

# 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 경로 신뢰성 분석

이도현\*

## 요 약

모바일 애드 혹 네트워크를 형성하는 노드들은 불규칙한 이동성을 갖기 때문에 소스 노드와 목적지 노드 간의 초기 경로 설정 시 임의의 시간동안 경로 유지가 가능한 최적의 중계 노드들을 선택하는 것이 중요하다. 이의 분석을 위해, 본 논문에서는 중계 노드들 간의 초기 거리 및 이동 속도를 고려한 링크 유지 확률을 유도하고 임의의 시간 동안 두 중계노드 간 링크 유지가 가능한 최적의 거리를 제시하며, 이를 기반으로 임의의 두 노드 간에 설정되는 경로의 신뢰성을 분석한다.

## Analysis of Route Stability in Mobile Ad Hoc Networks

Do Hyeon Lee\*

### ABSTRACT

Mobile nodes in MANETs have the nature of unrestricted mobility so that they will join and leave the network frequently. Therefore, it important consideration to determine the optimal distance progress between relaying nodes along the route in order to maintain the established route for an arbitrary length of time (i.e., route duration). In this paper, we derived the link maintenance probability by considering the initial distance between two relaying nodes and node mobility. Based on the link maintenance probability, we further analyzed the route stability by considering the impact of distance progress between relaying nodes along the route.

**Key words :** Mobile Ad Hoc Network, Route Stability

## 1. 서 론

모바일 애드 혹 네트워크(MANET) 환경에서 라우팅(routing)은 임의의 두 모바일 노드 간의 데이터 전송을 지원하기 위해 다중 홉(multi-hop)으로 구성되는 경로(path)를 설정하거나 기 설정된 경로의 유지 및 관리를 위해 수행된다. MANET 상에 존재하는 노드들은 지속적으로 이동하는 특성을 갖기 때문에 라우팅 프로토콜을 통해 임의의 경로를 구성하게 되는 경우, 그 경로의 구성요소인 중계 노드(relay node)들 간의 connectivity를 보장할 수 없다. 이러한 특성은 기 설정된 경로의 빈번한 단절 및 경로 재설정 절차를 발생시키게 되고 결과적으로 처리율(throughput)과 지연(delay)등 QoS 측면에서 낮은 효율성을 나타내게 되며, 상대적으로 높은 서비스 요구사항을 갖는 멀티미디어 응용(multimedia applications) 및 실시간 응용(real-time applications) 서비스를 지원하는데 어려움을 겪게 된다. 따라서 MANET 환경에서 다중 홉 경로의 구성요소인 중계 노드들 간에 일정한 시간 동안 connectivity를 보장하는 것은 QoS와 밀접한 관계를 갖게 된다[1][2].

## 2. 중계 노드 간 링크 유지 확률

MANET 환경에서 라우팅 알고리즘을 통하여 기 설정된 경로 상에 위치하게 되는 인접한 두 중계 노드들 간 통신 링크(communication link)가 일정한 시간동안 유지될 수 있는 확률을 유도하기 위해 다음과 같은 사항들을 가정하였다[2][3].

(i) 네트워크는 동일한 속성을 갖는 모바일 노드(mobile node)들로 구성된다. 즉, 네트워크상에 존재하는 모든 노드들은 동일한 전송 범위(transmission range)  $R$ 를 갖는다. 또한, 임의의 시간  $t$ 에서 속도(speed)  $V(t) \in (0, V_{\max}]$ , 이동 방향(movement direction)  $\alpha(t) \in [0, 2\pi]$ 의 이동 패턴(mobility pattern)을 갖는다.

(ii) 노드들은 네트워크 영역 상에 균일하게 분산되어

있으며, 제한된 네트워크 영역 내에서 상호 독립적으로 자유롭게 이동한다. 또한, GPS로부터 획득한 장치를 통해 네트워크 영역 상의 모든 노드들은 서로 간의 위치 정보를 인지하고 있다.

(iii) 임의의 두 노드 간에 구성된 통신 링크 상에서 수신되는 신호의 손실은 송신 노드와 수신 노드 간의 거리에만 영향을 받는다. 즉, 두 노드가 서로의 전송 범위 내에 존재한다면, 두 노드들 간의 데이터 전송은 신뢰성을 갖는다.

