論文
5-7-3

공개키 기반 구조에서의 효율적인 인증서 상태 검증 방법의 모델링 및 시뮬레이션

(Modeling and Simulation of the Efficient Certificate Status Validation System on Public Key Infrastructure)

서희석(Hee-Suk Seo)[1] 김태경(Tae-Kyoung Kim)[2] 김희완(Hee-Wan Kim)[3]

요약

공개키 기반 구조 (PKI; Public Key Infrastructure)에 필수적인 요소인 인증서의 상태 검증에 있어서 인증서 상태 검증 서버인 OCSP (Online Certificate Status Protocol) 서버는 실시간 상태 검증을 제공한다. 그러나 서버와 클라이언트의 메시지 인증을 위해 전자 서명을 수행해야 하며, 이때 사용되는 공개 암호 연산 과정의 복잡성은 동시에 많은 클라이언트의 요청이 발생할 경우에 응답 시간을 크게 지연시킨다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 인증서 상태 검증 서버의 시뮬레이션 모델을 DEVS (Discrete EVent system Specification) 방법론을 이용하여 설계하였다. 이 모델은 인증서의 상태 검증을 요청하는 영역에 위치하여 해쉬 함수를 적용한 인증을 수행하도록 구성되었으며, 시뮬레이션 결과는 제시한 방법이 인증서 상태 검증 속도를 증대시켜 결과적으로 사용자의 응답 시간이 감소되는 것을 보여준다.

Abstract

OCSP (Online Certificate Status Protocol) server which checks the certificate status provides the real time status verification in the PKI (Public Key Infrastructure) system which is the essential system of certificate. However, OCSP server need the message authentication with the server and client, so it has some shortcomings that has slow response time for the demands of many clients concurrently and has complexity of the mathematical process in the public encryption system. In this research, simulation model of the certificate status verification server is constructed of the DEVS (Discrete EVent system Specification) formalism. This sever model is constructed to practice the authentication with hash function when certificate is checked. Simulation results shows the results of increase of the certificate status verification speed and decrease of the response time to the client.

Key Words: PKI, Certificate Status Validation, DEVS formalism, Simulation

1) 정회원 : 한국 정보 감리 평가원

2) 정회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정

3) 정회원 : 삼육대학교 컴퓨터과학과 조교수

논문접수 : 2004. 6. 25.
심사완료 : 2004. 7. 15.

1. 서 론

공개키 기반 구조는 공개키 암호 시스템(Public Key Crypto-graphy)과 공개키에 대한 인증서를 기반으로 보안 기능을 제공하는 정보 보호 기반 구조이다. 그러나 PKI에서 사용되는 공개키 인증서는 사용자에 대한 신원 확인 기능만을 제공하며 사용자의 권한, 의무, 지위 등과 같은 사용자에 대한 속성 정보를 제공하지 못하고 있다. 공개키 암호 시스템은 전자 상거래 등의 정보 보호를 위한 분야에서 대표적으로 사용되는 보안 메커니즘이며, 이를 효율적으로 적용 및 활용하기 위해 등장한 개념이 공개키 기반 구조이다[1]. PKI는 기업 보안 구조에 있어서 중요한 부분으로서 보안 관리 측면에 있어서 핵심적인 기능을 제공하며, 안전한 전자 상거래 환경을 위해 인증서를 발급하여 이를 통해 사용자와 메시지의 인증을 수행한다[2]. 공개키 기반 구조의 사용자는 인증서 내의 서브젝트 (subject)로 등록된 사용자뿐만 아니라, 전자 우편 사용자, 웹 브라우저 사용자, 웹 서버, 라우터 내의 IPSec 키 관리자 등이 포함될 수 있다. 인증서 사용자는 광범위한 환경에서 인증서를 이용하게 된다.

