

Multi-Connection 기반 Wi-Fi Handover를 통한 Wi-Fi 통신 QoE 보장 기법

강상위, 정경현, 권태경
서울대학교

swkang@mmlab.snu.ac.kr, ghjeong@mmlab.snu.ac.kr, tkkwon@snu.ac.kr

QoE Assurance Method for Wi-Fi Communication based on Multi-Connection Wi-Fi Handover

Sang Wi Kang, Gyeong Heon Jeong, Ted “Taekyoung” Kwon
Seoul National Univ.

요 약

현재 수많은 Wi-Fi AP가 운용되고 있고 사용자의 환경에 따라 원활한 통신이 불가능한 경우가 발생한다. 이러한 경우를 극복하는 방법의 하나로 Wi-Fi Handover를 적용할 수 있는데, 관리자의 통제 필요성, 통신 전환 오버헤드 증가, 적절한 연결 해제 불가, 보안성 약화 등의 한계점을 가지고 있다. 본 논문에서는 기존 Wi-Fi Handover의 한계점을 극복하고 원활한 Handover 수행이 가능한 Single-NIC Multi-Connection 기법을 제안한다. 본 기법은 Optimal Wi-Fi Selection Phase와 Wi-Fi Multi-Connection Management Phase로 이루어지며, Virtual Network Interface 기능과 MPTCP 동작 방식을 차용하여 구현할 수 있다.

I. 서론

현재 실내의 많은 Wi-Fi AP (Access Point)가 설치되어 운용되고 있다. 사용자는 수많은 AP 중 자신에게 가장 적합한 AP를 선택하여 연결해야 한다. 하지만 사용자의 움직임, 운용되는 AP 사이의 채널 중첩 및 신호 간섭 등 주변 상황에 따라 AP로의 연결이 원활하지 않을 수 있다. 또한, 정상적인 연결이 수립되더라도 낮은 품질의 통신이 빈번히 발생하여 원활한 통신을 불가능하게 하는 경우가 많다. Wi-Fi Handover는 이러한 문제를 해결하기 위한 기술 중 하나다.

Wi-Fi Handover는 서로 다른 Wi-Fi AP 통신 범위 사이를 이동하는 사용자가 상황에 따라 더 적절한 AP로 통신을 전환하여 통신 품질을 유지하는 기술이다. Wi-Fi Handover를 구현하기 위한 대표적인 방법으로 Mesh가 있다. Mesh는 복수의 AP를 하나의 네트워크로 묶음으로써 Handover 발생 시 별도의 새로운 네트워크 수립 없이 통신 유지를 가능하게 한다. 하지만 이러한 Mesh를 구성하기 위해서는 Mesh로 운용하고자 하는 대상 AP 전체가 동일한 관리자의 통제 아래에 있어야 하고 복수개의 AP를 하나로 묶는 등 별도의 설정이 필요하여 모든 Wi-Fi 네트워크에 Mesh를 구현하기에는 실질적인 어려움이 존재한다.

Wi-Fi Handover를 보다 더 일반적으로 구현할 수 있는 기술로 802.11k/r/v [1]이 있다. 802.11k는 주변 Wi-Fi AP 정보를 통해 통신 상황을 파악하여 Handover를 위한 적절한 AP를 찾게 하는 Radio Resource Measurement 기능을 제공한다. 802.11r은 Security Key Negotiation Protocol을 재정의하여 빠른 Handover를 가능하게 하는 Fast BSS (Basic Service Set) Transition 기능을 제공한다. 802.11v는 AP가 사용자에

게 더 나은 환경의 다른 AP로 전환할 수 있도록 메시지를 전송하는 BSS Transition Management Frames 기능을 제공한다. 802.11k/r/v는 Mesh 구현에 포함될 수 있다. 하지만 이러한 기술들은 네트워크 내 AP 간의 정보를 수집하고 처리하는 과정에서 발생하는 오버헤드, 통신 품질이 저하되더라도 적시에 연결을 해제하지 못하는 문제, AP 간 빠른 전환을 위해 생략한 보안 수립 과정에서 발생하는 보안성 약화 문제 등의 한계를 지니고 있다.

