

## 효율적인 핸드오버를 위한 모바일 P2P 스트리밍 구조

김상진\*, 김은삼\*, 황호영\*\*

### A Mobile P2P Streaming Architecture for Efficient Handover

Sangjin Kim\*, Eunsam Kim\*, Hoyoung Hwang\*\*

#### 요약

본 논문에서는 유무선 통합 P2P 네트워크 오버레이에서 모바일 장치가 핸드오버가 발생하더라도 재생 끊김을 최소화할 수 있는 효율적인 모바일 P2P 스트리밍 구조를 제안한다. 이 구조에서는 모바일 피어가 핸드오버 전후에 데이터 수신 속도를 최대화하기 위해 푸시 방식으로 데이터를 전송받는다. 또한 핸드오버 예측과 이웃 피어 재선정을 통해 일정 수준 이상의 버퍼링이 유지되도록 한다. 마지막으로 시뮬레이션 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 구조가 기존 메시 구조에 비해 핸드오버 발생 시 성능을 크게 향상시킨다는 것을 보여 준다.

▶ Keyword : 모바일 IPTV, P2P 스트리밍, 핸드오버 기법, 푸시 전송 방식

#### Abstract

In this paper, we propose an efficient mobile P2P streaming architecture to minimize playback jitters in P2P overlay networks based on wired/wireless networks even though mobile peers experience the handover. In this architecture, mobile peers receive data in a push manner to maximize the data receiving speed before and after the handover. In addition, they can maintain the buffering above a specific level through handover prediction and re-selection of neighbor peers. By simulation experiments, we show that our proposed architecture can improve the performance significantly when the handover occurs compared to the existing mesh structure.

▶ Keyword : Mobile IPTV, P2P streaming, Handover scheme, Push transmission method

• 제1저자 : 김상진    교신저자 : 김은삼

• 투고일 : 2011. 11. 17    심사일 : 2011. 12. 04, 게재확정일 : 2011. 12. 10

\* 홍익대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Hongik University)

\*\* 한성대학교 멀티미디어공학과(Dept. of Multimedia Engineering, Hansung University)

※ 이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(No. 2011-0005398) 및 한성대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음.

## I. 서 론

최근 컴퓨터 네트워크의 발전으로 방송서비스와 통신서비스를 융합한 IPTV가 등장하였다. 현재 IPTV 서비스를 제공하기 위해서는 인터넷 환경에서 CDN (Content Distribution Network) 구조를 사용하거나 IPTV 사업자 전용 네트워크 환경에서 IP 멀티캐스트 기법을 사용하고 있다. 하지만 대규모의 사용자에게 동시에 스트리밍 서비스를 지원하기 위해서는 CDN 구조에서 수많은 프록시 서버 설치해야 하고 VOD와 같은 개인화된 IPTV 서비스로 인한 네트워크 과부하 문제가 발생할 수 있다. 따라서 확장성이 높고 낮은 비용으로 구현할 수 있는 P2P(peer-to-peer) 기반의 IPTV 시스템이 대안으로 주목받고 있다[1,2,3,4,5,6].

한편 무선 네트워크의 발전과 스마트폰과 같은 성능이 우수한 모바일 장치의 등장으로 모바일 장치에서 IPTV 서비스를 제공받으려는 사용자의 요구가 꾸준히 증가하고 있다. 모바일 IPTV 서비스는 사용자가 이동 중에도 끊김 없이 IPTV를 시청할 수 있도록 이동성 및 휴대성을 제공할 수 있는 장점이 있다. 하지만 무선 네트워크에서는 모바일 장치가 이동할 때 발생하는 핸드오버로 인해 지연 시간 및 데이터의 손실이 발생하여 서비스 품질을 저하시킬 수 있다. 따라서 모바일 장치의 이동성을 지원하기 위해서는 효율적인 핸드오버(handover) 기법을 제공하는 것이 필수적이다.

이러한 핸드오버 지연 시간을 줄이기 위해 각 프로토콜 계층의 특성에 따라 데이터 링크[7], 네트워크[8], 전송 계층[9] 등에서 여러 기법들이 제안되었다. 하지만 전송 계층 이하에서 제공되는 핸드오버 기법들은 핸드오버 시 네트워크 단절 시간 동안 데이터 손실 문제가 필연적으로 발생한다. 따라서 비디오 스트리밍을 위한 QoS를 보장하기 위해서는 핸드오버 지연 시간에 해당하는 일정크기 이상의 데이터가 핸드오버 이전 혹은 이후에 신속히 확보되어야 한다. 이를 위해 전송 계층 이하에서의 핸드오버 기법과 별개로 응용 계층에서의 새로운 핸드오버 기법의 개발이 필수적이며 현재까지 몇 가지 응용 계층 핸드오버 기법이 제안되었다 [10,11]. 하지만 기존 응용 계층 핸드오버 기법들은 모두 낮은 확장성과 높은 설치비용을 요구하는 CDN 구조를 기반으로 개발되었고 P2P 스트리밍 구조를 전혀 고려하지 않았다.

따라서 본 논문에서는 기존 유선 네트워크 기반에 무선 네트워크 환경을 추가한 환경에서 모바일 피어의 제한된 자원과 무선 네트워크의 불안정한 특성을 고려하여 모바일 장치가 핸드오버가 발생하더라도 재생 끊김을 방지할 수 있는 P2P 스트리밍 구조를 제안한다. 이 구조에서는 모바일 피어

가 핸드오버 전후에 이웃 피어들로부터 푸시 방식으로 데이터를 빠른 속도로 전송 받아서 재생이 끊김을 방지한다. 또한 AP의 신호 세기를 측정하여 미리 핸드오버를 예측함으로써 핸드오버 이전에 버퍼링 수준을 최대한 높인다. 마지막으로 핸드오버를 위해 이웃 피어들로부터 일정 수준 이상의 버퍼링된 데이터를 확보할 수 있도록 모바일 피어가 필요한 데이터를 가장 많이 저장하고 있는 피어들을 이웃 피어로 재선정한다.

