

# NC2W : NCW 환경에서의 네트워크 연결성 측정을 위한 시뮬레이터 연구 NC2W: Measuring Network Connectivity Research in NCW Environment

최창범 김탁곤

Changbeom Choi Tag Gon Kim

한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학과, 대전 305-701  
042-350-5454 cbchoi@kaist.ac.kr

## ABSTRACT

A key challenge in the development of Network Centric Warfare (NCW) concepts is the establishment of suitable metrics for assessing the value of information and networking in the battle field. Specifically, there is no clear formal metrics for assessing network performance. Therefore, this paper introduces network connectivity in the graph theory to measure the performance of the constructed network. The network connectivity is the formal metrics for defining the vulnerability of the constructed network, which defines the number of link or the number of vertices such that separates the network. Moreover, this paper introduces Network Connectivity Simulator for NCW (NC2W) which utilizes the network connectivity to measure the performance of the network and provides the environment to test various tactics, dynamic behavior of the battle fields. The users of the NC2W can construct a network, which can be constructed in the battle field, and measure the performance metrics, the network connectivity, during the simulation. This research may help an officer to set up the effective tactics by measure network performance formally.

## 1. 서 론

정보 기술의 발전에 따라 미래 전장환경은 정밀 화력 및 네트워크를 기반으로 하는 네트워크 중심전(Network Centric Warfare: NCW)으로 개념이 바뀌고 있다. NCW는 탐지 체계, 의사결정자, 공격 체계 등의 모든 전력 요소를 네트워크화 함으로써 지휘 속도의 증가, 높은 작전 템포, 최대 치명성, 증가된 생존성을 달성하여 증가된 전투력을 생성해내는 정보 우위의 작전 개념이다. NCW에서는 화력 및 기동력을 기반으로 하는 플랫폼 중심 전투(Platform Centric Warfare)와는 달리 정보가 매우 중요한 역할을 차지 한다. 특별히 PCW에서는 전선 이동을 주도하는 보병, 포병 무기 체계 등의 기동 전력이 주축이 되지만, NCW에서는 C4I(Command and Control, Communication, Computer, Intelligence) 체계, 무인 항공기 정보자산, 정밀 무기 체계 등의 정보 전력이 주축이 된다. C4I는 부여된 임무를 달성하기 위해 가용한 자원을 최적의 장소와 시간에 배열할 수 있게 하여 전투력 상승 효과를 발휘할 수 있도록 지휘, 통제, 통신, 컴퓨터 및 정보의 각 요소를 유기적으로 통합, 연결하여 실시간에 정보 수집 및 분석, 지휘 결정, 계획 지시, 작전 수행이 가능하게 하는 통합된 지휘 체계이다. C4I 체계를 구성하고 연구함에 있어서 논의되는 중요한 연구 중 하나는 전장에서 생성되는 정보의 가치와 구축된 네트워크의 가치를 평가하는 척도에 관한 것이다. 네트워크의 가치를 평가하는 척도에 관한 연구는 1980년대부터 계속되었으며 본 논문에서는 그래프 이론에서 제시된 네트워크 연결성(Network Connectivity)를 사용하

여 네트워크의 가치를 평가한다. 또한 네트워크 연결성을 구축된 네트워크의 성능 지표를 측정할 수 있고, 다양한 전술 상황과 전장 속에서 구축된 네트워크의 연결성을 실험할 수 있는 환경인 Network Connectivity Simulator for NCW (NC2W)를 제시한다. NC2W는 이산 사건 시스템 명세(Discrete Event System Specification: DEVS)와 시뮬레이터 자동 합성 방법론을 사용하여 구현되었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 네트워크의 가치 척도인 네트워크 연결성에 대해 소개한다. 3장에서는 NC2W의 내부 모델을 설계하고 구현하는데 사용된 DEVS 형식론과 시뮬레이터 자동 합성 방법론에 대해서 설명하고, 4장에서는 NC2W의 설계와 시뮬레이션 결과를 소개하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 네트워크 연결성

