멀티호밍 모바일 네트워크를 위한 인그레스 필터링 우회 메커니즘*

류지호°, 최낙중, 권태경, 최양희, 백은경
서울대학교, KT
{jhryu°, fomula, tk, yhchoi}@mmlab.snu.ac.kr, euna@kt.co.kr

The Mechanism to Bypass Ingress Filtering for Multihomed Mobile Networks*

Jiho Ryu°, Nakjung Choi, Taekyoung Kwon, Yanghee Choi and Eunkyoung Paik
Seoul National University and KT

요 약

본 논문에서는 멀티호밍 모바일 네트워크에서 발생하는 다양한 이슈 중 인그레스 필터링(ingress filtering) 문제에 대한 해결책을 제시하고자 한다. 본 저자들은 먼저 다수의 모바일 라우터가 존재하는 모바일 네트워크 환경에서 이웃 모바일 라우터 사이에 '프리픽스(prefix) 이웃' 관계를 제안한다. 그리고 이런 관계를 활용하여 모바일 라우터의 서비스를 받는 단말들이 자신의 주소를 변경하지 않고도 이웃 모바일 라우터를 통하여 릴레이 서비스를 받을 수 있도록 하는 인그레스 필터링 우회 기법도 제안한다. 또한 제안된 기법들을 ns-2 시뮬레이터 상에서 구현하고, 모의 실험을 수행하여 제안된 기법의 성능 향상을 검증한다.

1. 서 론

일상에서 인터넷이 차지하는 비중은 점점 높아지고, 초고속 휴대 인터넷을 위한 WiBro 상용화 서비스가 시작되면서 어디서든 인터넷을 이용할 수 있는 환경이 구축되어 가고 있다. 이런 유비쿼터스 환경에서는 모바일 네트워크가 중요한 이슈 중 하나이며, 다양한 관련 연구들도 활발히 진행되고 있다. 현재 모바일 네트워크에 대한 연구와 표준화 작업은 NEMO 워킹 그룹을 주축으로 이루어지고 있으며, NEMO Basic Support 프로토콜[1]은 단말의 이동성 지원을 위해 제안된 모바일 IPv6[2]를 모바일 네트워크에 적용하였을 때에 발생하는 문제를 해결하기 위해 제안되었다. 모바일 IPv6 메커니즘을 모바일 네트워크에 수정 없이 적용하게 되면, 다수의 바인딩 업데이트가 한꺼번에 발생하게 되고, 이는 본래의 목적인 단말의 이동성 지원 기능에 심각한 문제를 야기 시킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 NEMO Basic Support 프로토콜에서는 모바일 라우터라는 새로운 에이전트를 도입하여 모바일 라우터만이 바인딩 업데이트를 수행하고, 해당 모바일 라우터를 통하여 통신하는 단말들은 네트워크가 이동하였다는 사실을 모르도록 하고 있다. 즉, 전체 네트워크가 이동하더라도 해당 네트워크의 게이트웨이 역할을 하는 모바일 라우터만이 바인딩 업데이트를 수행하기 때문에 컨트롤 메시지의 수가 훨씬 줄어들게 되고, 모바일 IPv6 메커니즘을 지원하지 않는 단말도 네트워크 이동성에 대한 지원을 받을 수 있다.

그러나 점차 다양한 네트워크 접속 기술이 등장하고, 단말의 요구 사항 또한 복잡해지면서 NEMO Basic Support 프로토콜만으로는 급격한 네트워크 접속 기술의 발전과 다양한 사용자 요구 사항을 수용하지 못한다. NEMO 워킹 그룹에서는 이런 문제들을 해결하기 위해서 모바일 네트워크에서의 멀티호밍을 고려[3]하고는 있으나 아직까지 적절한 모바일 네트워크 관리 기법이나 다양한 사용자 요구 사항을 수용할 수 있는 해결책은 제시하지 못하고 있는 상황이다. 모바일 네트워크의 멀티 호밍은 다양한 시나리오가 존재하는데 본 논문에서는 다수의 모바일 라우터가 존재하며 각각 개별적인 홈 에이전트와 프리픽스(prefix)를 사용하는 시나리오의 문제점을 해결하고자 한다. 제안된 기법들은 큰 수정 없이 다른 모든 멀티호밍 시나리오에 적용 가능하다.