PKI에서의 신뢰 당사자는 인증서를 받은 후, 이 인증서가 유효한지를 검사하는 인증서의 상태 검증 과정을 수행해야 하며[3], 인증서 상태를 확인하기 위하여 인증서 폐지 목록(CRL; Certificate Revocation List)[4], OCSP (Online Certificate Status Protocol)[5] 등을 사용한다.

현재 대부분의 PKI 제품에서는 OCSP의 기능을 제공하여 실시간 인증서 상태 검증을 수행하고 있다[5-6]. 그러나 OCSP 서버와 클라이언트는 상태 검증 요청 메시지와 응답 메시지 생성시 전자 서명을 수행해야 하며, 이 과정에서 공개키 암호 연산을 사용하기 때문에 사용자의 응답 시간이 지연된다는 단점이 있다[5]. 암호 기술을 운영하는데 있어서 가장 문제가 되는 것은 키 관리와 관련된 문제이다. 즉 관용 암호 방식에서 사용되는 암호키나 공개키 암호방식에서 사용되는 개인키를 외부로 유출시키지 않고 안전하게 관리하는 것은 암호 기술 운용에 있어서 결정적인 요소이다. PKI를 통해서 이와 같은 문제를 비교적 효율적으로 처리할 수 있지만 키의 소유자가 키를 분실하거나 손실 당하는 경우에 대해서는 대처 방안이 미비하다.

본 논문에서는 이 문제점을 해결하기 위한 방안으로 인증서 상태 검증 서버와 클라이언트 간의 메시지 인증시 해쉬 함수를 사용하는 시스템을 제안하고, 기존의 시스템에 비해 응답 시간이 감소되는 결과를 시뮬레이션을 통해 확인한다.

2. 관련 연구

2.1 인증서 상태 검증 방법

인증서와 관련한 국제 표준인 X.509에서는 인증서 폐지 방법으로 CRL이라는 폐지된 인증서를 식별하는 목록을 정의하고 있으며, 이를 사용하여 인증서의 유효성을 검증한다.

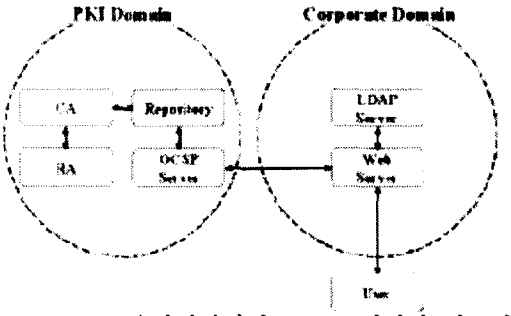
PKI에서 인증서가 발급되고 나면 그 인증서는 정해진 유효기간 동안 사용될 것으로 기대된다. 그러나, 소유자의 개인키가 노출되었거나 소유자와 인증기관의 관계가 변화하는 등의 이유로 유효기간이 만료되기 전에 무효화될 수도 있다. 이러한 상황은 해당 개인키의 손상 또는 손상 가능성을 포함하기 때문에 인증 기관은 인증서를 폐지할 필요가 있다[4].

2.1.1 CRL 기반 인증서 상태 검증 방법

인증서 상태 검증을 원하는 신뢰 당사자가 인증기관으로부터 CRL을 주기적으로 발급받는 방식으로, 개념이 간단하다는 장점이 있으나 주기적인 다운로드에 따라 해당 주기 사이에 폐지되는 인증서의 상태는 검증할 수 없다는 단점이 있다[7]. 대표적으로 Delta CRL, Indirect CRL, Freshest CRL 등의 방법이 있다[4].

