

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.5.113>

IIBC 2015-5-13

이동 무선망의 경로 붕괴시간에 대한 통계적 분석

Statistical Analysis for Path Break-Up Time of Mobile Wireless Networks

안홍영*

Hong-Young Ahn*

요약 이동 무선망은 통신기반 설치가 필요 없는 빠르고 쉬운 망 구성 등의 장점으로 미래의 통신망으로 많은 주목을 받고 있다. 이동 무선망에서 임의의 두 노드간의 통신 경로는 노드의 이동성으로 인해 어떤 링크에서는 전송 범위(r_0)를 벗어나 경로 붕괴가 일어나고 통신이 불가능하게 된다. 모든 노드 쌍의 경로 붕괴 시간의 모음인 총 경로붕괴 시간 집합($\bigcup T_i$)은 이동 무선망의 동적인 연결 상태를 측정하는 좋은 척도가 될 수 있다. 본 논문에서는 총 경로붕괴 시간의 확률 밀도함수는 지수함수로 근사화 될 수 있음을 보이고 실험 데이터를 통해서 확인하였다. 경로붕괴 시간에 대한 통계적 특성을 알면 이동 무선망에서의 노드 간 지연, 패킷 손실률 등에 대한 정량적 예측을 할 수 있고 시뮬레이션 결과에 대한 확신을 더해 주게 된다.

Abstract Mobile wireless networks have received a lot of attention as a future wireless network due to its rapid deployment without communication infrastructure. In these networks communication path between two arbitrary nodes break down because some links in the path are beyond transmission range(r_0) due to the mobility of the nodes. The set of total path break down time($\bigcup T_i$), which is the union of path break down time of every node pair, can be a good measure of the connectivity of the dynamic mobile wireless network. In this paper we show that the distribution of the total path break down time can be approximated as a exponential probability density function and confirms it through experimental data. Statistical knowledge of break down time enables quantitative prediction of delay, packet loss between two nodes, thus provides confidence in the simulation results of mobile wireless networks.

Key Words : mobile wireless network, connectivity, break-up time, link failure, statistical analysis

1. 서론

Manet, Vanet, 센서 망 등의 이동 무선망은 라우터와 중단 기능을 동시에 수행하는 모바일 노드들이 무선링크로 연결된 자율시스템이다. 이러한 망은 통신기반 설비의 설치가 필요 없는 재빠르고 손쉬운 망 구성, 중앙통제

가 필요 없는 자율적 구성, 전력 및 전송 조건 변화에 대한 적응성, 부하의 적절한 분배 등의 장점으로 말미암아 미래의 통신망으로 많은 주목을 받고 있다.

이동 무선망에서 통신을 하고자 하는 두 노드는 직접 통신 가능한 거리(전송 범위 r_0)내에 있거나 다른 노드들의 중계에 의해 연결되어 질 수 있어야 한다. 이동 무

*정회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
접수일자 : 2015년 9월 4일, 수정완료 2015년 10월 4일
게재확정일자 : 2015년 10월 9일

Received: 4 September, 2015 / Revised: 4 October, 2015 /

Accepted: 9 October, 2015

*Corresponding Author: hyahn@hongil.ac.kr

Dept. of Computer Information Communication, Hongik Univ.

선망에서 노드들 간의 경로 연결성은 망의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나이며 지난 10여 년간 이에 대한 연구가 꾸준히 진행되어왔다.

Gupta^[5]는 노드수가 증가함에 따라 연결확률이 1이 되기 위한 송신 파워를 결정하는 문제를 다루었다. Miller^[6]는 2홉 이내로 연결될 확률을 계산하였다. Xue^[7]는 2차원에서 랜덤하게 배치한 K 노드 시스템에서, 각 노드가 $0.0741 \log K$ 이하의 이웃과 연결되면 K 가 증가함에 따라 망은 끊어질 확률이 점근적으로 1 임을 보였다. 반대로 각 노드가 $5.1744 \log K$ 이상의 이웃과 연결되어 있으면 K 가 증가함에 따라 망은 어떤 노드와도 연결될 확률이 점근적으로 1이 된다. Bettstetter^[8], Zhang^[9] 등은 노드 밀도가 주어졌을 때 점근적 k -연결성을 유지하기 위한 임계 파워를 식으로 유도하였다.

