

論文99-36S-7-4

## 홈 에이전트의 버퍼링에 의한 핸드오버 알고리즘

(A Handover Algorithm by Buffering at the Home Agent)

許聖辰\*, 金整三\*\*, 李原烈\*\*\*, 韓基俊\*

(Seong Jin Heo, Jeong Sam Kim, Yon Yeol Lee,  
and Ki Jun Han)

### 요약

본 논문에서는 핸드오버시 발생 가능한 패킷의 비순서화와 이에 따른 불필요한 재전송 문제를 해결하기 위하여 홈 에이전트의 버퍼링에 의한 이동 호스트의 핸드오버 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방안에서, 홈 에이전트는 이동 호스트의 핸드오버 과정중에 외부 에이전트를 통하여 송신된 등록 요청 메시지를 수신하게 되면 새로운 외부 에이전트로의 사용자 데이터 전송을 잠시 멈추고 버퍼링을 수행하다가 일정 시간이 경과한 후 전송을 재개하는 방식으로 동작한다. 또한 홈 에이전트에서 모든 사용자 데이터를 생성한다고 가정할 때, 홈 에이전트에 등록 요청 메시지가 도착하는 시점을 기준으로 그 직전과 직후에 생성된 데이터 사이에 서로 순서가 바뀌어 이동 호스트에 도착하게 될 비순서화 발생률과 홈 에이전트의 버퍼링 수행 시간과의 관계를 분석하였다. 시뮬레이션을 통하여 홈 에이전트의 버퍼링 정책이 패킷 비순서화 발생률을 감소시켜 효율적인 핸드오버 수행이 이루어짐을 보였으며, 아울러 시뮬레이션 결과와 수학적 분석 결과의 비교를 통하여 수학적 분석 결과를 검증하였다.

### Abstract

This paper proposes a handover algorithm for the mobile host in order to reduce the number of unnecessary retransmissions during handover. In our proposal, the home agent buffers user data after receiving the registration request message from the foreign agent and then transmits them again after a predefined time. We also analyze the packet disordering probability between two user data under an assumption that the home agent generates all user data. One of two user data is the one which has been generated just before the home agent receives the registration request message and the other is generated just after that. Simulation results show that our proposal provides efficient handover for a mobile host by reducing the packet disordering probability.

### I. 서론

기존 전송 계층 프로토콜은 유선망의 낮은 전송 에러율을 감안하여 패킷 손실의 주요 원인을 망 폭주로 가정하고 동작한다. 그러나 유무선 복합망에서의 패킷 손실은 주로 무선 선로의 높은 데이터 손실률과 셀 경계가 중첩되지 않은 망 구조에서의 핸드오버 과정 중에 빈번하게 발생한다. 또한 고정 호스트에서 이동 호스트로 전송되는 패킷의 순서가 핸드오버 시점을 전후하여 뒤바뀌고 이로 인하여 전송측 재전송 프로시저의 불필요한 구동으로 종단간에 심각한 성능 저하가 발생

\* 正會員, 慶北大學校 컴퓨터工學科  
(Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University)

\*\* 正會員, 慶北專門大學  
(Kyungpook Junior College)

\*\*\* 正會員, 聖心外國語大學  
(Sungsim College)

接受日字:1998年11月9日, 수정완료일:1999年6月22日

하는 문제를 야기한다.

이러한 문제들을 해결하기 위하여 다양한 연구들이 진행되어 왔는데, 핸드오버동안 손실되는 데이터에 대하여 먼저 재전송이 신속히 이루어지도록 함으로서 전체적으로 종단간의 처리율을 향상시키는 방법과<sup>[1]</sup> 데이터 손실이 폭주에 의한 것이 아님을 명시적으로 송신측에 알려주어 부적절한 폭주 제어 절차가 가동되는 것을 예방하는 방안<sup>[2]</sup> 그리고 무선 링크를 통과하는 전송 계층 연결을 유선 부분과 분리함으로써, 무선 링크상의 높은 전송 손실률로부터 유선 망의 성능을 보호하는 방안 등이 있다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 이동 호스트 및 이동성을 지원하는 에이전트가 IETF에서 제안한 IP Mobility Support 및 Route Optimization in Mobile IP의 내용에 따라 동작하는 반면에 고정 호스트는 기존의 네트워크 계층 프로토콜인 IP를 수행하는 것으로 전제하고, 고정 호스트 및 이동 호스트의 전송 계층은 TCP Reno를 수행한다고 가정할 때, 핸드오버시 패킷 뒤바뀔음으로 인한 송신측의 불필요한 재전송과 이에 따른 성능 저하 문제를 개선하기 위하여 홈 에이전트에서 핸드오버 수행시간을 기준으로 하여 일정 시간동안 사용자 데이터를 버퍼링하는 방안을 제안한다. 또한 홈 에이전트의 버퍼링 수행 시간 변화에 따른 사용자 데이터의 비순서화 발생율을 분석하였다.