네트워크상에 존재하는 두 노드  $A$ 와  $B$ 에 대해 임의의 시간  $t$ 에서 각 노드의 위치를  $X_A(t)$ ,  $X_B(t)$ 라 하면, 두 노드 간의 거리  $d_{A,B}(t)$ 는 식 (1)과 같이 정의될 수 있다.

$$d_{A,B}(t) = \| X_A(t) - X_B(t) \| \quad (1)$$

여기서  $d_{A,B}(t)$ 는 노드  $A$ 와  $B$ 의 이동 패턴에 따라 지속적으로 변하게 되며, 노드  $A$ 와  $B$ 간의 통신 링크는 두 노드들이 서로 간의 전송 범위  $R$  내에 위치하는 경우 유지된다. 즉, 임의의 시간  $t$ 에서 노드  $A$ 와  $B$  간의 링크는 다음과 같은 조건을 만족하는 경우 유지된다고 볼 수 있다.

$$d_{A,B}(t) < R \quad (2)$$

이러한 사항들을 고려하는 경우, 노드  $A$ 와  $B$  간의 최초 거리  $d_{A,B}(0)$ 가  $0 \leq d_{A,B}(0) < R$ 의 조건을 만족한다면, 임의의 시간  $t$ 에서 노드  $A$ 와  $B$ 간의 링크가 유지될 수 있는 확률  $P_{link}(d_{A,B}(0), t)$ 는 식 (3)과 같이 정의될 수 있다.

$$P_{link}(d_{A,B}(0), t) = P(d_{A,B}(t) \leq R | d_{A,B}(0)) \quad (3)$$

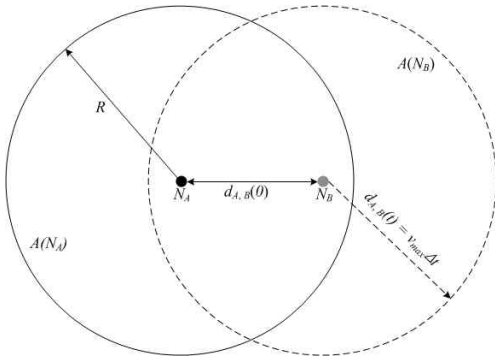
위에서 언급한 가정 (i), (ii), (iii)을 고려하면, 임의의 시간  $t$ 에서 노드  $A$ 와  $B$  간의 링크가 유지될 수 있는 확률  $P_{link}(d_{A,B}(0), t)$ 는 식 (4)와 같이 정의될

수 있다.

$$P_{link}(d_{A,B}(0), t) = \frac{A(N_A) \cap A(N_B)}{A(N_B)} \quad (4)$$

식 (4)에서  $A(N_A)$ 는 임의의 시간  $t$ 에서 반지름  $R$ 을 갖고 원점을 노드  $A$ 의 위치  $X_A(t)$ 로 하는 원의 영역을 나타내며,  $A(N_B)$ 는 반지름  $d_{A,B}(t) = v_{max} \cdot \Delta t$ 을 갖고 원점을 노드  $B$ 의 위치  $X_B(t)$ 로 하는 원의 영역을 나타낸다.

$A(N_A) \cap A(N_B)$ 는 임의의 시간  $t$ 에서  $A(N_A)$ 와  $A(N_B)$ 가 서로 중첩되어지는 영역을 나타낸다.



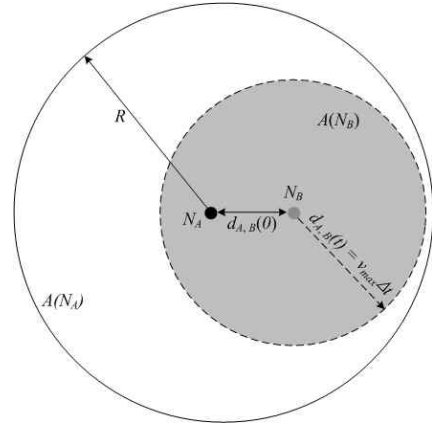
(그림 1) Problem statement of link availability