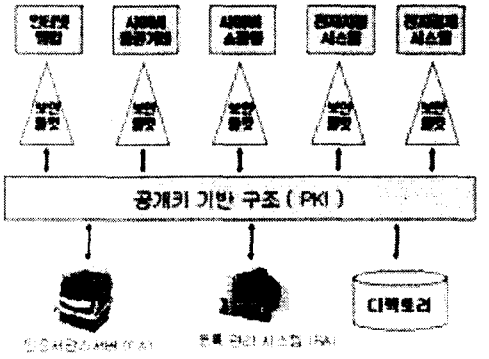
2.1.2 온라인 인증서 상태 검증 방법

CRL 기반 인증서 상태 검증 방법론이 가지고 있는 시간 격차(time gap) 문제를 해결하기 위해 제안된 방법으로, OCSP가 대표적이다.



OCSP는 온라인상에서 OCSP 서버와 인증서 상태 검증을 요구하는 신뢰 당사자인 OCSP 클라이언트 간에 수행되는 프로토콜로서, OCSP 서버는 신뢰 당사자의 해당 인증서의 상태를 묻는 질의에 대해 인증서 폐지 여부를 실시간으로 확인시켜준다[5-6]. <그림 1>은 기업 영역 내의 웹 서버가 서비스를 요구하는 사용자의 인증서를 검증하기 위해 OCSP 서버에게 질의하는 과정을 나타낸 것이다. 대부분의 PKI 기반 환경에서 사용되는 방법이지만, OCSP 서버와 클라이언트간 전송되는 메시지를 서명하고 검증하는 과정에 공개키 암호 연산을 사용하기 때문에 사용자의 응답 시간이 지연된다는 단점이 있다[5].

2.2 PKI 시스템



PKI는 공개키의 인증문제를 해결하여 정보의 기밀성, 접근 제어, 무결성, 인증 및 부인봉쇄를 제공하는 정보보호 기반구조이다. PKI는 공개키에 대한 인증서를 발급하는 인증 기관과 사용자에게 인증서 발급 요청을 등록하고 신원 확인 기능을 수행하는 등록 기관 그리고 인터넷 상의 다양한 사용자와 응용이 인증기관에서 발급한 인증서를 쉽게 검색할 수 있도록 인증서를 저장 관리하는 디렉토리 서버로 구성된다. 다양한 응용에서 공개키를 이용하여 전자서명을 생성하고 검증하며 데이터에 대한 암, 복호를 수행할 수 있는 보안 툴킷을 제공한다. PKI 시스템의 구성 요소는 다음과 같다.

- CIS (Card Issuing System) : PKI는 인증서와 개인키의 저장 매체로 IC Card를 지원하며 시스템 접근제어용 키의 저장 매체로 IC Card를 사용한다. 이는 패스워드를 통한 인증 기능보다 향상된 보안 기능을 제공할 수 있다. CIS는 IC Card의 EPROM 세그먼트를 할당하여 초기화하는 기능을 제공하며 시스템 접근에 대한 감사 기록 및 조회 기능을 제공한다.
- KGS (Key Generation System) : KGS는 인증 기관, 인증 기관 관리자, 등록 기관 관리자에 대한 키 쌍을 생성하는 시스템이다. KGS는 secret sharing 알고리즘을 통하여 안전하고 유연한 접근 관리 방법을 제공한다.
- CA (Certificate Authority) : CA는 PKI의 핵심 구성 요소로 인증서의 발급, 갱신, 정지, 폐지 등의 인증서 라이프 싸이클 관리 기능을 수행하며 인증 기관, 등록 기관, 사용자에 대한 정보를 관리한다. CA가 제공하는 주요 기능은 X.509 버전 3 인증서 갱신, X.509 버전 2 인증서 폐기 목록 생성, 인증서 정책 등록 및 관리, LDAP을 이용한 디렉토리 서버 접근, 전자 서명 검증키에 대한 전자 서명 생성키 소유 확인, 감사 기록 및 보존, 역할 기반 운영자 접근 제어, 소프트웨어 위·변조 감지 기능 등이다.