## II. 패킷의 비 순서화 발생

### 1. IP Mobility Support

IP Mobility Support의 기본 동작은 크게, 에이전트 발견(Agent Discovery), 등록(Registration) 그리고 터널링(Tunneling)으로 구분할 수 있다<sup>[4]</sup>. IP Mobility Support가 가지는 삼각 라우팅 문제를 해결하기 위하여 IETF에서는 다시 경로 최적화 방안을 제안하였는데, 모든 호스트는 이동 호스트의 현재 위치와 관련된 정보를 저장하는 바인딩 캐쉬(Binding Cache)를 이용하여 홈 에이전트를 경유하지 않고 이동 호스트로의 직접적인 전송이 가능하도록 하였다<sup>[5]</sup>. 이외에도 경로 최적화 프로토콜에서는 핸드오버시의 데이터 손실을 최소화하기 위하여, 이전 외부 에이전트가 수신한 데이터를 새로운 에이전트로 포워딩하는 방안을 제안하였다. 그림 1은 핸드오버와 관련하여 경로 최적화 프로토콜의 등록 절차를 보여주고

있다.

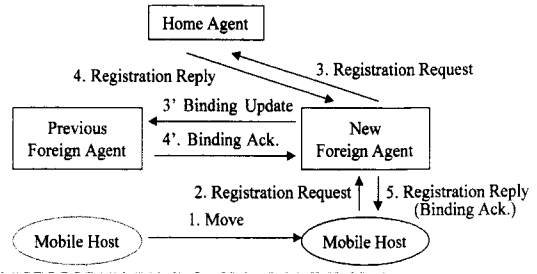


그림 1. IETF 등록 절차  
Fig. 1. The IETF Registration Procedure.

### 2. 패킷의 비 순서화 발생과 홈 에이전트의 버퍼링 제안

홈 에이전트에 등록 요청 메시지가 도착하기 전에 고정 호스트로부터 홈 에이전트로 도착한 데이터그램은 이전 외부 에이전트로 경로 설정이 되고, 그 이후 고정 호스트로부터 홈 에이전트로 도착한 데이터그램은 새로운 외부 에이전트로 경로가 설정된다. 즉, 동일한 고정 호스트에서 전송한 데이터그램들이 홈 에이전트에 등록 요청 메시지가 도착하는 시점을 전후하여 서로 다른 경로를 거쳐 이동 호스트로 전달된다. 이는 핸드오버 시점을 전후하여 홈 에이전트를 거쳐 이동 호스트로 도착하는 데이터그램이 서로 다른 외부 에이전트를 거쳐 이동 호스트로 도착하게 됨을 의미한다.

그림 2에서 그림 7까지는 이동 호스트가 핸드오버를 수행하게 되면서, 그림 1의 등록 절차에 따라 홈 에이전트에 자신의 새로운 위치를 등록하는 과정에서 사용자 데이터의 전송 순서가 서로 뒤바뀌어 이동 호스트에 도착하는 비순서화의 발생 과정을 보여준다. 그림에서 사용자 데이터에 부여된 일련 번호는 단순히 비순서화가 발생하는 과정을 설명하기 위하여 부가한 것으로서 실제 전송 계층에서 할당된 패킷의 일련 번호와는 서로 다를 수 있다. 그리고 그림에서 HA, PF, NF 그리고 MH는 각각 홈 에이전트, 이전 외부 에이전트, 새로운 외부 에이전트 그리고 이동 호스트를 의미한다. 또한 모든 사용자 데이터는 고정 호스트에서 이동 호스트로 전송된다고 가정한다.

먼저 그림 2는 이동 호스트가 새로운 외부 에이전트로 이동한 후 자신의 새로운 임시 주소를 홈 에이전트에 등록하기 위하여, 등록 요청 메시지를 새로운 외부 에이전트에 전송하는 상황을 보여주고 있다. 이때 홈 에이전트는 아직 이동 호스트의 이동 사실을 감지

하지 못하고 있으므로, 이동 호스트를 목적지로 갖는 모든 데이터를 이전 외부 에이전트로 경로 배정하게 되고 이러한 데이터들은 핸드오버 과정에서 데이터 손실을 줄이기 위하여 이전 외부 에이전트에 의하여 버퍼링 된다고 가정하였다. 즉, 모든 외부 에이전트는 최근에 수신한 일정량의 데이터를 이동 호스트에 전송하는 것과 더불어 그 복사본을 버퍼링한다고 가정한다.

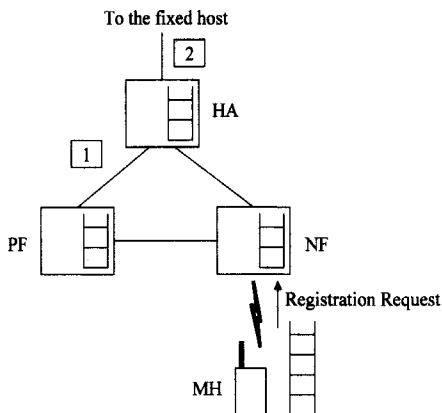


그림 2. 핸드오버 개시  
Fig. 2. Handover initiation.

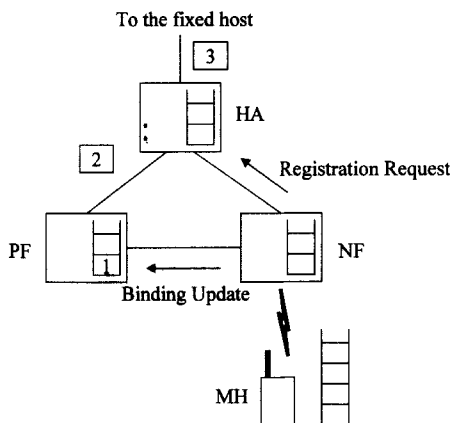


그림 3. 외부 에이전트의 중계  
Fig. 3. Relay of the foreign agent.