각각의 모바일 라우터는 자신의 프리픽스를 브로드 캐스트 하여 단말들이 이를 통하여 주소 설정을 하고, 자신을 통하여 서비스를 제공받을 수 있도록 하고 있다. 만약 다수의 모바일 라우터 중 하나에 장애가 발생한다면 주변의 이웃 모바일 라우터가 장애 발생 모바일 라우터의 서비스를 대신 처리해 줄 수 있어야 모바일 네트워크의 인터넷 서비스가 안정적으로 유지될 수 있을 것이

* 본 논문은 2006년도 KT, 두뇌한국21 지원을 받아 수행되었음.

다. 그러나 장애 모바일 라우터로부터 서비스를 받던 단말이 다른 모바일 라우터를 통해 서비스를 받게 되면, 자신의 주소를 새로 설정하지 않는 경우에는 변경된 모바일 라우터에 의해 다른 홈 에이전트(변경된 모바일 라우터의 홈 에이전트)로 패킷이 전달되어 인그레스 필터링(ingress filtering) 문제가 발생하게 된다. 만약 단말이 주소를 새로 설정한다면, IP 주소 변경으로 인하여 모바일 네트워크 내에서 끊김 없는 서비스 제공이 불가능하다. 따라서 단말의 주소 변경 없이 인그레스 필터링 문제를 해결하기 위한 기법이 필요하다. 본 논문에서는 모바일 IPv6 메커니즘 확장을 위하여 제안된 다수의 임시 주소 등록 기법을 확장하고, 새로운 ICMP 메시지[5]를 제안 및 활용하여 인그레스 필터링 문제를 해결하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 주요 관련 연구인 다수의 임시 주소 등록 기법에 대해 간략히 설명하고, 3장에서 본 논문이 제안하는 기법에 대해 자세히 설명한다. 4장에서는 제안된 기법의 적용 시나리오를 살펴보고, 5장에서 모의 실험을 통하여 제안된 기법의 성능 향상을 확인한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 다수의 임시 주소 등록 기법

모바일 IPv6 메커니즘에 따르면 모바일 단말은 다수의 임시 주소(Care-of Address)를 할당 받을 수는 있으나 홈 에이전트에는 한 개의 임시 주소(primary)만을 등록하여 사용할 수 있다. 끊김 없는 이동성 지원 등 다양한 측면에서 모바일 단말이 하나 이상의 네트워크 인터페이스를 통하여 인터넷에 연결될 수 있다면, 장애 발생시 복구나 네트워크 부하 분산 등에 유용하게 활용될 수 있다. 이를 위해 모바일 IPv6 메커니즘을 확장하여 모바일 단말이 하나 이상의 임시 주소를 자신의 홈 에이전트에 등록할 수 있도록 하는 다수의 임시 주소 등록 기법[4]이 제안되었다. 기존의 모바일 IPv6 메커니즘에서는 임시 주소를 홈 에이전트에 등록할 때 바인딩 캐쉬에 해당 모바일 단말의 홈 주소가 없을 경우, 홈 주소와 임시 주소 엔트리를 추가하거나 해당 모바일 단말의 홈 주소가 있을 경우에는 해당하는 임시 주소를 갱신하게 된다. 즉, 기존의 바인딩 업데이트에서는 이미 임시 주소를 등록한 모바일 단말의 홈 주소에 대해 새로운 바인딩 업데이트가 온 경우에 해당 엔트리를 갱신하기 때문에 동시에 다수의 임시 주소를 사용할 수 없는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해서 다수의 임시 주소 등록 기법에서는 바인딩 업데이트 식별자 서브 옵션(Binding Unique Identifier sub-option)을 추가하였다. 이 옵션은 바인딩 업데이트 이동 옵션 필드(mobility option field)에 포함되어 있다. 바인딩 업데이트 식별자 서브 옵션을 통하여 BID (Binding Unique Identifier number)가 전달되고, 이 BID를 통하여 각각의 임시 주소가 사용하는 네트워크 인터페이스를 구별할 수 있다. 다수의 임시 주소 등록 기법을 사용하면 자신의 홈 에이전트에 하나의 홈 주소에 대한 다수의 임시 주소 등록이 가능하고, 미리 정의된 정책에 따라 부하 분산이나 장애 발생시 끊김 없는 연결 제공, QoS 제공 등의 이점을 얻을 수 있다.

