

WSN 노드 이동 환경에서 stochastic 모델 설계

윤대열¹ · 윤창표² · 황치곤^{3*}

Stochastic Mobility Model Design in Mobile WSN

Yun Dai Yeol¹ · Chang-Pyo Yoon² · Chi-Gon Hwang^{3*}

¹Visited Professor, Department of Information and Communication Engineering, IIT, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

²Associate Professor, Department Of Computer & Mobile Convergence, GyeongGi University of Science and Technology, Siheung-si, 15073 Korea

^{3*}Visited Professor, Department of Computer Engineering, IIT, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

요 약

노드 이동 모델은 활용 서비스 및 목적에 따라 제안되어야 한다. 현재 가장 널리 활용되는 무작위 이동 모델은 간편하고 구현하기가 쉽다는 장점이 있다. 이 모델에서 노드 이동 특성은 이동 속도와 이동 방향을 무작위 속성으로 처리하며, 매번 노드들의 이동이 서로 독립적으로 발생한다. 본 논문에서는 모바일 애드혹 네트워크 이동 환경에서 적용 가능한 확률론적인 이동 모델을 제안한다. 제안 확률 이동 모델에서는 네트워크의 전체 노드 이동 특성을 표현하기 위하여 이동하는 노드 수와 노드 이동 거리가 특정 확률 분포 특성을 가지도록 랜덤 변수로 처리한다. 또한, 제안 이동 모델을 대표적인 무작위 이동 모델과 비교하여 노드들의 이동 변화에 안정적인 특성을 나타냄을 보이고, 기존 라우팅 프로토콜에 제안 모델을 적용하여 에너지 소비 효율 측면에서 향상된 특성을 보임을 확인한다.

ABSTRACT

In MANET(mobile ad hoc network), Mobility models vary according to the application-specific goals. The most widely used Random WayPoint Mobility Model(RWPMM) is advantageous because it is simple and easy to implement, but the random characteristic of nodes' movement is not enough to express the mobile characteristics of the entire sensor nodes' movements. The random mobility model is insufficient to express the inherent movement characteristics of the entire sensor nodes' movements. In the proposed Stochastic mobility model, To express the overall nodes movement characteristics of the network, the moving nodes are treated as random variables having a specific probability distribution characteristic. The proposed Stochastic mobility model is more stable and energy-efficient than the existing random mobility model applies to the routing protocol to ensure improved performances in terms of energy efficiency.

키워드 : 무선 센서 네트워크, MANET(mobile ad hoc network), 이동모델, 스토캐스틱

Keywords : WSN(Wireless Sensor Network), MANET, Mobility model, Stochastic

Received 30 June 2021, Revised 6 July 2021, Accepted 16 July 2021

* Corresponding Author Chi-Gon Hwang(E-mail:duck1052@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-8379)

Visited Professor, Department of Computer Engineering, IIT, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.8.1082>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

모바일 애드혹 네트워크는 다수의 이동 노드로 구성된 분산형 자체 구성 네트워크로서, 각 노드는 통신 설비 중 하나인 라우터 역할을 한다. 모바일 애드혹 네트워크는 에너지 소비, 네트워크 전송 대역폭, 이동 노드 수, 토폴로지 변화 등과 같은 제약을 가진 특별한 네트워크 형태이다. 모바일 애드혹 네트워크에서 클러스터링 기반 라우팅 기법은 많은 이점을 가지고 있다. 모바일 애드혹 네트워크의 클러스터링은 라우팅을 쉽게 해 주고, 에너지 소비를 줄이므로 네트워크 수명 관리에 도움이 된다. 클러스터링 기법은 한 클러스터 내의 통신 장애가 전체 네트워크가 아닌 특정 클러스터에만 영향을 미치기 때문에 모바일 네트워크를 강력하게 만드는 요인이 된다[1][2]. 노드의 이동성은 이동 네트워크의 핵심 속성이며, 모바일 애드혹 네트워크의 성능은 이동성이 있는 상태에서 연구되어야만 한다. 실제 노드 이동 패턴은 이동 노드의 목표, 즉, 활용 용도에 따라 매우 복잡할 수 있다. 반면, 모바일 애드혹 네트워크의 성능은 이동 모델에 따라 크게 다를 수 있다[3].