그림 3은, 이동 호스트로부터 등록 요청 메시지를 수신한 새로운 외부 에이전트가 이전 외부 에이전트에게 바인딩 갱신 메시지의 전송을 통하여 이동 호스트의 이동 사실을 알려줌과 동시에 수신한 등록 요청 메시지를 홈 에이전트에 중계한다. 다음으로 그림 4에서는 이전 외부 에이전트가 바인딩 갱신 메시지를 수신하고 이에 대한 응답으로 새로운 외부 에이전트에게

바인딩 응답 메시지를 전송하고, 그동안 버퍼링되었던 사용자 데이터들을 새로운 외부 에이전트로 포워딩한다. 등록 요청 메시지는 아직 홈 에이전트에 도착하지 않았고, 따라서 홈 에이전트는 이동 호스트를 목적지로 갖는 사용자 데이터를 여전히 이전 외부 에이전트로 경로 배정한다.

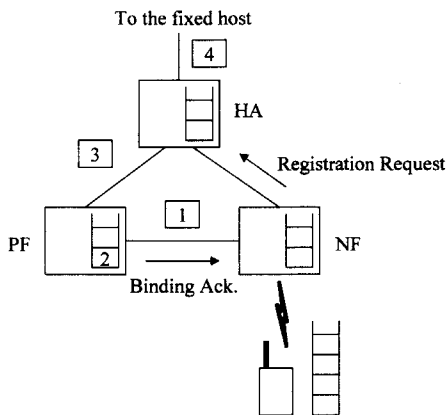


그림 4. 포워딩 개시  
Fig. 4. Forwarding initiation.

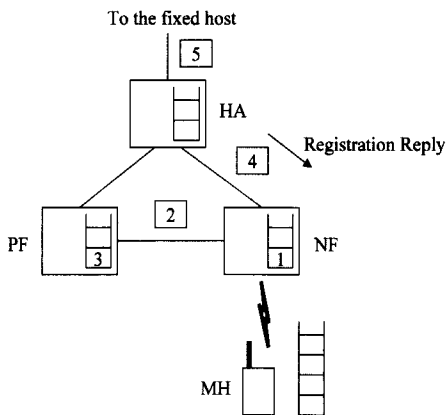


그림 5. 경로 재배정  
Fig. 5. The rerouting.

그림 5에서 홈 에이전트는 등록 요청 메시지를 수신한 후 등록 테이블의 내용을 갱신하고 등록 응답 메시지를 새로운 외부 에이전트에 송신한다. 이때부터 홈 에이전트는 이동 호스트를 목적지로 갖는 사용자 데이터를 새로운 외부 에이전트로 경로 배정한다. 또한 이전 외부 에이전트로부터 포워딩 되어온 사용자 데이터를 수신하는 새로운 외부 에이전트는 이들을 이동 호스트에 전송하지 않고 자신의 버퍼에 저장하게 되는데, 이는 보안과 관련하여 사용자 데이터가 악의

적인 목적을 가진 이동 호스트에 전송되는 것을 예방하기 위함이다.

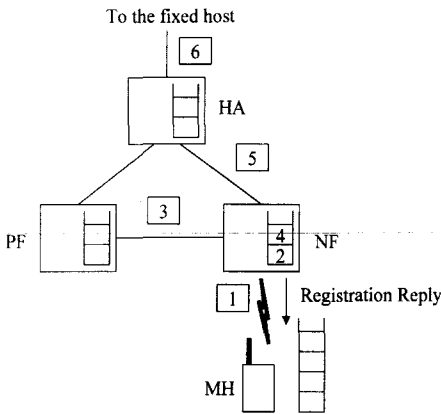


그림 6. 등록 응답  
Fig. 6. Registration reply.

그림 6에서 새로운 외부 에이전트는 이전 외부 에이전트로부터 바인딩 응답 메시지 및 홈 에이전트로부터 등록 응답 메시지를 수신한 후 이동 호스트에 등록 응답 메시지를 전송하고, 그동안 버퍼링 되어있던 사용자 데이터를 이동 호스트에 전송하기 시작한다. 특히 그림 6에서는, 홈 에이전트가 등록 요청 메시지를 수신한 직후에 새로운 외부 에이전트로 경로 배정된 4번 데이터가 그 이전에 외부 에이전트로 경로 배정된 3번 데이터보다 빨리 새로운 외부 에이전트에 도착하여 버퍼링 되어있는 상황을 보여준다. 즉, 3번과 4번 데이터사이에서 전송 순서가 서로 뒤바뀌어 새로운 외부 에이전트에 도착하는 비순서화가 발생하였음을 보여주고 있는 것이다.

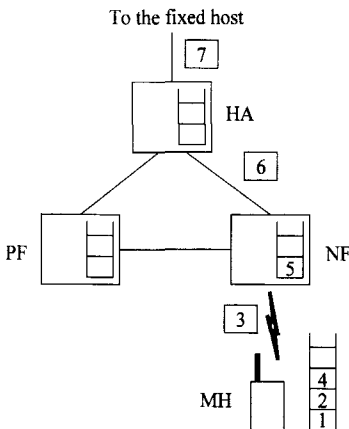


그림 7. 핸드오버 종료  
Fig. 7. Handover completion.