본 논문에서는 연결성을 결정하기 위해 임의의 두 노드 사이에 통신이 불가능한 경로 붕괴시간 T_i 를 다음과 같이 구하였다. 모빌리티 모델에 따른 노드들의 변화 위치를 시간 샘플링한 후 각 스냅샷에 대해 이진 Clustering을 통해 최대 Cluster 거리를 시간의 함수로 구하고, 이로부터 전송 범위를 넘어서는 시간구간을 구하였다. 모든 노드 쌍의 경로 붕괴 시간의 모음인 총 경로붕괴 시간 집합 ($\bigcup T_i$)은 이동 무선망의 동적인 연결성을 측정하는 좋은 척도가 될 수 있다.

본 논문에서는 총 경로 붕괴 시간의 확률 밀도함수는 지수함수로 근사화 될 수 있음을 보이고 실험 데이터를 통해서 확인하였다. 경로붕괴 시간에 대한 통계적 특성을 알면 이동 무선망에서의 노드 간 지연, 패킷 손실률 등에 대한 정량적 예측을 할 수 있고 시뮬레이션 결과에 대한 확신을 더해 주게 된다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 경로 붕괴시간 T_i 를 구하기 위한 이진 클러스터링과 클러스터간 거리를 구하는 방법에 대해 논하고, 3장에서는 연결성에 대한 이론적인 모델을 다루고, 4장에서는 모빌리티 모델에 따른 실험 및 결과를, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 경로 붕괴 시간 T_i

본 논문에서 다루는 이동 무선망은 N 개의 노드가 $1000 m \times 1000 m$ 의 지역에 주어진 이동성 모델에 따라 움직인다. 임의의 두 노드가 통신 가능한지의 여부

를 판정하기 위해서는 모든 노드사이의 통신 연결 경로를 조사해야 한다.

주어진 노드 수 N 에 대해서 $\frac{N(N-1)}{2}$ 개의 통신 연

결이 존재하며 각 연결의 경로에 대해서 전송 범위를 넘어선 링크를 조사하면 그 경로 상에서 발생하는 경로 붕괴를 알 수 있고, 이에 따라 패킷 손실, 중단 간 지연, 처리율 등의 네트워크 성능 변수들을 알 수 있다.

연결성을 결정하기 위해 임의의 두 노드 사이에 통신이 불가능한 경로 붕괴시간 모음 T_i 는 다음과 같이 구한다. 시뮬레이션 시간 동안 모빌리티 모델에 따른 모든 노드들의 위치 변화를 일정한 시간으로 샘플링한 후 각 스냅샷(샘플 순간의 노드 배치)에 대해 이진 Clustering을 통해 임의의 두 노드 사이의 최대 Cluster 거리를 구하고, 이로부터 전송 범위를 넘어서는 링크를 찾을 수 있다. 이 과정을 모든 샘플에 적용하면 시뮬레이션 시간 동안 일어나는 경로 붕괴 시간 T_i 의 분포를 알 수 있고, 모든 노드 쌍의 경로 붕괴 시간을 모으면 총 경로붕괴 시간 집합 ($\bigcup T_i$)을 알 수 있다. 총 경로 붕괴 시간은 시뮬레이션 파라미터(노드수, 이동성 모델, 노드 속도 등)에 따른 연결성에 대한 통계적 데이터를 제공한다.

전송 범위를 넘어선 링크는 다음과 같이 찾는다. 각 스냅 샷의 모든 노드 쌍에 대해 *Euclidean Distance*를 계산해서 적절하게 배열한다. 노드 X_i 와 X_j 사이의 거리를 $d_u(X_i, X_j)$ 라고 하면 모든 노드 쌍 간의 거리는 행벡터 $Y = (d_u(X_1, X_2), d_u(X_1, X_3), \dots, d_u(X_1, X_N), d_u(X_2, X_3), \dots, d_u(X_2, X_N), \dots, d_u(X_{N-1}, X_N))$ 으로 배열된다. 이 행 벡터는 clustering이나 다차원 스케일링 문제에서는 유사성 *matrix*로 활용된다. 두 클러스터 r, s 간 최소거리는 다음과 같이 주어진다.

$$d_u(r, s) = \min(d_u(x_{r,i}, x_{s,j})), \\ \forall i \in (1, \dots, n_r), \forall j \in (1, \dots, n_s)$$

즉 두 클러스터에 속한 노드들 간의 모든 거리 중 최단거리를 말한다. 최단거리 계층적 이진 cluster tree는 nearest neighbor cluster tree라고도 한다. 행 벡터 Y 로부터 최단거리 계층적 이진 cluster tree를 다음과 같이 만든다^[1].