(그림 1)에서 노드  $B$ 는 임의의 속도  $v_B(t) \in (0, v_{max})$ 와 이동 방향  $\alpha_B(t) \in [0, 2\pi]$ 의 이동 패턴을 갖는다고 가정한다. 노드  $B$ 가 최대 속도  $V_B(t) = V_{max}$ 의 특성을 갖고 이동하는 경우, 임의의 시간  $t$  이후 존재할 수 있는 위치  $X_B(\Delta t)$ 는 반지름을  $d_{A,B}(t) = v_{max} \cdot \Delta t$ 을 갖고 원점을  $X_B(t)$ 로 하는 원의 영역으로 볼 수 있다. 이 경우, 노드  $A$ 와 노드  $B$ 간의 통신 링크가 유지되려면 임의의 시간  $t$  이후 노드  $B$ 는 영역  $A(N_A)$  내에 존재해야 한다. 따라서  $0 \leq d_{A,B}(0) < R$ 의 조건을 충족하는 노드  $A$ 와  $B$  간의 초기 거리  $d_{A,B}(0)$ 가 주어진 경우, 임의의 시간  $t$  이후, 노드  $A$ 와 노드  $B$  간의 통신 링크가 유지될 수 있는 확률은 식 (4)와 같이 정의될 수 있다.

(그림 1)의 상황은 다음과 같은 상황으로 구분할 수

있다.

$$\textcircled{1} \text{ Case 1 : } d_{A,B}(\Delta t) = v_{max} \cdot \Delta t \leq R - d_{A,B}(0), \\ \Delta t \leq \frac{R - d_{A,B}(0)}{v_{max}}$$



(그림 2) Case 1:  $\Delta t \leq (R - d_{A,B}(0)) / v_{max}$

(그림 2)는  $d_{A,B}(\Delta t) = v_{max} \cdot \Delta t \leq R - d_{A,B}(0)$ 의 상황을 나타내고 있다. 즉, 임의의 시간  $t$  이후  $V_B(t) = V_{max}$ 의 특성을 갖고 이동하고 있는 노드  $B$ 가 존재할 수 있는 영역  $A(N_B)$ 가 영역  $A(N_A)$  내에 포함된다. 이 경우, 노드  $B$ 는 노드  $A$ 의 최대 전송 범위  $R$  내에 위치하게 되며, 노드  $A$ 와 노드  $B$ 간의 통신 링크가 유지될 수 있는 확률은 1이 된다.

이 결과는 식 (4)로부터  $P_{link}(d_{A,B}(0), t) = A(N_A) \cap A(N_B) / A(N_B) = A(N_B) / A(N_B) = 1$ 임을 볼 수 있다.

따라서  $d_{A,B}(\Delta t) = v_{max} \cdot \Delta t \leq R - d_{A,B}(0)$  (즉,  $\Delta t \leq (R - d_{A,B}(0)) / v_{max}$ ) 인 경우, 두 노드간의 통신 링크가 유지될 수 있는 확률은 1이다.

$$\textcircled{2} \text{ Case 2 : } d_{A,B}(\Delta t) = v_{max} \cdot \Delta t > R + d_{A,B}(0)$$

(그림 3)은  $d_{A,B}(\Delta t) = v_{max} \cdot \Delta t > R + d_{A,B}(0)$ 의 상황을 나타내고 있다. 즉, 임의의 시간  $t$  이후 영역  $A(N_A)$ 가  $V_B(t) = V_{max}$ 의 특성을 갖고 이동하고 있는 노드  $B$ 가 존재할 수 있는 영역  $A(N_B)$

$$P_{link}(d_{A,B}(0), t) = \frac{A(N_A) \cap A(N_B)}{A(N_B)} = \frac{A(N_A)}{A(N_B)} = \frac{\pi R^2}{\pi(v_{max}\Delta t)^2} = \frac{R^2}{(v_{max}\Delta t)^2} \quad (5)$$

$$P_{link}(d_{A,B}(0), t) = p(\Delta t) = \frac{A(N_A) \cap A(N_B)}{A(N_B)} = \frac{A(N_{AB})}{A(N_B)},$$

