

드론 기반의 무선 통신 시스템에서 주파수 효율 향상을 위한 확률적 핸드오버 기법

장환원¹ · 우동혁¹ · 황호영^{2*}

A Probabilistic Handover Scheme for Enhancing Spectral Efficiency in Drone-based Wireless Communication Systems

Hwan Won Jang¹ · Dong Hyuck Woo¹ · Ho Young Hwang^{2*}

¹Graduate Student, Department of Computer Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

^{2*}Professor, School of Computer and Information Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

요 약

본 논문에서는 기지국의 역할을 수행하는 드론을 기반으로 하는 무선 통신 시스템에서 주파수 효율 성능 향상을 위한 확률적 핸드오버 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 이동하는 드론 기지국이 지상에 위치한 사용자 단말에게 서비스를 제공하는 무선 네트워크 환경에서 드론 기지국과 사용자 단말 간 거리 및 소규모 페이딩을 고려하여 드론 기지국들 간의 핸드오버를 수행한다. 또한, 제안하는 기법은 빈번한 핸드오버 수행 시 발생할 수 있는 시그널링 오버헤드를 완화하기 위해 드론 기지국들 간 핸드오버를 수행할 확률을 고려한다. 드론 기반 무선 통신 시스템에서의 시뮬레이션을 통해 제안하는 핸드오버 기법 및 기존 핸드오버 기법의 주파수 효율 성능 및 핸드오버 확률을 평가한다. 시뮬레이션 결과를 통해 드론 기지국과 사용자 단말 간의 거리만을 고려한 기존의 핸드오버 기법보다 제안하는 핸드오버 기법에서 더 높은 평균 주파수 효율 성능이 나타남을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a probabilistic handover scheme for enhancing spectral efficiency in drone-based wireless communication systems. When a moving drone base station (DBS) provides the drone-based wireless communication service to a user equipment (UE) located on the ground, our proposed handover scheme considers the distance between DBS and UE and small scale fading. In addition, our proposed handover scheme considers a handover probability to mitigate the signalling overhead that may occur when performing frequent handovers. Through simulations for drone-based wireless communication systems, we evaluate the spectral efficiency and the handover probability of our proposed handover scheme and the conventional handover scheme. The simulation results show that our proposed handover scheme can achieve higher average spectral efficiency than the conventional handover scheme which considers only the distance between DBS and UE.

키워드 : 무선 통신 시스템, 드론 기지국, 핸드오버, 포아송 점 과정

Keywords : Wireless communication systems, Drone base station, Handover, Poisson point process

Received 15 June 2021, Revised 16 June 2021, Accepted 29 June 2021

* **Corresponding Author** Ho Young Hwang(E-mail:hyhwang@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-8265)

Professor, School of Computer and Information Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.9.1220>

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. 서 론

무인 비행기(Unmanned Aerial Vehicle)라고도 불리는 드론(Drone)은 군용 목적으로 개발되었지만, 현재는 자연 재해 모니터링, 탐색과 구조, 무선 통신 등 다양한 민간 분야에서 각광받고 있다. 특히, 최근 스마트폰의 보급과 수요가 급증함에 따라 트래픽 증가를 효율적으로 대처하기 위하여, 해당 드론을 무선 통신 시스템에 활용하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다[1, 2]. 드론을 해당 무선 통신 시스템에 활용하는 경우, 드론의 높은 이동성으로 인해 접근 위험 지역, 고립된 지역 등 장소에 구애 받지 않는 이점을 가질 수 있고 사용자에게 좀 더 원활한 통신 서비스를 제공할 수 있다[3, 4].