모든 노드는 자기 자신이 속한 한 개의 멤버를 가진 싱글 cluster를 형성하며, *Node ID*와 같은 *cluster ID*를 가진다.

노드 쌍 간의 거리 행벡터 Y 중에서 가장 작은 거리의 두 클러스터(노드)를 결합하여 새로운 cluster를 형성하고 next cluster ID를 부여한다.

새로운 클러스터를 포함한 클러스터 배열에서 클러스터간 거리가 최소인 클러스터 둘을 결합하여 새로운 클러스터를 형성하고 next cluster ID를 부여한다.

③의 과정을 모든 cluster가 결합하여 하나의 클러스터를 형성할 때까지 반복한다.

이렇게 형성된 cluster들은 원 노드들을 leaf 노드로 하는 이진 cluster tree를 형성하게 되고 클러스터 간 최대거리 정보를 제공해 준다. 클러스터 간 최대거리는 임의의 두 노드 사이의 경로에 존재하는 최대거리 링크 l_i 이다.

$$\text{Maximum Cluster Distance} = \max (l_i)$$

최대거리 링크 l_i 가 전송 범위 r_0 보다 크면 경로 붕괴가 일어나고 두 노드 사이의 통신은 불가능하다.

III. 이론적 고찰

전송 범위 r_0 를 가지는 n 개의 노드를 면적 $A \gg r_0^2$ 안에 균일분포로 배치시켰을 때 한 노드가 전송 범위 r_0 를 벗어나는 확률은 다음과 같다. 이 경우 노드 밀도 $\rho = \frac{n}{A}$ 가 된다.

2차원 균일 Poisson Point 프로세스에서 가장 가까운 이웃의 거리 ξ 의 확률 밀도함수는 다음과 같다^[13].

$$f(\xi) = 2\pi\rho\xi e^{-\rho\pi\xi^2} \quad (1)$$

임의의 노드에서 가장 가까운 이웃 노드까지의 거리가 r 보다 작을 확률은 다음과 같다.

$$P(\xi \leq r) = \int_0^r f(\xi)d\xi = 1 - e^{-\rho\pi r^2} \quad (2)$$

전송 범위를 r_0 라고 하면 임의의 노드가 전송범위 r_0 내에 최소한 하나의 이웃을 가질 확률은 $P(\xi \leq r_0)$ 이다. 경로 붕괴가 일어나는 것은 노드가 전송 범위 내에 이웃을 가지지 않을 때 이므로 그 확률은

$$P(\xi > r_0) = 1 - P(\xi \leq r_0) = e^{-\rho\pi r_0^2} \quad (3)$$

이다. 위 식은 주어진 전송범위 r_0 에 대해 링크 붕괴가 일어날 확률은 노드의 밀도 ρ 에 대한 지수 함수임을 보여준다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 Random Way Point(RWP), Manhattan (MAN), Blocked Manhattan(BMAN) 3가지의 이동성 모델에 대한 망의 성능을 평가하였다. BMAN은 MAN에 건물, 호수 등의 접근 불가 지역을 추가한 것이다. 송신 범위 r , 폭 w , 길이 l , 노드 수 n 이 주어졌을 때, 노드 밀도에 따른 이웃들의 숫자는^[3] $[\pi \times r^2 / \frac{w \times l}{n}]$ 로 주어진다. 노드 밀도가 클수록 이웃의 숫자가 증가해 경로가 형성될 확률이 높다. RWP와 MAN은 노드밀도가 같으나 RWP에서는 노드가 시뮬레이션 지역의 어느 곳이든 움직일 수 있는데 반해 MAN에서는 노드들의 움직임이 도로상으로 제한될 수밖에 없으므로 RWP에서 통신경로가 형성될 확률이 MAN보다 크다는 것을 추론할 수 있다. MAN과 BMAN의 경우 BMAN이 노드의 밀도가 높지만 움직임은 장애물 지역 때문에 더욱 제한되므로 MAN에서 통신경로가 형성될 확률이 크다는 것을 추론할 수 있다. 따라서 망의 성능은 RWP, MAN, BMAN 순으로 좋을 것임을 추론할 수 있고, 이를 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다.