NCW에서의 네트워크의 가치에 대한 연구로는 A. W. Marshall의 연구가 있다[1]. Marshall은 NCW의 효과도 측정을 위해서 메트칼프(Bob Metcalfe)의 법칙을 사용하였다. 메트칼프가 제시한 법칙에 따르면 네트워크에서 노드 수가 증가할 때, 네트워크의 잠재적 가치 또는 효율성은 노드 수의 승수에 비례하여 증가한다. 즉, 메트칼프의 법칙은 네트워크의 잠재적 가치를 노드 사이의 상호 작용(Network connection)의 함수로 나타내고, 네트워크 상의  $n$ 개의 노드에 대해서 모든 노드와의 연결을 가정하여 네트워크의 잠재적 가치를 다음과 같이 나타낸다.

$$\text{Network Power} = n(n-1) \quad (\text{식 1})$$

If  $n$  is large, Network Power  $\propto n^2$

네트워크의 가치의 실질적인 효과는 최근 이라크전에서 네트워크화된 탐지 체계, 무기 체계, 지휘통제 체계가 물리적인 기동력과 파괴력의 효과를 배가 시킴으로써 승리를 거둔 사례에서 찾아볼 수 있다. 하지만 (식 1)에서 가정하고 있는  $n$  개의 노드에 대해서 한 노드가 남은  $n-1$  노드와 연결을 맺고 있어야 한다는 가정은 실제 전장환경에서는 불가능하다. 그림 1의 (a)와 같이 모든 노드가 서로 연결을 맺고 있다면 이를 유지하는데 많은 비용이 소요된다. 또한 NCW의 실제 전장 상황에서는 재래식 무기체계도 동시에 작전을 수행할 수 있기 때문에 그림 1의 (b)와 같이 노드의 연결이 제한적으로 될 수 밖에 없다.

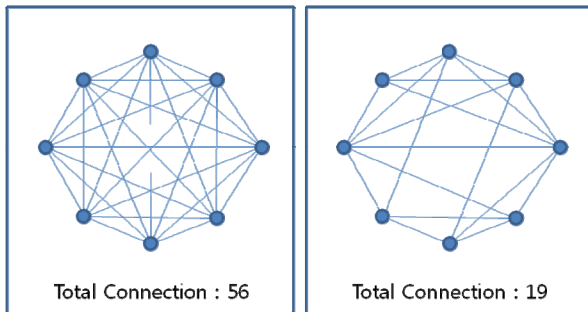


그림 1 (a) 이상적인 연결도 (b) 실제 연결도

이에 반해 네트워크 연결성은 네트워크를 두 개 이상으로 분리 시키기 위해 필요한 네트워크 링크 혹은 네트워크의 개체의 수로 정의된다. 즉, 네트워크의 연결성은 어떠한 네트워크가 주어졌을 때 네트워크를 취약하게 만드는 노드의 집합으로 정의할 수 있다.

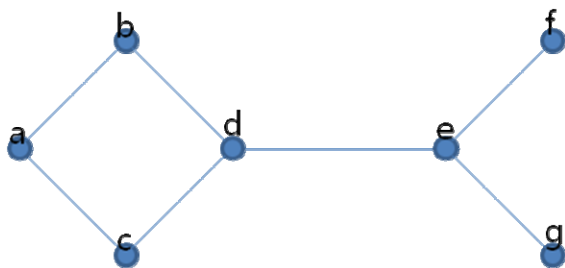


그림 2 네트워크 연결성이 1인 그래프

그림 2는 네트워크 연결성이 1인 그래프를 나타낸다. 이 그래프에서는 노드 d 또는 e를 제거하면 네트워크가 두 개로 나뉘게 되므로 노드 d 또는 e가 네트워크에서 취약한 부분이 된다.

