SIMVA를 이용한 시뮬레이션 기반의 네트워크 취약성 분석

유용준*, 이장세**, 지승도*

Simulation-based Network Vulnerability Analysis Using the SIMVA

Yong-Jun You, Jang-Se Lee, Sung-Do Chi

Abstract

본 논문은 SIMVA(SIMulation Vulnerability Analyzer)를 이용한 시뮬레이션 기반의 네트워크 취약성 분석을 주 목적으로 한다. SIMVA는 네트워크 상태를 감시하고, 이를 토대로 취약성을 분석하기 위하여 개발된 S/W로서, SES/MB (System Entity Structure / Model Base) 프레임워크 및 DEVS(Discrete Event System Specification) 이론을 적용하여 네트워크 보안 모델링을 수행할 수 있으며, 취약성 메트릭스를 통하여 정량적으로 취약성을 분석할 수 있다. 본 연구에서는 SIMVA를 이용하여 최근 네트워크 보안 문제에 심각한 영향을 미치는 슬래머 웜 공격 시나리오에 대한 취약성 분석을 수행함으로써 SIMVA의 검증 및 적용 가능성을 제시한다.

Key Words: Vulnerability Analysis, Network Security, SES/MB, DEVS,

* 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부
**한국해양대학교 IT 공학부

1. 서 론

컴퓨터 환경의 개선과 인터넷의 폭발적 사용 증가에 따라 네트워크 의존도가 높아진 반면, 인터넷에 연결된 대부분의 시스템이 외부 침입에 노출됨에 따라 이를 이용한 사이버 공격에 대한 피해가 급증하고 있다[1,2].

지금까지의 Aslam[3], Bishop[4]과 Krsul[5] 등의 취약성 분석 관련 연구에서는 호스트에 존재하는 취약성을 탐지하고 제거하기 위하여 정성적 특성들에 의한 취약성 분류에 초점이 맞추어져 있었다. 또한, 이와 같은 연구 결과에 기반을 두고 개발된 스캐닝 도구들은 실제 시스템의 정성적 분석에 효과적으로 적용될 수 있다. 하지만 다양하게 변화하는 정교한 해킹 기법에 대처하고, 다양한 경로를 제공하는 인터넷 기반 구조에 대한 침해 등에 적용하기에는 미흡하다.

이를 극복하기 위하여 네트워크를 모니터링하고 그 취약성들을 자동적으로 분석할 수 있는 SIMVA(SIMulation Vulnerability Analyzer)라는 네트워크 취약성 분석 도구를 성공적으로 개발한 바 있다[6]. SIMVA는 SES/MB(System Entity Structure / Model Base) 프레임워크 및 DEVS(Discrete Event System Specification) 이론을 적용하여 네트워크 보안 모델링을 수행할 수 있으며, 취약성 메트릭스를 통하여 정량적으로 취약성을 분석할 수 있다[7,8,9].

본 연구에서는 SIMVA를 이용하여 최근 네트워크 보안 문제에 심각한 영향을 미치는 슬래머 웜 공격 시나리오에 대한 취약성 분석을 수행함으로써, SIMVA의 검증 및 적용 가능성을 제시한다.

2. 관련연구

2.1. 시뮬레이션 기반 취약성 분석 방법론

그림 1은 SIMVA에 적용된 시뮬레이션 기반의 취약성 분석 방법론을 나타낸다.

