

SDN 에서 후보 AP 를 고려한 스플릿 포인트 선택의 효율적인 이동성 관리

김보라, 염상길, 추현승
성균관대학교 소프트웨어대학
e-mail : {bora007,sanggil12, choo}@skku.edu

Effective Mobility Management of Split Point Selection Considering Candidate AP in SDN

Bora Kim, Sanggil Yeoum, Hyunseung Choo
College of Software, Sungkyunkwan University

요 약

끊김 없는 이동성은 멀티미디어가 풍부한 실시간 서비스를 지원하는 미래의 무선 네트워크에서 필수적이다. SDN (Software Defined Networking)은 중앙 집중식 컨트롤러를 통해 무선 네트워크에서 세밀한 플로우 수준의 이동성 관리를 제공할 수 있지만 핸드오버 지연의 새로운 네트워킹 패러다임이다. 스플릿 포인트 방식은 SDN 무선 네트워크에서 핸드오버 및 중단 간 전송 지연을 줄이는 효과적인 방법이다. 스플릿 포인트는 트래픽이 새로운 AP (Access Point)를 향하여 핸드오버 한 후에 기존 플로우 경로상에 존재하는 스위치이다. 본 논문에서는 MN- CN (Corresponding Node) 경로의 각 스위치의 가중치를 스위치와 후보 AP 사이의 평균 거리 (홉)로 계산하고 최소 가중치를 갖는 스위치가 스플릿 포인트로 선택된다. 스플릿 포인트 선택 외에도 이 논문은 SDN 에서 제공하는 제어 및 데이터 플레인 분리를 이용하여 핸드오버 후 플로우에 대한 최적의 경로를 복원한다. 제안 아이디어의 수치 해석은 이전 솔루션과 비교하여 총 비용이 9.6%~13% 향상되었음을 보여준다.

1. 서론

무선 기술과 모바일 장치의 발전에 따라 모바일 멀티미디어 서비스 사용이 기하급수적으로 증가하였다[1]. 점점 더 많은 멀티미디어 콘텐츠 및 서비스의 가용성은 사용자의 Quality of Service (QoS) 요구가 증가한다. 끊김 없는 이동성 솔루션은 사용자에게 QoS 를 제공해야 하지만 핸드오버 및 전송 지연과 같은 문제에 직면한다.

Software Defined Networking (SDN)은 제어 플레인이 논리적으로 중앙 집중화되는 새로운 패러다임이다 [2]. SDN 의 중앙 제어 플레인은 최소한의 핸드오버 및 전송 지연으로 사용자 이동성을 관리하는 데 필요한 유연성을 제공한다. SDN 이동성 관리에서 핸드오버 지연을 더 줄이기 위해 스플릿 포인트 기반 접근법이 제안되었다 [3-5]. 핸드오버 지연의 개선은 스플릿 포인트의 효율적인 선택에 크게 의존하며 토폴로지 위치, 로드, 중앙집중화와 같은 다양한 요인이 관련되어 있기 때문에 까다로운 작업이다.

플로우에 대한 스플릿 포인트를 선택하는 가장 간단한 기준 중 하나는 스위치의 로드를 기반으로 한다 [3]. 초기 MN 부착 시에, 최소 로드를 갖는 플로우 경로 내의 스위치는 플로우의 전체 지속 기간 동안 스플릿 포인트로서 선택되고 MN 이동으로 갱신되지 않는다. 이러한 선택 기법은 MN 이 초기 AP 로부터

멀어짐에 따라 증가된 핸드오버 및 전송 지연을 증가시킨다. 플로우의 현재 경로를 유지하면 핸드오버 지연 (컨트롤러에서 시그널링이 적어짐으로 인해)이 줄어들지만 [4] sub-optimal 경로가 생길 수 있다. 따라서 스플릿 포인트는 시그널링 비용 (컨트롤러에서)과 플로우의 최적 경로 사이의 tradeoff 로 볼 수 있다. 이 솔루션은 전송 지연을 희생하면서 시그널링 오버 헤드 (즉, 핸드오버 지연)에 중점을 둔다.