마지막으로 그림 7에서 이동 호스트는 등록 응답 메시지를 수신하고 핸드오버와 관련된 등록 절차를 마치고 동시에 핸드오버의 수행이 종료되면서 새로운 외부 에이전트로부터 서비스를 받게된다. 이동 호스트에 도착하는 사용자 데이터의 순서는 새로운 외부 에이전트가 수신하는 순서와 동일하다. 즉, 그림 6의 상황에서 3번과 4번 데이터 사이에서 발생한것과 같은, 패킷 비 순서화는 이동 호스트에서 동일한 일련 번호를 갖는 응답 패킷을 생성하게 된다. 특히, 이러한 응답 패킷의 수가 세 개 이상이 되는 경우, 고정 호스트의 TCP Reno는 이를 패킷 손실로 오인하여 불필요한 재전송의 수행 및 폭주 제어 절차를 가동하게 됨으로 중단간 성능이 심각하게 저하되는 상황을 초래한다<sup>[6]</sup>.

패킷 비순서화와 이에 따른 불필요한 재전송으로 야기되는 중단간의 심각한 성능 저하 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는, 홈 에이전트가 새로운 외부 에이전트를 통하여 이동 호스트의 등록 요청 메시지를 수신하는 시점부터 이동 호스트를 목적으로 갖는 모든 데이터의 전송을 잠시 중단하고 버퍼링을 수행하다가 일정 시간이 경과한 후 전송을 재개하는 방안을 제안한다. 또한 홈 에이전트가 제안한 방식으로 동작할 때, 등록 요청 메시지를 수신하는 시점을 기준으로 하여 그 전후의 사용자 데이터사이에서 서로 순서가 뒤바뀌어 이동 호스트에 도착하게 될 비순서화 발생율을 분석한다.

### III. 비순서화 발생율의 분석

홈 에이전트가 모든 사용자 데이터를 발생하며 이들은 모든 에이전트에서 도착하는 즉시 처리되는 것으로 가정하고 홈 에이전트에 등록 요청 메시지가 도착하기 직전에 생성된 사용자 데이터와 그 직후에 생성된 사용자 데이터를 각각 A와 B로 정의한다.

A와 B사이의 시간 간격을 랜덤 변수  $t_{AB}$ 로 정의하고,  $t_{AB}$ 는 평균값이  $1/\alpha$ 인 지수 분포를 따른다고 가정한다면, 0보다 큰 시간  $t$ 에 대하여  $t_{AB}$ 의 확률 밀도 함수는 (1)로 나타낼 수 있다.

$$f_{t_{AB}}(t) = \alpha e^{-\alpha t} \tag{1}$$

A는 홈 에이전트에서 이전 외부 에이전트로 경로 배정이 이루어지고, 이는 다시 경로 최적화 프로토콜

에 의하여 새로운 외부 에이전트로 포워딩된 후 최종적으로 이동 호스트에 전달되는 반면에, B는 홈 에이전트에서 직접 새로운 외부 에이전트로 경로 배정이 이루어진 후 이동 호스트로 전달된다. 그림 8은 A와 B의 전송 과정을 단순화하여 보여주고 있으며, 표 1은 그림 8에서 정의된 각 시간 요소들을 설명한다.

표 1. 데이터 전송 소요 시간 구성 요소  
Table 1. Components of user data transmission.

$T_h$	홈 에이전트의 데이터 처리 시간
$T_{pf}$	이전 외부 에이전트의 데이터 처리 시간
$T_{nf}$	새로운 외부 에이전트의 데이터 처리 시간
$t_{hp}$	홈 에이전트에서 이전 외부 에이전트까지의 전송 지연 시간
$t_{pn}$	이전 외부 에이전트에서 새로운 외부 에이전트까지의 전송 지연 시간
$t_{hn}$	홈 에이전트에서 새로운 외부 에이전트까지의 전송 지연 시간
$t_{nm}$	새로운 외부 에이전트에서 이동 호스트까지의 전송 지연 시간

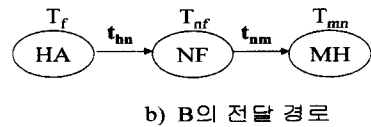
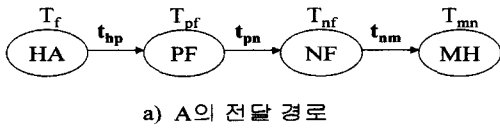


그림 8. A와 B의 전달 경로  
Fig. 8. Transmission path between A and B.

이동 호스트에서 A와 B 사이에 서로 순서가 뒤바뀌어 도착하게 될 확률은 홈 에이전트에서의 버퍼링 수행 여부에 따라 달라지므로, 홈 에이전트에서 버퍼링을 수행하지 않는 경우와 수행하는 경우에 대하여 서로 다른 방법으로 비순서화 발생율을 구하고, 시뮬레이션을 통하여 얻어진 결과와 비교 검증한다.