시뮬레이션 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 모바일 P2P 스트리밍 구조가 핸드오버 발생 시 기존의 메시 기반의 구조에 비해 서비스 품질 저하를 효과적으로 극복할 수 있는 것을 보여 준다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 모바일 IPTV 및 핸드오버에 관련된 기존 연구를 기술한다. 3장에서는 본 논문이 제안하는 효율적인 핸드오버를 위한 모바일 P2P 스트리밍 구조에 대해 기술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 구조와 일반 메시 구조와의 성능 차이를 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 서술한다.

## II. 관련연구

최근 무선 네트워크의 대역폭 증가와 스마트폰 등의 고성능 모바일 장치의 등장으로 모바일 IPTV에 관한 연구가 시작되는 단계에 있다[12].

현재 CDN 구조의 IPTV 스트리밍 구조는 프록시 서버 등의 높은 설치 비용이 발생한다. 이러한 확장성 문제로 최근 P2P 스트리밍 구조가 주목받고 있다. P2P 스트리밍 구조는 크게 트리(tree) 기반과 메시(mesh) 기반으로 발전되어 왔다. 트리 기반의 구조에서는 네트워크상에 가상의 오버레이 트리 구조를 생성한 후 루트가 자식 노드들에게 푸시 방식으로 데이터를 전송한다[2,3]. 일단 트리가 생성되면 전송 지연 시간이 짧기 때문에 효과적이지만 각 피어가 서비스에 가입하거나 탈퇴할 때마다 트리를 새롭게 구성해야 하는 오버헤드가 존재한다. 메시 기반의 구조에서는 트리와 같은 구조를 구성하지 않고 각자 저장하고 있는 데이터에 대한 정보인 버퍼맵(buffer map)을 이웃 피어들과 교환함으로써 필요한 데이터를 파악해서 풀 방식으로 전송을 요청한다 [4,5]. 메시 기반 구조는 트리기반 구조에 비해 피어들의 접속 및 이탈로 인한 영향이 적다는 점과 참여한 피어들이 많을수록 성능이 더욱 향상된다는 장점이 있다. 반면 버퍼맵을 통해 데이터를 일정부분까지 전송 받은 후 재생할 수 있기 때문에 지연 시간이 커지는 단점이 있다. 하지만 이러한 연

구들은 유선 네트워크 상의 고정 피어들을 대상으로 오버레이 구조를 구성한 기법들로서 무선 네트워크 환경에서의 모바일 피어에 대해서는 전혀 고려하지 못했다.

한편 무선 네트워크 환경에서 모바일 장치의 이동성을 지원하기 위한 핸드오버 기법들이 각 프로토콜 계층별로 제안되었다. 데이터 링크 계층에서는 위에서 언급했듯이 모바일 장치가 RSSI를 이용하여 신호 강도에 따라 AP 사이의 신속한 핸드오버를 수행하는데 중점을 두고 있다[7]. 네트워크 계층에서는 현재 서브 넷에서 다른 서브 넷으로 이동할 때 이동 방향을 예측하여 미리 CoA(Care of Address)를 미리 받아서 핸드오버의 시간을 최대한 단축하는데 초점을 맞추고 있다[8]. 전송 계층에서는 TCP, UDP 프로토콜에 이동성을 추가하거나 mSCTP나 mDCCP같은 새로운 프로토콜들을 이용하여 핸드오버 지연 시간을 감소시켰다[9]. 하지만 이와 같은 전송 계층 이하에서의 핸드오버 기법은 핸드오버 시 네트워크 단절 시간 동안 전송되는 데이터 손실 문제가 필연적으로 발생한다. 따라서 전송 계층 이하에서의 핸드오버 기법과 별개로 응용 계층에서의 새로운 핸드오버 기법의 개발되었다[10,11]. 하지만 제안된 응용 계층의 핸드오버 기법들은 CDN 구조를 기반으로 개발되었기 때문에 P2P 스트리밍 구조를 전혀 고려하지 않았다.

또한 스트리밍 구조와는 별도로 모바일 장치의 핸드오버 시 성능 향상을 위해 핸드오버를 예측하는 기법들이 제안되었다. 먼저 각 AP의 RSSI 값을 기준으로 현재 AP보다 높은 값을 가진 다른 AP로 핸드오버를 예측하는 기법이 제안되었다[13]. 또한 모바일 장치의 현재 위치, 방향, 속도 등을 이용해서 이후 이동 지역을 예측하여 핸드오버 대상 AP를 선정하는 기법도 제안되었다[14]. 모바일 장치의 과거 이동 경로 데이터를 이용해서 이동 확률이 높은 AP로 핸드오버를 예측하는 기법도 연구되었다[15].

### III. 효율적 핸드오버를 위한 모바일 P2P 스트리밍 구조

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 효율적인 핸드오버를 위한 모바일 P2P 스트리밍의 구조에 대해 자세하게 기술한다.

#### 1. 효율적인 핸드오버를 위한 고려사항

기존의 P2P 스트리밍 시스템에서는 모바일 피어의 핸드오버에 대한 고려가 전혀 없었다. 이 장에서는 모바일 P2P 스트리밍 구조에서 핸드오버를 효율적으로 지원하기 위해

고려해야 할 점에 대해 기술한다.