본 논문에서는 Wi-Fi AP와의 연결을 두 개 이상 유지하여 기존 Wi-Fi Handover의 한계를 극복하고 더 향상된 Wi-Fi 통신 QoE (Quality of Experience)를 제공할 수 있는 기법을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 Multi-Connection 기반 Wi-Fi Handover 기법은 Two-Phase로 이루어진다. 사용자 단말이 Wi-Fi 네트워크에 접속하고자 할 경우, 그림 1과 같이 Optimal Wi-Fi Selection Phase와 Wi-Fi Multi-Connection Management Phase를 거친다.

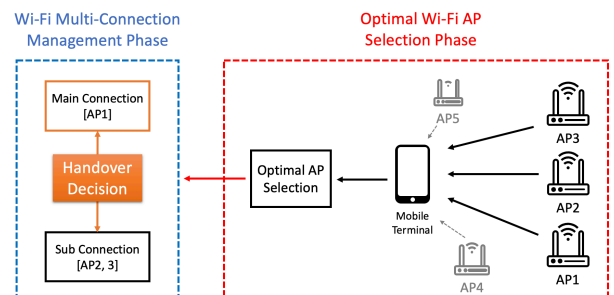


그림 1 Multi-Connection Wi-Fi Handover 흐름

Optimal Wi-Fi AP Selection Phase에서는 사용자 단말을 기준으로 최적의 연결 상태를 제공할 것으로 예상되는 Wi-Fi AP를 분류하고 선택한다. 그림 1에서는 연결 상태가 최적으로 예상되는 3개의 AP인 AP1/2/3가 선택되었다. 최적 연결 상태를 결정하는 기준에는 RSSI (Received Signal Strength Indicator), 통신 품질 측정을 위한 Test Packet 송수신 상태 등이 사용될 수 있다.

Wi-Fi Multi-Connection Management Phase에서는 Optimal Wi-Fi AP Selection Phase에서 선택된 복수 개의 AP를 통신 품질이 가장 좋은 Main Connection과 Sub Connection으로 분류하고 해당 AP와의 연결을 유지/관리한다. 그리고 Main Connection의 통신 품질이 저하되면 Sub Connection으로 즉시 Handover 하여 Wi-Fi 연결의 QoE를 보장하는 기능을 수행한다.

본 논문에서 제안하는 Multi-Connection 기반 Wi-Fi Handover 기법 구현을 위해 하나의 NIC (Network Interface Controller)로 복수 개의 Network Connection을 생성하고 각각 다른 IP 주소를 할당하여 유지/관리할 수 있어야 한다. 이를 위해 802.11 Level의 기능을 수정해야 하므로 Wi-Fi AP 및 사용자 단말의 Kernel 수정이 필요하다.

Single-NIC Multi-Connection 기능은 Linux Kernel에 구현된 vif (Virtual Network Interface) [2]를 통해 구현할 수 있다. [3]에 따르면 vif를 통해 단일 단말기의 단일 NIC에서 복수 개의 Network Connection 설정을 유지하고 관리할 수 있다.

복수 개의 IP 주소 사이에서 Handover가 발생하는 경우, 사용자 단말에서 실행되던 애플리케이션은 Handover 이전의 AP와 송수신하던 데이터를 Handover 이후의 AP와 적절히 이어서 수행해야 한다. 이 과정에서 각 IP 주소를 통해 송수신되어야 하는 데이터를 적절히 분할/재결합하는 과정이 필요하다. 이를 구현하기 위해 MPTCP (Multipath TCP)의 구현 방법을 사용할 수 있을 것이다. [4]에 따르면 MPTCP는 복수 개의 IP 주소를 사용하여 Subflow를 생성하고, 각 Subflow는 하나의 TCP Session으로 동작하여 데이터를 Multipath로 송수신함으로써 통신 성능을 향상시킨다. MPTCP는 기본적으로 TCP의 확장이므로 본 논문의 제안에 적용하기 위해서는 MPTCP의 구현을 802.11 Level로 수정하는 과정이 필요하다.

