2001년 한국정보처리학회 추계 학술발표논문집 제8권 제2호

PKI 인증서와 CA를 이용한 Mobile IP 등록 프로토콜

박상준 홍충선 이대영*
*경희대학교 전자정보학부
sjpark@digital.kyunghee.ac.kr {cshong, dylee}@khu.ac.kr

Mobile IP Registration Protocol Using PKI Certificates and CA

Sang Jun Park, Choong Seon Hong, Dae Young Lee*
*School of Electronics & Information, Kyung Hee University

요약

Mobile IP는 호스트의 이동성을 제공하여주는 대표적인 프로토콜이다. 이러한 이동 네트워킹 환경에서 전자상거래를 비롯한 여러 가지 다양한 데이터 서비스가 원활하게 제공되기 위해서는 정보보호 문제가 선결되어야 한다. 본 논문에서는 Mobile IP에서 공개키 기반 인증서와 CA(Certification Authority)를 이용한 Mobile IP 등록 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 이동 노드(mobile node)의 등록 메시지 인증과 재사용 공격(replay attack)을 방지할 수 있으며, 무선 환경을 고려한 공개키 암호방식을 최소로 사용하도록 제안하였다. 또한, 인증서를 이용한 인증방식으로 에이전트(agent)들과 이동노드간의 직접적인 인증이 이루어지도록 하였다. 제안된 Mobile IP 등록 프로토콜은 시뮬레이션을 통하여 기존에 제안된 공개키 기반의 Mobile IP 등록 프로토콜보다 성능이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

호스트의 이동성을 제공하여 주는 Mobile IP 프로토콜[1,2]은 IETF 워킹그룹에서 제안한 표준이다. Mobile IP는 2개의 IP 주소를 사용하는데 하나는 홈 주소(Home Address)로써 고정된 값이다. 이 홈 주소는 TCP 연결을 구별하는 등의 목적으로 사용된다. 다른 하나의 주소인 COA (Care-Of-Address)는 새로운 연결 지점마다 값이 바뀌며, 이동 노드(mobile node, MN)의 실제적인 위치를 반영하는 주소로 이용된다. MN는 홈 네트워크(home network)로부터 홈 주소를 부여받는다. 홈 네트워크는 HA(home agent) 노드를 포함하는 네트워크이다. 노드가 이동해 홈 네트워크에 연결되어 있지 않고 다른 네트워크, 즉 외부 네트워크(foreign network)에 연결되어 있을 때, HA는 MN를 목적지로 한 모든 패킷을 받아 MN가 현재 연결된 외부 네트워크로 패킷을 전달한다.

MN는 연결 지점을 바꿀 때마다 새로운 COA를 HA에게 등록한다. HA는 홈 네트워크로 들어온 패킷을 MN에게 전달하기 위해, 패킷을 COA로 전송한다. 이때 패킷의 새로운 목적지는 COA로 바뀌게 되는데 흔히 이 작업을 redirection[3] 이라고 한다. 패킷이 COA로 도착되면 원래의 형태대로 목적지가 홈 주소인 패킷으로 바꾸는 작업이 이루어진다. 최종적으로 패킷이 MN에게 전달되면 이 패킷은 마치 고정된 주소로 전달된 패킷과 동일하게 취급되어, TCP 또는 그 이상의 상위 계층에게 전달된다.

MN는 터널링(tunneling)[4]을 통하여 패킷을 수신받기 위해 자신의 COA를 HA에게 등록하는 과정을 거쳐야 한다. 본 논문에서는 이러한 Mobile IP의 등록 프로토콜에 대해 알아보고, 공개키 기반의 안전한 Mobile IP 등록 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Mobile IP 및 Mobile IP 등록 프로토콜에 대해 알아본다. 3장에서는 Mobile IP 등록 프로토콜에 관한 관련 연구에 대해 알아보고 제안 프로토콜에서의 문제점을 분석한다. 4장에서 본 논문이 제안한 프로토콜을 설명한 후, 5장에서 시뮬레이션을 통한 제안 프로토콜을 분석한다. 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. Mobile IP 등록 프로토콜

Mobile IP 등록 프로토콜에서는 메시지 인증 코드(Message Authentication Code, MAC)[5]값을 이용하여 MN와 HA간의 인증과 메시지의 무결성을 검사한다. 이 경우 MN와 HA는 서로 공유하는 비밀키를 갖게된다.