Service Aware Split point Selection (SASS) 솔루션은 스플릿 포인트 [5]를 선택하는 동안 플로우 유형에 중점을 둔다. 플로우를 (i)패킷 손실 감지 및 (ii)패킷 지연 감지의 두 가지 유형으로 분류한다. 각 유형에 따라 다른 가중치가 플로우에 지정되며, 각 플로우의 스플릿 포인트는 해당 가중치에 따라 선택된다. 현재의 경로는 최적 경로 길이 플러스 임계 값이 현재 경로 길이보다 큰 경우에만 최적 경로 (즉, 최단 경로)로 업데이트된다. 앞서 언급한 해결책 중 어느 것도 알고리즘에서 MN 이동을 고려하지 않는 반면, 스플릿 포인트 선택은 MN 의 다음 AP 에 토폴로지적으로 의존한다. 또한 모든 언급된 솔루션은 전송 지연에 있어 타협점을 가지지만, 최소한의 중단 간 대기 시간은 미래의 무선 및 모바일 네트워크의 주요 요구 사항 중 하나이다 [6].

본 논문에서는 SDN 에서 핸드오버 지연을 최소화하기 위한 Candidate AP based Split point Selection (CASS)

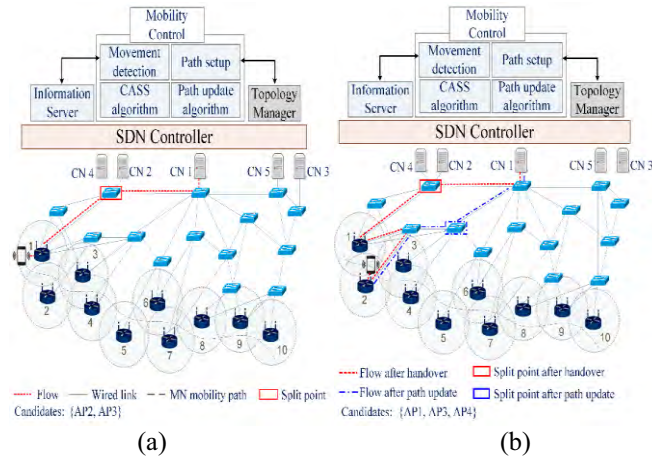
이동성 솔루션을 제안한다. 핸드오버 완료 후 플로우 경로를 업데이트하여 전송 지연을 해결한다. 핸드오버 지연을 손상시키지 않으면서 이러한 플로우에 대한 최적의 경로가 보장된다. 이 논문의 주요 공헌은 (i)SDN의 CASS 이동성 솔루션의 설계 및 구성 요소 설명, (ii)최소 시그널링 비용으로 스플릿 포인트를 토폴로지적으로 선택하기 위해 MN의 다음 가능한 AP에 대한 정보를 이용하는 알고리즘, (iii)제안 솔루션에 대한 시그널링 비용 (즉, 핸드오버 지연) 및 패킷 전달 비용 (즉, 전송 지연)의 분석 모델, (iv)SASS보다 9.6%~13%의 총 비용 개선을 보여주는 제안 솔루션의 수치 해석이다.

CASS 아키텍처, 연산 및 알고리즘은 2장에서 설명하고 분석 모델과 수치 결과는 3장에서 설명한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 내리고 향후 연구에 대해 논의한다.

2. Candidate AP based Split Point Selection (CASS)

2.1 CASS 아키텍처

본 논문에서는 SDN에서 효율적인 이동성 관리를 위해 스플릿 포인트 솔루션을 활용하여 MN의 다음 핸드오버에 대한 후보 AP들을 기준으로 플로우에 대한 스플릿 포인트가 선택된다. 전송 범위가 MN의 현재 AP와 중첩되는 AP는 후보로 분류된다. 현재 플로우 경로의 각 SDN 스위치의 가중치는 후보 목록을 사용하여 계산되고 최소 가중치의 스위치가 스플릿 포인트로 선택된다. 이 제안된 CASS 이동성 솔루션의 근거는 후보 AP 중 하나가 MN의 다음 AP일 가능성이 있다. 따라서, 제안된 CASS 이동성 솔루션은 MN이 AP 후보 리스트로부터 다음으로 이동하는 것에 관계없이 근접한 최적 핸드오버를 용이하게 한다.



