

네트워크 이동성 환경에서 멀티캐스트 기반의 바인딩 갱신 기법에 대한 성능 분석

안수빈*, 김문성**, 추현승*

*성균관대학교 정보통신공학부

**미시건주립대학교 전자·컴퓨터공학과

e-mail: soobeen@skku.edu

On Performance Evaluation of Binding Updates Based on Multicasting for Network Mobility

Soobeen Ahn*, Moonseong Kim**, and Hyunseung Choo*

* School of Information and Communication Engineering

Sungkyunkwan University, Korea

** Electrical and Computer Engineering

Michigan State University, USA

요 약

네트워크 이동성(Network Mobility: NEMO)은 하나 이상의 서브넷으로 이루어진 전체 네트워크가 인터넷 접속점을 동적으로 변화하여 네트워크 접근성도 변화하는 환경을 말한다. 이러한 환경에서 경로 최적화를 위한 여러 프로토콜들이 존재하지만 그중 Prefix Delegation 기법은 다른 기법들에 비해 다방면에서 우수하다. 그러나 본질적으로 바인딩 갱신 스톰(storm) 문제를 수반하기에 NEMO 환경에서의 바인딩 갱신 비용을 최소화 하기위한 연구가 대두하였다. 본 논문에서는 바인딩 갱신 비용의 최소화를 위하여 바인딩 갱신 시 멀티캐스트 기법을 적용하였으며, 경로 최적화 프로토콜은 Prefix Delegation 기법 중 바인딩 갱신 비용을 효율적으로 고려한 IPD[1]를 가정하였다. 성능평가를 위해서 수학적 모델링을 적용하였으며, 본 모델을 통하여 기존 방법들에 비하여 상당한 비용절감 효과를 얻을 수 있음을 보인다.

1. 서론

IETF의 Mobile IPv6는 이동노드(Mobile Node; MN)의 원활한 통신을 제공하는 프로토콜이다. 자신의 홈 네트워크를 벗어나 다른 서브넷으로 이동 시에는 새로운 CoA(Care of Address)를 얻은 후 현재의 위치를 알려 주기 위해 MN의 홈 에이전트(Home Agent; HA) 그리고 MN과 통신 중인 모든 노드(Correspondent Node; CN)에게 바인딩 갱신(Binding Update) 메시지를 사용하여 위치 등록을 수행 한다. 또한 바인딩 갱신 메시지에는 MN의 바인딩 유효기간을 의미하는 라이프타임을 설정하고 있으며, MN은 라이프타임이 만료되기 직전에 HA와 CN들에게 바인딩 갱신 메시지를 통하여 위치등록을 수행한다. 이렇듯 사용자의 이동성 지원은 빈번한 바인딩 갱신 메시지를 발생시키며, 이러한 추가적인 시그널링은 부족한 자원인 주파수 대역폭을 사용하게 되어 네트워크 부하를 초래한다. 이는 효율적인 위치관리를 위한 문제 중의 하나로 심각하게 대두되고 있다.

네트워크 이동성(NEtwork MObility; NEMO)은

하나 이상의 서브넷으로 이루어진 전체 네트워크가 인터넷 접속점을 동적으로 변화하여 따라서 네트워크 접근성도 변화하는 환경을 말한다. 많은 MN들이 열차, 버스, 비행기 등을 타고 이동하는 경우에 MN들은 같은 이동성을 가지므로 각각이 발생하는 바인딩 갱신 메시지를 그룹으로 관리하는 것이 가능하다면 위치갱신을 위한 시그널링을 줄임으로써 효율적인 위치관리를 할 수 있을 것이다. 또한 NEMO 환경에는 많은 MN들이 있으며, MN이 위치갱신을 위해 사용하는 메시지들은 HA에게 보내지며 동시에 모든 CN들에게도 각각 보내진다. 그러므로 MN이 위치갱신을 위해 초래하는 메시지 수는 CN들의 수가 많을수록 커지며, 많은 네트워크 부하를 초래한다. 따라서 효율적인 위치관리를 위해 MN의 바인딩 갱신 메시지를 CN들에게 전송 시 멀티캐스트 기법을 적용하여 자원의 사용을 줄이겠다.