메시지 재사용 공격(replay attack)을 방지하기 위해 Mobile IP에서는 두 가지 방법을 선택하여 사용한다. 하나는 타임 스탬프(time stamp)를 사용할 수 있고, 다른 하나는 랜덤한 숫자인 nonce를 사용할 수 있다[6].

MN이 새로운 FA로 이동하면 MN은 FA로부터 얻은 자신의 COA를 HA에게 등록하게 된다. MN는 등록 메시지를 FA에게 보내주면, FA는 이 등록 메시지를 HA에게

전달하여 준다. 이러한 등록 과정은 재사용 공격을 방지하기 위하여 타임 스탬프와 nonce를 선택하여 이루어지게 된다.

메시지의 등록과정에서 사용되는 기본 용어는 다음과 같이 정의된다.

- M, N : 메시지 M과 N의 연결
- MN_{HM} : MN의 홈 주소
- MN_{COA} : MN의 care-of-address
- HA_{id} : HA의 IP 주소(HA의 ID)
- FA_{id} : FA의 IP 주소(FA의 ID)
- N_{MN}, N_{HA} : 각각의 MN와 HA의 nonce
- T_{MN}, T_{HA} : 각각의 MN와 HA의 타임 스탬프
- {M}K : 키 K로 암호화한 메시지 M
- <M>K : 키 K에 의한 메시지 M의 MAC 값
- S_{MN-HA}: MN과 HA의 비밀키
- *Request* : 등록 요청을 나타내는 비트 패턴
- *Reply* : 응답을 나타내는 비트 패턴
- *Result* : 등록 요청에 대한 결과값

nonce를 이용하는 등록 프로토콜 과정은 다음과 같다.

(0) HA→MN : N_{HA} (전 과정에서 HA에게 받은 nonce)
(1) MN→FA : M_1, $<M_1>S_{MN-HA}$
M_1 = *Request*, FA_{id}, HA_{id}, MN_{HM}, MN_{COA}, N_{HA}, N_{MN}
(2) FA→HA : M_1, $<M_1>S_{MN-HA}$
(3) HA→FA : M_2, $<M_2>S_{MN-HA}$
M_2 = *Reply*, *Result*, FA_{id}, HA_{id}, MN_{HM}, N'_{HA}, N_{MN}
(4) FA→HA : M_2, $<M_2>S_{MN-HA}$

타임 스탬프를 이용하는 등록 프로토콜 과정은 다음과 같다.

(0) HA→MN : T_{HA} (전 과정에서 HA에게 받은 타임 스탬프)
(1) MN→FA : M_1, $<M_1>S_{MN-HA}$
M_1 = *Request*, FA_{id}, HA_{id}, MN_{HM}, MN_{COA}, T_{MN}
(2) FA→HA : M_1, $<M_1>S_{MN-HA}$
(3) HA→FA : M_2, $<M_2>S_{MN-HA}$
M_2 = *Reply*, *Result*, FA_{id}, HA_{id}, MN_{HM}, T;
if $T=T_{MN}$, T_{MN} *is OK*
if $T\neq T_{MN}$, T_{MN} *is not OK*

3. 관련 연구

3.1 Jacobs의 공개키 기반 인증

비밀키를 기반으로 하는 현재의 Mobile IP 인증은 확장이 힘들다는 단점이 있다. 또한, 상거래에서 중요한 부인봉쇄 서비스를 제공할 수 없다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Jacobs는 공개키 기반의 인증방법을 제안하였다[7].