##### 1.1 P2P 스트리밍 데이터 전송 방식

P2P 스트리밍을 위한 메시 기반의 풀 전송 방식은 각 피어가 이웃 피어들과 버퍼맵 교환을 통해서 필요한 데이터를 파악해서 전송을 요청한다. 이 방식은 버퍼맵을 통해 데이터를 어느 정도 전송 받은 후에 재생할 수 있기 때문에 지연 시간이 커진다. 반면 트리 기반의 푸시 전송 방식은 피어의 상태 메시지나 전송을 위한 제어 메시지가 적고 일단 트리가 생성되면 별도의 요청 없이 데이터를 계속 전송할 수 있기 때문에 단위시간당 많은 양의 데이터를 전송할 수 있다.

일반적으로 모바일 피어는 불안정한 무선 네트워크 환경으로 인해 데이터 전송 시 많은 손실이 발생한다. 모바일 피어가 안정적으로 데이터를 수신하기 위해서는 데이터를 전송 받으면서 확인이 가능한 풀 방식이 상대적으로 더 적합하다. 하지만 풀 방식은 원하는 데이터 단위로 항상 이웃 피어에게 요청한 후에 데이터를 전송받을 수 있기 때문에 푸시 방식에 비하여 데이터 수신 속도가 느리다. 특히 모바일 피어가 핸드오버가 발생하는 동안 데이터를 전혀 수신할 수 없기 때문에 핸드오버 전후에 데이터를 집중적으로 전송받기 위해서 푸시 방식이 더 유리하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 모바일 P2P 스트리밍 구조에서는 정상 상태에서는 풀 방식을 사용하지만 핸드오버 발생 전후에는 효율적인 핸드오버 동작을 위해 푸시 방식을 사용한다.

##### 1.2 핸드오버 예측 기법

각 피어는 핸드오버가 발생하는 동안 데이터를 전송받을 수 없지만 재생은 계속 진행되므로 재생에 필요한 만큼 버퍼링된 데이터가 소진된다. 따라서 핸드오버가 발생한 후 짧은 시간 내에 필요한 데이터를 전송받지 못하면 재생 끊김이 발생할 수 있다. 따라서 핸드오버가 발생하기 전에 핸드오버를 예측해서 미리 더 많은 데이터를 전송받는 것이 필요하다.

본 논문에서는 가장 일반적인 RSSI 값을 통한 예측 기법을 도입한다. 즉 모바일 피어가 RSSI를 이용하여 현재 AP의 신호 강도보다 다른 지역의 AP의 신호 강도가 높아질 때 핸드오버가 발생할 것으로 판단한다. 이런 기준에 의해 일단 핸드오버가 예측되면 이웃 피어들로부터 빠른 속도로 데이터를 전송받기 위해 푸시 방식으로 전환한다.

##### 1.3 버퍼 크기 조절 정책

모바일 피어는 상대적으로 메모리 자원이 작기 때문에 항상 많은 용량을 스트리밍을 위한 버퍼로 사용하기 힘들다. 하지만 핸드오버 전후에는 핸드오버가 발생하는 동안 소비되는 데이터 양을 보충하기 위해 일시적으로 큰 버퍼 용량이

필요하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 구조에서는 모바일 피어가 최대한 많은 양의 데이터를 확보하여 핸드오버로 인한 재생 끊김 현상을 방지하기 위해 핸드오버 예측부터 핸드오버 동작이 완료되는 시점까지 버퍼의 크기를 증가하여 유지한다.

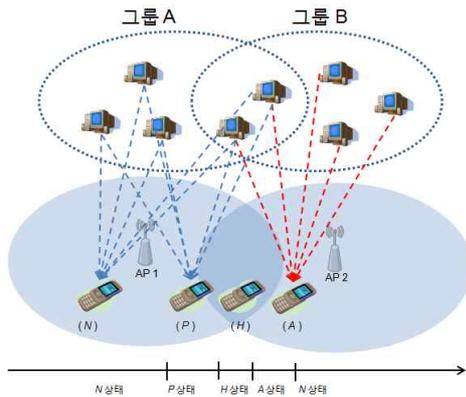


그림 1. 핸드오버 전후 상태에 따른 동작  
Fig. 1. Operations depending on states before and after handover

## 2. 효율적인 핸드오버 기법

본 논문에서 제안하는 모바일 P2P 시스템은 유선 네트워크상의 일반 피어로 구성된 기존의 메시 기반의 P2P 오버레이 네트워크 구조에 무선 네트워크와 모바일 피어를 추가한 유무선 통합 오버레이 네트워크를 기반으로 수행된다. 모바일 피어의 제한된 자원과 무선 네트워크의 불안정한 특성을 고려하여 모바일 피어가 핸드오버가 발생할 때 재생 끊김없이 동작할 수 있는 P2P 스트리밍 구조를 제안한다.

이 구조에서는 RSSI 신호의 세기에 따라 핸드오버를 미리 예측하고 핸드오버 전후에 데이터 양을 최대한 빠른 속도로 확보하기 위해 푸시 방식을 사용한다.

### 2.1 핸드오버를 위한 모바일 피어의 동작

본 논문에서 제안하는 P2P 스트리밍 구조에서는 <그림 1>에서와 같이 핸드오버 전후의 모바일 피어 상태를 N, P, H, A 등의 네 가지로 구분하고 각 상태에 따라 적절한 동작을 수행한다. <표 1>은 이 절에서 설명할 모바일 피어가 상태에 따라 수행되는 동작에 대한 전체 알고리즘을 기술한 것이다. 이 알고리즘에서는 모바일 피어가 N 상태(N\_STATE), P 상태(P\_STATE), H 상태(H\_STATE) 및 A 상태(A\_STATE)에 따라 도착한 이벤트들을 처리하는 형식으로 기술되어 있다. 이벤트의 종류에는 각 상태가 시작되는 시점에서 발생하는 이벤트들(START\_N\_STATE, START\_P\_STATE, START\_A\_STATE)과 상태 전환을 나타내는 이벤트들

(N\_TO\_P\_TRANSITION, P\_TO\_H\_TRANSITION, P\_TO\_N\_TRANSITION, H\_TO\_A\_TRANSITION, A\_TO\_N\_TRANSITION, A\_TO\_H\_TRANSITION)이 있다.