드론을 기지국으로 활용하는 DBS(Drone Base Station) 환경에서 이동성을 갖는 DBS가 UE(User Equipment)에게 서비스를 제공할 때, 해당 UE가 서비스 품질을 보장받기 위해서는 핸드오버 기법을 통한 DBS와 UE 간 지속적인 연결이 진행되어야 한다. 핸드오버 기법은 주로 지상에 고정된 기지국에 대해 연구들이 진행되어 왔다[5-8]. 논문 [5]에서는 다중 티어 이기종 망에서 사용자 움직임의 영향을 분석하기 위해 사용자의 움직임에 따라 경우를 나눠 커버리지 확률을 분석하고, 이동하는 사용자에 대해 핸드오프율을 분석하였다. 논문 [6]에서는 이기종 망에서 같은 티어에 속하는 기지국 간의 핸드오프에 해당하는 수평적 핸드오프 및 다른 티어의 기지국 간의 핸드오프에 해당하는 수직적 핸드오프를 고려하여 핸드오프 확률 및 커버리지 확률에 대해 분석하였다. 논문 [7]에서는 이기종 망에서 소형 셀 간 핑퐁으로도 불리는 빈번한 핸드오버를 완화하기 위한 알고리즘에 대해 제안하고 시뮬레이션을 수행하였다. 논문 [8]에서는 시스템 정책 기반으로 시스템 간 핸드오버 수락 여부를 결정하는 알고리즘을 제안하여 평균 전송 지연과 패킷 손실률을 계산하였다.

하지만 이러한 연구들은 지상에 고정된 기지국을 기반으로 한 핸드오버에 대한 연구들이기 때문에, 드론을 기지국으로 활용하는 DBS 환경에 그대로 적용하기는 어렵다. 이를 보완하기 위한 연구로 논문들 [9-11]에서는 초기 시점에 일정한 높이에서 포아송 점 과정 기반으로 분포한 DBS들을 가정하고, 지상에 있는 UE에게 서비스를 제공하기 위해 DBS들이 일정한 높이로 이동하는 상황에서, 지상에 있는 UE로부터 가장 가까운 거리

에 있는 DBS를 UE에게 서비스해줄 DBS로 가정하고 DBS 간의 핸드오버 수행을 고려한다. 이러한 DBS 간의 핸드오버를 기반으로 논문 [9]에서는 DBS들의 속도에 대해 SSM(Same Speed Model)과 DSM(Different Speed Model) 두 가지 시나리오를 고려하여 핸드오버 확률을 계산하였다. 논문 [10]에서는 SRWP(Simplified Random Waypoint) 이동 모델을 기반으로 시간에 따라 이동하는 DBS들을 고려하여 주파수 효율 성능을 계산하였다. 논문 [11]에서는 랜덤한 방향으로 직선 이동하는 DBS들을 고려하여 연속적인 핸드오버 간의 평균 시간을 분석하여 이로부터 핸드오버율을 계산하였다.

본 논문에서는 기지국의 역할을 수행할 수 있는 드론들이 분포된 DBS 환경을 고려한다[9-11]. 해당 환경에서, 논문들 [9-11]과 같이 지상에 있는 UE로부터 가장 가까운 거리에 있는 DBS를 UE에게 서비스해줄 DBS로 가정하고 DBS 간의 핸드오버 수행을 고려하는 경우, 무선 채널 환경의 소규모 페이딩으로 인해 UE에게 좋은 품질의 서비스를 제공하지 못할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 DBS와 UE 간의 거리 및 소규모 페이딩을 함께 고려한 DBS 간의 핸드오버 기법을 제안한다. 이와 더불어, DBS 간의 빈번한 핸드오버로 인해 발생할 수 있는 무선 통신에서의 시그널링 오버헤드[12-14]를 완화하기 위해, 본 논문에서는 DBS 간의 핸드오버를 수행할 확률을 고려한 확률적 핸드오버 기법을 제안한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 상공에서 이동하는 DBS가 지상에 위치한 UE에게 서비스를 제공하는 네트워크 환경을 고려한다[9-11]. 삼차원 데카르트 좌표계를 가정하여, 그림 1과 같이 UE는 원점에 위치한다고 가정하며, 해당 시스템에서 고려하는 n 개의 모든 DBS들은 지상으로부터 h 만큼 떨어진 높이에서 운용된다고 가정하고, n 개의 모든 DBS들은 초기 시점인 $t=0$ 일 때 밀도가 λ 인 포아송 점 과정 기반으로 랜덤하고 독립적으로 분포한다고 가정한다[9-11]. 또한, n 개의 각각의 DBS는 시간 t 에 따라 이동할 수 있고, 특정 시간 t 에서 i 번째 DBS의 위치는 $(x_i(t), y_i(t), h)$ 의 삼차원 데카르트 좌표를 갖는다고 가정한다. 이 때, 특정 시간 t 에서 i 번째 DBS와 UE 간의 거리는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_i(t) = \sqrt{x_i(t)^2 + y_i(t)^2 + h^2}$$