제안된 프로토콜은 비밀키 기반의 MAC값을 이용하는 대신 공개키를 생성한다는 것을 제외하고는, 기존의 Mobile IP 등록 프로토콜과 같은 동작을 취한다.

그러나, 공개키 암호방식을 사용하면서 제안된 프로토콜은 여러 가지 문제점들이 도출되었다. 그중 가장 큰 문제점은 MN에서의 공개키 암호화기법이 무선 환경에 맞지 않는다는 것이다.

이동 단말기의 특성상 MN에서의 연산 능력(computing power)은 제한이 있다. 공개키 기반의 암호화기법을 사용하였을 경우 비밀키 기반의 암호화기법을 사용하였을 때보다 약 1000배의 비용이 증가하므로[8], MN의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 그리고, 무선 환경에서의 낮은 대역폭은 MN가 인증기관(Certification Authority, CA)으로부터 인증서 취소 목록(Certificate Revocation List, CRL)를 전송 받을 수 있을 만큼 충분하지 못하다. 따라서 MN는 주기적으로 CRL을 업데이트 할 경우, 네트워크의 성능이 떨어지게 된다. 공개키를 사용함으로써 발생되는 또 다른 문제점은 MN의 시스템이 복잡해 진다는 것이다.

3.2 Sufatrio, K. Lam의 기법

Sufatrio, K. Lam은 Jacobs의 인증 프로토콜에서 공개키 기반 암호화의 사용을 줄이는 연구를 하였다[9].

Mobile IP 등록 프로토콜에서 공개키와 비밀키를 병행하여 사용함으로써 Jacobs의 제안에서 생기는 오버헤드를 줄이는 방법을 제시하였다. 제안된 프로토콜에서는 FA가 보내는 광고 메시지에 자신의 인증서와 함께 자신의 개인키로 서명한 메시지를 MN에게 전달한다. 그러나 이 광고 메시지는 무선환경을 통하여 전달되기 때문에, FA가 이 메시지를 받을 경우 많은 오버헤드가 발생되게 된다. 또한, FA가 직접 MN을 인증할 수 없도록 설계되어있다.

4. 공개키 기반의 안전한 Mobile IP 등록 프로토콜

본 논문에서는 Jacobs 제안의 단점을 해결하는 새로운 Mobile IP 등록 프로토콜을 제안한다. 제안된 등록 프로토콜은 공개키 암호화 방식을 최소한으로 사용하여 MN의 부담을 줄였으며, 인증서를 이용한 인증방식으로 에이전트(agent)들과 이동 노드(mobile node)간의 직접적인 인증이 이루어지도록 하였다. 또한 제안하는 프로토콜은 nonce를 이용한 등록 프로토콜을 기반으로 한다. 타임 스탬프를 이용한 등록 프로토콜의 경우 MN와 HA 사이의 시간 동기화 등의 문제가 있으므로, 보다 간결한 nonce를 이용한다.

4.1 기본 용어

본 논문에서 사용한 기본 용어는 다음과 같다.

- *CA* : 인증기관(Certification Authority)
- K_{HA}, K_{FA} : HA, FA의 공개키
- K_{HA}^{-1}, K_{FA}^{-1} : HA, FA의 개인키
- $Cert_{HA}$, $Cert_{FA}$, $Cert_{MN}$: HA, FA, MN의 인증서
- $<<M>>K_A^{-1}$: A의 개인키를 이용한 메시지 M의 디지털 서명
- N_{HA}, N_{FA}, N_{MN} : 각각의 HA, FA, 그리고 MN의

nonce

· *advertisement* : 광고 메시지를 나타내는 비트 패턴

4.2 제안 프로토콜

MN가 FA로 이동하여 FA의 COA를 획득하는 과정은 다음과 같다.

· *Agent Advertisement* :

(AA1) FA→MN : M_1

M_1 = *advertisement*, FAid, MN_{COA}

MN는 FA가 보내는 광고 메시지를 받아서 FA의 ID(주소)와 COA를 획득한다. FA의 광고 메시지요소는 기본적인 요소만을 포함하여 무선환경에서의 오버헤드를 줄일 수 있게 하였다. 다음 과정으로 FA는 자신이 획득은 COA를 HA에게 등록하게 된다.