본 논문의 나머지 부분의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구들에 대해 살펴보고, 3장에서는 바인딩 갱신 시 멀티캐스트 적용 사례를 서술한다. 그런 후, 4장에서는 성능평가를 위한 수학적 모델링

을 제안한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 Prefix Delegation 프로토콜

NEMO 환경에서 prefix delegation을 이용한 경로 최적화 PD와 IPD(Improved PD)[1]의 가장 큰 차이점은 prefix delegation을 하게 될 경우 수많은 하위 노드들이 이동성을 감지하여 바인딩 업데이트 스톱이 발생할 수 있는 약점이 있기에, IPD는 이러한 부분을 보완 할 수 있도록 단지 MR들만 delegated prefix를 사용 하고 MR 내부의 MNN(Mobile Network Node)들에게는 그 prefix를 알리지 않고 사용한다는 점이다. 네트워크가 이동할 경우 하단의 MR을 포함하여 모든 노드들은 이동성을 감지하지 않아야 한다는 NEMO 환경의 대전제를 여기는 부분이 발생하지만 IPD는 경로 최적화 비용의 우수성을 감안하여 단점의 최소화를 이루었다는 것이 특징이라 할 수 있다.

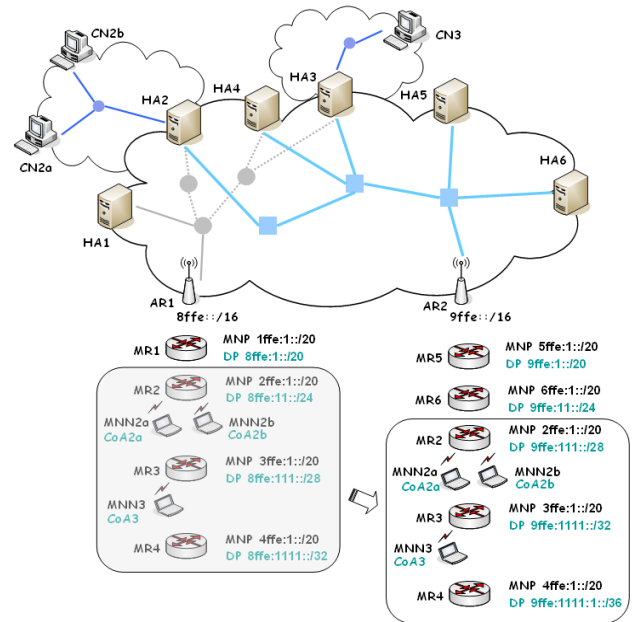
2.2 바인딩 갱신을 위한 멀티캐스트 관련 연구

우선, 2000년 Helmy의 논문 [2]를 보면 CN과 MN의 통신에서 MN이 이동(핸드오프)을 계속 하며 바인딩 갱신을 할 때에 멀티캐스트 트리를 사용하면 네트워크 자원의 소비측면에서 기존보다 약 1.8배의 효과가 있음을 보였다. 2002년 Chin의 논문 [3]에는 MN이 여러 CN과의 통신을 한다면 그 모든 CN의 주기적인 바인딩 갱신을 위해서는 멀티캐스트를 사용해야 한다고 언급하고 있다. 2005년 Chen의 논문 [4]에서는 멀티캐스트 바인딩 갱신 기법을 NEMO에 적용 시켰지만 단지 MIPv6 측면에서만 고려를 하였으며 NEMO Basic Support [5] 프로토콜이나 각종 경로 최적화에 대해서는 고려를 안 하였다. 2005년 Kim의 논문 [6]은 Helmy의 논문 [7]을 HMIP 기반의 NEMO로 확장시켰었다.

3. NEMO 환경에서 멀티캐스트 기반의 바인딩 갱신 기법 적용 사례

NEMO 환경에서의 본질적인 바인딩 갱신 문제와 더불어 IPD가 수반하는 바인딩 스톱 문제를 해결하기 위해 멀티캐스트 기법의 적용은 다음과 같다. 그림 1의 예제는 제안 알고리즘의 예제이며 이와 함께 제안 알고리즘을 설명하겠다. 그림의 이해를 돕기 위해 웹페이지 [8]을 참조하기 바란다. 본 알고리즘은 IPD 기반으로 하였기에 MR의 Delegated Prefix (DP)를 표현하였다. 또한 멀티캐스트를 위해 트리를

사용하기에 트리의 루트는 AR로 지정하였다. 우선, MR1이 외부 네트워크 AR1에 들어가면 AR1은 바인딩 갱신 메시지를 판단하고 HA1에게 멀티캐스트 트리 가입을 위한 invite 메시지를 보내고 트리 가입 후 HA1에 바인딩 갱신을 한다. 그 후, MR2가 MR1 하단에 들어오면 IPD에 의해서 DP가 생성되며 HA2에 같은 방법으로 등록을 하고 AR1은 지속적으로 멀티캐스트 트리를 위한 멤버 관리를 한다. MR3, MR4 또한 같은 방법으로 이루어진다.