3. 인그레스 필터링 우회 기법

홈 네트워크에서 발생하는 인그레스 필터링 문제를 해결하기 위한 방안으로 저자들은 모바일 라우터들 사이에 '프리픽스 이웃' 관계를 맺도록 하였다. '프리픽스 이웃' 관계는 새롭게 제안하는 '프리픽스 이웃 바인딩 업데이트' (Prefix Peer Binding Update, 이하 PPBU) 메시지를 통해서 이루어진다. '프리픽스 이웃' 관계를 위해 모바일 라우터들은 사전에 적절한 인증 과정[6]을 거쳐 서로 '프리픽스 이웃' 관계를 맺고 있다고 가정한다. 또한, 새로운 ICMP 메시지를 제안함으로써 '프리픽스 이웃' 관계의 모바일 라우터를 통한 릴레이 서비스를 이용하고자 한다. 즉, 모바일 네트워크를 구성하는 모바일 라우터들 중에서 특정 모바일 라우터에 장애가 발생한 경우 혹은 부하의 분산을 위해서 *프리픽스 이웃 관계에 있는 모바일 라우터*가 릴레이 서비스를 대신 해주는 것이다. 이 기법을 사용하여 인그레스 필터링을 우회하면서도 모바일 라우터 장애 발생시 끊김 없이 연속적인 서비스 제공이 가능하다.

3.1. 프리픽스 이웃 임시 주소의 등록

프리픽스 이웃 임시 주소의 등록은 모바일 IPv6 단말을 위한 다수의 임시 주소 등록 기법을 확장한 것으로, 모바일 라우터의 프리픽스에 대응하는 자신의 임시 주소 이외에도 이웃 모바일 라우터의 임시 주소를 홈 에이전트에 등록하는 것이다. 따라서 해당하는 프리픽스 주소에 대하여 다수의 임시 주소를 등록하여 상황에 따라 이용하는 모바일 라우터의 임시 주소를 바꾸는 것이다. 이를 동작 방식으로 끊김 없는 인터넷 서비스를 제공할 뿐만 아니라 인그레스 필터링 문제도 해결할 수 있다. 모바일 라우터가 이웃 모바일 라우터의 임시 주소를 등록하기 위해서는 BID를 생성하여 기존의 바인딩 업데이트 대신에 PPBU를 보내게 된다. 이 경우, 이웃 모바일 라우터는 인증 받은 이웃 모바일 라우터가 보내는 바인딩 업데이트라는 의미로 '프리픽스 이웃' 플래그를 1로 설정하여 보낸다. 해당 PPBU를 받은 홈 에이전트는 바인딩 캐시에 해당 프리픽스에 대한 엔트리를 추가하거나 업데이트하게 된다.

3.2. 프리픽스 이웃 임시 주소의 등록 취소

만약 모바일 라우터가 다른 네트워크로 이동하여 더 이상 릴레이 서비스를 제공해주지 못하게 되는 경우라면 프리픽스 이웃 임시 주소로 등록된 자신의 임시 주소를 지우는 과정이 필요하다. 자신의 임시 주소의 등록 취소를 위해서는 PPBU를 다시 보내게 되고, 이 때에는 '프리픽스 이웃' 플래그를 0으로 설정해서 보내게 된다. 이 메시지를 받은 홈 에이전트에서는 해당 임시 주소를 삭제하게 된다.

바인딩 업데이트 메시지의 옵션 중 바인딩 업데이트 식별자 서브 옵션이 추가되어 변경된 부분은 아래와 같다.