· *Registration* :

(R1) MN→FA : M_2, $<M_2>_{SMN\text{-}IIA}$, $Cert_{MN}$

M2 = *Request*, FAid, HAid, MN_{IIM}, MN_{COA}, N_{IIA}, N_{MN}

(R2) FA

· validate $Cert_{MN}$

(R3) FA→HA : M_3, $<<M_3>> K_{FA}^{-1}$, $Cert_{FA}$

M_3 = M_2, N_{FA}

(R4) HA

· validate $Cert_{FA}$

· validate $<<M_3>> K_{FA}^{-1}$ using K_{FA}

· decryption $<M_2>_{SMN\text{-}IIA}$, using Secret key, $S_{MN\text{-}IIA}$

· validate N_{IIA}

(R5) HA→FA : M_4, $<<M_4>> K_{HA}^{-1}$, $Cert_{IIA}$

M_4=M_5, N_{FA}

M_5=*Reply, Result*, FAid, HAid, MN_{IIM}, N'_{IIA}, N_{MN}, $<M_5>_{SMN\text{-}IIA}$

(R6) FA

· validate N_{FA}

· validate $Cert_{IIA}$

· validate $<<M_4>> K_{HA}^{-1}$

(R7) FA→MN : M_5

(R8) MN

· validate $<M_5>_{SMN\text{-}IIA}$

· validate N_{MN}

등록을 위해서 MN는 기존의 Mobile IP와 같은 방식의 작업을 수행한다. MN는 자신이 획득한 COA와 등록요청 메시지를 MN와 HA의 비밀키를 통해 MAC 값을 얻어, 등록 요청 메시지와 함께 전송한다(R1). 이 메시지에는 MN의 인증서인 $Cert_{MN}$가 포함되어있다. MN는 $Cert_{MN}$를 생성하기 위하여 스마트 카드를 이용하거나, 자신의 인정서가 보관되어있는 CA의 URL을 FA에게 보내주게 함으로써, $Cert_{MN}$생성에 대한 부담을 줄일 수 있게 한다. 이러한 메시지를 받은 FA는 MN을 인증한 CA에 접속하여 MN의 인증서인 $Cert_{MN}$를 확인한다(R2). FA는 MN에게서 받은 요청 메시지에 자신의 nonce를 포함하여 FA의 개인키, K_{FA}^{-1}을 이용하여 암호화한 후 FA의 인증서인 $Cert_{FA}$와 함께 HA에게 보낸다(R3). HA에서는FA의 CA에 접속하여 $Cert_{FA}$를 확인한 후 FA의 공개키, K_{FA}를 획득하여 $<<M_3>> K_{FA}^{-1}$를 복호화하여 FA를 인증한다. 또한, HA와 MN의 비밀키인 $S_{MN\text{-}IIA}$를 이용하여 $<M_2>_{SMN\text{-}IIA}$를 확인하고 N_{IIA}를 확인하여 MN을 인증한다(R4). FA와 MN의 인증과정이 끝난 후 HA는 MN의 등록 요청에 대한 응답 메시지를 FA에게 전달한다(R5). 이 응답 메시지에는 FA가 HA를 인증할 수 있는 인증서인 $Cert_{IIA}$가 포함되어 있고, HA의 새로운 nonce인 N'_{IIA}를 다시 생성하여 메시지에 첨가시킨다. FA는 HA의 메시지를 받은 후, N_{FA}와 $Cert_{IIA}$를 검사하여 HA를 인증하는 과정을 거친다(R6). FA는 HA의 인증기관에 접속하여 $Cert_{IIA}$를 확인한 후 HA의 공개키, K_{HA}^{-1}를 획득한 후 $<<M_4>> K_{HA}^{-1}$를 확인한다. HA에 대한 FA의 인증과정이 끝나면 FA는 MN에게 등록에 대한 응답 메시지를 전달한다(R7). 응답 메시지를 받은 MN는 N_{MN}를 확인하고, MN와 HA의 비밀키($S_{MN\text{-}IIA}$)를 이용하여 메시지를 인증한다(R8).