1. 홈 에이전트에서 버퍼링을 수행하지 않는 경우

A 및 B가 홈 에이전트에서부터 생성되어 이동 호스트까지 전달되는 전송 과정에서 소요되는 전체 시간을 각각 랜덤 변수  $t_A$ 와  $t_B$ 로 정의할 때, 그림 2를 참고하여  $t_A$ 와  $t_B$ 를 각각 (2)와 (3)으로 표현할 수 있다.

$$t_A = T_h + t_{hp} + T_{pf} + t_{pn} + T_{nf} + t_{nm} \quad (2)$$

$$t_B = T_h + t_{hn} + T_{nf} + t_{nm} \quad (3)$$

(2)와 (3)에서 랜덤 변수  $t_{hp}$ 와  $t_{hn}$ 는 서로 같은 값을 가진다고 가정하고,  $t_A$ 와  $t_B$ 의 차를 랜덤 변수  $t_d$ 로 정의할 때,  $t_d$ 는 (4)로 나타낼 수 있다.

$$t_d = t_A - t_B = t_{pn} + T_{pf} \quad (4)$$

(4)에서  $T_{pf}$ 는 고정된 값,  $T_f$ 를 가지고,  $t_{pn}$ 는 평균  $1/\beta$ 인 지수 분포를 따른다고 가정한다면,  $t_d$ 의 확률 밀도 함수는 (5)와 같이 나타낼 수 있다<sup>[7,8]</sup>.

$$f_{t_d}(t) = \begin{cases} 0 & : t < T_f \\ \beta e^{-\beta(t-T_f)} & : T_f \leq t \end{cases} \quad (5)$$

$t_d$ 상에서 임의의 특정 시간  $T$ 를 정의할 때,  $t_{AB}$ 가  $T$ 보다 큰 값을 가진다면 비순서화가 발생하지 않음을 의미하고, 그 확률은 수식 (1)을 이용하여 (6)으로 주어진다.

$$f_{t_{AB}}(t > T) = \int_T^\infty \alpha e^{-\alpha t} dt = e^{-\alpha T} \quad (6)$$

수식 (6)을 수식 (5)의 확률 밀도 함수 전 구간에 대하여 적분을 취하면  $t_{AB}$ 가  $t_d$ 보다 큰 값을 가지게 될 확률이 주어지는데, 이는 곧 A와 B사이에 비순서화가 발생하지 않을 확률을 의미한다. 수식 (5)의 확률 밀도 함수는 구간  $[0, T_f]$ 에서 0의 값을 가지므로 이 구간을 제외한 나머지 구간에 대한 적분으로 비순서화가 발생하지 않을 확률을 구할 수 있다. 이때의 확률을  $P_0$ 로 정의한다면,  $P_0$ 는 (7)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} P_0 &= \int_{T_f}^\infty (e^{-\alpha t} * \beta e^{-\beta(t-T_f)}) dt \\ &= \int_{T_f}^\infty (\beta e^{\beta T_f} * e^{-(\alpha+\beta)t}) dt \\ &= \beta e^{\beta T_f} \left[ -\frac{1}{(\alpha+\beta)} e^{-(\alpha+\beta)t} \right]_{T_f}^\infty \\ &= \frac{\beta}{\alpha+\beta} e^{-\alpha T_f} \end{aligned} \quad (7)$$

마지막으로 A와 B사이에 비순서화가 발생할 확률을  $P_D$ 라고 정의하고, 수식 (7)을 이용하여  $P_D$ 를 구하면 (8)과 같이 주어진다.

$$P_D = 1 - P_0 = 1 - \frac{\beta}{\alpha+\beta} e^{-\alpha T_f} \quad (8)$$

2. 홈 에이전트에서 버퍼링을 수행하는 경우

홈 에이전트가 등록 요청 메시지를 수신하고, 고정된 시간  $T_{buf}$ 동안 버퍼링을 수행한다면, 수식 (2)의  $t_A$

는 변화가 없는 반면에 수식 (3)의  $t_B$ 는  $T_{buf}$ 만큼 증가함을 의미하는데 이를 랜덤 변수  $t_{BBUF}$ 로 정의한다. 수식 (4)에서와 같은 방법으로,  $t_A$ 와  $t_{BBUF}$ 의 차를 새로운 랜덤 변수  $t_{dbuf}$ 로 정의할 때  $t_{dbuf}$ 는 (9)로 나타낼 수 있다.

$$t_{dbuf} = t_A - t_{BBUF} = t_{pn} + T_f - T_{buf} \quad (9)$$

여기에서  $t_{dbuf}$ 의 확률 밀도 함수를 수식 (5)에서와 같은 방법으로 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{t_{dbuf}}(t) = \begin{cases} 0 & : t < T_f - T_{buf} \\ \beta e^{-\beta(t - (T_f - T_{buf}))} & : T_f - T_{buf} \leq t \end{cases} \quad (10)$$

$P_O$  및  $P_D$ 를 구할 때와 동일한 방법으로,  $t_{dbuf}$ 상에서 임의의 특정 시간  $T$ 를 정의하고  $t_{AB}$ 가  $T$ 보다 큰 값을 가질 확률을 구하면 수식 (6)과 동일한 결과를 얻는다. 여기에서 홈 에이전트가  $T_{buf}$  시간 동안 버퍼링을 수행하는 경우 비순서화가 발생하지 않을 확률을  $P_{OBUF}$ 로 정의할 때,  $P_{OBUF}$ 는  $T_{buf}$ 와  $T_f$ 의 관계에 따라 두 가지의 서로 다른 경우로 나누어서 구한다. 먼저  $T_f$ 의 값이  $T_{buf}$ 의 값보다 클 경우, 즉 홈 에이전트의 버퍼링 수행 시간이 외부 에이전트의 데이터 처리 시간보다 짧은 경우, 구간  $[0, T_f - T_{buf}]$ 에서  $f_{dbuf}(t)$ 는 0의 값을 가지게 되므로  $P_{OBUF}$ 는 (11)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} P_{OBUF} &= \int_{T_f - T_{buf}}^{\infty} (e^{-\alpha t} * \beta e^{-\beta(t - (T_f - T_{buf}))}) dt \\ &= \int_{T_f - T_{buf}}^{\infty} (\beta e^{\beta(T_f - T_{buf})} * e^{-(\alpha + \beta)t}) dt \\ &= \beta e^{\beta(T_f - T_{buf})} \left[ -\frac{1}{[\alpha + \beta]} e^{-(\alpha + \beta)t} \right]_{T_f - T_{buf}}^{\infty} \\ &= \frac{\beta}{\alpha + \beta} e^{-\alpha(T_f - T_{buf})} \quad : T_f \geq T_{buf} \quad (11) \end{aligned}$$