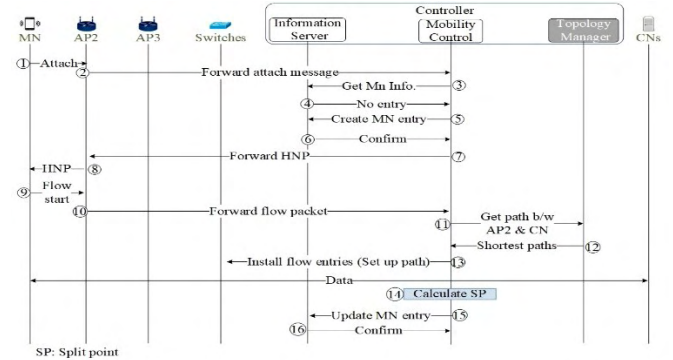
(그림 1) CASS 이동성 솔루션의 아키텍처:
(a)MN 등록, (b) MN 핸드오버 후

CASS 이동성 솔루션을 사용하는 SDN 무선 네트워크는 그림 1에 나와있고 여기서 SDN 컨트롤러는 SDN 사용 스위치 및 AP와 아웃밴드로 연결된다. MN은 처음에 그림 1(a)의 AP1과 연결되어 CN1과의 플로우를 시작한다. 이동성 컨트롤러의 Movement detection 모듈은 AP로부터 제어 메시지를 수신하여 AP와의 MN 접속을 탐지하고 Path setup 및 CASS

algorithm 모듈을 사용하여 경로를 설치하고 스플릿 포인트를 계산한다. 주어진 SDN 컨트롤러의 Topology Manager 모듈은 네트워크의 토폴로지 정보를 저장한다. 이 모듈을 확장하여 각 AP에 대한 후보 목록을 저장하고 CASS algorithm 모듈이 이를 검색하여 플로우에 대한 스플릿 포인트를 계산한다. 각 MN에서 생성된 각 플로우의 정보는 Information sever에 저장되며, 여기에는 플로우의 현재 경로와 선택된 스플릿 포인트가 포함된다.

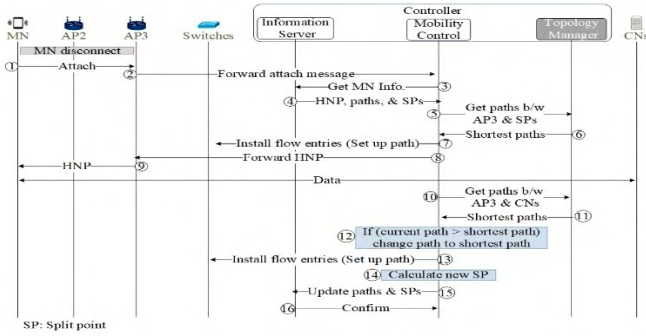
그림 1에서 볼 수 있듯이 MN 이동 경로에 따라 MN은 Movement detection 모듈에 의해 검출되고 Path setup 모듈을 트리거하는 AP2에 다음 부착한다. Path setup 모듈은 AP2와 선택된 스플릿 포인트 사이의 최단 경로를 가져오고 새 경로 항목을 설치한다. 핸드오버 이후에 스플릿 포인트를 통한 새로운 경로가 MN에서의 플로우를 위해 설치되면, Path update algorithm 모듈은 흡에 관하여 현재의 경로 (즉, 스플릿 포인트를 통해)를 최단 경로와 비교한다. 현재의 플로우 경로가 최단 경로가 아니라면 새로운 최단 경로가 설치되고 새로운 스플릿 포인트가 계산되고 트래픽은 그림 1(b)와 같이 새로운 경로로 전환된다. 따라서 제안된 CASS 이동성 솔루션은 스플릿 포인트를 통한 핸드오버 대기 시간을 줄이고 적은 기간 동안 sub-optimal 라우팅의 비용을 거의 들이지 않으면서 중단간 대기 시간을 최소화하기 위한 최적의 라우팅을 제공한다.