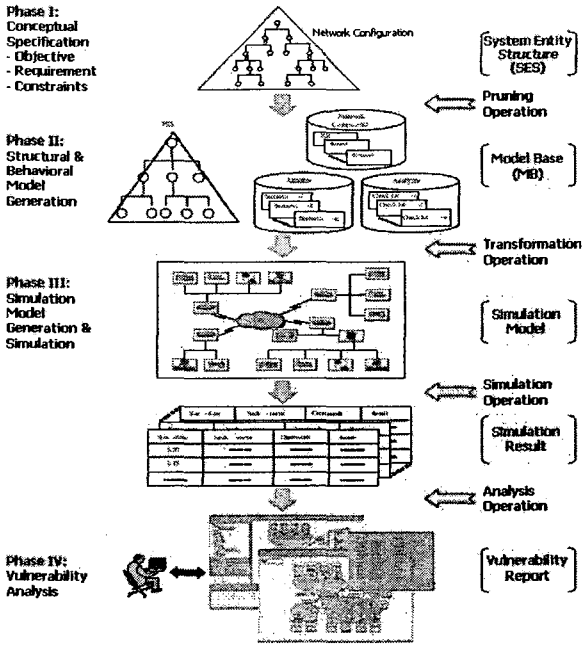


그림 1. 시뮬레이션 기반 취약성 분석 방법론

1단계는 개념적인 명세 단계를 보여준다. 이 단계에서 해당 네트워크 시스템의 분할, 분류, 커플링 등의 관계들이 SES에 의해 명시될 수 있다. 2단계에서는 공격자와 분석자 모델뿐만 아니라 네트워크의 각 구성 요소들의 모델들이 DEVS 형식론으로 생성되고 MB안에 저장된다. 특히 선/후행처리 조건을 사용한 명령어 레벨 모델링은 다양한 서비스에서 사용된 명령어들을 그룹 단위로 묶고, 명령어들을 분류하는 것으로 이루어진다. 3단계에서는 SES로 정의된 네트워크 구조에 따라 MB안에 저장되어 있던 모델들을 통합함으로 시뮬레이션 모델이 생성된다. 이로써 다양한 사이버 공격에 대한 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 마지막으로 4단계에서 시뮬레이션 수행의 결과에 취약성 메트릭스를 적용함으로써 각 네트워크 구성 요소들의 취약성들을 정량적으로 분석한다[10,11].

2.2. SIMVA 소개

시뮬레이션 기반의 네트워크 취약성 분석 시스템인 SIMVA는 현재 Visual C++로 구현되었으며, 그림 2는 SIMVA의 구조도를 나타낸다.

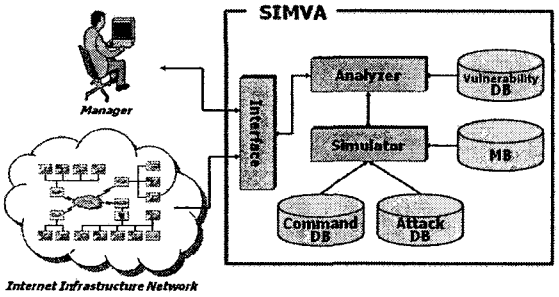


그림 2. SIMVA의 구조도

Analyzer는 먼저 Interface를 통해 Internet Infrastructure Network에서 수집된 정보를 받고 그 정보를 Simulator에게 보내게 된다. Simulator는 MB로부터 주어진 네트워크의 모델 구조를 생성하고, 각 모델들을 초기화한다. 그 후 Simulator는 Attack DB와 Command DB를 이용하여 사이버 공격에 대한 시뮬레이션을 수행하게 된다. 그리고 그 결과를 Analyzer에게 보고한다. Analyzer는 Vulnerability DB를 사용하여 취약성 메트릭스를 시뮬레이션 결과에 적용하고, 정량적인 방법으로 각 구성 요소의 취약성들을 분석한다. 끝으로 분석 결과는 Interface를 통해 관리자에게 보고된다.

그림 2에 나타난 주요 모듈 및 DB에 관한 설명은 다음과 같다.

- Interface : 관리자와 시스템 간의 의사 소통을 지원한다.
- Analyzer : Simulator에 의한 시뮬레이션을 이용하여 노드, 링크, 네트워크 취약성들을 분석한다.
- Simulator : 취약성들과 대응 전략 등을 평가하기 위한 시뮬레이션을 수행한다.
- MB : 해당 네트워크의 구성 요소들의 DEVS 모델들을 포함한다.
- Command DB : 명령어에 대한 DB로서 실행 전의 조건과 실행 후의 상태 등을 정의해 놓은 DB이다.
- Attack DB : 공격 시나리오에 대한 DB이다. 공격 시나리오는 명령어들의 집합으로 구성되어져 있다.
- Vulnerability DB : 취약성들을 분석하기 위해 취약성들을 정의해 놓은 DB이다.