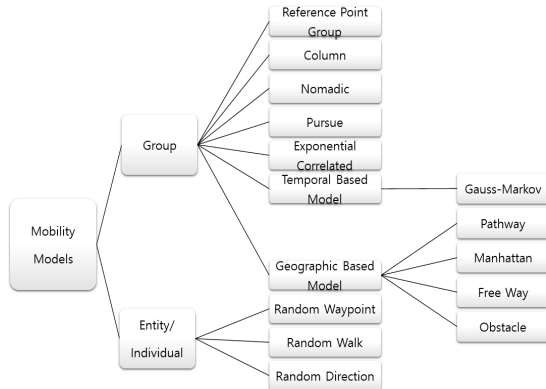


Fig. 1 Mobility Models Classification

현재 모바일 네트워크 시뮬레이션에 사용되는 이동 모델에는 추적(Traces) 및 합성 모델(Synthetic Models)의 두 가지 유형이 있다. 추적 모델은 실제 시스템에서 관찰되는 이동 패턴을 활용한다. 따라서 추적 모델은 정확한 이동 정보 제공이 가능하다. 그러나 모바일 애드혹 네트워크와 같은 추적이 아직 생성되지 않는 경우 새로운 모바일 네트워크 이동 환경을 모델링할 수 없다. 이러한 상황에서는 합성 모델을 사용해야만 한다. 합성 모

델은 추적을 사용하지 않고 이동 노드의 이동 패턴을 현실적으로 나타내려 한다. 모바일 애드혹 네트워크에서 사용되는 합성 이동 모델은 각각 특정 활용 용도에 적합하도록 고안되었다. 합성 이동 모델은 그림 1과 같이 개별 이동 모델과 그룹 이동성 모델 등 크게 2가지로 구분할 수 있다[4].

이동 네트워크 프로토콜의 시뮬레이션에서 이동 모델 선택은 네트워크 프로토콜의 성능 결과를 크게 바꿀 수 있다. 새로운 프로토콜을 검증하려면 프로토콜에서 사용할 이동 노드 특성을 정확하게 나타내는 이동 모델을 사용하는 것이 필수적이다.

모바일 애드혹 네트워크의 각 노드는 제한된 배터리 에너지로 작동한다. 이동하는 노드의 에너지 관리는 네트워크의 노드 사이에서 사용되는 물리적 무선 연결, 매체 접근 제어(Media Access Control, MAC), 네트워크 계층의 라우팅 및 응용 계층을 포함한 모든 통신 프로토콜 영역에서 필요하다. 또한, 종래의 모바일 애드혹 네트워크 성능을 평가하는 메트릭(Metrics)으로 사용되던 패킷 지연, 패킷 손실 및 처리 용량이 모바일 애드혹 네트워크에 대한 충분한 성능 메트릭이 될 수 없어서, 에너지 소비가 다른 성능 메트릭으로 사용될 필요가 있다[5]. 저전력 이용을 위해 네트워크를 최소화하려는 연구들은 기존 메트릭에서 낮은 성능의 네트워크를 초래할 수 있다. 모바일 애드혹 네트워크 설계에서는 우수한 성능과 에너지 효율 성능 사이의 절충안이 필요해 보인다. 본 논문에서는 기존의 성능 평가 메트릭인 패킷 지연, 패킷 손실 및 처리 용량 등을 증가시키는 방향이 아니라, 에너지 소비 효율을 성능 평가 메트릭으로 이용한다[6].

II. 관련 연구

2.1. Random WayPoint Mobility 이동 모델

RWPMM은 이동 노드가 방향과 속도 변화시키는 매우 간단한 모델이다. 이동 노드의 이동 속도는 미리 설정된 최소 속도(0)와 최대 속도(Vmax) 사이에서 균등하게 무작위 결정된다. 미리 정해진 목적지에 도착하면 일정 시간 동안 정지하고, 설정된 시간 머무른 후 다시 임의로 설정되는 목적지로 임의 속도로 이동한다. 시뮬레이션이 끝날 때까지 이러한 과정을 반복하며 이동한다. 최대 이동 속도와 중지 시간(Pause Time)만 설정하면 된다[7].