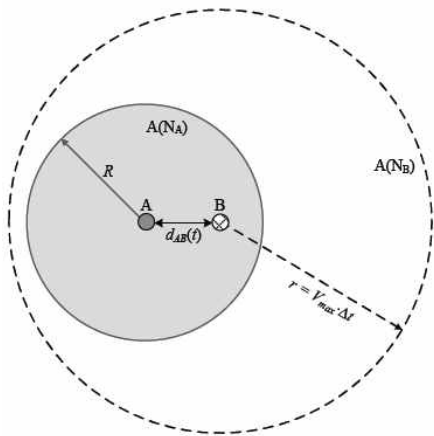
$$A(N_{AB}) = d_{A,B}(\Delta t) \cos^{-1} \frac{d_{A,B}(\Delta t)^2 + d_{A,B}(0)^2 - R^2}{2d_{A,B}(\Delta t)d_{A,B}(0)} + R^2 \cos^{-1} \frac{R^2 + d_{A,B}(0)^2 - d_{A,B}(\Delta t)^2}{2Rd_{A,B}(0)}$$

$$- \frac{1}{2} \sqrt{(R + d_{A,B}(\Delta t) + d_{A,B}(0))(R + d_{A,B}(0) - d_{A,B}(\Delta t))(d_{A,B}(\Delta t) + d_{A,B}(0) - R)}$$

$$\frac{(R + d_{A,B}(\Delta t) - d_{A,B}(0))}{(R + d_{A,B}(\Delta t) - d_{A,B}(0))} \quad (6)$$

$$P_{link}(d_{A,B}(0), \Delta t, v_{max}) = \begin{cases} 1 & , \quad \Delta t \leq \frac{R - d_{A,B}(0)}{v_{max}} \\ p(\Delta t) & , \quad \frac{R - d_{A,B}(0)}{v_{max}} < \Delta t \leq \frac{R + d_{A,B}(0)}{v_{max}} \\ \frac{R^2}{(v_{max} \cdot \Delta t)^2} & , \quad \Delta t > \frac{R + d_{A,B}(0)}{v_{max}} \end{cases} \quad (7)$$

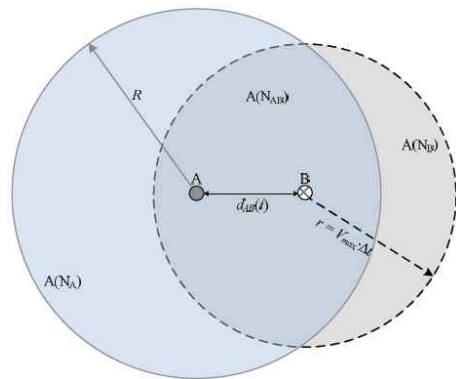
내에 포함된다. 식 (4)로부터 임의의 시간  $t$  이후 두 노드간의 통신 링크가 유지될 수 있는 확률은 식 (5)와 같이 유도할 수 있다.



(그림 3)  $\Delta t > (R + d_{A,B}(0)) / v_{max}$

③ Case 3 :

$$R - d_{A,B}(0) < d_{A,B}(\Delta t) = v_{max} \cdot \Delta t \leq R + d_{A,B}(0)$$



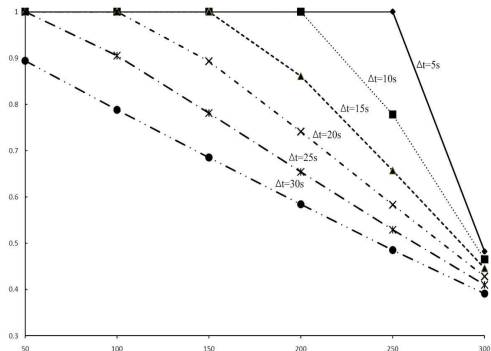
(그림 4)  $(R - d_{A,B}(0)) / v_{max} < \Delta t \leq (R + d_{A,B}(0)) / v_{max}$

(그림 4)는  $R - d_{A,B}(0) < d_{A,B}(\Delta t) = v_{max} \cdot \Delta t \leq R + d_{A,B}(0)$ 의 상황을 나타내고 있다. 즉, 노드 B가  $V_B(t) = v_{max}$ 의 특성을 갖고 이동하고 있는 경우 임의의 시간  $t$  이후 영역  $A(N_A)$ 와 영역  $A(N_B)$ 는

(그림 4)에서 보이는 것처럼 서로 중첩되어지는 영역을 형성하게 된다. 이 경우, 두 노드간의 링크가 유지될 수 있는 확률을  $p(\Delta t)$ , 중첩되어지는 영역을  $A(N_{AB})$ 이라 하면 임의의 시간  $t$  이후 노드 A와 노드 B간의 링크가 유지될 수 있는 확률은 식 (6)과 같이 유도할 수 있다.