그림 1은 주어진 노드 수(노드 수 = 30)에 대해 노드 속도에 따른(10, 20, 30, 40 km/h) Manhattan 이동성 모델의 총 경로 붕괴 시간 분포를 보여준다. 노드수가 주어졌을 때 노드의 속도가 증가함에 따라 링크의 평균 붕괴 시간은 증가함을 알 수 있고 이는 노드의 역동성으로 인하여 링크의 잦은 붕괴와 붕괴시간의 증가를 의미한다. 또한 노드의 속도가 주어졌을 때 노드수가 증가함에 따라 평균 붕괴시간은 감소하는데 이는 노드 밀도가 높아짐에 따라 새로운 링크를 통한 경로 발견 확률이 높아짐을 의미한다. 이러한 사실들은 노드의 속도와 밀도에 따라 우리가 정성적으로 추론할 수 있는 사실과 일치한다.

그림 2는 주어진 노드 수(노드 수 = 30)에 대해 노드 속도에 따른(10, 20, 30, 40 km/h) Random Waypoint 이동성 모델의 총 경로 붕괴 시간 분포를 보여준다. 그림에서 확인할 수 있듯이 RWP는 MAN 보다 경로 붕괴 회수

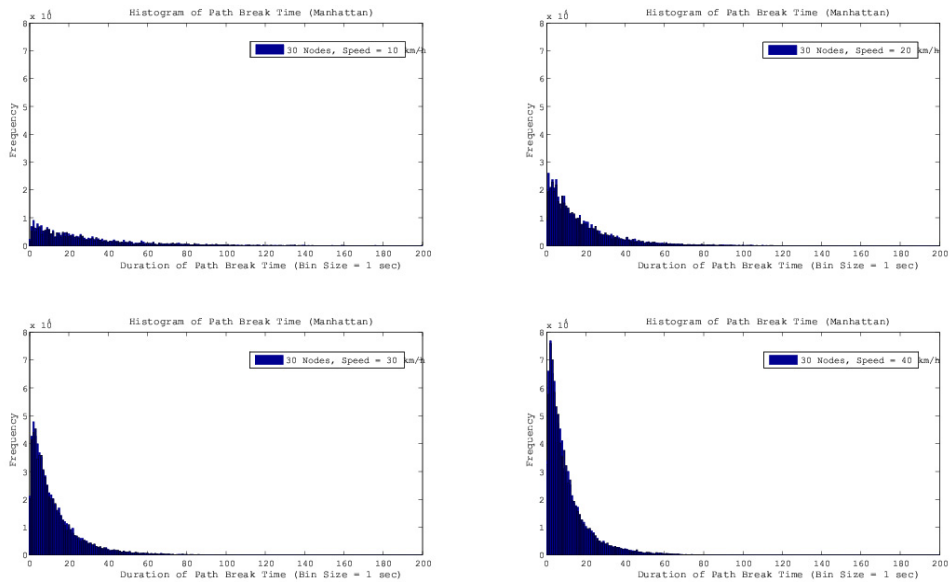


그림 1. 노드 속도에 따른(10, 20, 30, 40 km/h) Manhattan 이동성 모델의 총 경로 붕괴 시간 분포 (노드 수 = 30)
 Fig. 1. Distribution of total path break-up time of Manhattan mobility model according to node speed