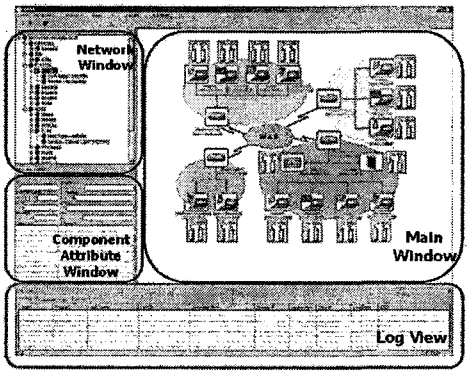
SIMVA는 다음과 같은 두 가지의 모드를 지원한다.

(1) 모니터링 모드

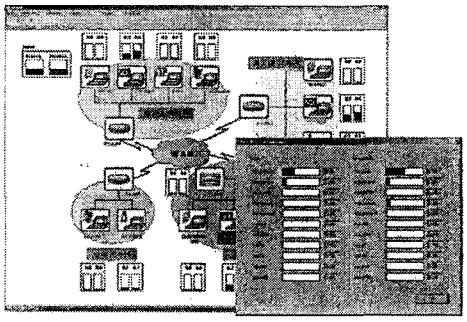
Internet Infrastructure Network와 실시간 모니터링한 정보뿐만 아니라 각 구성 요소들의 속성들을 보여준다(그림 3(a)).

(2) 분석 모드 (시뮬레이션 모드)

사이버 공격 시뮬레이션을 통하여 정량적인 방법으로 해당 네트워크의 노드와 네트워크 취약성을 분석한다(그림 3(b)).



(a) 모니터링 모드



(b) 분석(시뮬레이션) 모드

그림 3. SIMVA의 주요 화면

3. SIMVA를 이용한 취약성 분석 : Slammer Worm의 예

본 논문에서는 지난 2003년 1월 25일에 발생한 Slammer Worm 바이러스에 의한 공격을 모델링하고 시뮬레이션을 수행하여 취약성을 분석하였다.

3.1. 테스트베드의 구성

테스트베드는 그림 4와 같이 공격자가 포함된 외부 공격망과 공격의 대상이 될 수 있는 3개의 네트워크(전자관, 기계관, RRC 연구센터)로 구성된다. 각 네트워크는 MS-SQL 서버를 포함한 리눅스 서버, 웹 서버, 윈도우 서버 등으로 구성되며, MS-SQL 서버들은 패치가 이루어지지 않은 상태로 설정하였다.

3.2. 시뮬레이션의 진행

시뮬레이션의 진행은 먼저 외부 공격망의 공격자가 항공대 기계관 네트워크의 MS-SQL2 서버에 Slammer Worm 공격을 시도하게 된다. 패치가 이루어지지 않은 MS-SQL2 서버는 공격에 그대로 노출되게 된다. 공격 받은 MS-SQL2 서버는 Slammer Worm 바이러스 감염 후 무수히 많은 양의 Slammer Worm 패킷을 발생시켜 임의의 주소로 전파한다.

일정 시간의 시뮬레이션 진행 후, 시뮬레이션 결과의 분석을 통하여 예상되는 동적 취약성을 분석한다.

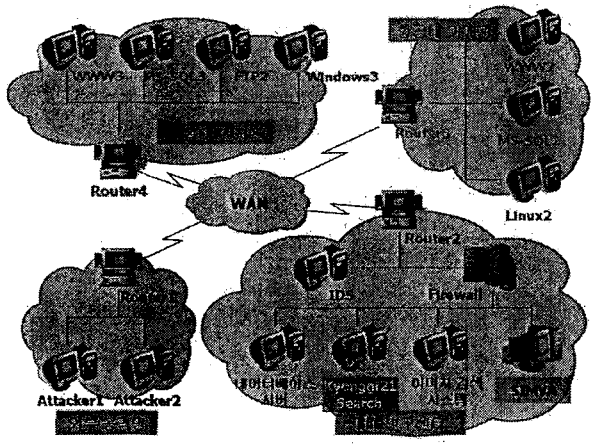


그림 4. 테스트베드 구성도

3.3. 취약성 분석

SIMVA는 정량적인 취약성 분석을 위하여 노드와 네트워크의 취약성 메트릭스를 이용하여 분석한다[12].