표 1. 모바일 피어 상태에 따른 동작 알고리즘  
Table 1. Mobile peers' operation algorithm depending on their states

```

while(처리할 이벤트 존재){
    event = getEvent(); // 도착한 이벤트를 가져옴
    switch( currentState ){ // 현재 상태에 따라 수행내용 결정
        case N_STATE :
            // N 상태로 진입 시
            if ( event == START_N_STATE ){
                이웃피어와의 전송방식을 풀로 전환;
                이웃피어 재선장;
                버퍼 크기 정상화;
            }
            // RSSI값이 핸드오버 예측 임계치에 도달
            else if ( event == N_TO_P_TRANSITION )
                currentState = P_STATE;
            break;
        case P_STATE:
            // P 상태로 진입 시
            if ( event == START_P_STATE ){
                이웃피어와의 전송방식을 푸시로 전환;
                버퍼 크기 증가;
            }
            // 핸드오버 발생
            else if ( event == P_TO_H_TRANSITION )
                currentState = H_STATE;
            // RSSI값이 핸드오버 예측 임계치 이하로 감소
            else if ( event == P_TO_N_TRANSITION )
                currentState = N_STATE;
            break;
        case H_STATE :
            // 새로운 AP와 연결됨
            if( event == H_TO_A_TRANSITION )
                currentState = A_STATE;
            break;
        case A_STATE :
            // A 상태로 진입 시
            if ( event == START_A_STATE ){
                이웃피어와의 전송 방식을 푸시로 전환;
            }
            // 버퍼링 양이 안정화 되고 RSSI값이 핸드오버
            // 예측 임계치 이하로 감소
            else if ( event == A_TO_N_TRANSITION ){
                이웃피어 재선장;
                currentState = N_STATE;
            }
            // 핸드오버 재발생
            else if ( event == A_TO_H_TRANSITION ){
                currentState = H_STATE;
            }
            break;
    }
}
    
```

1) N 상태 (Normal)

N 상태는 모바일 피어에서 측정된 RSSI 값이 핸드오버 예측 임계값, 즉 다른 AP의 신호의 세기가 현재 AP의 신호의 세기보다 높아지는 지점에 도달하지 않은 단계이다. 이 상태에서 모바일 피어는 풀 방식으로 이웃 피어들에게 데이터를 전송받고 버퍼의 크기는 재생을 위한 최소 수준을 유지하여 추가적인 자원을 소모하지 않는다.

2) P 상태 (Prediction)

P 상태는 모바일 피어가 핸드오버 예측 임계값에 도달했을 때 진입하게 된다. 이 상태는 핸드오버가 발생할 확률이 높기 때문에 모바일 피어는 버퍼 크기를 증가시키고 데이터를 푸시 방식으로 전환하여 핸드오버가 발생하기 이전까지 최대한 많은 양의 데이터를 확보한다. 만약 핸드오버가 발생하지 않고 N 상태로 전이되면 모바일 피어는 증가시킨 메모리 자원을 반환하고 데이터 전송 방식을 풀 방식으로 전환한다.

3) H 상태 (Handover)

H 상태에서는 실제 핸드오버가 발생해서 현재 AP에서 다른 AP로 전환하는 단계이다. 이 상태에서는 모바일 피어가 물리적인 데이터 수신이 불가능한 반면 재생을 위해 데이터를 소비해야 하므로 버퍼링된 데이터의 양이 감소하게 된다.

4) A 상태 (After-handover)

A 상태는 모바일 피어에서 핸드오버 발생한 후 새로운 AP와 연결되어 데이터를 전송받는 단계이다. 이 단계에서 모바일 피어는 핸드오버 발생으로 줄어든 버퍼링된 데이터 양을 빠르게 확보하기 위해 푸시 방식으로 데이터를 전송받는다. 또한, 핸드오버로 인해 AP가 변경되었기 때문에 이웃 피어를 재선정하여 안정적인 데이터 수신 환경을 만든다. 이후 버퍼링된 데이터 양이 가입 후 재생을 시작하는 시점 수준이 되고 측정된 RSSI 값이 핸드오버 예측 임계값 이하가 되면 N 상태로 전환된다.

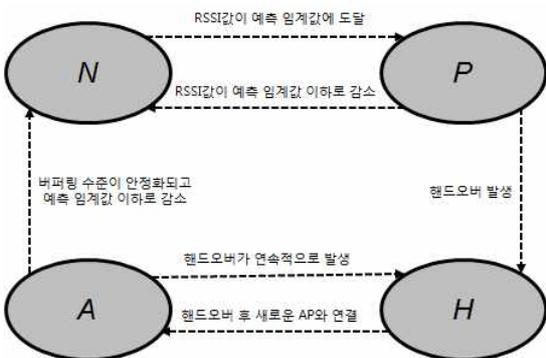


그림 2 핸드오버 동작을 위한 상태 전이 다이어그램  
Fig. 2. State transition diagram for handover operations

<그림 2>는 효율적인 핸드오버 동작을 위해 모바일 피어의 네 가지 상태 간의 전이 관계를 나타내는 다이어그램이다. 먼저 현재 AP와의 신호 세기가 안정적인 N 상태에서 모바일 피어가 측정된 RSSI 값이 핸드오버 예측 임계값에 도달하게 되면 P 상태로 전이하게 된다. 다른 AP의 신호 세기가 증가해서 실제 핸드오버가 발생하면 H 상태로 전이된다. 만약 핸드오버 예측 임계값보다 낮아지면 핸드오버가 발생하지 않는 것으로 판단하여 다시 N 상태로 전이된다. 핸드오버 후에 새로운 AP에 연결되면 A 상태로 전이된다. A 상태는 핸드오버 동작 중에 재생을 위해 소비된 버퍼링을 확보하기 위한 단계이므로 버퍼링 수준이 안정적이고 RSSI 값이 예측 임계값 이하로 감소하면 N 상태로 전이된다. 만약 A 상태에서 모바일 피어의 이동 방향이 바뀌어 연속적으로 핸드오버가 발생하는 경우에는 H 상태로 다시 전이된다.