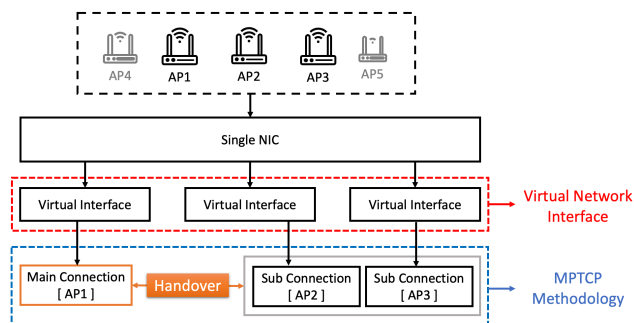


그림 2 Multi-Connection Wi-Fi Handover Implementation Design

Single-NIC Multi-Connection과 연속된 통신 유지의 기술적 구현은 그림 2와 같이 구성할 수 있다. 사용자 단말은 하나의 NIC를 가지고 있으며 사용자 단말의 Kernel은 vif를 통해 하나의 NIC에 복수 개의 Virtual Interface를 생성한다. 각각의 Virtual Interface는 서로 다른 IP 주소를 가질 수 있고, 복수 개의 Wi-Fi AP에 각각 연결하여 IP 주소를 할당받는다. Main Connection AP

를 통해서만 실질적인 통신이 진행되고, Sub Connection AP에서는 Handover를 위한 연결 정보만 유지한다.

끊김이 없이 자연스러운 Handover 수행을 위해 사용자 단말과 각 Wi-Fi AP는 MPTCP의 구현을 적용하여 Handover 이후에도 적절한 데이터를 송수신할 수 있도록 송수신할 데이터의 순서를 계산한다. 이후 Handover 발생 시, 미리 계산되어 있던 데이터 송수신 순서를 참고하여 통신을 재개, 통신 QoE를 보장한다.

본 제안에서는 Single-NIC Multi-Connection으로 통신을 수행하기 때문에 Single-NIC Single-Connection과 비교하여 성능저하가 일어날 수 있다. 따라서 실질적인 통신을 수행하는 Main Connection 이외의 Sub Connection에서는 Handover를 위한 최소한의 연결 정보 유지와 데이터 송수신 순서 계산만을 수행하여 성능저하 폭을 최소화해야 한다.

III. 결론

본 논문에서는 기존 Wi-Fi Handover의 한계로 발생하는 통신 QoE 보장 문제를 해결하기 위해 Single-NIC Multi-Connection 기반의 Wi-Fi Handover 기법을 제안하였다. 최적의 Wi-Fi AP를 선택하여 Main/Sub Connection으로 분류, 즉각적인 Handover를 가능하게 하는 구조를 설계하였고 이에 필요한 기술적 구현을 제시하였다. 기존의 Wi-Fi Handover가 동일한 관리자의 관리 범위에 있고 사전 설정이 필요하다는 점 등의 한계점을 가진 것에 반해, 본 기법은 사전 설정 없이 모든 AP와 사용자 단말에 적용되어 Wi-Fi Handover를 가능하게 한다는 강점이 있다.

향후 본 논문에서 제안한 설계의 시뮬레이션을 진행하여 통신 QoE 개선이 이루어질 수 있음을 보이고, 실제 구현을 진행하여 해당 제안에 대한 실질적인 효과를 확인할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00220985).

참고 문헌

- [1] IEEE Computer Society, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE std 802.11-2012, 2012.
- [2] "mac80211 Multiple Virtual Interface (vif) Support," Linux Wireless, 2015, (<https://wireless.wiki.kernel.org/en/users/documentation/iw/vif>).
- [3] Croitoru A, Niculescu D, Raiciu C, "Towards Wifi Mobility without Fast Handover," USENIX Association, In Proceedings of the 12th USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation (NSDI'15), 219- 234, 2015.
- [4] Ford A, Raiciu C, Handley M. J, Bonaventure O, Paasch C, "TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses," RFC 8684, 2020.