

SDN 기반 5G 네트워크 환경에서 사용자 이동성을 고려한 핸드오버 셀 선택 기법

이지성*, 유영환*

*부산대학교 전기전자컴퓨터공학과

e-mail : leejiseong@pusan.ac.kr

Handover Cell Selection Using User Mobility Information in a 5G SDN-based Network

Jiseong Lee*, Younghwan Yoo*

*Dept. of Electrical and Computer Engineering,

Pusan National University

요 약

본 논문은 5G 네트워크의 주요 요구사항인 1ms 이내의 지연 시간을 만족하기 위해 새로운 SDN 기반 핸드오버 방식을 제안한다. UE로부터 이동성 정보와 BS의 상태 정보를 SDN 컨트롤러가 수집하고 가공된 데이터를 이용하여 다음 셀을 예측한다. 이 때, 셀 예측 시 계산량을 줄이기 위해 LP 문제 해결 기법을 적용한다. 또한, 예측된 셀에 대해 채널을 선 할당 하여 핸드오버 소요 시간을 줄이고 빠르고, 끊김 없는 서비스를 제공하게 된다. 실험을 통해 제안 방법은 이동 방향에 따라 신호 세기, 체류 시간이 길고 셀의 부하가 적은 셀을 찾아냄을 알 수 있다.

1. 서론

최근 수년 간 모바일 네트워크의 성장은 급속도로 이루어져왔다. 스마트 디바이스들의 수는 계속 증가하고 있고, 이들이 만들어내는 정보들은 더 이상 3G, 4G로는 감당하기 힘든 상황이 되어가고 있다. 이에 대비하기 위해 5G의 연구는 이전부터 이루어져 오고 있으며 복잡하고 다양한 서비스들을 제공하기 위해 많은 요구사항들이 고려되고 있다. 대표적으로 수십 Gbps의 전송 속도, 1ms 이내의 전송 지연과 셀 소형화 등의 요구사항이 존재한다[1]. 그러나 5G의 크고 작은 셀, 즉 마이크로, 피코, 펩토셀 사이에서 발생하는 빈번한 핸드오버는 서비스 요구사항을 만족하는 데 큰 걸림돌이 된다.

본 논문에서는 이를 해결하기 위해 사용자의 이동성을 고려하여 다음 연결 될 셀을 예측하고, 채널을 할당함으로써 핸드오버 지연 시간을 줄이고, 사용자에게 끊김 없는 서비스를 제공한다. 셀 예측 핸드오버에 필요한 데이터 수집과 핸드오버를 수행하기 위해 SDN(Software Defined Network)을 이용한다. 이 때, SDN 컨트롤러는 이동하고 있는 UE(User Equipment)와 고정되어 있는 BS(Base Station)로부터 현재 신호 세기 값, 이동 정보, 간섭 레벨 등의 정보들을 수집하게 된다. 수집된 정보는 SDN 컨트롤러를 통해 SDN 서버로 전송되게 되고, SDN 컨트롤러는 UE의 이동 방향에 따라 높은 데이터율, 긴 체류시간을 가지고 부하가 적은 셀을 선택하도록 한다.

만약 UE가 이웃 셀 모두와 핸드오버를 수행하여 다음 셀을 예측한다면 주변 셀에 대한 많은 계산량이 요구된다.

뿐만 아니라 빠르게 수행되어야 할 핸드오버의 수행 시간이 이웃 셀 수만큼 증가하게 된다. 본 논문은 핸드오버 계산량을 줄여 소요시간을 감소시키기 위해 핸드오버 전 LP를 이용한 계산을 수행하여 이를 해결한다.