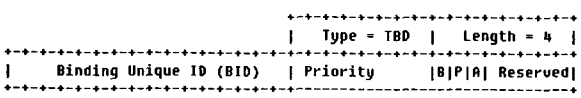

그림 1. 바인딩 업데이트 식별자 서브 옵션

그림 1에서 P 플래그는 '프리픽스 이웃' 플래그를 의미한다. P 플래그가 1인 경우, 해당 메시지는 PPBU이면서 프리픽스 이웃 임시 주소를 등록할 때 사용된다. P 플래그가 0인 경우는 기존의 바인딩 업데이트이거나 프리픽스 이웃 임시 주소의 등록을 취소할 때 사용된다. A 플래그는 대체(alternative)를 의미하는 것으로, 현재 PPBU에 포함된 임시 주소가 이웃 모바일 라우터의 것인지 아닌지를 구분한다.

3.3. 인그레스 필터링 우회 기법

본 논문에서 제안하는 기법의 핵심은 단말이 자신의 IP 주소를 변경하지 않는다는 것이다. IP 주소를 변경하게 되면 기존의 IPv6 자동 주소 설정 기법을 사용하여 재설정 과정을 거치게 되는데, 이는 상당히 긴 시간을 요구하는 작업이고, IP 주소가 변경되기 때문에 끊김 없는 인터넷 서비스의 제공이 불가능하다. 본 논문에서는 이웃 모바일 라우터의 임시 주소를 미리 홈 에이전트에 등록해 두었기 때문에 본래 서비스를 제공하던 모바일 라우터에 장애가 발생한 경우에 이를 이웃 모바일 라우터에게 알려 이웃 모바일 라우터로 하여금 대신하여 인터넷 서비스를 제공하도록 하는 것이다. 즉, 이웃 모바일 라우터에게 릴레이 서비스를 요청한 모바일 라우터의 프리픽스를 대신 브로드캐스트 하게 함으로써, 기존의 단말들이 주소 변경 없이 이웃 모바일 라우터를 통해서 통신을 하게 되고, 이웃 모바일 라우터는 이런 단말들의 패킷을 수신하게 되는 경우, 장애 발생 모바일 라우터의 홈 에이전트로 보내줌으로써 인그레스 필터링 문제가 발생하지 않도록 한다. 모바일 라우터에 장애가 발생한 경우에 이웃 모바일 라우터에게 알려주는 메시지는 다음 절에서 설명한다.

3.4. ICMP 모바일 라우터 HINT 메시지

모바일 라우터는 ICMP HINT 메시지를 통하여 이웃 모바일 라우터에게 자신의 상태를 알리고, 이웃 라우터로 하여금 릴레이 서비스를 시작하도록 한다. 즉, 자신이 감당할 수 없을 만큼의 부하가 몰렸다는 등의 상태를 이웃 모바일 라우터에게 알려서 릴레이 서비스를 대신하게끔 유도하는 것이다. 이 메시지의 포맷은 아래와 같다.

HA Address 필드는 해당 ICMP 메시지를 보내는 모바일 라우터의 홈 에이전트의 주소를 의미하며, 사용 예시는 다시 설명하도록 한다. 해당 모바일 라우터의 상태는 코드(Code) 값에 따라서 달라지며 본 저자들이 제시하는 값들은 아래 표와 같다.

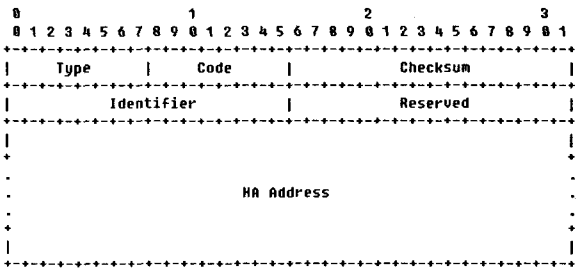

그림 2. ICMP 모바일 라우터 HINT 메시지

표 1. ICMP HINT 메시지 코드값의 의미

Code 값	의 미
0	장애 알림
1	장애 알림 (ACK을 받지 않음)
2	트래픽 양이 많음
3	트래픽 양이 많음 (ACK을 받지 않음)
4 - 255	예약됨 (정의 되지 않음)