(그림 1) 제안하는 방법의 예제

또 다른 관심사항으로 MR2가 품고 있는 MNN의 통신에 관련해서이다. 각각의 MNN이 CN들과 통신을 하고 있다고 가정하자. 즉, MNN2a는 CN2a, MNN2b는 CN2b와의 통신이 이루어지고 있을 때 바인딩 갱신에 대한 관점이다. CN2a의 주도하에 MNN2a와 통신을 할 때 HA2를 한번 지나치게 된다. 이때에도 HA2는 CN2a에게 invite 메시지를 보내고 HA2를 루트로 하여 바인딩 갱신을 위한 멀티캐스트 트리가 생성이 된다.

만약 MNN2b의 주도하에 CN2b와 통신을 하였다면 CN2b는 메시지에 OPR 부분을 살펴보고 HA2에 멀티캐스트 그룹 멤버 가입 신청을 한다. 이로서 HA2를 루트로 하는 멀티캐스트 트리의 생성과 관리가 진행이 된다. 따라서 MR2의 이동으로 생긴 바인딩 갱신, 또는 주기적인 바인딩 갱신에 연속적인 통신과 빠른 바인딩 갱신을 위해 HA2를 루트로 하는 멀티캐스트 트리 또한 바인딩 갱신이 진행이 된다.

그 후에 MR2가 MR3, MR4를 품고 새로운 외부

네트워크 AR2로 이동을 해서 MR6 하단에 붙는다고 하자. 이때 AR2 네트워크에는 MR5, MR6이 있기에 그에 따른 멀티캐스트 트리는 완성되어 있는 상태이며 본 트리의 AR2는 루트이다. MR2, MR3, MR4는 새로운 네트워크로 이동을 하였기에 IPD에 의해서 DP가 생성되며 MR2는 이동한 네트워크의 Top으로서 바인딩 갱신을 요청하는데 메시지에 바인딩 갱신을 위한 멀티캐스트 정보를 담는다. 이때 하위 DP중에서 가장 긴 DP인 /36에 대한 주소를 실어서 보낸다. 나중에 바인딩 갱신 시에 가장 긴 DP를 사용해 /28, /32, /36을 끊어서 사용하면 정확한 주소를 바인딩 갱신할 수 있다. 멀티캐스트 멤버에게는 각각의 MNP로 메시지를 전송할 수 있으며 AR2는 지속적인 그룹 멤버 관리를 한다.

4. 성능평가를 위한 수학적 모델

본 장에서는 수학적 모델을 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 분석하고자 한다. MR의 임의의 서브넷을 고려하자. p_{MR} 은 MR의 하위 노드가 MR이 될 확률이라 정의하며 또한 노드가 MNN일 확률은 p_{MNN} 이다. MR의 바로 하위에 존재하는 평균 노드의 개수를 μ_N 이라 할 때 MR은 $\mu_N \cdot p_{MR}$ 개의 MR들을 가지며 그 값을 서브넷의 평균 차수(degree)인 Deg 로 정의한다. 그러므로 D 가 서브넷의 루트인 MR로부터의 깊이라 가정하면, 이동네트워크에서

노드들의 개수를 $Monet = 1 + \sum_{d=1}^D \mu_N \cdot Deg^{d-1}$ 으로 기대할 수 있다. 또한 잠정적으로 AR아래 네트워크에서 몇몇의 서브넷들이 존재할 수 있다고 가정하면,

$Net = \xi \sum_{i=1}^{l+D} \mu_N \cdot Deg^{i-1}$ 을 AR 하위 전체 노드들의 개수로 추정할 수 있다. 여기서 ξ 는 적당한 상수이고 l 은 AR 하위의 중첩 레벨을 의미한다. 추가적으로

$\mu_{MNN} = (Monet - 1) \cdot (1 - p_{MR})$ 을 이동네트워크의 MNN의 평균 개수로, $\mu_{MNN} = 1 + (Monet - 1) \cdot p_{MR}$ 을 MR들의 평균 개수로 추정할 수 있다.