LP란 선형 조건들을 만족시키면서 목적 함수를 최적화하는 문제 해결 방법이다. 신호 세기와 체류 시간 등 여러 가지 고려사항은 다른 셀 보다 다음 연결될 셀을 합리적으로 선택 할 수 있게 한다. 본 논문에서 제안 핸드오버 방법은 예측한 다음 셀에 대해 채널 할당을 SDN이 미리 수행하기 때문에 핸드오버 수행 과정이 축소되어 전체적인 핸드오버 지연이 감소되게 된다. 또한, 빠른 핸드오버 수행은 5G 네트워크가 제공하는 초고속 전송 속도를 만족하면서 끊김 없는 연결 서비스를 제공하게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존 핸드오버 방법 및 핸드오버에서 UE 이동성의 활용 방안에 대해 서술한다. 3장에서는 사용자 위치 정보를 활용한 핸드오버 방법을 설명하고, 4장에서는 제안 방법의 성능평가를 위한 실험 및 결과를 보여준다. 마지막 5장으로 결론 및 향후 연구 방향에 대해 서술한다.

2. 관련 연구

2.1 기존 LTE에서의 핸드오버

핸드오버는 UE가 이동함으로써 서비스를 받고 있는 셀에서 벗어나게 될 때, 지속적인 통신 서비스를 유지하기 위해 이웃 셀로 접속 시켜주는 작업을 말한다. UE가 셀을 벗어나게 되면 현재 셀로부터 받는 신호의 세기가 감소하

게 되고, 이웃 셀의 신호 세기가 현재 셀의 신호 세기보다 일정 시간 이상 높을 때 핸드오버가 시작된다. 핸드오버 동작 과정은 UE와 BS간 설정 과정을 통해 핸드오버 수행 조건이 정해진 후, 핸드오버 결정과 핸드오버 수행 단계로 나누어진다.

핸드오버 결정은 UE와 BS 사이의 신호 세기가 미리 정의된 임계값 이하가 될 경우 시작된다. 이 때, 핸드오버를 결정하는 주체는 Source BS가 되고 수행할 핸드오버 타입을 결정하게 된다.

핸드오버 수행 단계는 다시 핸드오버 준비 단계, 핸드오버 실행 단계와 핸드오버 완료 단계로 나뉜다. 핸드오버 준비 단계에서는 Source BS와 Target BS간 UE 정보를 전달하여 서비스 가능 여부를 확인한다. 그 다음 핸드오버 실행 단계에서 Source BS에 연결되어 있는 무선 링크를 끊고, Target BS로 무선 링크를 설정하여 새로운 셀로 접속한다. 마지막으로 임시 경로로 설정된 베어러를 Target BS로 변경시키면서 핸드오버가 종료된다. 핸드오버 설정부터 핸드오버 완료 단계까지 기존 핸드오버는 UE와 BS들 간의 복잡한 절차를 수행한다.

2.2 SDN 기반 핸드오버

5G 네트워크 환경에서 효율적인 트래픽 관리와 핸드오버 수행을 위해 SDN을 적용할 수 있다[2]. SDN 서버의 SDN 컨트롤러는 UE로부터 지속적으로 데이터를 수집하여 셀들의 상태에 따른 효율적인 라우팅 경로를 설정하게 된다. 셀 예측 핸드오버를 수행하기 위해선 UE와 BS들의 데이터를 이용한 계산이 필요하기 때문에 SDN으로 구성되어있는 네트워크 환경이 요구된다. 추가적으로 UE와 BS의 수가 많은 네트워크에서 중앙집중식 SDN의 경우 많은 오버헤드가 발생할 수 있기 때문에 계층적 구조의 SDN을 적용함으로써 부하를 분산시킬 수 있고 보다 효율적인 네트워크 환경을 구축할 수 있다.

2.3 이동성 정보를 포함하는 UE의 특징

모바일 네트워크에서 UE는 고정 노드, 이동 노드로 분류될 수 있다. 고정 노드는 특정 지역에 설치되어 있는 무선 디바이스를 예로 들 수 있고, 이동 노드는 보행자의 스마트폰이나 차량에 설치된 무선 디바이스, 차량에 탑승한 사용자의 스마트폰이 해당 된다. 이러한 UE가 가지는 속력과 방향은 핸드오버 수행 시, 신호 세기와 더불어 유용하게 사용될 수 있다. 예를 들어 걸어 다니는 보행자의 경우 셀의 통신 범위가 좁지만 신호 세기가 높은 셀을 선택할 수 있는 반면, 이동속도가 빠른 차량의 경우 신호 세기보다 셀의 통신 범위가 넓은 셀을 선택 하는 것이 더 효율적이다[3].