for $0 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq n$ (1)

이 때, $x_i(t)$ 와 $y_i(t)$ 는 각각 특정 시간 t 에서 i 번째 DBS의 x 좌표와 y 좌표를 나타낸다. 또한, T 는 해당 시스템 내에 위치한 n 개의 DBS들의 운용 시간을 나타낸다.

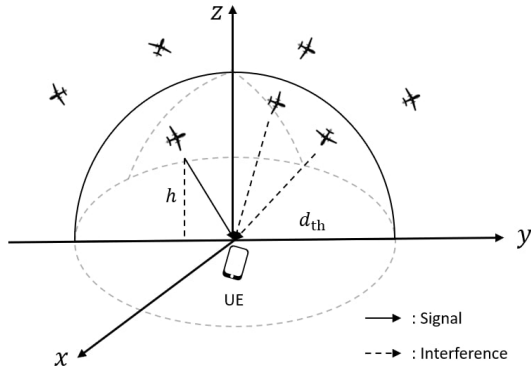


Fig. 1 The system model of the drone-based wireless communication system

본 논문의 경우, UE에게 서비스하는 DBS를 제외하 나머지 DBS들로부터의 신호는 간섭으로 간주한다. 이 때, 많은 수의 DBS들로부터 발생할 수 있는 간섭을 줄임과 동시에 효율적인 통신을 수행하기 위하여 거리임계치(d_{th})를 두어, 해당 d_{th} 내의 공간을 서비스 공간으로 설정함으로써, 해당 공간 밖에 존재하는 DBS들로부터 발생할 수 있는 간섭 신호는 배제한다고 가정한다. 이는 서비스 구간에 따라 주파수를 분리[15]하는 등의 방식을 활용하여 진행할 수 있다. DBS들에 의해 UE에게 전송되는 신호는 다중경로 전파환경에 따른 레일리 페이딩을 겪는다고 가정한다. 이 때, DBS와 UE 간 링크의 채널 이득은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_s(t) = g_s(t)d_s(t)^{-\eta}$$

for $s \in K_t, K_t = \{k_{t,start}, \dots, k_{t,end}\}$ (2)

$$G_j(t) = g_j(t)d_j(t)^{-\eta}$$

for $j \neq s, j \in K_t, K_t = \{k_{t,start}, \dots, k_{t,end}\}$ (3)

이 때, K_t 는 특정 시간 t 에서 $d_i(t) < d_{th}$ 를 만족하는 DBS들에 대한 집합을 나타낸다. 또한, $k_{t,start}$ 와 $k_{t,end}$

는 시간 t 에 따른 변수 값으로, 각각 $d_i(t) < d_{th}$ 조건을 만족하는 DBS의 가장 작은 그리고 가장 큰 지표(index) 값을 나타낸다. 또한, $g_s(t)$ 와 $g_j(t)$ 는 평균이 1인 지수 분포를 따르는 랜덤 변수를 의미하며, η 는 경로 손실 지수를 의미한다. 식 (2)의 $G_s(t)$ 는 특정 시간 t 에서 목적 신호를 전송하는 DBS와 UE 간의 링크에 대한 채널 이득을 나타내며, 이 때 s 는 해당 DBS의 지표 값을 나타낸다. 식 (3)의 $G_j(t)$ 는 특정 시간 t 에서 목적 신호를 전송하는 DBS 이외에 간섭 신호를 전송하는 각각의 DBS와 UE 간 링크의 채널 이득을 나타내며, 이 때 j 는 해당 DBS의 지표 값을 나타낸다. 식 (2)와 식 (3)을 활용하여, 시간 t 에서의 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{SINR}_s(t) = \frac{PG_s(t)}{\sum_{j \neq s} PG_j(t) + \sigma^2}$$
 (4)