3.5. 홈 에이전트의 동작

홈 에이전트가 이웃 모바일 라우터의 임시 주소가 포함하는 PPBU를 받는 경우, 우선 자신의 바인딩 캐시를 체크한다. 해당하는 임시 이웃 주소 엔트리가 없는 경우에 홈 에이전트는 새로 해당 엔트리를 등록하게 되고, 바인딩 응답 메시지를 보내어 성공적인 등록이 이루어졌음을 알린다. 해당 임시 주소는 아직은 사용되어지지 않는 주소이므로 '사용중' 필드는 0으로, 그리고 이웃 모바일 라우터로부터 등록된 주소이므로 '이웃' 필드는 1로 설정한다. 즉, 해당 프리피스에 대해서는 '사용중' 필드가 1인 경우에만 현재 사용되고 있음을 의미한다. 만약 이웃 모바일 라우터의 임시 주소를 갖고 있으면서 PPBU가 아닌 그냥 바인딩 업데이트 메시지를 받은 경우, 자신의 바인딩 캐시를 보고 해당 엔트리가 이미 존재하는 경우에는 이웃 임시 주소의 등록 취소에 해당하므로 해당 엔트리를 지우면 된다. 만약 해당 엔트리가 존재 하지 않는 경우, 잘못된 메시지이므로 무시한다. 만약 PPBU가 왔는데, 대체(alternative) 값이 0으로 설정되어 있다면, 바인딩 캐시에 해당 엔트리가 이미 존재하는지 살핀다. 만약 없다면 해당 메시지를 무시하며, 있다면 이는 모바일 라우터에 문제가 생겨 이웃 모바일 라우터에게 릴레이 서비스를 요청하는 경우가 될 것이다. 이 경우, 홈 에이전트는 해당 프리픽스에 대한 임시 주소의 '사용중' 필드를 지금 받은 PPBU의 임시 주소로 설정하고, 이 메시지를 보낸 모바일 라우터에게 응답을 보낸다.

3.6. 모바일 라우터의 동작

이웃 모바일 라우터의 인증 작업이 성공적으로 이루어졌다면 이웃 모바일 라우터는 자신의 임시 주소 등록을 위해 '프리픽스 이웃' 관계에 있는 모바일 라우터의 홈 에이전트에게 PPBU를 보낸다. 이웃 모바일 라우터의 등록을 위한 메시지이므로 대체(alternative) 값은 1로 설정한다. 만약 임시 주소 등록을 취소하기 위해서는 다시

PPBU를 보내는데, 이 때는 '프리픽스 이웃' 값을 0으로 설정한다. 만약 ICMP 모바일 라우터 HINT 메시지를 받아서 '프리픽스 이웃' 관계에 있는 모바일 라우터 대신 서비스를 제공하고자 하는 경우에는 PPBU를 보낼 때 대체(alternative) 값을 0으로 설정하여 보낸다. 즉, 홈 에이전트로 하여금 실제 사용 중인 임시 주소를 변경하도록 하는 것이다. 홈 에이전트로부터 응답이 오면 '프리픽스 이웃' 관계에 있는 모바일 라우터 대신에 프리픽스를 브로드캐스트 하고 인터넷 서비스를 대신 제공한다.

4. 예제 시나리오

본 논문에서 제안하는 기법을 실제로 적용하는 예를 설명하고자 한다. 그림 3은 두 개의 모바일 라우터로 구성된 멀티호밍 모바일 네트워크의 예를 보여 주고 있다. 하나의 모바일 라우터1(MR1)의 임시 주소를 C1, 다른 하나의 모바일 라우터2(MR2)의 임시 주소를 C2라고 하고, 이들의 프리픽스를 각각 MNP1, MNP2라고 하자. 그리고 MR1과 MR2는 서로 '프리픽스 이웃' 관계를 맺고 있고, 각각의 홈 에이전트에게 서로의 임시 주소를 프리픽스 이웃 임시 주소로 이미 등록했다고 가정하자. 이 경우에 MR2의 홈 에이전트 바인딩 캐시는 아래와 같이 구성되어 있다.