3. 제안 방법

사용자 이동 정보를 고려한 SDN 기반 핸드오버 셀 선택 기법은 두 단계로 나타낼 수 있다. 첫 번째는 데이터

수집 단계로 SDN 컨트롤러를 이용하여 핸드오버를 결정하고 셀을 예측하기 위한 데이터를 수집한다. 두 번째, 핸드오버 실행 단계에서는 LP를 통해 가장 최적의 셀을 계산하고 선 채널 할당 방법을 통해 핸드오버 소요 시간을 줄인다.

3.1 데이터 수집 단계

SDN 컨트롤러는 셀들로부터 수신 신호 세기, 연결되어 있는 노드 수, 셀의 통신 범위에 대한 정보들을 수집한다. 또한, UE로부터 현재 서비스 받고 있는 셀의 수신 신호 세기와 현재 위치, 이동 방향, 속력에 대한 정보들을 전달받는다. 수집되는 데이터와 가공 데이터는 <표 1>에 정의하고 있다.

<표 1> 기호 정의 표

Symbol	Description
C	셀 집합 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$
$RSRP_{serving}$	연결 되어 있는 셀의 신호세기 (dBm)
$RSRP_{target_c}$	다음 셀의 신호 세기 (dBm)
$RSRP_g$	$RSRP_{serving} - RSRP_{target_c}$ (dBm)
θ_{UE}	UE의 이동 방향 각($^{\circ}$)
θ_{UE-C}	UE의 이동 방향에 따른 셀 사이 각($^{\circ}$)
d_c	셀에 대한 UE의 이동 방향 값
D_c	셀의 통신 거리 (m)
v	UE의 속력 (m/s)
J_c	UE의 셀 체류 시간 (s)
CN_{Max}	셀에 연결 될 수 있는 최대 노드 수
CN_n	셀에 연결 된 노드 수
CN_r	셀의 여유 노드 비율
P	셀 예측 계산값
S	이웃 셀들의 핸드오버 계산 요소 행렬
X	셀 선택 행렬
cs_i	셀 선택 행렬 변수

3.2 핸드오버 수행 단계

핸드오버 수행 단계에서 SDN 컨트롤러는 수집된 데이터를 이용하여 다음 셀을 계산한다. 이 때, 다음 셀 계산을 위해 LP를 적용할 수 있다. 셀 예측 계산의 목적 함수는 핸드오버 수행 후 선택한 셀이 데이터 유효성이 높고, 체류 시간이 길고 부하가 적은, 최적의 셀임을 비교할 수 있는 값으로 나타난다. 계산값 P 를 계산하기 위한 요소는 다음과 같다.

- 핸드오버 대상 셀의 신호세기 ($RSRP_{target}$)
- UE와 연결 된 셀의 신호세기 ($RSRP_{serving}$)
- 셀의 통신 거리 (D_c)
- UE의 속력 (v)
- UE의 이동 방향 (θ_{UE})
- UE와 셀 간 사이 각 (θ_{UE-C})

- 셀에 연결 될 수 있는 최대 노드 수 (CN_{Max})
- 셀에 연결 된 노드 수 (CN_n)