2.2. Random Gauss-Markov Mobility 이동 모델

RGMM에서 각 이동 노드는 속도와 방향을 초기화하고, 설정 시간 간격으로 이동하여 각 노드의 속도와 방향을 갱신한다. 다음 시간에 이동 속도와 방향은 전 시간에 이동한 속도와 방향 정보를 근거로 무작위로 계산된다. 노드가 다음 이동에 사용할 속도와 방향은 식 (1)을 통하여 계산되고 갱신된다.

$$V_r = \beta V_{r-1} + (1-\beta)\Omega + \sqrt{(1-\beta)^2} x_{r-1} \quad (1)$$

여기서 $\beta(0 \leq \beta \leq 1)$ 는 무작위성을 변화시키는 매개 변수이고, Ω 는 이동이 무한히 이루어질 때 속도와 방향의 평균값이며, x_r 은 가우스 분포를 가지는 무작위 변수이다. RGMM은 시간적 의존 모델로 β 값에 따라 의존도는 달라진다.

β 값에 따라서 Gauss-Markov 이동 모델은 3가지 이동 시나리오가 가능하다[8].

1. $\beta=0$ 이면 무작위 모델이 된다.
2. $\beta=1$ 이면 메모리 모델이다. 모든 라운드에서 속도가 일정하게 된다.
3. $0 \leq \beta \leq 1$ 이면 시간적 의존 모델이 된다.

Table. 1 Limitations of Mobility Models

Mobility Model	Limits	
	Time	Space
Random WayPoint	NO	NO
Random Gauss-Markov	YES	NO
Reference Point Group	NO	YES

2.3. Reference Point Group Mobility 이동 모델

RPGMM은 주로 전장(Battle Field)이나 그룹 여행 응용 이동 모델로 활용된다. 이 모델에서 노드는 그룹으로 나누어지고 각 그룹에는 리더가 있다. 그룹 리더의 이동은 무작위 이동 모델에 기초한다. 이 모델은 그룹 이동성을 처리하는 일반적인 방법으로 사용되어 다양한 종류의 이동 응용 프로그램에 대한 다양한 모델(그룹 투어, 컨퍼런스, 그룹 회의, 응급 대원, 군사 군대/소대)로 사용될 수 있다. RPGM에서 입력 매개변수를 변경함으로써 Column 모델, Nomadic Community 모델, Pursue 이동 모델로 변형할 수 있다[4].

모바일 애드혹 네트워크에서 활용되는 이동 모델은 활용 목적에 따라서 다양하다. 아래 표 1은 대표적인 이

동 모델들의 한계점을 보여준다[9].

III. 제안 모델

모바일 애드혹 네트워크의 노드 이동 관리에서 RWPM은 노드 이동에 대한 무작위 모델이다. 무작위 기반 이동성 시뮬레이션 모델에서, 이동 노드는 제한 없이 무작위로 자유롭게 이동한다. 보다 구체적으로, 목적지, 속도 및 방향은 모두 다른 노드와 무관하게 독립적으로 선택된다. 노드 이동이 무작위적으로 일어나더라도 노드의 이동을 장기간 관찰한다면 노드의 이동들 사이에는 시간적 상관관계 특성을 가진다. 다음 이동은 현재 이동과 전혀 무관하게 이동할 수도 있겠지만, 각 이동은 정도의 차이는 존재하고 서로 시간적 공간적 상관관계를 가지고 있을 것이다. 단순한 무작위 이동에 따른 무작위 이동 속도나 무작위 이동 방향만으로는 현실 시나리오의 이동 특성을 나타내기엔 부적합할 수 있다. 노드의 이동이 무작위 이동 특성을 가지면서 시간적 공간적인 연관성을 가진 이동 모델이 필요하다. RGMM은 개별 노드들의 이동에 따른 상관관계를 표현하였지만, 센서 필드에서 전체 노드 이동 특성을 표현하기에는 불충분하다. 즉 이동 모델은 개별 노드 이동 특성을 표현할 수 있으면서도 전체 노드의 이동 특성도 동시에 표현할 수 있어야 한다.

일정 센서 필드 공간에서 일정 시간 동안 센서 노드의 이동 횟수와 그 확률은 특정 확률 분포를 따른다. 또한, 매 라운드에 일어나는 이동 노드 수는 서로 독립적이며, 관찰 라운드 구간에서의 이동 발생 확률은 그 관찰 구간 라운드에 비례한다. 따라서 센서 필드에서 이동한 노드 수는 포아송분포를 따르는 확률 무작위 변수로 간주할 수 있다[10]. 센서 필드 공간에서 이동 노드 수는 식 (2)를 만족하는 포아송분포를 따른다. 여기서 λ 는 기댓값이고, $POI(\bullet)$ 는 포아송분포를 의미한다.

$$N_{i-move} \sim POI(\lambda) \quad (2)$$

그림 2는 이동 노드 수에 따른 확률을 보여주고 있다. 전체 노드 수가 100개인 상황에서 기댓값이 50인 경우, 이동 노드 수가 50에서 가장 높은 확률을 보여준다.