표 2. MR2의 홈 에이전트 바인딩 캐시 (그림 3 시나리오)

프리픽스	임시 주소	BID	사용중	이웃
MNP2	C1	1	0	1
MNP2	C2	1	1	0

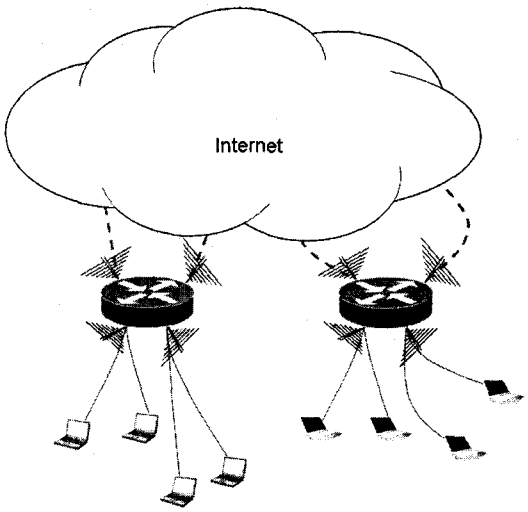

그림 3. 이동 네트워크의 정상 동작 상태

이 때 외부로 패킷을 전달하는 MR2의 외부 인터페이스에 문제가 발생하면, MR2는 자신이 정상적인 서비스를 제공할 수 없다고 판단하고, MR1에게 코드값 0 또는 1로 설정된 ICMP 모바일 라우터 HINT 메시지를 보내게 된다. 해당 메시지를 받은 MR1은 MR2 홈 에이전트에게 대체(alternative) 필드를 0으로 설정한 PPBU를 보내게 된다. MR2의 홈 에이전트는 이 메시지를 통해 MR2의 프리픽스에 대한 임시 주소의 '사용중' 필드를 MR1의 임시 주소로 변경하게 되고, MR1에게 응답을 보내게 된다.

표 3. MR2의 홈 에이전트 바인딩 캐시 (그림 4 시나리오)

프리픽스	임시 주소	BID	사용중	이웃
MNP2	C1	1	1	1
MNP2	C2	1	0	0

MR1은 MR2를 대신하여 MR2의 프리픽스를 브로드캐스트 하게 되고, MR2를 통해 서비스를 받던 단말들은 MR1을 통해 주소 변경 없이 계속해서 서비스를 받을 수 있게 된다. 결국 자신의 주소를 변경하지 않고, 통신을 계속하게 되므로 MR2의 홈 에이전트에서는 인그레스 필터링 문제를 피할 수 있게 된다.

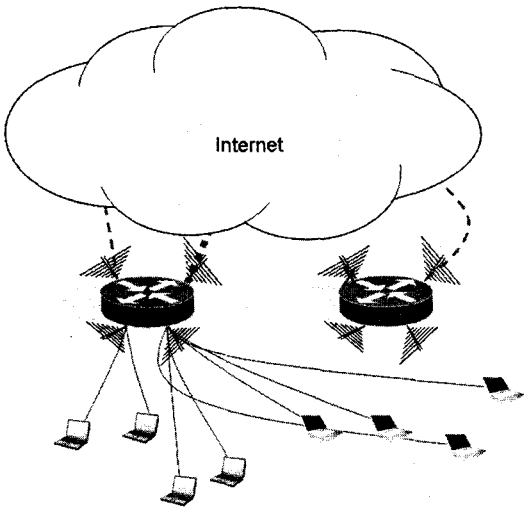

그림 4. 단말의 서비스 경로가 이동된 모습

5. 모의 실험 결과

본 논문에서 제안된 기법의 성능 평가를 위하여 ns-2 시뮬레이터 상에서 구현을 통한 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험에서 사용된 네트워크 구조는 두 개의 모바일 라우터 MR1과 MR2가 존재하고, MR1 아래에 모바일 단말 MN1, MN2, MR2 아래에 MN3, MN4가 서비스를 받고 있는 상황이다. 모의 실험 시작 후, 60초가 되는 순간에 MR1의 외부(egress) 인터페이스 혹은 내부(ingress) 인터페이스에 장애가 발생하며, 그림 5와 그림

6은 모든 모바일 단말의 다운로딩 UDP 및 TCP 플로우 성능 변화를 보여주고 있다. 이 때 두 노드 사이의 메시지 전송 지연 시간은 80ms로 고정되어 있다.