이 때, P 는 DBS의 송신 전력을 나타내며, 각각의 DBS의 송신 전력은 모두 동일하다고 가정한다. 또한, σ^2 는 가산성 백색 가우시안 잡음에 대한 전력 값을 의미한다. 식 (4)에 따라, 해당 시스템에서 시간 t 에서의 주파수 효율 성능은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{SE}_s(t) = \log_2(1 + \text{SINR}_s(t))$$
 (5)

이후의 장에서는 시스템 평균 주파수 효율 성능을 향상시키면서 DBS 간의 핸드오버를 수행할 확률을 고려한 확률적 핸드오버 기법을 제안한다.

III. 제안하는 핸드오버 기법

본 장에서는 드론 기반의 무선 통신 시스템에서 주파수 효율 향상을 위한 확률적 핸드오버 기법을 제안한다. 본 논문에서는 시스템 평균 주파수 효율 성능을 높이기 위해, DBS와 UE 간 거리와 소규모 페이딩을 함께 고려하여, UE에게 목적 신호를 전송할 DBS를 선택하는 핸드오버 기법에 대해 제안한다. UE에게 전송되는 신호는 다중경로 전파환경에 따른 소규모 페이딩을 겪기 때문에 DBS와 UE 간의 거리만을 고려하여 핸드오버하는 경우, 변화하는 채널 특성에 대해 제대로 반영하지 못해 낮은 평균 주파수 효율 성능을 가질 수 있다. 해당 기법

을 적용하는데 있어, 본 논문에서는 DBS가 신호를 전송할 때 UE가 받는 수신 전력 세기를 고려한다. 특정 시간 t 에서 UE의 수신 전력은 식 (4)의 분자에 해당하는 값으로 $P_{rx,s}(t) = PG_s(t)$ 와 같이 나타낼 수 있는데, 이때 $P_{rx,s}(t)$ 를 최대로 갖는 DBS를 선택하여 해당 DBS로 핸드오버를 수행한다. 이때 해당 DBS의 지표 값 s^* 은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$s^* = \arg \max_{s \in K_t} P_{rx,s}(t) \quad (6)$$

for $K_t = \{k_{t,start}, \dots, k_{t,end}\}$

식 (6)에 따라, s^* 번째 DBS를 선택하여 핸드오버를 수행하는 경우, 식 (5)에 해당 DBS의 지표 값 s^* 을 적용하여 시간 t 에서의 주파수 효율 성능을 계산할 수 있다.

해당 기법을 적용할 경우, 소규모 페이딩을 고려함에 따라 기존의 거리만을 고려한 핸드오버 기법에 비해 높은 주파수 효율 성능을 얻을 수 있으나, 기존의 기법보다 핸드오버를 수행하는 횟수가 증가할 수 있다. 잦은 핸드오버를 수행하게 될 경우, 핸드오버를 수행하는데 있어 사용되는 전송 신호에 대한 오버헤드가 발생할 수 있으며, 핑퐁 효과로 인한 네트워크 자원 및 에너지 소비가 증가하는 문제가 존재할 수 있다[12-14]. 따라서, 본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 핸드오버 발생 빈도를 줄이기 위해 DBS 간의 핸드오버 수행 여부와 관련하여 확률을 고려한다. 확률을 고려하는 경우, 식 (6)을 통해 특정 순간 t 에서 UE가 받는 수신 전력의 가장 높도록 하는 DBS를 선택하였을 때, 해당 DBS가 현재까지 UE에게 서비스를 제공하고 있는 DBS와 다른 경우, 무조건적으로 핸드오버를 수행하는 것이 아니라, 초기 설정한 확률 값에 따라 확률적으로 핸드오버를 수행하도록 한다.