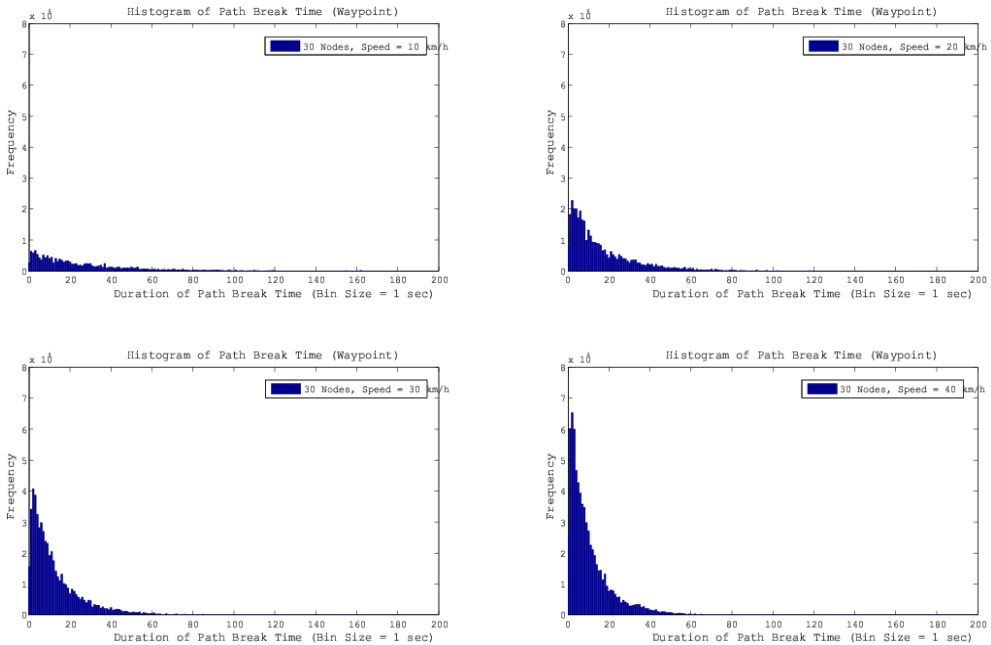


그림 2. 노드 속도에 따른(10, 20, 30, 40 km/h) Random Waypoint 이동성 모델의 총 경로 붕괴 시간 분포 (노드 수 = 30)
 Fig. 2. Distribution of total path break-up time of Random Waypoint mobility model according to node speed

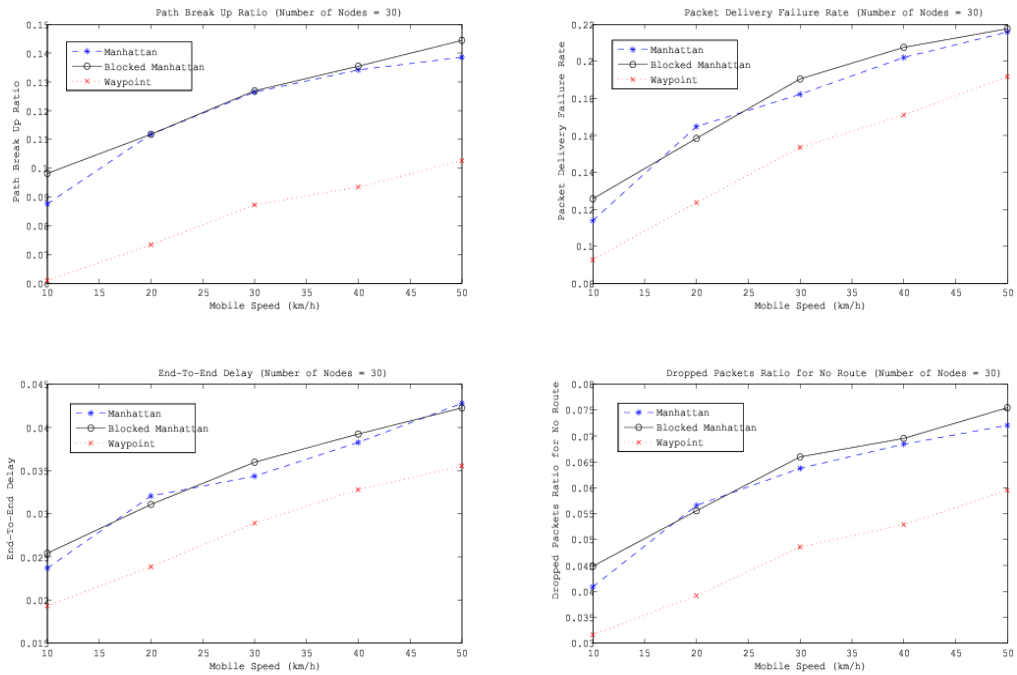


그림 3. 노드 속도에 따른(10, 20, 30, 40 km/h) 3가지 이동성 모델에 대한 시뮬레이션 결과 (노드 수 = 30)시계방향으로 경로 붕괴율, 패킷 전달 오류율, 종단간 지연, 경로 붕괴로 인한 패킷 드랍율
 Fig. 3. Simulation results of three mobility models according to node speed (Number of nodes = 30)

와 붕괴 시간이 상대적으로 작다. 이는 RWP가 MAN 보다 움직임에 대한 제약이 없으므로 그렇다.

이동성 모델과 관계없이 총 경로 붕괴 시간 분포는 Matlab curve fitting tool에 의해 무시할 만한 오류 내에서 지수함수로 근사화 되었다.