3.3.1. 노드 취약성

노드 취약성은 각 네트워크 구성 요소들이 현재 뿐만 아니라 잠재적으로 가지고 있을 수 있는 포괄적인 취약성 항목을 포함한다. 현재의 취약성 항목은 시간의 흐름에 관계없이 존재하는 정적인 취약성을 의미하며, 잠재적인 취약성 항목은 시뮬레이션을 통하여 분석할 수 있는 발생 가능한 취약성을 의미한다. 네트워크에 있는 구성 요소들은 그 요소 자체의 설정값 등에 의해 취약성 항목 중의 일부 항목들을 가지게 된다.

노드 취약성은 각 취약성 항목의 임팩트 값을 곱한 것의 산술평균으로 정의된다. i번째 요소의 노드 취약성 값 NV_i는 다음과 같이 정의된다.

$$NV_i = \sum_{j=1}^{n}(w_j \times vul_j) / \sum_{j=1}^{n} w_j \qquad (1)$$

w_j와 vul_j는 각각 임팩트 값과 취약성 항목들 중의 j번째 항목의 값을 나타내며, n는 구성원에 대한 취약성 항목의 총 개수를 타나낸다. 임팩트 값은 해당 취약성을 이용한 사이버 공격이 성공했을 때 피해 정도의 비용이 얼마나 클 것인지를 나타내는 값이다. 이 값의 범위는 0부터 1사이이다.

그림 5는 시뮬레이션이 완료된 이후의 각 노드의 노드 취약성을 나타낸다. 흐린색(빨강색) 막대 그래프는 정적 취약성 값을 나타내고, 진한색(파랑색) 막대 그래프는 정적 취약성을 포함한 동적 취약성 값을 나타낸다. MS-SQL2 서버의 경우 정적 취약성 값이 0.3이고, 동적 취약성이 0.5이다. 즉, 시뮬레이션 과정에서 취약성 값이 0.2만큼 증가됨을 알 수 있다.

그림 6은 MS-SQL2 서버의 노드 취약성을 구성하는 취약성 항목에 따른 취약성 값을 상세히 보여준다. 그림 6에서 Scan은 정적 취약성 항목의 값을 나타내며 Simulation은 동적 취약성 항목의 값을 나타낸다. 현재 10개의 취약성 항목이 정의되어 있으며 취약성 계산을 위하여 적용된 각각의 임팩트 값은 표 1과 같다.