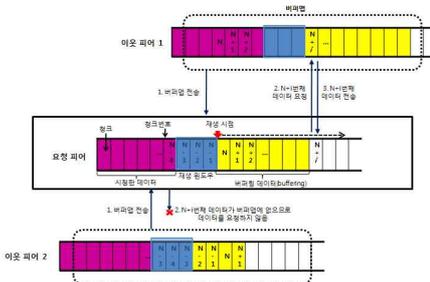


그림 3. P2P 메시 구조에서 버퍼맵을 이용한 데이터 교환  
Fig. 3. Data exchange using buffer maps in P2P mesh structures.

2.2 이웃 피어 선정 기법

이 절에서는 <표 1>에서 기술했듯이 모바일 피어가 핸드오버 이후 A 상태에서 N 상태로 전환할 때 이웃 피어를 재선정하는 기법에 대해 설명한다.

메시 기반의 구조에서는 각 피어는 일정 수의 이웃 피어들과 연결되며 버퍼맵 교환을 통해 필요한 데이터를 어느 피어가 저장하고 있는지 파악한 후 청크 단위로 데이터를 요청하여 전송받는다.

하지만 각 피어에 연결된 모든 이웃 피어가 필요한 데이터를 항상 저장하고 있는 것은 아니다. 예를 들어 <그림 3>에서 요청 피어는 N+i-1번째 청크까지 버퍼링을 하고 있기 때문에 N+i번째 이후의 청크가 필요하다. 이때 '이웃 피어1'은 요청 피어가 필요한 데이터인 N+i번째 이후의 청크를 저장하고 있지만 '이웃 피어2'는 필요한 데이터를 저장하고 있지 않다. 따라서 이웃 피어들 중에서 요청 피어에게 필요한 데이터를 저장하고 있는 피어들이 많을수록 요청 피어는 재생에 필요한 데이터를 최대한 빠른 속도로 확보할 수

있다. 이와 같이 메시 구조에서 각 피어가 핸드오버 등이 발생하더라도 끊김 없이 재생하려면 필요한 데이터를 확보하고 있는 피어를 이웃 피어로 선정하는 것이 중요하다.

모바일 피어는 유선 네트워크에 연결된 일반 피어와는 달리 수신 신호가 안정적이지 않고 손실률 및 지연 시간이 큰 무선 네트워크 환경에서 동작한다. 더구나 모바일 피어가 이동하는 경우 핸드오버 발생 시 일정 시간 동안 데이터를 받을 수 없는 구간이 발생한다. 따라서 핸드오버 발생 후에 빠르게 데이터를 전송받을 수 없다면 재생이 끊기는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 무선 네트워크 특성을 고려하여 일반 피어와 달리 모바일 피어에게는 필요한 데이터가 많이 확보된 이웃 피어를 선정해 줌으로써 핸드오버가 발생하더라도 재생 끊김을 최소화할 수 있다.

2.2.1 이웃 피어 선정 기준 및 시점

모바일 피어가 이웃 피어를 선정하는 시점은 크게 두 경우로 나눌 수 있다. 각 피어가 최초로 채널에 가입하는 시점과 핸드오버를 위해 재선정이 필요한 시점이다. 재선정 시점은 <표 1>의 모바일 피어 상태에 따른 동작 알고리즘에서 보듯이 A 상태에서 버퍼링된 데이터 양이 회복되고 RSSI 값이 핸드오버 예측 임계값 이하가 되어 N 상태로 전환되는 시점을 의미한다. 재선정 시점에는 트래커 서버는 모바일 피어가 재생에 충분한 데이터가 버퍼링될 수 있도록 필요한 데이터를 가장 많이 저장하고 있는 피어를 이웃 피어로 선정해서 알려준다. 즉, 현재 재생 시점부터 이후의 시점까지의 데이터를 가장 많이 저장하고 있는 피어를 선정하게 된다. 이를 위해 트래커 서버는 각 모바일 피어와 그 이웃 피어들의 버퍼링 상태를 주기적으로 확인한다.

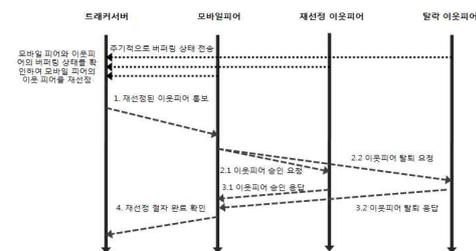


그림 4. 이웃 피어 재선정 절차  
Fig. 4. Procedure of re-selecting neighbor peers

2.2.2 이웃 피어 재선정 절차

<그림 4>는 모바일 피어의 이웃 피어 재선정 절차를 나타내고 있다. 일반적으로 트래커 서버는 메시 구조에서 피어의 가입 및 탈퇴와 네트워크 오버레이를 관리하는 역할을 한다. 본 논문에서는 트래커 서버가 각 피어의 버퍼링 상태와 재생

시점 등의 스트리밍과 관련한 정보를 관리하는 역할도 추가적으로 수행한다.