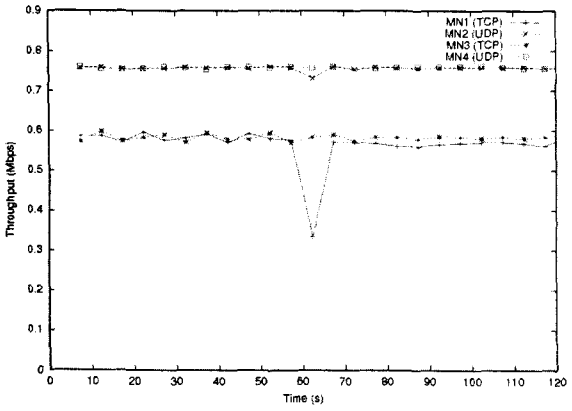

그림 5. MR1 외부 인터페이스 장애 발생

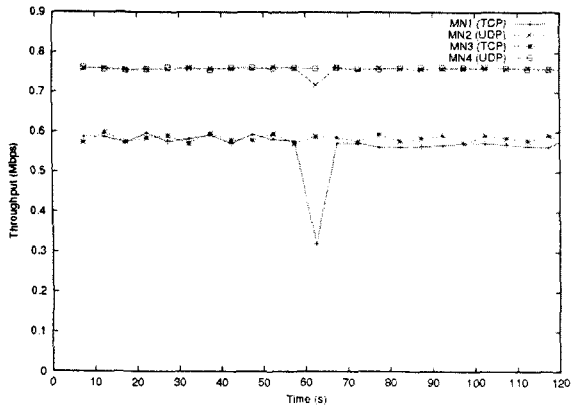

그림 6. MR1 내부 인터페이스 장애 발생

외부(egress)나 내부(ingress) 인터페이스 장애 발생시 TCP 플로우의 성능 감소가 UDP 플로우에 비하여 훨씬 심각하다는 것을 알 수 있다. 이것은 TCP 플로우 제어 메커니즘과 혼잡 제어 메커니즘이 장애 발생으로 인한 순간적인 패킷 손실을 인식하고 전송 속도를 낮추기 때문이다. 하지만 모바일 라우터에 장애가 발생한 경우에도 어느 정도의 성능이 유지되고 있다는 것을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 다수의 모바일 라우터가 존재하는 멀티호밍 모바일 네트워크 시나리오에서 발생할 수 있는 인그레스 필터링 문제를 해결하는 기법을 제시하였다. IPv6 상에서 다수의 임시 주소를 등록하는 기법을 확장하여 모바일 라우터의 프리픽스에 대한 다수의 프리픽스 이웃 임시 주소를 등록함으로써 '프리픽스 이웃' 관계에 있는 모바일 라우터의 장애 발생시 대신하여 인터넷 서비스를 제공해 주는 기법을 제안하였다. 본 논문이 제안하는 방식을 통하여 단말은 IP 주소의 변경 없이 끊김 없는 서비스를 제공받을 수 있고, 홈 에이전트에서 발생하는 인그레스 필터링를 우회할 수 있다. 모의 실험을 통하여 제안하는 기법이 기존 방식에 비하여 우수한 성능을 달성하고, 인그레스 필터링 문제를 해결함을 검증하였다. 현재 실제 동작 가능성을 검증하기 위하여 테스트 베드를 구축하고, 제안된 알고리즘을 구현 중이다.

7. 참고문헌

[1] V Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol", RFC 3963, January 2005.

[2] D. Johnson, CE Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, June 2004.

[3] C. Ng, E. Paik, and T. Ernst, "Analysis of Multihoming in Network Mobility Support", draft-ietf-nemo-multihoming-issues-05 (work in progress), February 2006.

[4] R. Wakikawa, K. Uehara, T. Ernst, and K. Nagami, "Multiple Care-of Addresses Registration", draft-wakikawa-mobileip-multiplecoa-05 (work in progress), March 2006.

[5] A. Conta, and S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2463, December 1998.

[6] S. Cho, J. Na, and C. Kim, "Neighbor MR Authentication and Registration Mechanism in Multihomed Mobile Networks", draft-cho-nemo-mr-registration-00 (work in progress), April 2004.