다음으로  $T_f$ 의 값이  $T_{buf}$ 의 값보다 작은 경우, 즉 홈 에이전트의 버퍼링 수행 시간이 외부 에이전트의 데이터 처리 시간보다 긴 경우 구간  $[T_f - T_{buf}, 0]$ 에서  $t_{dbuf}$ 는 항상  $t_{AB}$ 보다 큰 값을 가지게 되므로  $P_{OBUF}$ 는 (12)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} P_{OBUF} &= \int_0^{T_{buf} - T_f} \beta e^{-\beta t} dt + \int_0^{\infty} (e^{-\alpha t} * \beta e^{-\beta(t - (T_f - T_{buf}))}) dt \\ &= \beta \left[ -\frac{1}{\beta} e^{-\beta t} \right]_0^{T_{buf} - T_f} + \int_0^{\infty} (\beta e^{\beta(T_f - T_{buf})} * e^{-(\alpha + \beta)t}) dt \\ &= 1 - e^{-\beta(T_{buf} - T_f)} + \beta e^{\beta(T_f - T_{buf})} \left[ -\frac{1}{(\alpha + \beta)} e^{-(\alpha + \beta)t} \right]_0^{\infty} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 1 - e^{-\beta(T_{buf} - T_f)} + \frac{\beta}{\alpha + \beta} e^{-\beta(T_{buf} - T_f)} \\ &= 1 - \frac{\alpha}{\alpha + \beta} e^{-\beta(T_{buf} - T_f)} \quad : T_f < T_{buf} \quad (12) \end{aligned}$$

마지막으로 홈 에이전트에서  $T_{buf}$ 시간 동안 버퍼링을 수행할 때 비순서화가 발생하게 될 확률을  $P_{DBUF}$ 로 정의하고, (11)과 (12)를 이용하여  $P_{DBUF}$ 를 구하면 (13)과 같이 주어진다.

$$P_{DBUF} = \begin{cases} 1 - \frac{\beta}{\alpha + \beta} e^{-\alpha(T_f - T_{buf})} & : T_f \geq T_{buf} \\ \frac{\alpha}{\alpha + \beta} e^{-\beta(T_{buf} - T_f)} & : T_f < T_{buf} \end{cases} \quad (13)$$

### 3. 시뮬레이션

사건 지향 시뮬레이션 언어인 smpl을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며<sup>[9]</sup>, 기본 가정은 먼저 호스트와 호스트사이의 전송 순서는 보장되며 이동 호스트가 다른 외부 에이전트로 이동할 경우 이동 소요 시간은 무시한다. 다음으로 새로운 외부 에이전트로 이동한 이동 호스트는 도착 즉시 등록 절차를 수행하며, 망의 폭주는 발생하지 않는다. 그리고 유무선망 사이의 전송 에러 및 핸드오버로 인한 메시지 손실은 없는 것으로 가정하고 이를 위하여 외부 에이전트는 최근에 수신하는 일정량의 데이터그램을 버퍼링한다. 그리고 마지막으로 전송되는 패킷 및 이를 실어 나르는 데이터그램은 항상 일정한 크기를 가진다.

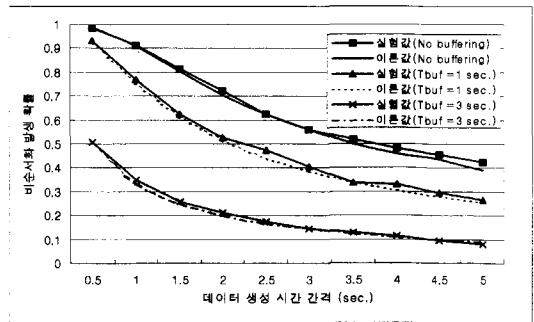


그림 9.  $t_{AB}$ 의 평균값( $1/\alpha$ ) 변화에 따른 비순서화 발생 확률

Fig. 9. The inter-packet generation time versus packet disordering probability.

그림 9에서 그림 12는 수식 (8)과 수식 (13)에서 주어진 비순서화 발생율과 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과치를 비교하였다. 먼저 그림 9는  $t_{pn}$ 의 평균값( $1/\beta$ )과  $T_f$ 를 각각 0.2초와 2초로 고정하였을 때,  $t_{AB}$ 의 평균값( $1/\alpha$ ) 변화에 따른 비순서화 발생율을 보여주

고 있으며 그림 10은  $t_{AB}$ 의 평균값( $1/\alpha$ )과  $T_f$ 를 각각 2초와 0.5초로 고정하였을 때,  $t_{pn}$ 의 평균값( $1/\beta$ ) 변화에 따른 비순서화 발생율을 보여주고 있다.