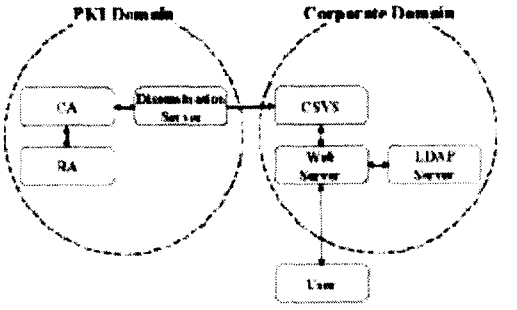
- CA admin : CA admin은 CA에 대한 운영자 인터페이스를 제공한다. CA admin은 인증 기관의 정책 관리, 디렉토리 서버 운영 관리, 패스워드 정책 등을 관리한다.
- LRA (Local Registration Authority) : LPA는 사용자의 신원 확인을 통해 사용자 정보를 등록하고 인증서 발급 인가를 CA에 요청하는 시스템이다. LRA는 사용자 등록, 사용자 인증서 발급 요청, 사용자 인증서 효력 정지, 회복, 폐기, 사용자 등록 정보 변경, 조회 및 통계 보고서 생성, 소프트웨어 위·변조 감지 기능을 수행한다.
- PKI client : PKI client는 등록 기관을 통해 인증서 발급 요청을 인가 받은 사용자가 CA에 인증서 발급을 요청하여 인증서를 발급 받을 수 있도록 하는 기능을 제공한다. PKI client는 인증서 발급, 갱신, 폐지 및 효력 정지, IC Card를 사용한 사용자 전자 서명 생성키 및 인증서 관리, 인증서 백업 기능, 전자 서명 및 암호 서비스 기능을 제공한다.
- DS (Directory Server) : DS는 인증 기관의 인증서, 인증서 폐지 목록, 사용자의 인증서, 인증서 폐지 목록을 게시하여 일반 응용과 사용자가 접근할 수 있도록 한다.

3. 제안하는 인증서 상태 검증 시스템

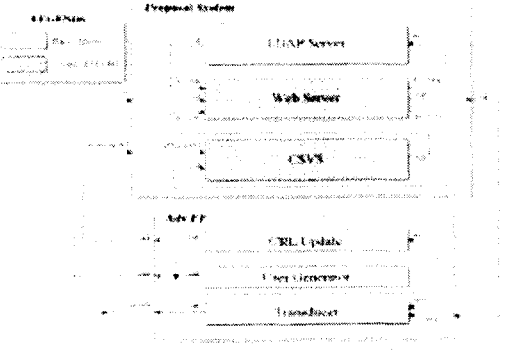
3.1 제안 시스템의 개념

본 논문에서는 사용자의 응답 시간을 감소시키는 방법으로 메시지 인증 방식에서 해쉬 함수를 적용할 것을 제안한다. 해쉬 연산을 이용한 인증 방식에서는 인증을 원하는 사용자 간에 미리 비밀 정보를 나눠가지고 있어야 하므로, 네트워크의 크기가 커질수록 비밀 정보의 수 또한 급격하게 증가하게 되는 단점을 가지고 있으나, 연산의 속도는 공개 암호 방식에 비해 최소 10,000배 이상 빠르다[9]. 따라서 본 논문에서는 인증서 상태 검증의 속도를 줄이기 위해 해쉬 함수를 적용하였으며, 비밀 정보 수의 증가 문제는 상태 검증 서버를 상태 검증 요청 서버와 같은 영역에 설치하는 것으로 해결하였다. 내부 네트워크 내에서 해쉬 함수를 사용하는 인증 방식을 사용할 경우에는 당사자 간의 비밀 정보만 보관하면 되므로, 다수의 비밀 정보 보관에 대한 번거로움을 없앨 수 있다.