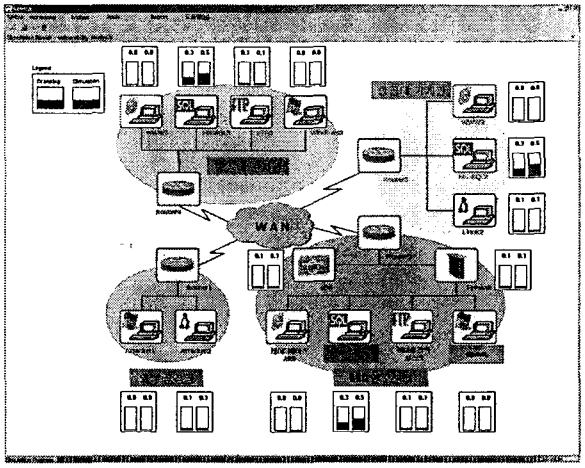


그림 5. 취약성 분석

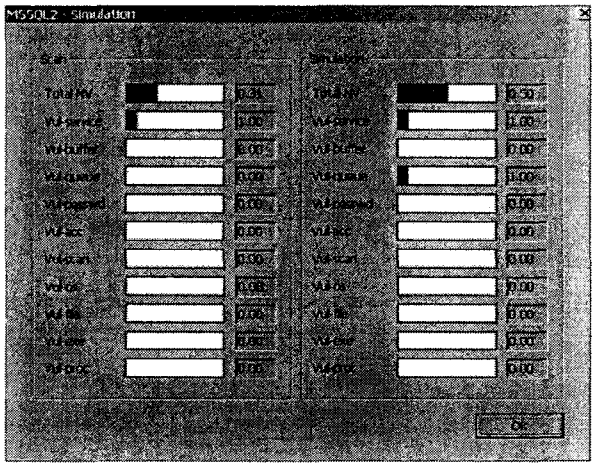


그림 6. MS-SQL2 서버의 노드 취약성 항목들

표 1. 취약성 항목들의 각각의 임팩트 값

취약성 항목	임팩트 값
Vul-service	0.5
Vul-buffer	0.1
Vul-queue	0.3
Vul-passwd	0.1
Vul-acc	0.1
Vul-scan	0.1
Vul-os	0.1
Vul-file	0.1
Vul-exe	0.1
Vul-proc	0.1

그림 6에서 MS-SQL2 서버의 노드 취약성 중 정적 취약성은 각 취약성 항목의 값과 (1)번식 및 표 1에 의해 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{1 \times 0.5}{(0.5+0.1+0.3+0.1+0.1+0.1+0.1+0.1+0.1+0.1)} = 0.31$$

즉, 서비스 패치와 관련된 service 취약성 항목의 값이 존재함으로 인하여 0.31의 취약성 값이 얻어지며, 이를 통하여 MS-SQL2 서버가 웜 공격과 같은 추가적인 공격이 가능한 정도의 취약성이 존재함을 정량적으로 분석할 수 있다.

또한, MS-SQL2 서버의 노드 취약성 중 시뮬레이션 후의 동적 취약성은 정적 취약성과 같은 방법으로 다음과 같이 구할 수 있으며, 시뮬레이션을 통하여 queue에 대한 취약성이 증가됨에 따라 0.5의 취약성 값을 얻을 수 있다.

$$\frac{(1 \times 0.5) + (1 \times 0.3)}{(0.5+0.1+0.3+0.1+0.1+0.1+0.1+0.1+0.1+0.1)} = 0.5$$

즉, 공격받은 MS-SQL2 서버는 웜 바이러스 감염 후 무수히 많은 양의 Slammer Worm 패킷을 발생시키기 때문에 큐의 용량이 초과되어 서비스 중지 상태에 이르게 될 수 있다. 이와 같이 동적 분석을 통하여 노드의 취약성을 정량적으로 예측할 수 있다.

3.3.2. 네트워크 취약성

네트워크 취약성은 네트워크의 전반적인 취약성에 대한 종합 평가를 위한 방편으로 사용될 수 있으며, 해당 노드의 취약성 값들에 대한 산술 평균으로 간단히 얻을 수 있다. i번째 네트워크 취약성, $NetV_i$는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$NetV_i = \sum_{j=1}^{n}(W_j \times NV_j) / \sum_{j=1}^{n} W_j \qquad (2)$$

W_j는 해당 네트워크에 대한 j번째 노드의 중요도 가중치를 나타낸다.

표 2는 RRC 연구센터에 대한 네트워크 취약성의 예를 나타낸다. 표 2에서 가중치는 각 노드의 중요도에 따라 부여된 것이며, 노드 취약성은 SIMVA에 의하여 분석된 값이다. RRC 연구센터의 경우 0.15의 네트워크 취약성을 보임으로써 전반적인 취약성이 비교적 낮은 것으로 판단할 수 있다.