2.2 CASS 동작



(그림 2) MN 등록 및 플로우 초기화를 위한 시그널링 요청 플로우

그림 2에서 볼 수 있듯이 Mobility control은 Movement detection, CASS algorithm, Path setup 및 Path update algorithm 모듈로 구성된 SDN 컨트롤러 (1~2 단계)의 Mobility control로 전달된다. Mobility control은 Information server로 MN의 기존 엔트리를 확인하고 아무것도 찾지 못하면 Information server에 새로운 MN 엔트리를 생성한 후 HNP를 MN에 할당하고 전달한다 (3~8 단계). HNP를 할당한 후에 MN에서 플로우를 시작할 수 있다. AP2에 플로우 도착 시, 제 1 패킷은 SDN 컨트롤러에서 Mobility control로 전송된다 (9~10 단계). Topology manager와의 통신 후 가장 짧은 경로가 플로우를 위해 설치되고 CASS algorithm 모듈을 사용하여 스플릿 포인트가 계산된다 (11~15 단계). 그런 다음 플로우의 최단 경로 및 스플릿 포인트에 대한 정보가 Information server에서 업데이트된다.



(그림 3) MN 핸드오버를 위한 시그널링 요청 플로우

핸드오버와 관련된 제어 시그널링은 그림 3 에 볼 수 있으며, 여기서 MN 은 AP2 로부터 멀리 이동하여 AP3 와 접속하도록 결정한다. 이 MN 부착은 AP3 에 의해 SDN controller 로 전달된다 (1~2 단계). Mobility control 이 요청 시, Information server 는 MN 에서 활성화 인 모든 플로우의 현재 경로와 스플릿 포인트를 제공한다 (3~4 단계). 이 정보를 사용하여 AP3 와 스플릿 포인트 사이의 최단 경로를 얻은 다음 플로우 항목을 통해 설치한다 (5 ~7 단계). 플로우 트래픽은 동일한 HNP 가 AP3 을 통해 MN 으로 전달된 후에 이러한 새 경로를 통해 라우팅된다 (8~9 단계). 9 단계에서 핸드 오버가 완료되지만 Path update algorithm 모듈은 모든 플로우에 대해 최단 경로를 가져 와서 스플릿 포인트를 통과하여 새로 설치된 플로우 경로와 비교한다 (10~12 단계). 플로우의 새로운 경로가 홉의 측면에서 최단 경로보다 큰 경우 가장 짧은 경로만이 플로우의 새 경로로 설치된다 (13 단계). 경로 업데이트 프로세스에 관계없이 스플릿 포인트는 플로우의 새 경로에 대해 다시 계산된다 (14 단계). 시그널링 프로세스가 끝나면 플로우의 모든 새 경로와 스플릿 포인트가 Information server 에서 업데이트된다 (15~16 단계).

3. 성능 평가

본 논문은 SDN 에서 제안된 CASS 이동성 솔루션의 성능을 총 비용과 다른 솔루션과의 비교를 통해 평가한다. 다음 절에서는 제안된 솔루션의 총 비용을 모델링한다.

3.1 분석적 모델링

제안한 CASS 이동성 솔루션을 사용하는 MN 에 의해 발생된 총 비용 (C_T)는 총 시그널링 비용 (C_{SC})과 패킷 전달 비용 (C_{DC})의 합으로 정의된다.