네트워크의 연결성을 구하는 방법은 여러 알고리즘들이 제시되었으며, 네트워크를 분리시키는 하나의 노드 집합을 구하기 위해서  $O(n^3)$  알고리즘이 알려져 있다[2]. 이러한 알고리즘을 사용하여 주어진 네트워

크의 연결성을 측정할 수 있으며, NCW 환경에서 네트워크 연결성을 네트워크를 평가하는 척도로 사용되는 연구가 제시되었다[4].

### 3. DEVS 형식론 및 시뮬레이션 자동합성 방법론

NC2W는 시간에 따른 모델의 정확한 동작을 모델링하기 위하여 DEVS 형식론을 사용하여 모델을 구성하였으며 시뮬레이터 자동 합성 방법론을 사용하여 다양한 기동, 탐지, 평가 알고리즘을 실험할 수 있는 환경을 제시한다.

#### 3.1 DEVS 형식론

DEVS 형식론은 이산 사건 시스템을 객체 단위로 모듈화 하여 계층적으로 결합하여 표현하는 집합론에 근거한 수학적 틀이다. DEVS 형식론에는 시스템 기본적인 구성 요소를 나타내는 원자 모델과 여러 모델을 합쳐서 새로운 모델을 구성할 수 있는 결합 모델이 있다[5].

##### 3.1.1 원자 모델

원자 모델(Atomic Model)은 DEVS 형식론을 구성하는 가장 기본적인 모듈로서 시스템의 행동을 기술하는 모델이다. 원자 모델 M의 수학적 표현은 다음과 같다.

$$M = \langle X, Y, S, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda, ta \rangle$$

X: 이산사건 입력 집합  
 Y: 이산사건 출력 집합  
 S: 일련의 이산사건 상태의 집합  
 $\delta_{ext}: Q \times X \rightarrow S$ : 외부 상태 천이 함수  
 $Q = \{(s,e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$ : M의 모든 상태  
 $\delta_{int}: S \rightarrow S$ : 내부 상태 천이 함수  
 $\lambda: S \rightarrow Y$ : 출력 함수  
 $ta: S \rightarrow R_{0,\infty}^+$ : 시간 진행 함수

##### 3.1.2 결합모델

결합 모델(Coupled Model)은 여러 모델을 내부적으로 연결하여 만든 모델이다. 내부 구성요소가 되는 모델은 원자 모델과 결합 모델이 모두 가능한데, 이러한 내부 모델들을 계속 합쳐서 더욱 큰 시스템을 표현할 수 있다. 다음은 결합 모델의 수학적 명세이다.

$$CM = \langle X, Y, \{M_i\}, EIC, EOC, IC, SELECT \rangle$$

X: 이산사건 입력 집합  
 Y: 이산사건 출력 집합  
 $\{M_i\}$ : 모든 이산사건 컴퍼넌트 모델들의 집합  
 EIC: 외부 입력 연결 관계  
 EOC: 외부 출력 연결 관계  
 IC: 내부 연결 관계

SELECT :  $2^{(M_i)} - \emptyset \rightarrow M_i$ : 같은 시각에 존재하는 사건을 발생하는 모델들에 대한 선택 함수

3.2 시뮬레이터 자동 합성 방법론

일반적인 시뮬레이터를 개발할 시에는 목적에 맞게 시뮬레이터를 구현한다. 즉, 빠른 시간에 반복적으로 시뮬레이션을 수행하여 결과를 확인하고자 하는 시뮬레이션의 경우 모델의 정확성은 희생하더라도 성능을 위해 모사하려는 대상을 간략화된 모델로 모델링한다. 이와 반대로 보다 정확한 시뮬레이션을 수행하고자 한다면 모델의 동작을 정확하게 모사할 수 있는 알고리즘을 만들어 시뮬레이터를 작성한다. 이와 같이 구현된 시뮬레이터는 일반적으로 정해진 한가지 알고리즘에 따라 시뮬레이션이 수행되는 구조를 가지고 있으며 따라서 동일한 모델에 대해서 다양한 목적에 맞게 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 각각의 시뮬레이터를 작성해야 한다. 그에 반해 [7]에서 제안하는 시뮬레이터 개발 방법론은 시뮬레이터를 개발할 때 모든 알고리즘을 시뮬레이터와 분리시켜 알고리즘 교환을 가능하게 한다. 즉, 시뮬레이터 내부의 모델에는 변화가 없지만 새로운 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하기 때문에 시뮬레이터가 자동으로 합성할 수 있다. [7]에서 제안한 자동 합성 방법론은 다음과 같다.