<그림 4>에서와 같이 모든 피어는 자신의 버퍼링 상태를 트래커 서버에 전송한다. 일반적으로 P2P 구조에서 각 피어는 자신의 가입상태를 알리기 위하여 라이브 메시지를 주기적으로 트래커 서버에 전송하여 자신의 가입상태를 알린다. 본 구조에서는 각 피어가 버퍼링 상태정보와 재생시점 정보를 주기적으로 전송할 때 추가적인 네트워크 트래픽을 발생시키는 것을 방지하기 위해 라이브 메시지에 자신의 버퍼링 상태 정보와 재생 시점 정보를 포함시킨 확장된 라이브 메시지를 트래커 서버에 전송한다.

트래커 서버는 확장된 라이브 메시지를 통해 모바일 피어와 그 이웃 피어의 버퍼링 상태를 확인한다. 만일 이웃 피어 들로부터 일정량 이상의 버퍼링이 확보될 수 없다면 이웃 피어를 재선정하여 모바일 피어에게 통보한다. 트래커 서버로부터 이웃 피어 재선정을 통보 받은 모바일 피어는 기존 이웃 피어 리스트와 새로 전송받은 리스트를 비교하여 새로 선정된 피어에게 이웃 피어 승인 요청을 전송하고 응답을 받는다. 기존 이웃 피어 중 이웃 피어 선정에서 제외된 피어에게는 이웃 피어 탈퇴 메시지를 요청하고 응답을 받는다. 가입 피어와 탈퇴 이웃 피어에게 모두 탈퇴와 가입 메시지를 받으면 모바일 피어는 트래커 서버에 재선정 절차 완료 확인 메시지를 전송한다. 메시지를 받은 트래커 서버는 자신이 재선정한 모바일의 이웃 피어 리스트를 기존 이웃 피어 리스트와 교체하여 네트워크 오버레이 동기화를 함으로써 재선정 절차를 완료한다.

IV. 성능 평가

이 장에서는 본 논문에서 제안한 모바일 P2P 스트리밍 구조에서의 핸드오버 기법에 대한 성능을 평가한다.

표 2. 실험 파라미터  
Table 2. Simulation Parameters

피어 수	100 개
모바일 피어 이동 속도	5~20 km/h
AP 전송 범위	400~500 M
이웃 피어 수	5 개
유선 링크 대역폭	10~100 Mbps
무선 링크 대역폭	10 Mbps
비디오 재생률	1 Mbps
핸드오버 회수	10회
핸드오버 지연 시간	0.5 ~ 1.0 초

1. 실험 환경

본 논문에서는 가상 네트워크 토폴로지를 제공하는 네트워크 시뮬레이터인 퀴넷(QualNet)을 사용하여 P2P 스트리밍 시뮬레이션을 수행하였다. 퀴넷의 가상 환경에서 100개의 유선피어를 구축하였고 각 피어는 평균 5개의 이웃 피어를 갖게 하였다. 유무선 링크 대역폭은 현재 유선 네트워크 환경과 최대한 유사하게 만들기 위하여 10~100Mbps로 설정하였고 무선 네트워크는 대역폭의 한계로 재생 끊김이 발생하지 않도록 10Mbps로 대역폭을 설정하였다. 각 비디오의 재생율은 1Mbps로 설정하였다. AP의 전송범위는 400~500 미터로 설정하였고 20분 동안 모바일 피어의 AP가 변경되도록 5~20km/h 속도로 이동시키면서 핸드오버를 발생시켰다. 한 번의 핸드오버가 발생할 때 지연 시간은 실제 핸드오버 지연 시간과 유사한 0.5~1.0초로 설정하여 핸드오버를 총 10번 발생시켰다. 이웃 피어 재선정을 위해 각 모바일 피어의 현재 시점보다 최소 1초 이상 이후의 데이터를 버퍼링하고 있는 피어인지를 기준으로 설정하였다. 또한, 핸드오버 발생 시 각 구조의 성능을 가장 잘 보이기 위해 초기 버퍼링 양과 핸드오버 간격의 디폴트 값을 실험 값 중 가장 작은 값인 각각 2초와 5초로 설정하였다. 자세한 실험 파라미터는 <표 2>에 제시되어 있다.

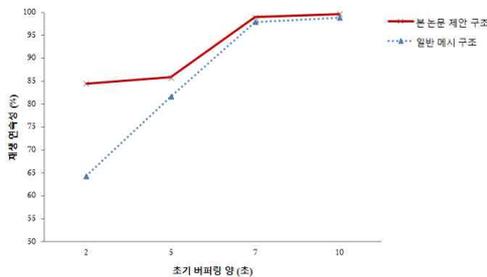


그림 5. 초기 버퍼링 양에 따른 재생 연속성  
Fig. 5. Continuity index according to initial buffering size

이와 같은 실험 환경에서 본 논문에서 제안한 구조와 일반 메시 구조의 성능을 핸드오버 간격과 초기 버퍼링 양에 따라 재생 연속성을 기준으로 비교 분석한다.