그림 3은 3가지 이동성 모델에 대한 Qualnet 시뮬레이션 결과다. 속도가 증가함에 따라 경로 붕괴에 따른 지연, 패킷 전달 오류율이 증가함을 알 수 있고 RWP가 MAN 보다 성능이 좋음을 알 수 있다.

V. 결 론

이동 무선망에서 임의의 두 노드간의 통신 경로는 노드의 이동성으로 인해 경로 붕괴가 수시로 일어나고 통신이 불가능하게 된다. 모든 노드 쌍의 경로 붕괴 시간의 모음인 총 경로붕괴 시간 집합($\bigcup T_i$)은 이동 무선망의 동적인 연결 상태를 측정하는 좋은 척도가 될 수 있다. 본 논문에서는 총 경로붕괴 시간의 통계적 분석결과 확

률 밀도함수는 지수함수로 근사화 될 수 있음을 보이고 실험 데이터를 통해서 확인하였다. 경로붕괴 시간에 대한 통계적 특성을 알면 이동 무선망에서의 노드간 지연, 패킷 손실율 등에 대한 정량적 예측을 할 수 있고 시뮬레이션 결과에 대한 확신을 더해 주게 된다.

References

- [1] H.Y. Ahn, "Mobility Analysis Metric for Ad Hoc Network Using Pairwise Clustering," The J. of The Institute of Internet, Broadcasting & Comm., Vol. 10, No. 5, pp. 193–199, 2010
- [2] H.Y. Ahn, "Impact of Mobility on the Ad Hoc Network Performance," The J. of The Institute of Internet, Broadcasting & Comm., Vol. 10, No. 5, pp. 201–208, 2010
- [3] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network MObility (NEMO) basic

- support protocol," RFC 3963, Jan 2005.
- [4] M. Penrose, "On k-connectivity for a geometric random graph", *Random Structures and Algorithms*. vol. 15, pp.145-164, 1999.
- [5] P. Gupta and P. R. Kumar, "Critical power for asymptotic connectivity", in *Proc. IEEE Conf. Decision Control*, Tampa, FL, Dec. 1998, pp. 1106-1110.
- [6] L. E. Miller, "Probability of a two-hop connection in a random mobile network," in *Proc. 35th Conf. Inf. Sci. Syst.*, Baltimore, MD, Mar. 2001.
- [7] F. Xue and P. R. Kumar, "The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks," *ACM J. Wireless Netw.*, vol. 10, no. 2, pp. 169-181, Mar. 2004.
- [8] C. Bettstetter, "On the minimum node degree and connectivity of a wireless multihop network," in *Proc. ACM Int. Symp. MobiHoc*, Lausanne, Switzerland, Jun. 2002, pp. 80-91.
- [9] H. Zhang and J. C. Hou, "On the critical total power for asymptotic k-connectivity in wireless networks," in *Proc. IEEE INFOCOM*, Miami, FL, Mar. 2005, pp. 466-476.
- [10] G. W. Flake, R. E. Tarjan, and K. Tsoutsoulis, "Minimum cut tree clustering," in *Proc. 1st WAW*, Vancouver, BC, Canada, 2002.
- [11] O. Dousse, P. Thiran, and M. Hasler, "Connectivity in ad-hoc and hybrid networks," in *Proc. INFOCOM*, New York, Jun. 2002, pp. 1079-1088.
- [12] P. Santi, "Topology control in wireless ad hoc and sensor network", *ACM Computing Surveys*. vol. 37, pp.164-194, 2005.
- [13] N.A.C. Cressie, *Statistics for spatial Data*, John Wiley & Sons, 1991.

저자 소개

안 홍 영(정회원)



- 1975년 : 서울대학교 전자공학과 (BS)
- 1986년 : University of Florida (MS), Department of Electrical and Computer Engineering
- 1991년 : University of Florida (Ph.D.), Department of Electrical and Computer Engineering

- 1975년 ~ 1984년 : 국방과학연구소 선임연구원
- 1984년 ~ 1991년 : Research Assistant, University of Florida, USA
- 1991년 ~ 현재 : 홍익대학교 컴퓨터 보통신공학과 교수
<주관심분야 : Wireless Networks, Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Wireless Internet, VoIP, 4세대 이동통신, MIMO, OFDM>

※ 이 논문은 2011학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.