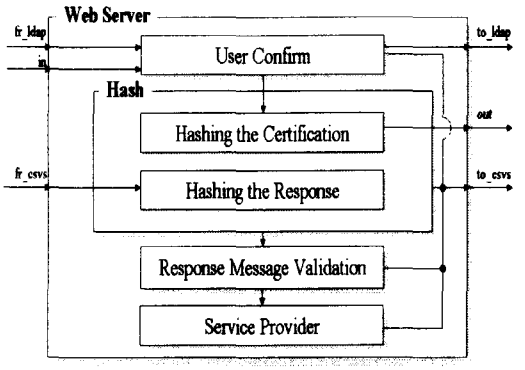
본 논문에서 설계한 인증서 상태 검증 구조는 <그림 3>과 같다. 제안하는 인증서 상태 검증 서버(CSVS; Certificate Status Validation Server)는 기업 영역 내에 위치하여 웹 서버와 인증 관련 정보를 주고받으며, 이때 해쉬 함수가 적용된다. PKI 영역에서의 인증 관련 정보를 저장하고 있는 서버(Dissemination Server)는 CRL이 새로 발행될 때마다 CSVS에게 배포하는 방법으로 CRL 기반 방법이 가지고 있는 시간 격차 문제를 해결한다.



3.2 제안 시스템의 모델 구성

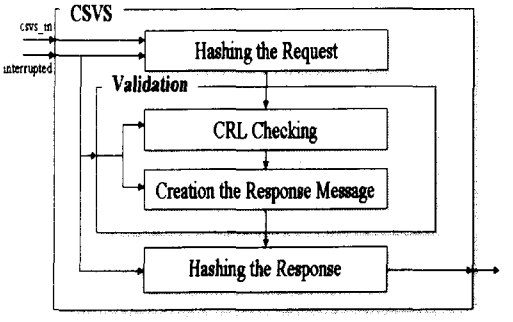


제안 시스템을 구성하는 모델은 DEVS 형식론에 근거하여 모델링 하였으며 <그림 4>와 같다. Adv EF 모델은 사용자의 서비스 요청과 CRL의 발급을 지수 분포에 따라 발생시키며, 시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 분석한다. Proposal System 모델은 사용자의 서비스 요청에 대한 처리를 담당하는 부분으로 Web Server모델, LDAP Server 모델, CSVS 모델로 구성된다.



<그림 5> Web Server 모델의 구성

Web Server 모델은 <그림 5>와 같이 구성되며, LDAP Server 모델과 연동하여 서비스를 요청하는 사용자가 사전에 등록된 사용자인지 확인하고, CSVS 모델에게 인증서 상태 검증을 요청한다. CSVS 모델로부터 해당 인증서에 대한 응답 메시지를 받아 유효한 인증서임이 확인되면 사용자에게 서비스를 제공한다.



<그림 6> CSVS 모델의 구성

<그림 6>은 Web Server 모델의 인증서 검증 요청에 대한 처리를 하는 CSVS 모델로서 상태 검증 과정 중 CRL이 발급된다면 CRL 갱신 과정을 먼저 수행한다.

3.3 제안 시스템의 동작 과정

3.3.1. 초기 등록 과정

· 사용자와 CSVS는 공인 인증 기관(CA)에 등록하여, 인증서를 발급 받는다.

· Web Server와 CSVS는 해쉬 연산 수행에 필요한 비밀 키(WSVS)를 생성하여 나눠 가진다.

3.3.2 인증서 상태 검증 동작 과정

<그림 4>의 Proposal System 모델의 동작 과정으로서 사용자로부터 요청을 입력받아 서비스를 제공하기까지의 처리과정을 기술한다.

[Step 1]

· 사용자가 Web Server에게 서비스를 요청한다.

· Web Server는 LDAP 서버를 참조하여 서비스를 요청하는 사용자가 사전에 등록되어 있는지 확인한다.

[Step 2]

· 등록된 사용자일 경우 Web Server는 사용자에게 인증 정보를 요청하여 전송받는다.

· Web Server는 사용자의 인증 정보와 WSVS에 해쉬 함수를 적용하여, CSVS에게 전송한다.