그리고 그림 11은  $t_{AB}$ 의 평균값( $1/\alpha$ )과  $t_{pn}$ 의 평균값( $1/\beta$ )을 각각 1초와 0.1초로 고정하였을 때,  $T_f$ 의 변화에 따른 비순서화 발생율을 홈 에이전트의 버퍼링 수행시간 변화에 따라 보여주고 있다. 마지막으로 그림 12는  $t_{AB}$ 의 평균값( $1/\alpha$ )과  $t_{pn}$ 의 평균값( $1/\beta$ ) 그리고  $T_f$  값을 각각 0.2초, 0.5초 그리고 1.5초로 하였을 때, 홈 에이전트의 버퍼링 수행시간 변화에 따른 비순서화 발생율을 보여준다.

그림 9에서 먼저, 비순서화 발생율은 홈 에이전트에서의 평균 데이터 생성 시간 간격과 반비례관계에 있음을 알 수 있다. 즉, 홈 에이전트가 단위 시간당 생성하는 데이터의 수가 적을수록 홈 에이전트의 버퍼링 시간과는 관계없이 비순서화 발생율은 기본적으로 감소하고 있음을 보여준다. 그러나 비순서화 발생율의 감소 추세는 홈 에이전트에서 버퍼링 수행 여부에 따라 차이를 가지는데, 이는 홈 에이전트의 버퍼링 정책이 비순서화 문제에 대한 해결책이 될 수 있음을 의미한다.

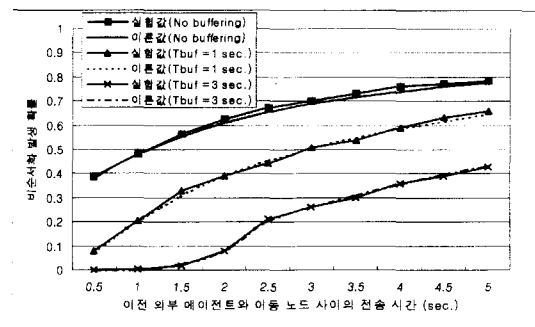


그림 10.  $t_{AB}$ 의 평균값( $1/\beta$ ) 변화에 따른 비순서화 발생 확률

Fig. 10. Propagation delay between the previous foreign agent and the mobile node versus packet disordering probability.

그림 10과 그림 11은 홈 에이전트의 데이터 생성 시간 간격이 일정할 때, 이전 외부 에이전트와 이동 호스트사이의 전송 지연시간과 이전 외부 에이전트에서의 사용자 데이터 처리 시간은 비순서화 발생율과 서로 비례 관계에 있음을 보여주고 있다. 또한 그림 10과 그림 11에서 비순서화 발생율의 증가 추세를 비교할 때, 이전 외부 에이전트와 이동 호스트사이의 전

송 지연 시간 증가는 비교적 완만한 비순서화 발생율의 증가를 가져오는 반면에 외부 에이전트의 처리 시간 증가는 비순서화 발생율을 급격하게 증가시키는 결과를 가져온다.

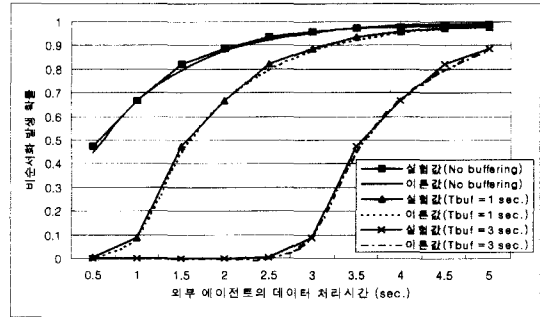


그림 11.  $T_f$ 의 변화에 따른 비순서화 발생 확률  
Fig. 11. The foreign agent packet processing time versus packet disordering probability.

특히 그림 11에서 홈 에이전트의 버퍼링 수행 시간이 이전 외부 에이전트의 데이터 처리 시간을 초과하는 시점에서부터 비순서화 발생율은 급격하게 증가함을 보여주는데, 이는 홈 에이전트의 버퍼링 시간을 결정하는데 있어서 이전 외부 에이전트의 데이터 처리 시간이 주요한 고려사항이 됨을 의미한다.

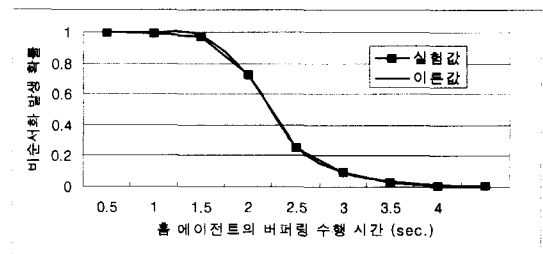


그림 12.  $T_{buf}$ 의 변화에 따른 비순서화 발생 확률  
Fig. 12. The home agent buffering time versus packet disordering probability.

마지막으로 그림 12는 홈 에이전트의 버퍼링 수행 시간과 비순서화 발생율사이의 관계를 보여주는데, 버퍼링 시간의 증가는 비순서화 발생율을 지수적으로 감소시키는 결과를 가져온다. 특히 그림 11 결과에서도 언급하였듯이, 홈 에이전트의 데이터 처리 시간이 외부 에이전트의 데이터 처리 시간을 초과하는 시점에서부터 비순서화 발생율은 급격히 감소함을 알 수 있다.

