LG전자 WLL단말연구소 주
임연구원 재직. <주관심분야 : 병렬
처리, FPGA 설계, Wireless LAN,
CDMA.>



崔 聖 勳(正會員)

1986년 : 동아대학교 전자공학과 학
사. 1986년 2월~1989년 8월 : (주)맥
슨전자 C/T개발 주임연구원. 1989
년 8월~현재 : LG전자 WLL단말연
구소 책임연구원. <주관심분야 : 유
무선통신, Wireless LAN, CDMA,

GSM, IMT-2000.>

姜 勳(正會員)

1988년 2월 : 홍익대 전기공학과 학사. 1990년 2월 : 홍익대 대학원 전기공학과 석사. 1993년 1월~1996년 9월 : (주)팬택 산업용 무전기 개발. 1996년 9월~현재 : LG전자 WLL단말연구소 선임연구원. <주관심분야 : 유무선통신, Wireless LAN, CDMA, IMT-2000.>

李 顯 洙(正會員)

현재 : 경희대학교 전자계산공학과 교수. <주관심분야 : VLSI 구조 설계 및 신경망 컴퓨터, 병렬처리, Wireless LAN.>