[Step 3]

· CSVS는 Web Server로부터 받은 메시지를 검증하고, 사용자의 인증 정보를 이용해 해당 인증서의 폐지 여부를 확인한다.

· 상태 확인 결과를 응답 메시지로 작성하고, 메시지와 WSVS에 해쉬 연산을 하여 Web Server에게 전송한다.

[Step 4]

· Web Server는 CSVS로부터 받은 응답 메시지를 검증한다.

· 응답 메시지의 내용을 확인하여 사용자

에게 서비스를 제공한다.

3.3.3 인증서 폐지 목록 갱신시 동작 과정

인증서 폐지 목록이 새로 발행될 때마다 PKI 영역의 CRL 배포 서버에서 기업 영역 내의 CSVS에게 Delta CRL을 발급해준다. CSVS는 배포 서버로부터 받은 정보를 자신의 개인키로 복호화하여 서명을 검증하며, 자신이 가지고 있는 CRL을 갱신시킨다.

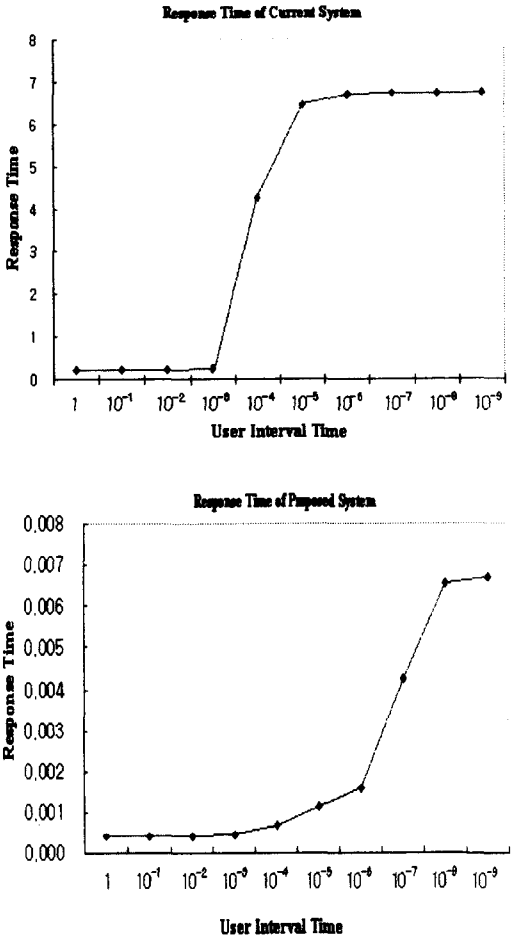
이 과정은 CSVS에서 인증서 상태 검증 작업을 수행하는 도중에 CRL을 발급 받는다면 상태 검증 작업보다 우선하여 처리되도록 설계되어 상태 확인의 실시간 처리를 보장한다. 이 과정에서의 시스템 처리 시간은 서명의 검증 시간만큼 길어지게 되나, 만일 사용자가 서비스를 요구하지 않을 때 CRL이 갱신된다면, 이 때의 처리 속도는 사용자의 응답 시간에 영향을 미치지 않는다.

4. 실험 및 결과 분석

본 논문에서는 기존 시스템과 제안된 시스템의 성능 측정을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 환경은 본 연구진이 개발한 DEVS-ObjC를 사용하였으며, 시뮬레이션을 위한 성능지표로 각 시스템에서의 응답 시간을 측정하였다.

시스템에 접속하는 사용자의 수는 하루에 10,000명으로 가정하고 실험하였으며, 동시에 접속하는 사용자의 수가 많아짐에 따른 응답 시간을 측정하기 위해 사용자의 접속 간격을 변화시켜 입력 값으로 사용하였다. 각 시스템의 속도는 전자 서명과 해쉬 함수에 대한 처리 시간만 고려하였으며[9-10], 제안된 시스템에서의 CRL 발급 수는 인증서 발급 수의 10%로 가정하였다[11].