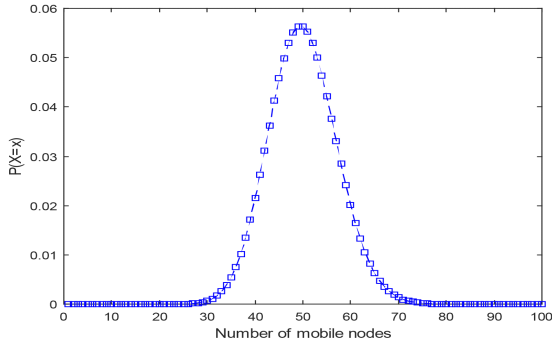


Fig. 2 probability per number of mobile nodes

무선 환경에서 전송 거리와 전파 환경은 시스템 성능에 매우 중요한 역할을 한다. 제안 이동 모델에서 이동 거리는 실제 통신 성능에 많은 영향을 미친다. 송수신 거리(d), 경로 손실(Path Loss), 수신 감도(Sensitivity), 비트 오류율(Bit Error Rate, BER), 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR) 등은 무선 통신 시스템 설계 시 고려 사항들이다. 따라서 센서 노드가 이동 가능한 거리, d는 통신 가능 범위 R_{MAX} 로 수신 신호를 복원 가능한 범위로 한정한다. 즉 신호 대 잡음 비가 0dB 이상이 유지되는 범위이다.

IV. 실험 및 결과

4.1. 실험 환경

본 논문 제안된 모델을 검증하기 위한 무선 라디오 모델은 무선센서 네트워크 모델에서 활용이 많이 되는 이중 경로 전파 전송 모델을 사용하였다. 표 2는 실험에 사용한 이용한 센서 필드 조건들을 보여주고 있다. 모의실험은 Matlab을 이용하여 표2의 조건을 적용하여 진행하였다.

본 실험에서 성능 평가를 위한 라우팅 프로토콜은 대표적인 이동 알고리즘인 LEACH-mobile을 활용한다. 그리고 제안한 이동 모델(Stochastic Mobility Model, SMM)의 안전성을 확인하기 위하여, 센서 필드의 수명 척도인 FND(First Node Dead) 값을 사용하였다. 즉, 모델의 안정성과 에너지 효율성은 다음과 같이 정의된다. 모델의 안정성은 모델의 노드 이동 변화에 따른 FND의 최댓값과 최솟값의 차이(변동폭)가 적을수록 안정하다고 정의한다. 그리고 변동 비율은 다음 식 (3)과 같다.

$$\text{변동 비율} = \frac{\text{변동 폭}}{\text{노드 이동 변화에 따른 FND 평균}} \quad (3)$$

모델의 에너지 효율성은 LEACH-mobile 프로토콜을 RWPM과 제안한 이동 모델에 적용하여 노드의 이동 변화에 따른 평균 FND 값을 비교하여 정의한다[11].

Table. 2 Sensor Field Conditions

Parameter	Value
Field Size (M*M, m*m)	100*100, 200*200
Total Nodes (N)	100
Initial Energy (E_0)	0.5 J
Moving ratio (%)	10, 20, 30, 40, 50, 0, 70, 80, 90, 100
Transmitting bit	1000 bits
Transmitting Energy (E_{elec})	50 nJ/bit
Data Aggregating Energy E_{DA}	5 nJ/bit/signal
Amplifying energy in LOS path (ϵ_{fs})	10 pJ/bit/m ²
Amplifying energy in reflected path (ϵ_{mp})	0.0013 pJ/bit/m ²

Table. 3 FND in LEACH-mobile protocol-I

moving node ratio(%)	RWPM	SMM	Increase
10%	1576	1617	2.60%
20%	1518	1601	5.47%
30%	1584	1623	2.46%
40%	1531	1618	5.68%
50%	1531	1632	6.60%
60%	1531	1640	7.12%
70%	1531	1622	5.94%
80%	1531	1601	4.57%
90%	1531	1643	7.32%
100%	1531	1648	7.64%
Average, FND	1540	1625	6.00%
FND Difference(Max-Min)	66	47	19
Changing Ratio, FND	4.29%	2.89%	1.40%

4.2. 실험 결과

제안 이동 모델의 성능을 확인하기 위한 실험은 무작위 이동 모델(Random Way Point Mobility Model, RWPM)과 제안한 확률적 이동 모델(Stochastic Mobility Model, SMM)을 비교하여 제안된 모델의 안정성과 에

너지 효율성을 검증한다.