● 시그널링 비용

우리는 SDN 네트워크가 각 AP 가 다른 서브넷을 가진 단일 도메인을 대표한다고 가정한다. 도메인은 총 y 개의 서브넷으로 구성된다. N 이 MN 에 의해 수행된 서브넷 교차의 수이면 시그널링 비용은 다음과 같이 주어진다: $C_{SC} = E(N) \cdot E(U)$. 여기서 $E(U)$ 는 MN 에 대한 예상 단위 시그널링 비용이다. 만약 F 가 MN 에서의 총 플로우 수이고, 핸드오버에서의 플로우 수 $\Gamma = \min\{F, \alpha F\}$ 인 경우, $\alpha \in \mathbb{R}_{(0,1]}$ 은 MN 에서의 활성화 플로우의 백분율이다. $E(U)$ 를 사용하면 다음과 같이 표현할 수 있다: $E(U) = \sum_{i=1}^{\Gamma} Q_i \cdot (H_i^s)$. 여기서 Q_i 는 MN 에서의 플로우 i 의 시그널링 비용이고, H_i^s 는 새

로운 AP $a \in A$ 와 스플릿 포인트 $\overline{sw}_i \in S$ 사이의 거리 함수 (홉 수)이다. 만약 t_f 와 t_s 는 각각 inter flow 시간 과 서브넷 체류시간인 경우 세션당 서브넷 교차 확률 (P)는 [7]과 같이 정의된다: $P = \Pr(t_f > t_s)$. Y 가 서브넷 교차 횟수를 나타내는 확률 변수라면 확률 밀도 함수는 다음과 같이 주어진다: $\Pr(Y = y) = P_y \cdot (1 - P)$. 위와 같은 확률 밀도 함수에서 서브넷 교차의 평균은 다음과 같이 주어진다: $E(Y) = \sum_{y=0}^{\infty} y \cdot P_y \cdot (1 - P)$. t_f 와 t_s 는 각각 λ_f 와 σ_s 의 지수 분포를 따른다. 그러면 [7]에 따라 $E(Y)$ 은 다음과 같이 계산된다: $E(Y) = \frac{\sigma_s}{\lambda_f}$. Session-to-Mobility Ratio (SMR)은 AP (σ_s)

(즉, $\frac{\lambda_f}{\sigma_s}$)에 대한 MN 부착주기에 대한 세션 (플로우) 도착률 (λ_f)의 비율로 정의된다. 이로부터 $E(Y)$ 은 $\frac{1}{SMR}$ 로 표현될 수 있고 결과적으로 시그널링 비용은 다음과 같이 정의된다: $C_{SC} = \frac{1}{SMR} \sum_{i=1}^{\Gamma} Q_i \cdot H_i^s$.

● 패킷 전달 비용

CASS 이동성 솔루션은 그림 1 과 같이 경로 최적화를 수행한다. 핸드오버 후에 플로우 (i)에 속하는 패킷들은 \overline{sw}_i 를 통해 경로 상에 있는 CN 에서 MN 으로 라우팅되고, 컨트롤러는 최적 경로가 아닌 것으로 가정한다. 컨트롤러는 CN 에서 MN 까지 새로운 최단 경로 (최적 경로)를 계산하고 이를 홉 수로 현재 경로와 비교한다. 현재 경로와 새로운 경로가 동일한 경우 컨트롤러는 현재 경로를 최적이라고 선언하고 더 이상의 작업을 수행하지 않는다. 그러나 새로운 경로가 더 작으면 컨트롤러는 플로우 항목을 새 경로에 설치하고 패킷을 경로에 보내며 i 에 대한 현재 경로를 선언한다. 결과적으로 CASS 이동성 솔루션에서 플로우당 패킷 전달 비용은 다음과 같이 표현될 수 있다: $R_i = \gamma_i \cdot G_i \cdot Z_i^n + (1 - \gamma_i) \cdot G_i \cdot Z_i^o$. 여기서 Z_i^n 와 Z_i^o 는 비최적 및 최적 경로인 경우 플로우에 대한 패킷 전달 비용을 각각 나타낸다. G_i 는 플로우 크기이고 γ_i 는 최적 경로가 설정되기 전에 비최적 경로를 통해 라우팅되는 플로우 i 에 속한 패킷의 비율이다. 만약 d_i 와 δ_i 가 플로우 i 의 데이터 전송률과 패킷 크기를 나타내는 경우 γ_i 를 다음과 같이 표현할 수 있다:

$$\gamma_i = \begin{cases} \frac{d_i \cdot X_i(H_i^o, \theta_s)}{\delta_i \cdot G_i}, & H_i^o < H_i^n, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