신호세기 $RSRP_g$ 는 현재 연결 되어 있는 셀의 신호세기 $RSRP_{serving}$ 와 다음 셀의 신호 세기 $RSRP_{target}$ 의 차이로 정해진다. 또한, UE의 속력과 셀의 통신 거리를 이용하여 다음 셀에서의 체류 시간을 계산할 수 있다. 셀 내 체류시간은 확률 밀도 함수 $f_j(t)$ 에서 체류시간에 대해 가장 높은 확률을 가지는 t 로 알 수 있다. 체류시간은 다음 셀을 결정하는 요소로서 오래 체류할수록 더 큰 가중치를 가지게 된다. 다음 셀에서의 체류 시간을 계산하는 확률 밀도 함수는 다음과 같다[4]. 이 때, ξ 는 $\left[\frac{Dc}{V_{max}}; \frac{Dc}{V_{min}} \right]$ 에 대한 $f_j(t)$ 의 적분 값이 1인 정규화 상수이다.

$$f_j(t) = \frac{\xi Dc \sigma^{-1}}{t^2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[- \left(\frac{\frac{Dc}{t} - \bar{V}}{\sigma_V \sqrt{2}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

이동 방향 값 d_c 는 다음 셀을 결정하는 하나의 가중치로써, UE의 이동 방향과 UE와 셀 간 사이 각을 이용하여 코사인 그래프로 나타낼 수 있다. 셀의 통신 범위는 원의 형태를 가지게 되는데 UE의 이동 방향과 UE-셀 사이 각의 차이가 작을 때는 이동하고 있는 쪽에 다음 셀이 위치하고 있다는 의미가 된다. 즉, 각의 차이가 작을 때는 높은 가중치를 가지고 각의 차이가 클 때는 낮은 가중치를 가지게 한다. 만약 UE의 이동 방향이 BS를 향하는 방향일 때 가장 큰 값 1을 가지고 반대의 경우 -1을 가진다. 이동 방향 값 d_c 를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$d_c = \cos(\theta_{UE} - \theta_{UE-C}) \quad (2)$$

다음으로 셀의 부하 정도를 고려하기 위해 현재 연결 되어 있는 노드 비율을 계산한다. 셀의 여유 노드 비율 (CN_r)은 연결 가능 최대 노드 수에 대하여 현재 연결 되어 있는 노드를 제한 비율이다. 이는 연결 되어 있는 노드가 적을수록 셀의 부하가 낮으므로 셀 선택에 대해 높은 가중치를 가지게 한다.

$$CN_r = \frac{CN_{Max} - CN_n}{CN_{Max}} \quad (3)$$

셀 예측 계산값 P 는 신호 세기 차이 $RSRP_g$, UE의 이동 방향 값 d_c , 다음 셀 내 체류 시간 J_c 와 셀의 여유 노드 비율 CN_r 로 계산된다. 최종적으로 이웃 셀들에 대한 계산값 P 가 가장 큰 셀이 다음 셀로 선정된다. 위 요소들을 고려한 셀 예측 핸드오버 계산값 P 는 다음과 같다.

$$P = RSRP_g \times d_c \times J_c \times CN_r \quad (4)$$

UE와 이웃 셀들과의 데이터인 신호 세기 차이 $RSRP_g$, UE의 이동 방향 값 d_c , 다음 셀 내 체류 시간 J_c 와 셀의 여유 노드 비율 CN_r 은 행렬 S 에 저장된다. 이웃 셀의 수가 m 개일 때, 행렬 S 는 $4 \times m$ 행렬로 구성된다. 또한, 행렬 S 에서 셀을 선택하기 위한 행렬 X 는 셀 선택 변수 cs_i 를 가진다. 셀 선택 변수 cs_i 는 0 또는 1의 값을 가진다. $cs_i = 1$ 은 i 번째 셀에 대한 계산 수행을 의미하고 이 때, 나머지 cs 변수들은 0의 값을 가진다. 행렬 S 와 X 는 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$S = \begin{pmatrix} RSRP_{g_{c_1}} & RSRP_{g_{c_2}} & \dots & RSRP_{g_{c_m}} \\ d_{c_1} & d_{c_2} & \dots & d_{c_m} \\ J_{c_1} & J_{c_2} & \dots & J_{c_m} \\ CN_{r_{c_1}} & CN_{r_{c_2}} & \dots & CN_{r_{c_m}} \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} cs_1 \\ cs_2 \\ \dots \\ cs_m \end{pmatrix} \quad (5)$$