그림 2는 해당 기법에서 핸드오버가 어떠한 과정에 따라 발생하는지를 나타낸 알고리즘이다. 우선, 초기에 설정한 전체 운용 시간 T 를 초과하면 해당 알고리즘은 종료된다. T 를 초과하지 않은 경우, 집합 K_t 에 대한 초기화를 진행한다. 전체 시스템 내에 위치한 n 개의 DBS들에 대해, 각각의 DBS와 UE 간의 거리 $d_i(t)$ 가 설정한 거리 임계치 d_{th} 보다 작은 DBS들을 집합 K_t 내에 포함시킨다. 이후, 집합 K_t 내의 DBS가 신호를 전송하는 과정에서 UE가 받을 수신 전력 세기 $P_{rx,s}(t)$ 를 비교하여

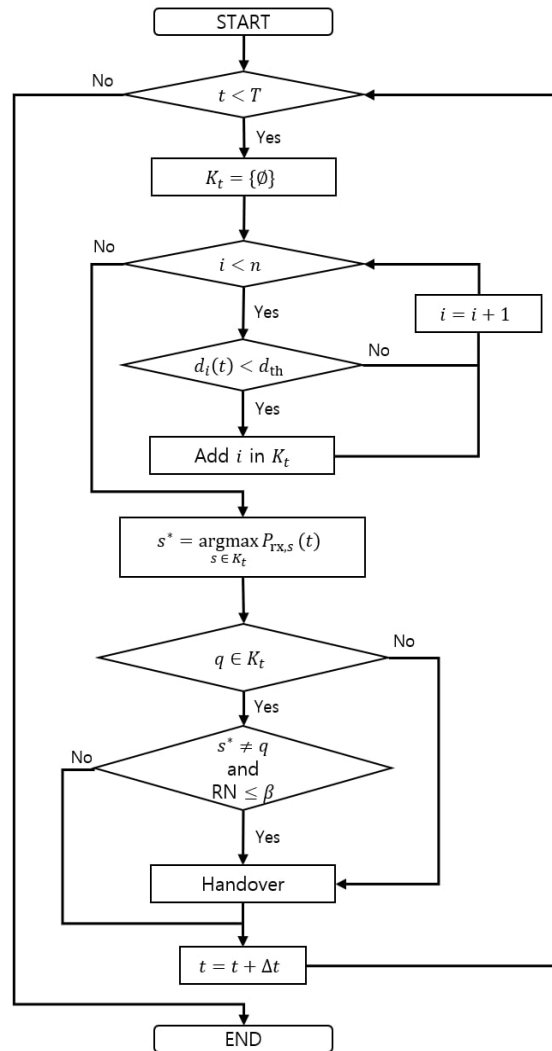


Fig. 2 Algorithm for a proposed handover scheme

해당 값이 가장 큰 DBS(s^* 번째 DBS)를 색출한다. 이후, 현재까지 UE에게 서비스를 진행하고 있는 DBS(q 번째 DBS)가 시간에 따른 이동에 의해 d_{th} 밖으로 벗어난 경우, 즉 집합 K_t 에 포함되어 있지 않은 경우에는 앞서 색출한 DBS(s^* 번째 DBS)로 핸드오버를 수행한다. 그렇지 않은 경우에는 q 와 s^* 를 비교하여, 둘이 같은 경우에는 현재 서비스를 수행하고 있는 DBS가 좋은 성능을 유지하고 있는 것으로 판단하여, 핸드오버를 수행하지 않는다. 둘이 다른 경우에는 앞서 언급한 확률 값을 고려한 확률적 핸드오버를 수행한다. 해당 과정을 진행하