위의 세 상황을 정리하면, 임의의 시간  $t$  이후 노드 A와 노드 B간의 링크가 유지될 수 있는 확률은 식 (7) 같이 정리될 수 있다.

### 3. 경로 안정성 분석



(그림 5) Link availability according to  $d_{A,B}(0)$ ,  $\Delta t$

(그림 5)는 식 (7)로부터 유도된 두 노드들 간의 초기 거리  $d_{A,B}(0)$ 에 따른 임의의 시간  $\Delta t$  이후의 링크 유지 확률을 보여주고 있다. 네트워크상에 존재하는 모든 노드들이  $v_{max}$ 는  $5m/sec$ ,  $R=300m$ 의 동일한 속성을 갖는다고 가정하였다. (그림 5)에서  $d_{A,B}(0) \leq 200m$ 인 경우 임의의 시간  $\Delta t = 10s$ 에 대해 두 노드 간의 링크가 확률 값 1을 갖고 유지됨을 볼 수 있다. 즉, 두 중계 노드(relay node) 간의 거리가  $200m$  이내인 경우 적어도 10초 동안은 단절 없는 통신이 가능함을 의미한다. 한편, 인접한 두 노드간의 거리가 증가할수록 임의의 시간  $\Delta t$  이후 링크 유지 확률이 감소하는 것을 볼 수 있다.

특히,  $d_{A,B}(0) \geq 250m$ 인 경우  $\Delta t$ 에 대한 요구사항이 증가할수록 링크 유지 확률이 감소하는 효과는

더욱 높게 나타남을 볼 수 있다. 즉, 두 중계 노드(relay node) 간의 거리가  $250m$  이상인 경우 적어도 10초 동안은 단절 없는 통신이 가능함을 보장할 수 없음을 의미한다.

모바일 애드 혹 네트워크상에서 소스 노드(source node)와 목적지 노드(destination node) 간에 형성되는 경로(route) 상에는 다수의 중계 노드(relay node)가 존재한다. 따라서 임의의 시간  $\Delta t$  동안 경로가 유지될 수 있는 확률은 그 경로 상에 존재하는 중계 노드(relay node)들 간의 링크 유지 확률과 밀접한 관계를 갖는다[5][6].

초기 경로가 설정되었을 때 소스 노드  $N_S$ 와 목적지 노드  $N_D$ 간의 거리가  $d(N_S, N_D)$ 이고 경로 상의 중계 노드  $N_r$ 들 간의 거리  $d(N_r)$ 이 일정하게 선택될 수 있다면 소스노드와 목적지노드 간의 예측 가능한 홉 수(hop count)  $H_{pre}$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

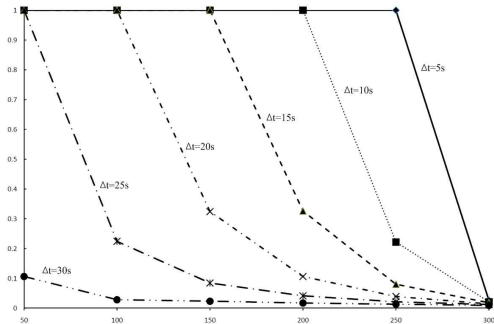
$$H_{pre} = \frac{d(N_S, N_D)}{d(N_{pr}, N_{nr})} \tag{8}$$

이 경우, 임의의 시간  $\Delta t$  이후 소스노드와 목적지 노드의 경로가 유지될 수 있는 확률  $P_R(\Delta t)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_R(d_{N_S, N_D}(0), \Delta t) = [P_{link}(d_{A,B}(0), \Delta t)]^{H_{pre}} \tag{9}$$

식 (9)에서 식 (8)로부터 홉 수가 증가함에 따라 경로가 유지될 수 있는 시간은  $(R - d_{A,B}(0))/v_{max}$ 로 근접하게 된다.

(그림 6)은 식 (9)로부터 유도된 두 노드들 간의 초기 거리  $d_{A,B}(0)$ 에 따른 임의의 시간  $\Delta t$  이후의 경로 유지 확률을 보여주고 있다. 네트워크상에 존재하는 모든 노드들이  $v_{max}$ 는  $5m/sec$ ,  $R=300m$ 의 동일한 속성을 갖는다고 가정하였으며, 소스 노드  $N_S$ 와 목적지 노드  $N_D$ 간의 거리가  $d(N_S, N_D) = 1,000m$ 로 가정하였다.