수집된 데이터를 이용하여 이웃 셀 중 데이터율이 높고 체류 시간이 길고 셀의 부하가 적은 셀을 계산하기 위한 문제 해결 방법 LP는 다음과 같다. 가장 큰 계산값 P 를 계산하기 위해 행렬 S 와 이웃 셀을 선택하기 위한 변수 행렬 X 를 인자로 둔다. 목적 함수이자 계산값 P 는 (6-2)부터 (6-7)까지의 제약사항 아래 가장 높은 값을 찾게 된다. 이 때, 가장 높은 계산값 P 에 대한 x 가 다음 셀에 대한 결과가 된다.

$$\text{Maximize: } \underset{x \in X}{\text{argmax}} P(x) = \prod_{i=1}^m (Sx)_{i1} \quad (6-1)$$

$$\text{Subjectto: } RSRP_g \leq 0, \quad (6-2)$$

$$-1 \leq d_c \leq 1, \quad (6-3)$$

$$J_c \geq 0, \quad (6-4)$$

$$0 \leq CN_r \leq 1, \quad (6-5)$$

$$\sum_{i=1}^m cs_i = 1, \quad (6-6)$$

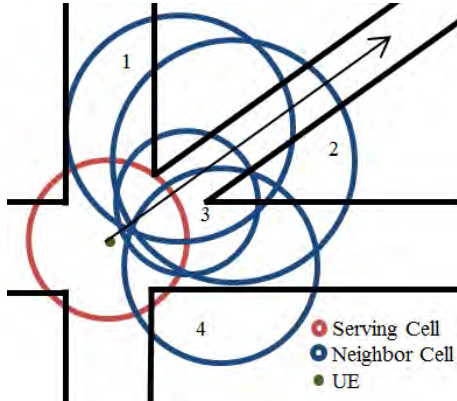
$$\text{if } cs_i = 1 \text{ then } \sum_{j=1}^{i-1} cs_j + \sum_{j=i+1}^m cs_j = 0 \quad (6-7)$$

최종적으로 구해진 다음 셀은 SDN 컨트롤러에 의해 핸드오버를 수행하게 된다. BS간 불필요한 메시지 교환 없이 해당 셀에 대해 선 채널 할당을 함으로써 UE는 지속적인 데이터율로 끊김 없는 서비스를 제공 받을 수 있다.

4. 성능 분석 및 실험

실험 환경은 5G 네트워크와 SDN이 배치된 환경을 가정한다. 소형화 된 셀은 모든 지역을 수용할 수 있게 배치되어 있고, SDN 컨트롤러는 지속적으로 UE와 셀들로부터 데이터를 수집하고 있다. (그림 1)은 실험을 위해 이동하는 UE에 대해 이웃 셀 4개가 존재하는 모습을 나타내

고 있다. 각 셀은 서로 다른 $RSRP$, D_c , CN_r 값을 가지고 있고, <표 2>를 통해 특정 값을 나타내고 있다. 추가적으로 UE는 북동쪽 45° 방향을 향하고 있으며 평균 $13km/h$ 의 속력으로 이동한다. 또한, 셀 내 체류시간 계산식 (1)에서 $\xi=0.5$, $\sigma_V=1$ 로 계산한다.

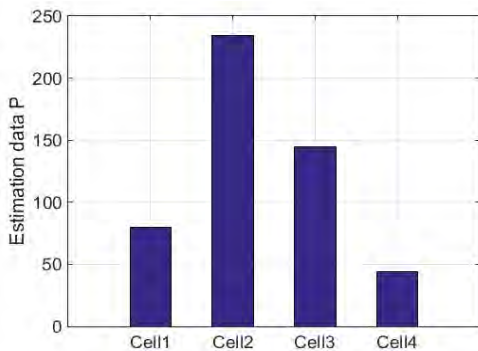


(그림 1) 셀 배치 그림

<표 2> 실험 계산 요소 표

Cell	RSRP	Dc	Angle between UE-C	CNr
Source	-75dBm	100m	-	0.9
Cell1	-95dBm	80m	+45°	0.94
Cell2	-105dBm	120m	-10°	0.88
Cell3	-110dBm	60m	-10°	0.9
Cell4	-95dBm	70m	-60°	0.82