기 위해 여러 확률 모델 중, 균등 분포를 활용하여 1에서 100사이의 정수 값에 대한 난수(random number, RN)를 발생시킨다. 그리고 해당 RN이 초기 설정한 β 보다 작은 경우에 있어서 핸드오버를 수행한다. 여기서 β 는 핸드오버 수행 여부와 관련한 확률 지표 값으로써, 핸드오버를 특정 확률로 수행하고자 할 때, 해당 확률에 대응하는 값으로 설정한다. 예를 들어, 70%의 확률로 핸드오버를 수행하고자 한다면, β 를 70으로 설정한다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 통해 제안하는 핸드오버 기법의 성능을 평가하고 기존 핸드오버 기법[9]의 성능과 비교 분석한다. 제안하는 핸드오버 기법의 성능을 평가하기 위해 MATLAB R2019a를 사용하여 시뮬레이션을 진행한다. 기존 핸드오버 기법[9]과의 비교를 위해 각각의 DBS는 균등하게 랜덤한 방향으로 직선 이동한다고 가정하고, 각각의 DBS의 속도(v)는 45 km/h로 설정한다. 포아송 점 과정 기반으로 분포되는 DBS의 밀도(λ)는 1 DBS/km²로 설정하고, 전체 시스템 반경(r)은 100 km로 설정한다. 경로 손실 지수(η)는 3으로 설정하고 DBS의 전송 전력(P)은 1 W로 설정한다. 거리 임계치(d_{th})는 2 km, 잡음의 전력(σ^2)은 -110 dBm으로 설정한다.

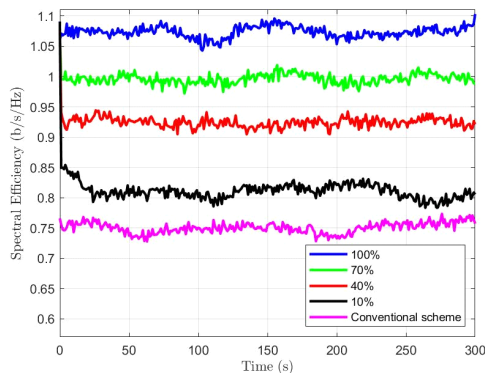


Fig. 3 Spectral efficiency of conventional scheme and proposed scheme with varying β

그림 3은 각각의 DBS가 $t(0 \leq t \leq 300)$ 초 동안 이동하는 상황에서 제안하는 핸드오버 기법과 기존 핸드

오버 기법[9] 간의 평균 주파수 효율 성능을 비교한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 제안하는 기법의 경우, 핸드오버 수행 여부와 관련한 확률 지표 값(β)을 다양하게 변경하여 평균 주파수 효율 성능을 평가한다. 기존 기법의 경우 DBS와 UE 간 최소 거리만을 고려하여 핸드오버를 수행함에 따라 그림 3에서는 가장 낮은 평균 주파수 효율 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 반면 제안하는 기법의 경우, DBS와 UE 간 거리 및 다중경로 전파환경에서 발생할 수 있는 소규모 페이딩을 함께 고려하여 핸드오버를 수행하기 때문에 기존 기법보다 높은 평균 주파수 효율 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 기법에서 $\beta = 100$ 인 경우, 항상 s^* 번째 DBS가 UE에게 서비스를 제공함에 따라 가장 높은 평균 주파수 효율 성능을 보인다. $\beta < 100$ 인 경우($\beta = 70, \beta = 40, \beta = 10$), s^* 번째 DBS로 핸드오버가 발생하지 않을 수 있으며, β 가 낮아질수록 핸드오버 발생 확률이 낮아짐에 따라 점차 낮은 평균 주파수 효율 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