5 시뮬레이션 결과

제안된 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 비밀키만을 이용한 기존의 등록 프로토콜과 공개키를 이용하는 Sufatrio, K. Lam의 등록 프로토콜, 그리고 본 논문에서 제안하는 등록 프로토콜에 대한 각각의 Request, Reply 등록 메시지 패킷을 만들어 MN와 FA사이의 유선과 무선 통신 성능을 평가하였다. 유선과 무선의 통신속도는 각각 9600bps로 설정하였다. 제안한 프로토콜은 기본적으로 Mobile IP 등록 프로토콜의 기본적인 절차를 유지하여 기존의 프로토콜 및 다른 확장 프로토콜들과의 호환성을 가질 수 있도록 하였다. 또한, MN가 COA를 획득하는 과정에서 무선환경의 특성을 고려하여 광고 메시지(advertisement message)의 요소를 최소화하여 오버헤드를 줄일 수 있도록 하였다.

MN에서는 공개키 암호화의 사용을 최소화하기 위해 자신의 인증서인 *CertMN*를 발행할 때 스마트 카드를 이용하거나, 인증서가 보관되어있는 CA의 URL을 전송하여 FA가 인증서를 확인할 수 있도록 설계하였다.

시뮬레이션 환경은 다음과 같다.

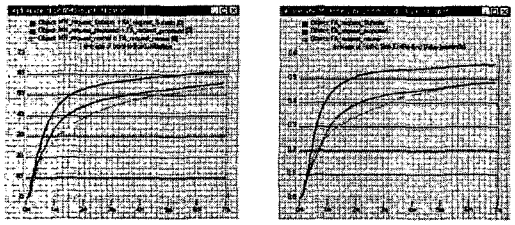
· OS : Windows 2000 Server

· PC : PentiumIII 제온 800Mhz dual

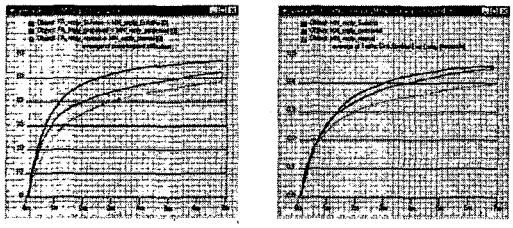
· Tool : OPNET 8.0

그림 1, 2는 등록 request 패킷에 대한 유선환경과 무선환경에서의 통신성능을 평가한 것이고, 그림 3,4는 등록 reply 패킷에 대한 유선환경과 무선환경에서의 통신성능을 평가한 것이다. 본 논문에서 제안한 등록 프로토콜은 기존의 비밀키 등록 프로토콜 보다 통신성능평가는 낮게 나왔지만 이는 공개키를 이용함으로써 생기는 오버헤드 때문이며 상대적으로 replay attack이나 다른 보안공격으로부

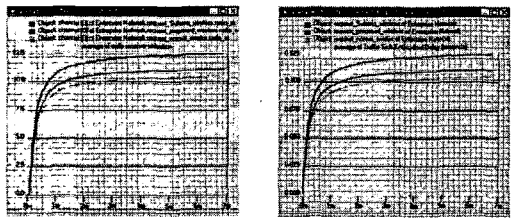
터 안전할 수 있다. 또한, Sufatrio, K. Lam 등록 프로토콜보다 등록 프로토콜 메시지의 요소를 줄임으로써 통신 성능을 향상시킬 수 있었다.