실험 결과, 이웃 셀들에 대한 계산 값 P 는 (그림 2)로 나타난다. 이동하고 있는 UE는 현재 방향에 있고, 신호가 세고 체류 시간이 길 것으로 예상되는 셀2를 선택한다.

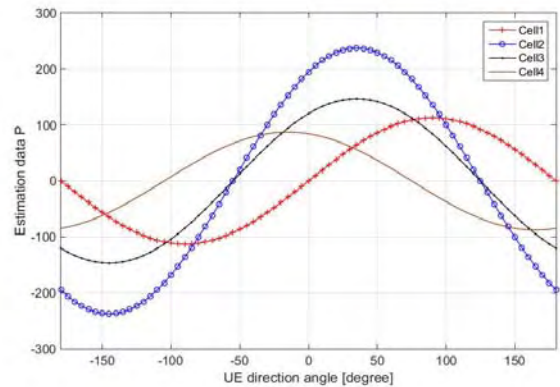


(그림 2) 각 셀에 대한 계산 값 그래프

(그림 3)은 실험 환경에서 UE의 이동 방향에 따른 계산 값 변화를 나타낸 그래프이다. 실험과 달리 셀4과 같은 방향으로 이동하는 UE는 계산 값 P 에 의하여 셀4를 선택하게 될 것이다.

제안 핸드오버 방법은 UE의 이동성 정보를 활용하여 다음 셀을 계산하고 예측한다. 이 때, UE의 이동 방향은 아주 중요한 요소가 된다. 뿐만 아니라, 예상 셀 내 체류 시간과 신호 세기, 셀 부하 정도 역시 고려되어 발생할 수

있는 오버헤드를 줄이고 합리적인 셀 선택을 하게 된다.



(그림 3) UE 이동 방향에 따른 계산 값 그래프

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 5G 네트워크의 요구사항인 1ms 이내 지연 시간과 사용자에게 끊김 없는 연결 서비스를 제공하기 위한 핸드오버 방법을 제시하고 있다. SDN 기반 핸드오버 방법은 SDN 컨트롤러가 셀을 관리하고 제어하기 때문에 UE가 직접 핸드오버를 수행하는 것 보다 수행 시간이 적게 소요된다. 추가적으로 UE의 이동 정보를 활용하여 다음 이동하는 방향으로의 셀을 예측한다면 불필요한 채널 할당 과정을 생략할 수 있어 5G의 요구사항을 만족시키는 끊김 없는 핸드오버를 수행할 수 있다. 다음 연구 방향으로 SDN 컨트롤러의 부하 관리를 위해 계층적 구조의 SDN을 이용하는 방법과 셀 예측 계산 방법의 개선을 통해 더 효율적인 핸드오버를 수행하고자 한다.

참고문헌

[1] Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C., & Zhang, J. C. (2014). What will 5G be?. *IEEE Journal on selected areas in communications*, 32(6), 1065-1082.

[2] Kukliński, S., Li, Y., & Dinh, K. T. (2014, December). Handover management in SDN-based mobile networks. In *Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 2014 (pp. 194-200). IEEE.

[3] Di Taranto, R., Muppisetty, S., Raulefs, R., Slock, D., Svensson, T., & Wymeersch, H. (2014). Location-aware communications for 5G networks: How location information can improve scalability, latency, and robustness of 5G. *IEEE Signal Processing Magazine*, 31(6), 102-112.

[4] Atallah, R., Assi, C., & Yu, J. Y. (2016). A Reinforcement Learning Technique for Optimizing Downlink Scheduling in an Energy-Limited Vehicular Network. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.