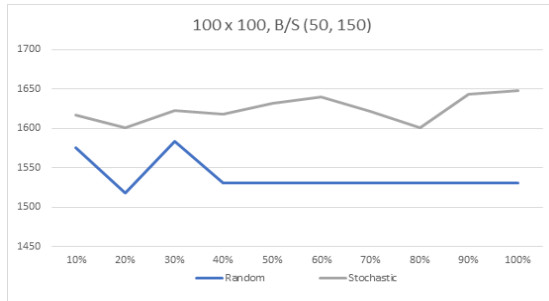


Fig. 3 FND of mobility models in LEACH-mobile-I

표 3과 그림 3은 센서 필드 크기 100x100이고 기지국 (Base-Station) 위치가 (50, 150)인 필드 환경에서, RWPMM 과 제안 SMM 이동 모델들을 이동 노드 수의 변화에 따라 LEACH-mobile 프로토콜을 적용하였을 때, 센서 필드의 수명 척도인 FND 실험 결과이다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이, 변동폭은 제안한 SMM이 기존의 RWPMM 보다 19라운드 감소하였고, 변동 비율도 4.29%에서 2.89%로 감소하였다. 제안한 이동 모델 SMM이 센서 노드의 이동 환경에서 대표적인 이동 모델인 RWPMM보다 안정적임을 보여주고 있다. 그리고 에너지 효율적 측면, FND에서 RWPMM보다 제안된 SMM이 5.52% 증가하였다. 그림 3에서는 이동 노드 수에 따른 FND 값의 변화를 보여준다.

Table. 4 FND in LEACH-mobile protocol-II

moving node ratio(%)	RWPMM	SMM	Increase
10%	207	241	16.43%
20%	232	244	5.17%
30%	264	287	8.71%
40%	251	284	13.15%
50%	261	274	4.98%
60%	247	276	11.74%
70%	254	273	7.48%
80%	245	298	21.63%
90%	239	271	13.39%
100%	159	292	83.65%
Average, FND	236	274	16%
FND Difference(Max-Min)	105	57	48
Changing Ratio, FND	44.51%	20.80%	23.71%

표 4와 그림 4는 센서 필드 크기 200x200이고 BS 위치 (100, 300)인 센서 필드 환경에서, RWPMM와 SMM을 LEACH-mobile 프로토콜을 적용하였을 경우 이동 노드 수에 따른 FND 결과이다. 변동폭은 제안 SMM이 기존의 RWPMM보다 48라운드 감소하고 평균적으로 16% 증가하였다. 또한, 변동 비율도 23.71% 감소하였다. 이는 제안된 SMM가 RWPMM보다 이동 노드 수의 변화에 따른 안정성과 에너지 효율성이 개선되었음을 의미한다. 그림 4는 노드 표 4에 따라 이동 수에 따른 FND의 변화 추이이다.