이와 더불어 백본 유선 네트워크도 고려해보자. 랜덤변수 K 는 바인딩 갱신을 위한 모든 멀티캐스트 구성원 MNN들의 HA들의 개수로 정의한다. 즉 k 개의 HA들 각각은 적어도 하나의 MNN과 통신이 되고 있다고 생각하자. 그렇다면 [9]에 의하여 k 개의 HA들에게 각각 적어도 하나의 노드가 연결될 수 있는 모든 사건의 개수는

$$Net C_k \cdot \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^i C_i \cdot (k-i)^{Monet} \text{ 이다. 따라서 랜덤변수}$$

K 의 기대값은 다음과 같다.

$$\mu_{HA} = \sum_{k=1}^{Monet} k \cdot \frac{1}{Net^{Monet, Net}} C_k \cdot \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^i C_i \cdot (k-i)^{Monet}$$

유선 네트워크에서 HA와AR 사이의 평균 홉 수는 $HAtoAR$ 로, $CNtoHA$ 는 CA와 HA 사이의 평균 홉 수로 정의하자. $p_{MNNtoCN}$ 을 MNN들 중 CN과 통신하고 있을 확률이라 하면, IPD 기반의 멀티캐스트 트리 기법 적용의 바인딩 갱신 비용은 다음과 같다.

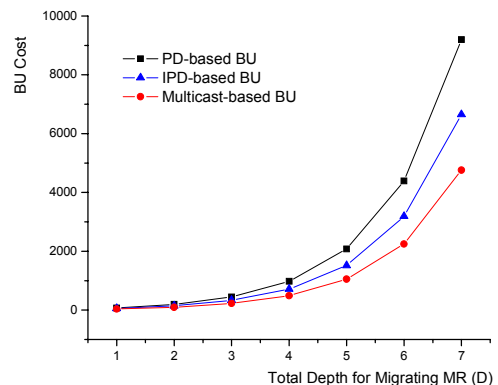
$$(\mu_{HA} \cdot HAtoAR \cdot \tau) + (\mu_{MNN} \cdot p_{MNNtoCN} \cdot CNtoHA \cdot \tau) + (\omega \cdot l) + (\omega \cdot \sum_{d=1}^D (Deg^d + (\mu_N + p_{MNN} + p_{MNNtoCN})^d) \cdot d)$$

여기서 τ 는 유니캐스팅 대비 멀티캐스팅을 사용함으로써 얻는 일반적인 이득비율이고, ω 는 이동한 AR의 하위 노드간 평균 홉의 개수이다. 그리고 l 은 AR로부터 중첩된 MR의 레벨을 의미한다.

반면에 IPD RO 기법에 기반을 둔 바인딩 갱신 비용은 다음과 같다.

$$(\omega \cdot \sum_{d=1}^D Deg^d \cdot d) + (\mu_{MR} \cdot \omega \cdot l) + (\mu_{MR} \cdot HAtoAR) + (\omega \cdot \sum_{d=1}^D (\mu_N \cdot p_{MNN} \cdot p_{MNNtoCN})^d \cdot d) + (\mu_{MNN} \cdot p_{MNNtoCN} \cdot \omega \cdot l)$$

$+ (\mu_{MNN} \cdot p_{MNNtoCN} \cdot \sqrt{HAtoAR^2 + CNtoAR^2})$
 성능평가를 위해 우리는 $p_{MNNtoCN} = 2/3$, $\tau = 0.7$, $l = 4$, $\omega = 1$, $HAtoAR = 10$, 그리고 $CNtoHA = 10$ 이라 가정하고, 편의상 ξ 는 1.5라 지정한다.