모든 결과 그래프들에서 보여 주듯이 수학적 분석의 결과와 시뮬레이션의 결과는 매우 유사함을 알 수 있는데, 이는 수학적 분석 방법의 신뢰성이 검증되었

음을 의미한다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 효율적인 이동 호스트의 핸드오버 수행을 위한 홈 에이전트의 버퍼링 정책을 제안하였으며, 또한 홈 에이전트에서 모든 사용자 데이터가 생성된다고 가정할 때, 홈 에이전트가 등록 요청 메시지를 수신하기 직전에 생성된 사용자 데이터와 그 직후에 생성된 사용자 데이터들 사이에 서로 순서가 뒤바뀌어 이동 호스트에 도착하게 될 비순서화 발생률과 홈 에이전트의 버퍼링 시간과의 관계를 분석하였다.

핸드오버를 전후한 패킷 비순서화 발생율을 분석하기 위하여, 먼저 홈 에이전트에서 사용자 데이터를 생성하는 시간 간격과 서로 다른 사용자 데이터가 홈 에이전트에서 이동 호스트까지 도달하는데 소요되는 시간차를 서로 다른 랜덤 변수로 정의하였다. 그리고 이들 두 랜덤 변수가 서로 다른 평균값을 가지는 지수 분포를 따른다고 가정하고, 이들의 확률 분포 함수를 이용하여 사용자 데이터의 생성 시간 간격이 서로 다른 사용자 데이터가 홈 에이전트에서 이동 호스트까지 도달하는데 소요되는 시간차보다 작은 값을 가지게 될 확률을 구하여 비순서화 발생율을 정의하였다.

시뮬레이션을 통하여 비순서화 발생율은 홈 에이전트에서의 평균 데이터 생성 시간 간격과 반비례관계를 가지는 반면에, 이전 외부 에이전트와 이동 호스트사이의 전송 지연시간과 이전 외부 에이전트에서의 사용자 데이터 처리 시간과는 서로 비례 관계에 있음을 보여주었다. 또한 모든 상황에서 비순서화 발생율은 홈 에이전트의 버퍼링 수행 시간 증가와 함께 급격하게 감소함을 알 수 있었다. 즉, 핸드오버를 전후하여 발생 가능한 패킷 비순서화와 그에 따른 송신측의 불필요한 재전송 수행 문제에 대하여 홈 에이전트의 버퍼링 정책이 그 해결책이 될 수 있음과 이를 통하여 이동 호스트에서의 효율적인 핸드오버 수행이 가능함을 보였다.

또한 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과는 수학적 분석 결과값과 근사한 오차를 가지면서 서로 일치하고 있음을 보여, 수학적 분석 결과값의 신뢰성을 검증하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Caceres and L. Iftode, "Improving the Performance of Reliable Transport Protocols in Mobile Computing Environments", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 13, No. 5 June 1995.
- [2] H. Balakrishnam, S. Seshan and R. H. Katz, "Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks", *Wireless Networks I*, pp. 469-481, 1995.
- [3] H. Balre and B. R. Badrinath, "Handoff and System Support for Indirect TCP/IP", *Proc. Second Usenix Symp. on Mobile and Location-Independent Computing*, 1995.
- [4] C. Perkins, "IP Mobility Support", IETF RFC 2002, October 1996.
- [5] C. Perkins, "Route Optimization in Mobile IP", Internet DRAFT, July, 1997
- [6] H. Mitts, H. Hansen, J Immonen and S. Veikkolainen, "Lossless Handover For Wireless ATM", *ACM Mobicom'96*, Rye, New York, Nov. 1996.
- [7] Wilbur H. Highleyman, *Performance Analysis of Transaction Processing Systems*, Prentice-Hall, 1989.
- [8] Carl W. Helstrom, *Probability and Stochastic Processes for Engineers*, Macmillan Inc., 1984.
- [9] M. H. MacDougall, *Simulating Computer Systems Techniques and Tools*, MIT Press, 1987.



## — 저 자 소 개 —

## 許 聖 辰(正會員) 第 36卷 S編 第 1號 參照

1990년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1992년 경북대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사). 1999년 경북대학교 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1999년 - 현재 창신대학 전임강사. 주 관심분야는 고속 통신망, 무선 ATM, 이동 인터넷

## 李 原 烈(正會員)

1987년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1993년 경북대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사). 1995년 경북대학교 컴퓨터공학과 수료(박사). 1997년 - 현재 성심 외국어대학 전임강사. 주 관심분야는 무선 ATM, 고속 통신 프로토콜 개발, Mobile IP

## 金 整 三(正會員) 第 36卷 S編 第 1號 參照

1987년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1990년 경북대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 컴퓨터공학과 수료(박사). 1990년 - 1995년 국방과학연구소 연구원. 1995년 - 현재 경북전문대학 조교수. 주 관심분야는 PCS, 이동 인터넷, 분산 처리

## 韓 基 俊(正會員) 第 34卷 S編 第 8號 參照

1979년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1981년 한국 과학 기술원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 University of Arizona 전기 및 전산공학과 졸업(석사). 1987년 University of Arizona 전기 및 전산공학과 졸업(박사). 1981년 - 1984년 국방과학연구소 연구원. 1988년 - 현재 경북대학교 컴퓨터공학과 부교수. 주 관심분야는 전산망 프로토콜, 멀티미디어 통신망, 이동 인터넷, 분산 처리