H_i^o 의 홉과 스위치 θ_s 에서의 처리 시간의 함수인 플로우에 대한 최적 경로를 설정하는 데 걸리는 시간이다. H_i^n 는 비최적 경로의 홉 수이다. 패킷 전달 비용에는 네트워크를 통한 전송 지연 및 네트워크 요소에서의 처리 지연이 포함된다. 전송 지연은 플로우 테이블 조회 및 대기열로 인해 발생한다. 그러므로 Z_i^n 과 Z_i^o 은 다음과 같이 계산될 수 있다: $Z_i^n = H_i^n(\beta + \theta_s) + \eta$, $Z_i^o = H_i^o(\beta + \theta_s) + \eta$. 여기서 β 와 η 는 유선 및 무선 링크를 통한 단위 전송 비용이다. 따라서 MN $E(D)$ 의 예상 단위 패킷 전달 비용은 다음과 같이 주어진다: $E(D) = \sum_{i=1}^{\Gamma} R_i$. 그리고 총 패킷 전달 비용 (C_{DC})은 다음과 같이 표현된다:

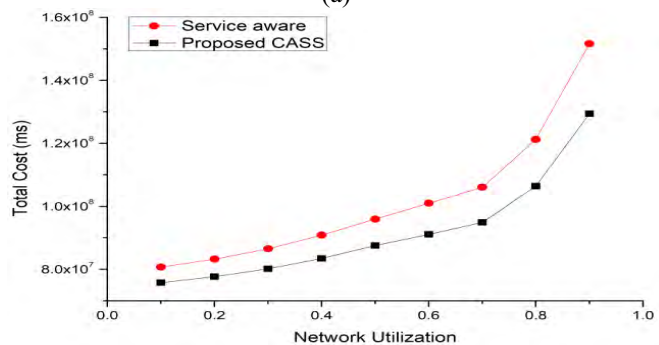
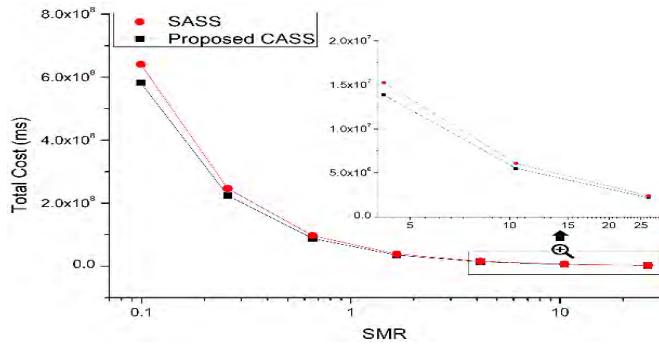
$$C_{DC} = \frac{1}{SMR} \sum_{i=1}^{\Gamma} R_i.$$

3.2 수치 해석

<표 1> 매개변수 값

Parameter	Value	Parameter	Value
d_i	100~1000 Kbps	β	0.0075ms
G_i	8,794~90,045 packets	η	15ms
δ_i	1024 bytes	θ_s	0.00228ms

우리는 제안된 CASS 와 SASS 이동성 솔루션 간의 비교 분석을 수행하기 위해 그림 1 에 표시된 SDN 을 사용한 무선 네트워크 테스트 토폴로지를 사용하였다. 테스트 토폴로지는 14 개의 스위치, 10 개의 AP 및 39 개의 링크로 되며 MN 은 AP1 으로 시작하여 AP10 까지 미리 결정된 경로로 이동한다. 표 1 은 이 분석에서 사용된 여러 매개변수의 값을 보여준다.