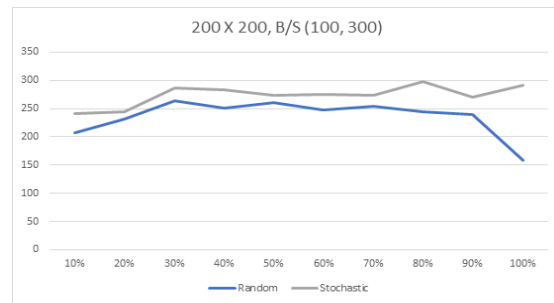


Fig. 4 FND of mobility models in LEACH-mobile - IV

V. 결론

본 논문에서는 노드 이동에 따른 환경 변화를 표현하기 위하여 확률적 이동 모델을 제안하였다. 제안 이동 모델인 SMM(Stochastic Mobility Model)은 노드 이동 수를 포아송분포를 따른 확률 변수로 처리하였고, 노드 이동 거리 또한 특정 범위 안에서 변하는 확률 변수로 간주하였다. 제안 이동 모델은 노드 이동 특성을 단순 무작위 속성으로만 표현하는 대신 무작위 속성을 포함하는 확률적(Stochastic) 변수로 처리한 것이다. 이동 노드 수와 이동 거리를 확률 변수로 처리함으로써, 각 변수가 개별적으로 무작위 속성을 가지면서도 전체적으로는 통계적인 특성을 동시에 가지게 되었다. 결과적으로 제안 이동 모델은 추가로 전체 노드 이동의 확률적 특성을 파악할 수 있게 되었다. 본 논문에서 제안한 확률적 이동 모델은 노드 이동에 대하여 무작위 이동 모델보다 변동 폭이 좁아 노드 이동 비율에 상관없이 안정적이면서도 네트워크 에너지 소비 효율성도 증가함을 확인하였다. 이동 노드가 존재하는 모바일 애드혹 네트워크

크에서 라우팅 알고리즘을 설계할 때, 제안 Stochastic 이동 모델을 적용한다면 이동 센서 필드의 개별적 특성 뿐만 아니라 전체적인 이동 특성을 동시에 고려할 수 있을 것이다.

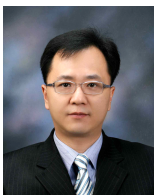
REFERENCES

- [1] W. Dargie and C. Poellabauer, *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice*, John Wiley & Sons, NY, 2010.
- [2] M. Shreshtha and R. Kumar, "A literature survey on various clustering approaches in wireless sensor network," *2016 2nd international conference on communication control and intelligent systems*, pp. 18-22, 2016.
- [3] J. Hill, R. Szcwcyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, and K. Pister, "System architecture directions for networked sensors," *ACM Sigplan notices*, vol. 35, no. 11, pp. 93-104, 2000.
- [4] M. Appiah, "Performance comparison of mobility models in Mobile Ad Hoc Network (MANET)," in *2017 1st International Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp)*, pp. 47-53, 2017.
- [5] T. Alam, "Fuzzy Control Based Mobility Framework for Evaluating Mobility Models in MANET of Smart Devices," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, no. 15, pp. 4526-4538, 2017.
- [6] A. Pullin, C. Pattinson, and A. L. Kor, "Building Realistic Mobility Models for Mobile Ad Hoc Networks," in *Informatics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, vol. 5, no. 2, pp. 22, 2018.
- [7] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless communications and mobile computing*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2002.
- [8] W. Wang, J. Wang, M. Wang, B. Wang, and W. Zhang, "A realistic mobility model with irregular obstacle constraints for mobile ad hoc networks," *Wireless Networks*, vol. 25, no. 2, pp. 487-506, 2019.
- [9] B. Divecha, A. Abraham, C. Grosan, and S. Sanyal, "Impact of Node Mobility on MANET Routing Protocols Models," *Journal of Digital Information Management*, vol. 5, no. 1, pp. 19-24, 2007.
- [10] S. C. Gupta and V. K. Kapoor, *Fundamentals of mathematical statistics*, Sultan Chand & Sons, 2020.
- [11] J. Zhang and R. Yan, "Centralized energy-efficient clustering routing protocol for mobile nodes in wireless sensor networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 23, no. 7, pp. 1215-1218, 2019.



윤대열(Yun Dai Yeol)

2019년 광운대학교 플라즈마바이오디스플레이학과 (공학박사)
 2012년~2019년: 인하공업전문대학 겸임교수
 2019년~현재: 광운대학교 정보과학교육원 정보통신전공주임교수
 ※ 관심분야 : 센서네트워크, Deep Learning, GAN



윤창표(Chang-Pyo Yoon)

2012년 : 광운대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
 2012년~현재: 경기과학기술대학교 컴퓨터모바일융합공학과 교수
 ※ 관심분야 : 기계학습, 모바일 시스템, 네트워크 보안, 무선 네트워크, 온톨로지



황치곤(Chi-Gon Hwang)

2012년 광운대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
 2006년~2015년: (주)인찬 연구원
 2016년~2018년: 경민대학교 인터넷정보과 교수
 2019년~현재: 광운대학교 정보과학교육원 컴퓨터공학과 교수
 ※ 관심분야 : 모바일 클라우드, 멀티미디어 온톨로지, 기계학습, NLP