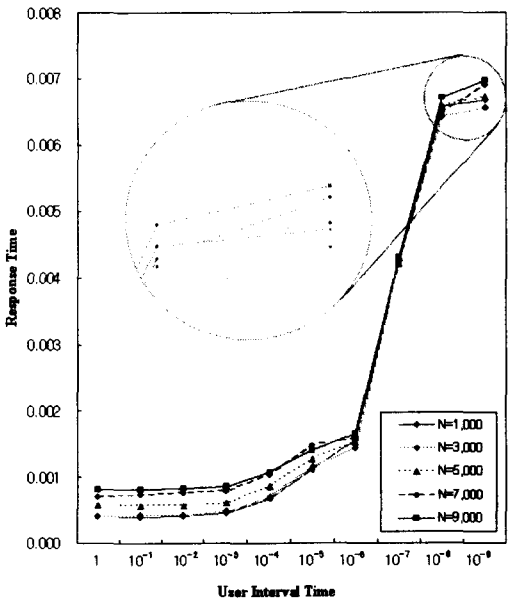
<그림 7>의 시뮬레이션 결과는 각각 기존 시스템(위)과 제안된 시스템(아래)에서의 응답 시간을 측정한 것으로 단시간에 접속하는 사용자의 수가 많아질수록 응답 시간이 급격하게 증가하는 것을 보여준다. 그러나 제안된 인증서 상태 검증 시스템에서의 응답 시간은 동시 접속자 수가 많아지더라도 그 값이 매우 작기 때문에, 기존 시스템에 비해 매우 효율적이라는 사실을 알 수 있다.



<그림 7> 기존 시스템과 제안 시스템의 응답시간

제안된 시스템에서의 처리 속도는 CRL의 갱신에 영향을 받으므로, 이에 따른 사용자의 응답 시간이 달라질 수 있다. 때문에 CRL의 발급 수를 변화시켜 실험하였고, 결과는 <그림 8>과 같다. 이 결과는 CRL이 빈번하게 발급되

더라도 기존의 시스템보다 처리 속도가 빠르다는 것을 보여준다.



<그림 8> CRL 발급 수의 변화에 따른 응답시간

5. 결 론

본 논문에서는 PKI에서 반드시 수행되어야 하는 인증서 상태 검증 과정에서의 처리 속도를 줄이기 위한 시스템을 제안하였다. 사용자의 서비스 요청이 단시간에 많아질 경우 기존의 시스템은 응답 지연율이 크다는 문제점이 있었다. 이는 인증서 상태 검증 방법 중 서명문의 생성과 검증에 필요한 시간이 길기 때문이며, 지연 시간이 길어진다면 인증서 상태 검증 또한 실시간으로 제공될 수 없을 것이다.

본 논문에서는 인증서 상태 검증 과정을 실시간으로 제공하고 사용자의 응답 지연율을 낮추기 위한 방안으로 기업 영역 내에 검증 서버를 설치하여 해쉬 함수를 적용한 인증 과정을 수행하도록 하였다. 시뮬레이션을 통한 실험으로, 제안한 시스템이 기존의 시스템에 비해 사용자의 응답 시간을 크게 감소시킬 수 있음을 예상할 수 있다.

제안한 시스템은 Delta CRL을 발급받아 파일 형식의 데이터로 보관하며, 인증서 상태 확인 과정에서 다수의 CRL 파일에 접근해야 하므로 시스템의 과부하 현상이 발생할 수 있다는 문제점을 지니고 있다. 향후에는 시스템의 처리속도 뿐만 아니라, CRL 파일에 접근하는 횟수를 줄여 전체적인 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 연구를 진행할 것이다.

참고 문헌

[1] R. Mahadevan, "Analytical Modeling of Electrostatic Structures," Proc. of IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, pp. 120-127, Feb. 1990.

[2] C. Adams and S. Lloyd, Understanding PKI, Addison Wesley, 2002.