(그림 4) 수치 해석: (a) MN 핸드오버를 위한 시그널링 요청 플로우, (b) CASS 및 SASS 성능에 대한 네트워크 사용률의 영향

핸드오버 빈도는 SMR 의 다양한 값으로 분석 할 수 있는 이동성 솔루션의 성능 평가에서 중요한 요소이다. 그림 4(a)는 네트워크 활용도가 50 %이고 데이터 전송률이 100Kbps 인 경우 SMR 값을 높이기 위해 제안된 CASS 및 SASS 이동성 솔루션의 성능을 비교한다. CASS 는 높은 이동성 시나리오 (SMR >> 1) 와 낮은 이동성 시나리오에서 SASS 에 비해 총 비용을 9.6 % 줄인다. 이 결과는 핸드오버 및 패킷 전달 비용을 줄이는데 CASS 알고리즘의 역할을 의미하며 다양한 이동성 속도에서 민첩성을 강조한다.

모바일 트래픽은 앞으로 몇 년 안에 7 배 증가할 것으로 예상된다 [1]. 따라서 네트워크 사용이 이동성 솔루션에 미치는 영향을 분석하는 것이 중요하다.

그림 4(b)는 SMR 및 플로우 데이터 속도가 각각 1 및 100Kbps 일 때 CASS 가 다양한 네트워크 사용률이며, SASS 보다 평균 13 %의 총 비용 향상을 달성한다는 것을 보여준다. 이러한 개선은 핸드오버 시그널링이 완료된 후에 MN 과 CN 간에 최적의 경로가 항상 복원되는 CASS 의 기능에 기인한다. 이 결과는 도전적인 트래픽 요구 사항에서 제안된 솔루션의 견고함을 보여준다.

4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 다음 MN 핸드오버를 위한 후보 AP 에 기반하여 SDN 이동성 관리를 위한 스플릿 포인트 선택 솔루션을 제시한다. 이 외에도 제안된 솔루션은 SDN 이 제공하는 유연성을 활용하여 컨트롤 및 데이터 플레인을 분리하여 핸드오버 후 최적의 경로를 복원한다. 분석 모델을 기반으로 하는 수치 결과는 제안된 솔루션이 총 비용 측면에서 다른 스플릿 포인트 기반 이동성 솔루션보다 우수한 것으로 확인되었다. 실제 환경에서 CASS 이동성 솔루션의 결과를 얻기 위해 테스트 베드를 구축하기 위해 노력하고 있다. 앞으로 결정에서 다른 변수들을 고려하여 CASS 를 확장 할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 기초연구사업 (NRF-2010-0020210)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 Grand ICT 연구센터지원사업 (IITP-2018-2015-0-00742), 정보통신 기술 진흥센터 (2015-0-00567, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발)의 연구결과로 수행되었음

참고문헌

- [1] Cisco, "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 20162021 white paper," Cisco, Tech. Rep., 2017.
- [2] ONF, "Openflow switch specification," Open Networking Foundation, TS 007 V1.3.1, Sep 2012.
- [3] A. Bradai, A. Benslimane, and K. D. Singh, "Dynamic anchor points selection for mobility management in Software Defined Networks," Journal of Network and Computer Applications, vol. 57, Nov 2015.
- [4] P. Shrivastava, and K. Kataoka, "FastSplit: Fast and dynamic IP mobility management in SDN," 26th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC), Dec 2016.
- [5] H. Kim, S. Jeon, S. M. Raza, J. Lee, and H. Choo, "Service-Aware Split Point Selection for User-Centric Mobility Enhancement in SDN," 12th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM), Jan 2018.
- [6] R. El Hattachim and J. Erfanian, "5g white paper," Next Generation Mobile Network, Tech. Rep., February 2015.
- [7] S. Pack, M. Nam, T. Kwon, and Y. Choi, "An adaptive mobility anchor point selection scheme in Hierarchical Mobile IPv6 networks," Computer Communications, vol. 29, no. 16, Oct 2006.