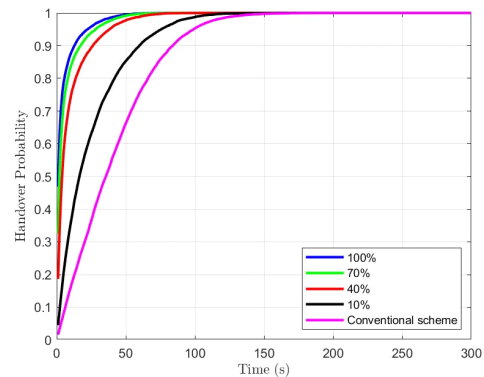


Fig. 4 Handover probability of conventional scheme and proposed scheme with varying β

그림 4은 시간 $t(0 \leq t \leq 300)$ 초에 따라 제안하는 핸드오버 기법과 기존 핸드오버 기법[9] 간의 핸드오버 확률을 비교한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 4에서 측정된 시간 t 에서의 핸드오버 확률은 시간 t 동안 최소한 한 번의 핸드오버가 발생할 확률을 의미한다[9]. 제안하는 기법의 경우, 기존 기법과는 달리 거리와 소규모 페이딩을 함께 고려하여 계산한 수신 전력을 기반으로 핸드오버를 수행함에 따라, 기존 기법보다 핸드오버가 빨리 발생하여, 기존 기법보다 높은 핸드오버 확률을

갖는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 기법에서 $\beta = 100$ 인 경우, 항상 s^* 번째 DBS로 핸드오버가 진행됨에 따라, 가장 높은 핸드오버 확률을 보인다. $\beta < 100$ 인 경우에는 현재 서비스를 제공하고 있는 DBS보다 UE가 받을 수신 전력 세기를 더 높여줄 DBS가 반경 내에 존재하더라도 핸드오버를 수행하지 않는 경우가 발생하여, $\beta = 100$ 인 경우보다 핸드오버 수행이 좀 더 늦게 발생한다. 이에 따라 β 가 작아질수록 핸드오버 확률은 작게 나타나는 모습을 보인다. $t = 70$ 초일 때, $\beta = 100$ 인 경우의 핸드오버 확률은 0.9995, $\beta = 70$ 인 경우의 핸드오버 확률은 0.9988, $\beta = 40$ 인 경우의 핸드오버 확률은 0.9954, $\beta = 10$ 인 경우의 핸드오버 확률은 0.9354, 기존 기법의 핸드오버 확률은 0.8275로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 이동하는 DBS가 기지국 역할을 수행할 때, 해당 DBS와 지상에 위치한 UE 간의 거리 및 소규모 페이딩을 고려한 DBS 간의 핸드오버 기법을 제안하였다. 또한, DBS 간의 빈번한 핸드오버로 인해 발생할 수 있는 시그널링 오버헤드의 감소를 위해 핸드오버 수행 확률에 대한 지표 값을 고려한 확률적 핸드오버 기법을 제안하였다. 제안하는 기법에 대한 시뮬레이션을 통해 해당 기법의 평균 주파수 효율 성능 및 핸드오버 확률에 대해 평가를 진행하였다. 성능 평가를 진행한 결과, 제안하는 핸드오버 기법이 기존의 핸드오버 기법보다 높은 평균 주파수 효율 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 핸드오버 수행과 관련한 확률 지표 값을 고려하는 경우, 해당 지표 값을 고려하지 않은 경우보다 핸드오버 확률을 낮출 수 있음을 보였다. 추가로, 시뮬레이션 결과를 통해 평균 주파수 효율과 핸드오버 확률 간에 상충(trade-off) 관계가 있음을 확인할 수 있는데, 이에 따라, 확률 지표 값을 시스템 상에서 요구되는 조건에 따라 조정하는 경우, 시스템에서 필요로 하는 성능 목표를 달성할 수 있을 것이다. 추후 연구 진행 시, 평균 주파수 효율 성능 및 핸드오버 확률 간 상충 관계를 고려하여 최적의 확률 지표 값을 결정하는 방안 등에 대해 연구해 볼 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF- 2018R1D1A1B07049601) and by the Excellent researcher support project of Kwangwoon University in 2021.