[3] R. Housley and T. Polk, Planning for PKI: Best Practices Guide for Deploying Public Key Infrastructure, Wiley, 2001.

[4] R. Housley, W. Ford, W. Polk, and D. Solo, Internet X.509 Public Key Infrastructure: Certificate and CRL Profile, IETF RFC3280, 2002.

[5] M. Myers, R. Ankney, A. Malpani, S. Galperin, and C. Adams, X.509 Public Key Infrastructure Online Certificate Status Protocol - OCSP, IETF RFC 2560, 1999.

[6] M. Myers, R. Ankney, and C. Adams, Online Certificate Status Protocol, version 2, IETF Draft, 2001.

[7] M. Naor and K. Nissim, "Certificate Revocation and Certificate Update," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, issue 4, pp. 561-570, Apr. 2000.

[8] B. P. Zeigler, H. Praehofer, and T. G. Kim, Theory of Modeling and Simulation, 2nd

Ed., Academic Press, 2000.

[9] F. F. Elwailly and Z. Ramzan, QuasiModo: More Efficient Hash Tree- Based Certificate Revocation, Available at http://www.docomolabs-usa.com/researchers/ZRamzan/quasi-modo-v1.pdf, Sep. 2003.

[10] Hardware for Security, Available at http://www.jaik.tu-graz.ac.at/.

[11] Deploying PKI Inside Microsoft, Available at http://www.microsoft.com/technet/itsolutions/msit/security/deppkiin.mspx, 2003.

[12] M. Crosbie, and E. H. Spafford. "Active Defense of a Computer System using Autonomous Agents", Technical Report CSD-TR-95-008, Department of Computer Sciences, Purdue University, 1995.

[13] Balasubramaniyan, Jai, J. O. Garcia-Fernandez, E. H. Spafford, and D. Zamboni. An Architecture for Intrusion Detection using Autonomous Agents. Department of Computer Sciences, Purdue University; Coast TR 98-05; 1998.

[14] G. G. Helmer, J. S. K. Wong, V. Honavar, and L. Miller. Intelligent agents for intrusion detection. In Proceedings, IEEE Information Technology Conference, pages 121-124, Syracuse, NY, September 1998.

[15] A. Porras and P. G. Neumann. EMERALD: Event Monitoring Enabling Responses to Anomalous Live Disturbances. In Proceedings of the National Information Systems Security Conference, Oct 1997.

[16] A. Porras and A. Valdes. "Live Traffic Analysis of TCP/IP Gateways," in Networks and Distributed Systems Security Symposium, March 1998.

<저자 소개>

서희석

2000. 2. 성균관대학교 산업공학과 졸업 (공학사).
2002. 2. 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업 (공학석사).
2004. 2. 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정 수료.
2004. 3. 한국 정보 감리 평가원 (선임 연구원)
관심분야 : 네트워크 보안 시뮬레이션, 지능형 시스템, 분산 에이전트.

김태경

1997. 2. 단국대학교 수학교육 (학사).
2001. 2. 성균관대학교 정보통신공학 (석사).
1996-1997 기아 정보 시스템
1997 - 2001 서울신학대학교 종합 전산실 주임 대리
현재: 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정 수료
관심분야 : 그리드 네트워크, 네트워크 보안, Mobile Agent.

김희완

1987년 광운대학교 전자계산학과 졸업(이학사).
1988년 한국전력공사 정보처리처(DBA)
1995년 성균관대학교 정보공학과(공학석사)
1996년 정보처리 기술사(정보관리 부문) 취득
1999년 정보시스템 감리인(한국전산원) 자격 취득
2002년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부(공학박사)
1996년 삼육의명대학교 전산정보과 조교수
2001년 삼육대학교 컴퓨터과학과 조교수
관심분야 : 컴퓨터 및 네트워크 보안, 동시성 제어, 분산 DB, 보안 시뮬레이션