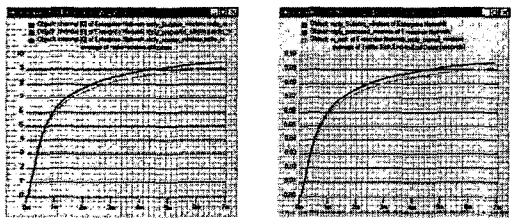
<그림 1> 유선환경에서의 Utilization, ETEdelay
(Registration request packet)



<그림 2> 유선환경에서의 Utilization, ETEdelay
(Registration reply packet)



<그림 3> 무선 환경에서의 Utilization, ETEdelay
(Registration request packet)



<그림 4> 무선 환경에서의 Utilization, ETEdelay
(Registration reply packet)

기존의 프로토콜에서는 FA가 단순히 MN과 HA의 메시지를 전송하는 수동적인 기능만을 수행하였으나, 제안 프로토콜에서는 FA가 MN과 HA를 직접 인증할 수 있도록 하였기 때문에, 위장된 HA와 MN의 재사용 공격(replay attack)으로부터 보호될 수 있다. 또한, FA에 대한 인증이 없던 기존의 방식과는 달리 FA를 인증할 수 있도록 설계되었기 때문에, FA로 위장한 공격자가 MN에 대한 서비스 거부 공격(denial service attack)을 하기 힘들도록 하였다.

그러나 공개키 기반 구조를 이용함으로써 프로토콜 전반에 오버헤드가 발생되었다. 인증기관과의 경로 구축에 대한 오버헤드 및 인증서 취소 목록(Certificate Revocation List, CRL)의 업데이트, 전자 서명 생성 및 확인 등으로 인하여 FA와 HA의 부담이 증가하였다. 그러나 FA와 HA가 유선환경이고 이러한 절차들을 수행하기 위한 충분한 연산 능력(computing power)을 갖출 수 있다고 판단된다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 Mobile IP에서의 등록 프로토콜에 대해 분석하고, 기존의 공개키 기반 등록 프로토콜을 보완하는 새로운 프로토콜을 제시하였다.

공개키 암호 알고리즘을 최소한으로 사용함으로써, 무선 환경에서도 적합한 공개키 기반 구조가 되도록 하였다. 또한, 공개키를 사용함으로써 재사용 공격(repaly attack)과 서비스 거부 공격(denial service attack)을 방지할 수 있도록 하였으며, 메시지와 사용자의 인증, 무결성, 부인 봉쇄 등의 서비스를 지원할 수 있도록 설계하였다.

향후 연구 과제로는 무선 환경에 적합한 무선 공개키 기반구조(M-PKI)가 확정되면, M-PKI를 이용하여 프로토콜의 오버헤드를 줄일 수 있는 연구가 기대된다. 또한, MN의 리소스(resource)사용에 대한 과금(accounting)과 관련된 보안문제도 좋은 연구가 될 것이다.

참고문헌

[1] C. Perkins. ed., "IP Mobility Support," IETF RFC2002, October 1996.

[2] C. Perkins. ed., "IP Mobility Support version 2," Internet Draft, <draft-ietf-mobileip-v2-00.txt>, November 1997.

[3] P. Bhagwat, C. Perkins, and S.K. Tripathi, "Network Layer Mobility: An Architecture and Survey," *IEEE Personal Comm.*, Vol. 3, No. 3, June 1996, pp.5464.

[4] C. Perkins., IP Encapsulation within IP. Network Working Group, Request for Comments 2003, October 1996

[5] A.J. Menezes, P.C. Oorschot, S.A. Vanstone, "*Handbooks of Cryptography*", CRC Press, Boca Raton, 1997

[6] C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4, revised", Internet Draft, <draft-ietf-mobileip-rfc2002-bis-02.txt> , July 2000

[7] S. Jacobs, "Mobile IP Public Key Based Authentication," Internet Draft, <draft-jacobs-mobileip-pki-auth-00. txt>, August 1998.

[8] R.L. Schneier., "*Applied Cryptography, 2nd edition: Protocol, Algorithms, and Source Code in C*," Wiley, New York, 1996.

[9] Sufatrio, K. Laml, "Mobile IP Registration Protocol : A Security Attack and New Secure Minimal Public -Key Based Authentication", I-SPAN'99, June 1999.