REFERENCES

- [1] R. Amorim, H. Nguyen, P. Mogensen, I. Z. Kovács, J. Wigard, and T. B. Sørensen, "Radio channel modeling for UAV communication over cellular networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 514-517, Aug. 2017.
- [2] E. Yanmaz, S. Yahyanejad, B. Rinner, H. Hellwagner, and C. Bettstetter, "Drone networks: Communications, coordination, and sensing," *Ad Hoc Networks*, vol. 68, pp. 1-15, Jan. 2018.
- [3] X. Yuan, Z. Feng, W. Xu, W. Ni, J. A. Zhang, Z. Wei, and R. P. Liu, "Capacity analysis of UAV communications: Cases of random trajectories," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 8, pp. 7564-7576, Aug. 2018.
- [4] P. K. Sharma and D. I. Kim, "Coverage probability of 3-D mobile UAV networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 8, no. 1, pp. 97-100, Feb. 2019.
- [5] S. Sadr and R. S. Adve, "Handoff rate and coverage analysis in multi-tier heterogeneous networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 5, pp. 2626-2638, May. 2015.
- [6] S. Y. Hsueh and K. H. Liu, "An equivalent analysis for handoff probability in heterogeneous cellular networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 21, no. 6, pp. 1405-1408, Jun. 2017.
- [7] M. M. Hasan, S. Kwon, and S. Oh, "Frequent-handover mitigation in ultra-dense heterogeneous networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 1, pp. 1035-1040, Jan. 2019.
- [8] J. C. Lee and S. Y. Shin, "A handover admission control in mobile communication networks," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 5, pp. 1067-1072, May. 2014.
- [9] M. Banagar, V. V. Chetlur, and H. S. Dhillon, "Handover probability in drone cellular networks," *IEEE Wireless*

- Communications Letters*, vol. 9, no. 7, pp. 933-937, Jul. 2020.
- [10] M. Banagar and H. S. Dhillon, "Fundamentals of drone cellular network analysis under random waypoint mobility model," in *Proceeding of the IEEE Global Communications Conference*, pp. 1-6, Dec. 2019.
- [11] M. Salehi and E. Hossain, "Handover rate and sojourn time analysis in mobile drone-assisted cellular networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 2, pp. 392-395, Feb. 2021.
- [12] M. Tayyab, X. Gelabert, and R. Jäntti, "A survey on handover management: From LTE to NR," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 118907-118930, Aug. 2019.
- [13] T. Bilen, B. Canberk, and K. R. Chowdhury, "Handover management in software-defined ultra-dense 5G networks," *IEEE Network*, vol. 31, no. 4, pp. 49-55, Jul. 2017.
- [14] D. López-Pérez, I. Guvenc, and X. Chu, "Theoretical analysis of handover failure and ping-pong rates for heterogeneous networks," in *Proceeding of the IEEE International Conference on Communications*, pp. 6774-6779, Jun. 2012.
- [15] J. Lyu, Y. Zeng, and R. Zhang, "UAV-aided offloading for cellular hotspot," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 6, pp. 3988-4001, Jun. 2018.



장환원(Hwan Won Jang)

2016년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
2019년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사과정
※관심분야 : 이동통신시스템, 드론 통신, 핸드오버 등



우동혁(Dong Hyuck Woo)

2019년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
2021년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
2021년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정
※관심분야 : 이동통신시스템, 중계전송, UAV 통신 등



황호영(Ho Young Hwang)

2000년 2월 : KAIST 전자전산학과 학사
2002년 2월 : KAIST 전자전산학과 석사
2008년 2월 : KAIST 전자전산학부 박사
2002년 8월 ~ 2003년 8월 : 미국 국립표준기술연구소(NIST) 객원연구원
2008년 9월 ~ 2010년 8월 : 캐나다 워털루대학교 박사후연구원
2010년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터정보공학부 교수
※관심분야 : 이동통신시스템, 무선자원관리, 센서네트워크 등