표 2. 네트워크 취약성의 예 : RRC연구센터

노드 이름	가중치 (W_j)	노드 취약성 (NV_j)	네트워크 취약성 ($NetV_{RRC연구센터}$)
IDS	0.5	0.1	(0.5×0.1+0.5×0.1+0.5×0.5+0.2×0.1)/(0.5+0.5+0.3+0.5+0.2+0.5)=0.15
Firewall	0.5	0.1	
DB서버	0.3	0.0	
Kyonggi21 Search	0.5	0.5	
이미지검색 시스템	0.2	0.1	
SIMVA	0.5	0.0	

이와 같이 SIMVA를 이용하여 관리 대상이 되는 네트워크에 대한 각 노드의 취약성뿐만 아니라 전반적인 네트워크의 취약성을 정량적으로 분석, 평가함으로써 보안 정책에 따라 취약한 노드 및 네트워크를 효과적으로 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

네트워크에 대한 의존도가 높아짐에 따라 인터넷에 연결된 시스템의 취약성을 이용한 사이버 공격에 대한 피해가 급증하고 있는 실정이다. 기존의 취약성 분석 연구는 정성적인 연구가 대부분으로 다양하게 변화하는 정교한 해킹 기법에 대처하고, 다양한 경로들을 제공하는 인터넷 기반 구조에 대한 침해 등에 적용하기에는 미흡하다. 이를 극복하기 위하여 네트워크 상태를 감시하고, 이를 토대로 시뮬레이션을 통하여 네트워크 취약성을 분석할 수 있는 SIMVA를 개발한 바 있다. 본 논문에서는 개발된 SIMVA를 이용하여 Slammer Worm 공격에 대한 취약성 분석을 성공적으로 수행함으로써 SIMVA의 검증 및 적용 가능성을 제시하였다.

향후 연구로서 자동 모델 생성에 관한 연구와 알려지지 않은 사이버 공격을 시뮬레이션을 통해 생성할 수 있는 방안 등에 관한 연구가 요구된다.

Acknowledge

본 논문은 과학기술부 한국과학재단 지정 경기도 지역협력 연구센터(RRC)인 한국항공대학교 인터넷 정보검색 연구센터(IRC)의 지원에 의한 것임.

참고문헌

[1] T. A. Longstaff, Clyde Chittister, Rich Pethia, Yacov Y. Haimes, Are We Forgetting the Risks of Information Technology, IEEE Computer, pp 43-51, December, 2000.

[2] http://new.itfind.or.kr/KIC/etlars/industry/jugidong/1026/102603.htm, Dec., 2001.

[3] Aslam, T. A taxonomy of security faults in the unis operating system, M.S. thesis, Purdue University, 1995.

[4] Bishop, M. A taxonomy of unix system and network vulnerabilities. Tech. Rep. CSE-95-10, Dept. of Computer Science at the U. of California at David, 1995

[5] Krsul, I. V. Software Vulnerability Analysis, PhD Thesis, Purdue University, 1998.

[6] Yong-Jun You, Jang-Se Lee, Sung-Do Chi, SIMVA : A tool for the Network Vulnerability Analysis, PROCEEDING of International Conference on Internet Information Retrieval 2003, Korea, Oct., 2003.

[7] B.P. Zeigler, Multifacetted Modeling and Discrete Event Simulation, Academic Press, 1984.

[8] B. P. Zeigler, Object-oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models : Intelligent Agents and Endomorphic systems, Academic Press, 1990.

[9] Zeigler, B.P., H. Praehofer, and T.G. Kim. Theory of Modeling and Simulation 2ed. Academic Press, 1999.

[10] S. D. Chi, J. S. Park, K. C. Jung, J. S.

Lee, "Network Security Modeling and Cyber-attack Simulation Methodology", Lecture Notes on Computer Science series, 6th Australian Conf. On Information Security and Privacy, Sydney, July, 2001.

[11] Sung-Do Chi, Jong Sou Park, Jang-Se, Lee, "A Role of DEVS Simulation for Information Assurance", Lecture Notes in Computer Science series, 4th International Workshop On Information Security Applications, Jeju Island, Korea, August, 2003

[12] J. S. Lee, J. R. Jung, S. D. Chi, Vulnerability Measures for Network Vulnerability Analysis System, Proc. of 2002 IRC International Conference on Internet Information Retrieval, Korea, Nov., 2002.