(그림 6) Route stability according to  $d_{A,B}(0)$  and  $\Delta t$ 

(그림 6)에서 인접한 두 노드 간의 거리  $d_{A,B}(0) \leq 200m$ 인 경우 두 노드 간의 링크가 확률 값 1을 갖고  $\Delta t = 10s$  동안 유지됨을 볼 수 있었다. (그림 6)에서  $d_{A,B}(0) \leq 200m$ 인 경우 임의의 시간  $\Delta t = 10s$ 에 대해 두 노드 간의 링크가 확률 값 1을 갖고 유지됨을 볼 수 있다. 즉, 소스 노드와 목적지 노드 간 경로가 설정되는 경우 그 경로를 구성하게 되는 중계 노드들 간의 거리가  $200m$  이내인 경우 적어도 10초 동안은 단절 없는 통신이 가능함을 의미한다. 한편, (그림 5)와 비교하여 (그림 6)에서 경로 유지 확률은 링크 유지 확률과 비교하여 급속히 감소함을 볼 수 있다. 경로는 다수의 링크로 구성되기 때문에 경로가 단절될 가능성은 링크가 단절될 가능성보다 높다. 특히, 소스 노드와 목적지 노드 간에 경로가 설정되는 상황에서 그 경로를 구성하는 임의의 두 중계 노드간의 초기 거리  $d_{A,B}(0)$ 가  $300m$ 에 근접하는 경우 소스 노드와 목적지 노드 간 기 설정된 경로가 유지될 수 있는 확률은  $\Delta t = 5s$ 에 대해 0.03 이하를 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 개별적인 이동 특성과 이동 방향을 갖는 모바일 노드들을 이용하여 임의의 소스 노드와 목적지 노드 간의 경로를 설정하는 경우, 인접한 중계 노드들 간의 링크 유지 확률을 유도하였다. 이와 함께 경로의 신뢰성에 대해 분석하였고 소스 노드와 목적지 노드 간 임의의 경

로를 형성하는 경우, 중계 노드(relay node)들 간의 거리와 경로 신뢰성 간의 관계를 분석하였다.

이를 기반으로 기 설정된 경로의 빈번한 단절 및 경로 재설정 절차로 인하여 처리율(throughput)과 지연(delay)등 QoS 측면에서 낮은 효율성을 나타내는 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 상대적으로 높은 서비스 요구사항을 갖는 실시간 응용(real-time applications) 서비스를 지원하기 위한 경로 설정 알고리즘에 대해서 연구를 진행할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Christian, B., "On the Connectivity of Ad Hoc Networks", Computer Journal, Vol.47(4), 2004, pp. 432-447.
- [2] Swades, D., "On Hop Count and Euclidean Distance in Greedy Forwarding in Wireless Ad Hoc Networks", IEEE Communication Letters, Vol.9(11), 2005, pp. 1000-1002.
- [3] Nityananda, S., and Sukumar, N., "Route Stability Based QoS Routing in Mobile Ad Hoc Networks", Wireless Personal Communications, Vol.54(1), 2010.
- [4] Marco, C., "Multihop Ad Hoc Networking: The Theory", IEEE Communication Magazine, Vol.45(4), 2007, pp. 78-86.
- [5] Narayanan, S., Fan, B., Bhaskar, K., and Ahmed, H., "PATHS: analysis of PATH duration Statistics and their impact on reactive MANET routing protocols", Proc. of MobiHoc, Annapolis, Maryland, USA, 2003.
- [6] Muhammad, S., Israr, U., Syed, A. K., and Muddassar, F., "On the reliability of ad hoc routing protocols for loss-and-delay sensitive applications", Ad Hoc Networks, 2010.

————— [ 저 자 소 개 ] —————



**이 도 현 (Do-Hyeon Lee)**

2001년 2월 한양대학교  
전자전기공학부 (공학사)  
2003년 8월 한양대학교  
전자통신전파공학과(공학석사)  
2011년 2월 한양대학교  
전자컴퓨터통신공학과  
(공학박사)  
현 재 남서울대학교  
IT융합기술사업단 연구교수

email : dohyeon@gmail.com