## 2. 실험 결과

### 2.1 초기 버퍼링 양에 따른 재생 연속성

<그림 5>는 각 모바일 피어의 가입 당시 초기 버퍼링 양을 2초에서 10초로 변경할 때 핸드오버 발생 시 본 논문에서 제안한 구조와 일반 메시 구조의 재생 연속성을 보여준다. 먼저 본 논문에서 제안한 구조는 일반 메시 구조에 비해

상당히 높은 재생 연속성을 보였다. 특히, 초기 버퍼링 양이 2초인 경우에는 본 논문에서 제안한 구조는 84.5%의 재생 연속성을 보인 반면 일반 메시 구조의 재생 연속성은 64.4%였다. 즉, 20.1%의 재생 연속성에 대한 성능을 향상하였다. 이것은 논문에서 제안한 구조에서 핸드오버 전에 예측을 통해 미리 푸시 방식으로 데이터 양을 빠른 속도로 확보하고 핸드오버 이후에도 푸시 방식으로 데이터를 전송받기 때문이다. 또한 이웃 피어 재선정을 통해 필요한 데이터를 안정적으로 확보할 수 있다.

또한, 예상대로 두 구조에서 모두 초기 버퍼링 양이 많을수록 재생 연속성이 높다는 것을 알 수 있다. 이것은 핸드오버가 발생하더라도 핸드오버 발생 직전의 버퍼링 양이 상대적으로 많기 때문에 핸드오버로 인한 지연 시간에 상대적으로 영향을 덜 받기 때문이다. 하지만 초기 버퍼링 양이 많으면 그 만큼의 초기 재생 지연 시간이 길어지고 버퍼링을 위해 상대적으로 많은 메모리 공간을 확보해야 하는 단점이 있다.

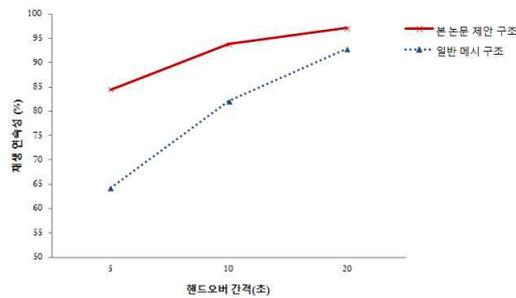


그림 6. 핸드오버 간격에 따른 재생 연속성  
Fig. 6. Continuity index according to handover interval

### 2.2 핸드오버 간격에 따른 재생 연속성

<그림 6>은 핸드오버 간격을 5초에서 20초까지 변경할 때 핸드오버 발생 시 본 논문에서 제안한 구조와 일반 메시 구조에서의 재생 연속성을 보여준다. 본 논문에서 제안한 구조는 일반 메시 구조에 비해 평균적으로 12.1% 높은 재생 연속성을 보였다. 특히 핸드오버 간격이 5초인 경우에는 20.1% 높은 재생 연속성을 보였다. 이 결과도 본 논문에서 제안한 핸드오버 전후의 푸시 방식의 전송과 이웃 피어 재선정 정책이 효과적이라는 것을 보여준다.

데이터 수신에 불가능한 핸드오버 진행 중에는 버퍼링되어 있는 데이터가 재생을 위해 빠른 속도로 소비되므로 핸드오버 간격이 짧을수록 버퍼링을 일정 수준 이상으로 유지하기 힘들다. <그림 6>에서 일반 메시 구조의 경우에는 핸드오버가 5초 간격으로 계속 발생시키는 경우보다 20초 간격으로

로 발생시키는 경우에 28.5% 증가했다. 이것은 핸드오버 간격이 길수록 버퍼링 수준을 증가시킬 수 있는 시간적인 여유가 있기 때문이다. 하지만 본 논문에서 제안한 구조에서는 3초와 20초 간격에서 단지 12.7%의 차이만 보였다. 이것은 본 논문에서 제안한 구조가 핸드오버 간격이 짧더라도 푸시 방식의 데이터 전송 등을 통해 핸드오버 전후에 빠른 속도로 데이터를 전송받기 때문이다. 따라서 본 논문에서 제안한 구조는 핸드오버가 연속적으로 발생하는 동적인 환경에서 일반 메시 구조보다 더욱 효과적이라는 것을 알 수 있다.

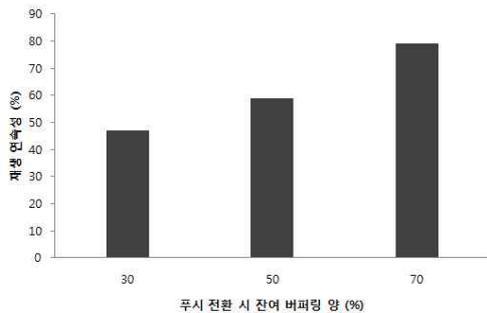


그림 7. 푸시 전환 시점에 따른 재생 연속성  
 Fig. 7. Continuity index according to the time to switch to a push mode

### 2.3 푸시 전환 시점에 따른 재생 연속성

<그림 7>은 본 논문에서 제안한 구조에서 핸드오버 발생 전 푸시 방식의 전송으로 전환하는 시점에 따른 재생 연속성을 보여준다. 이것은 푸시 방식의 집중적인 전송이 성능에 어떤 영향을 주는지를 보이기 위해 핸드오버 전의 모바일 피어의 잔여 버퍼링 양에 따라 푸시 전환 시점을 변경하면서 핸드오버를 수행한 것이다. 핸드오버 직전에는 현재 AP의 신호 세기가 약해짐에 따라 수신되는 데이터 양이 감소하므로 버퍼링 양도 줄어들게 된다. 이때 푸시 방식으로 전송 방식을 전환하면 데이터 수신 속도가 높아져서 재생 연속성이 증가한다.

<그림 7>에서 보듯이 핸드오버 예측을 통해 푸시 방식으로 전환하는 시점이 상대적으로 빠를수록, 즉 잔여 버퍼링 양이 많은 경우일수록 재생 연속성이 높다는 것을 알 수 있다. 잔여 버퍼링 양이 70%일 때 푸시 방식으로 전환한 경우에는 30%일 때 전환한 경우에 비해 재생 연속성이 32.2% 높았다. 하지만 핸드오버 예측이 정확하지 않은 경우에는 자원이 낭비되는 단점이 있다. 본 논문에서 제안한 구조는 특정 핸드오버 예측 기법과는 독립적이므로 향후 제안되는 더 정확한 핸드오버 예측 방법을 도입하면 푸시 방식의 전송을 이용하는 구조가 더욱 효과적일 것이다.