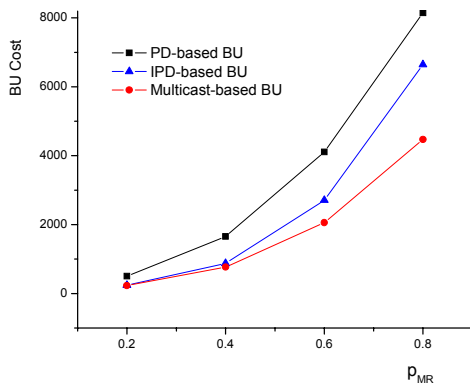
$$\mu_N = 3, p_{MR} = 2/3,$$

(그림 2) 이동하는 MR을 위한 전체 차수의 영향

그림 2에서 볼 수 있듯이 제안하는 알고리즘은

바인딩 갱신 비용 관점에서 IPD 기법과 비교해 32.4%와 증가했다. 제안하는 방법이 멀티캐스트 기법을 사용하기에 이동 네트워크가 많은 노드들이 포함하고 있을 때 타 기법보다 더 좋은 성능을 보이기 때문이다.

그림 3에서 제안하는 기법은 IPD 기법보다 5.1%~32.7% 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다. 또한 $p_{MR} = 0.2$ 일 경우 성능이 안 좋은 것을 살펴볼 수 있다. 그 이유는 멀티캐스트 트리를 관리하는 비용이 유니캐스트 경로 관리 비용보다 높기 때문이지만, 그 차이가 매우 작기에 염려할 바는 아니다.



$$\mu_N = 5, p_{MR} = 2/5,$$

(그림 3) p_{MR} 에 따른 영향

5. 결론

네트워크 이동성(NEMO)은 하나 이상의 서브넷으로 이루어진 전체 네트워크가 인터넷 접속점을 동적으로 변화하여 네트워크 접근성도 변화하는 환경을 말한다. 이러한 환경에 경로 최적화를 얻을 수 있는 수많은 프로토콜들이 존재하지만 Lim의 논문 [10]에서 prefix delegation을 이용한 방법이 가장 우수하다는 것을 살펴 볼 수 있다. 그러나 본질적으로 바인딩 스톱 문제를 수반하기에 본 논문에서는 바인딩 갱신 비용의 최소화를 위하여 바인딩 갱신 시 멀티캐스트 기법을 적용하였으며, prefix delegation 경로 최적화 기법 중 바인딩 갱신 비용을 효율적으로 고려한 IPD[1]를 통해 사례연구를 살펴보았다. 성능평가를 위해서 수학적 모델링을 적용하였으며, 본 모델을 통하여 기존 방법들에 비하여 상당한 비용절감 효과를 얻을 수 있음을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-(C1030-0801-0046)).

교신저자: 추현승.

참고문헌

- [1] H. Park, T.-J. Lee, and H. Choo, "Optimized Path Registration with Prefix Delegation in Nested Mobile Networks," Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science, vol. 3794, pp. 327-336, 2005.
- [2] A. Helmy, "A Multicast-based Protocol for IP Mobility Support," ACM SIGCOMM Intional Workshop on Networked Group Communication (NGC), November 2000.
- [3] K.-W. Chin, F. Foliano, and M. Kumar, "ADS+: An Efficient Binding Update Delivery Scheme Using IP Multicast," IEEE ICC 02, pp. 2043-2047, May 2002.
- [4] Yen-Wen Chen and Ji-Min Shih, "Binding Updates for Mobile Networks by Using Multicast Mechanism in IPv6 Environment," IEEE AINA 05, pp. 790-795, March 2005.
- [5] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," IETF RFC 3963, January 2005.
- [6] H.-Y. Kim and C.-S. Hwang, "An Efficient Location Management Scheme for the Same Mobility Nodes Group in Network Mobility," Journal of Research and Practice in Information Technology, vol. 37, no. 4, pp. 381-398, November 2005.
- [7] A. Helmy, M. Jaseemuddin, and G. Bhaskara, "Multicast-based Mobility: A Novel Architecture for Efficient Micro-Mobility," IEEE J-SAC, vol. 22, no. 4, pp. 677-690, May 2004.
- [8] <http://monet.skku.ac.kr/~moonseong/Examples/Multicast-based-BU.avi>
- [9] E. W. Weisstein, "Inclusion-Exclusion Principle," MathWorld, *WolframWebResource*, <http://mathworld.wolfram.com/Inclusion-ExclusionPrinciple.html>
- [10] H.-J. Lim, et. al, "A Model and Evaluation of Route Optimization in Nested NEMO Environment," IEICE Transactions on Communications, vol. E88-B, no. 7, pp. 2765-2776, July 2005.