## V. 결론

본 논문에서는 기존의 유무선 통합 네트워크 환경의 P2P 스트리밍 구조에서 모바일 장치가 핸드오버가 발생하더라도 재생 연속성을 최대화할 수 있는 구조를 제안하였다. 이 구조에서는 핸드오버 예측 기법을 도입하고 필요한 데이터를 충분히 저장하고 있는 피어로 이웃피어를 재선정할 뿐만 아니라 핸드오버 전후에 데이터 수신 속도를 높이기 위해 푸시 방식으로 데이터를 전송받는다. 또한, 실험을 통해 본 논문에서 제안한 P2P 스트리밍 구조가 기존 메시 구조에 비해 핸드오버 발생 시 재생 연속성을 높일 수 있다는 것을 보였다.

향후에는 본 논문의 연구 성과를 바탕으로 모바일 피어를 포함한 일반 피어 간의 협력 캐싱을 통해 보다 효율적으로 모바일 IPTV 구조를 연구할 계획이다.

## 참고문헌

- [1] J. Kim, D. Kim, E. Kim and S. Pae, "An Efficient Peer-to-Peer Streaming Scheme Based on a Push-Mesh Structure.", *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15, No. 3, pp. 81-89, Mar. 2010.
- [2] M. Castro, P. Druschel, A. Kermarrec, A. Nandi, A. Rowstron, and A. Singh, "SplitStream: High-Bandwidth Multicast in Cooperative Environments.", *Proc. ACM SOSP*, pp.298-313, Dec. 2003.
- [3] D. Tran, K. Hua, and T. Do, "ZIGZAG: An Efficient Peer-to-Peer Scheme for Media Streaming.", *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.1283-1292, Apr. 2003.
- [4] X. Zhang, J. Liu, B. Li, and T. P. Yum, "CoolStreaming/DONet: a Data-driven Overlay Network for Peer-to-Peer Live Media Streaming.", *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.2102-2111, Mar. 2005.
- [5] X. Hei, C. Liang, J. Liang, Y. Liu and K. Ross, "A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System", *Proc. IEEE Multimedia*, vol. 9, no. 8, pp.1672-1687, Dec. 2007.
- [6] S. Kim, and E. Kim, "An Energy-Efficient Mobile

P2P Streaming Structure Using Agent Peers.", Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 16, No. 6, pp. 113-120, Feb. 2011.

[7] P. Khadivi, T. Todd, and D. Zhao, "Handoff Trigger Nodes for Hybrid IEEE 802.11 WLAN/Cellular Networks.", Proc. Conf. Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks, pp.164-170, Oct. 2004.

[8] S. Speicher and C. Cap, "Fast layer 3 handoffs in AODV-based IEEE 802.11 wireless mesh networks.", Proc. IEEE ISWCS, pp.233-237, Sep. 2006.

[9] K. Brown and S. Singh, "M-UDP: UDP for Mobile Networks.", ACM SIGCOMM Comp. Commun. Rev, vol.26, pp.60-78, Oct. 1996.

[10] T. Hong, K. Kang, D. Ahn, and H. Lee, "Adaptive buffering scheme for streaming service in intersystem handover between terrestrial and satellite systems.", Proc. IEEE ISCE, pp.1-4, Apr. 2008.

[11] C. Huang and C. Lee, "Layer 7 Multimedia Proxy Handoff Using Anycast/Multicast in Mobile Networks.", Mobile Computing IEEE Transactions on, vol.6, no.4, pp. 411-422, Apr. 2007.

[12] D. Kim, E. Kim, and C. Lee, "Efficient Peer-to-Peer Overlay Networks for Mobile IPTV Services.", IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.56, no.4, pp.2303-2309, Nov. 2010.

[13] M. Lott, M. Siebert, S. Bonjour, D. Hugo, and M. Weckerle, "Interworking of WLAN and 3G Systems.", Proc. Of IEEE Communication. Vol. 151, No. 5, Oct. 2004.

[14] A. Jayasuriya and J. Asenstorfer, "Mobility Prediction Model for Cellular Networks based on the Observed Traffic Patterns.", Proc. Of Wireless and Optical Communications (WOC), Jul. 2002.

[15] J. Chan and A. Seneviratne. "A practical user mobility prediction algorithm for supporting adaptive QoS in wireless networks.", Proc. of IEEE Int. Conf. on Networks (ICON '99), pp. 104-111, Sep. 1999.

저자 소개



**김 상 진**  
 2010 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 학사  
 현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
 관심분야 : 모바일 IPTV, P2P 비디오 스트리밍 시스템  
 Email : ksjjjong@naver.com



**김 은 삼**  
 1994 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사  
 1996 : 서울대학교 컴퓨터공학과 석사  
 1996-2002 : LG전자 선임연구원  
 2006 : Univ. of Florida 컴퓨터공학과 박사  
 현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 조교수  
 관심분야 : 분산 멀티미디어 시스템, IPTV 시스템, 컴퓨터 저장시스템  
 Email : eskim@hongik.ac.kr



**황 호 영**  
 1993 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사  
 1995 : 서울대학교 컴퓨터공학과 석사  
 2003 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사  
 현재 : 한성대학교 멀티미디어공학과 부교수  
 관심분야 : 정보통신, 무선 및 이동통신망, 센서네트워크, 멀티미디어시스템 등  
 Email : hyhwang@hansung.ac.kr