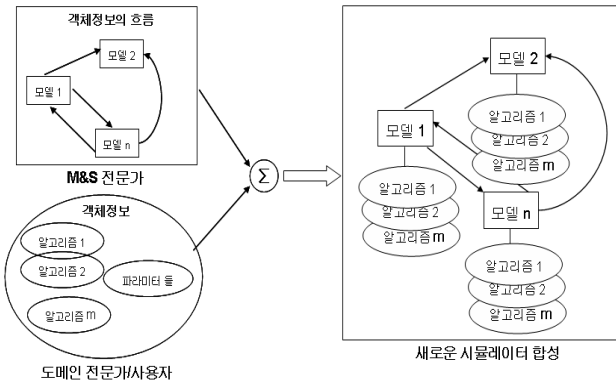


그림 3 시뮬레이터 자동 합성론

그림 3 과 같이 시뮬레이터 자동 합성 방법론은 실제 객체를 모델링함에 있어서 객체의 정보 흐름과 순서는 동일하지만 그 안에 담기는 데이터(파라미터)와 모델의 알고리즘에 따라 시뮬레이션의 성능과 정확성이 결정되는 점에 착안하여 모델 동작의 흐름을 수학적으로 모델링할 수 있는 DEVS 를 사용하여 모델링하고 모델의 행위를 결정 짓는 알고리즘을 분리함으로써 동일한 모델에 대해서 목적에 맞게 다양한 시뮬레이터를 합성시킬 수 있다.

4.NC2W 의 설계 및 구현

NCW 환경에서 구축된 네트워크의 성능을 평가하기 위해서는 정형적인 평가 척도가 존재해야 하며 다양한 전장환경을 반영할 수 있어야 한다. 이를 위해서 NCW 환경의 네트워크 평가 시뮬레이터는 다음과 같은 요구사항을 만족해야 한다.

첫째, 시뮬레이터는 정형적으로 네트워크의 가치를 평가할 수 있는 수학적 평가 척도가 있어야 한다.

둘째, 시뮬레이터의 내부 모델은 실제 모사 대상을 수학적 근거를 바탕으로 모사해야 하며 다양한 수준에서 시뮬레이션을 가능할 수 있게 해야 한다. 즉, 시간에 따라 정확한 시뮬레이션을 수행하며 다양한 플랫폼에 대해서 다양한 운동 방정식을 적용하여 시뮬레이션을 동작할 수 있도록 해야 한다.

셋째, 시뮬레이터는 동적으로 변화하는 전장상황을 잘 반영할 수 있어야 한다. NCW 의 개체들은 기동할 수 있는 동적인 개체들이기 때문에 그 개체들이 이루는 네트워크 역시 동적으로 변화한다. 실제 전장환경에서는 적군의 공격 또는 장비의 오동작으로 인하여 네트워크가 끊길 수 있다. 따라서 시뮬레이터는 이러한 상황을 잘 반영해야 한다.

위와 같은 요구사항에 따라서 NC2W 는 네트워크 연결성이란 수학적 평가 척도로 네트워크를 평가한다. 그리고 실제 시스템을 반영하며 용이하게 모델링할 수 있는 DEVS 형식론을 사용하여 각 모델을 모델링하고 다양한 운동방정식과 탐지 방정식을 적용할 수 있도록 알고리즘과 모델을 분리하였다. 또한, 네트워크 연결성을 평가하기 위해서 사용된 알고리즘도 분리하여 보다 효율적인 알고리즘이 개발되면 이를 치환하여 보다 효율적인 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 구성되었다.

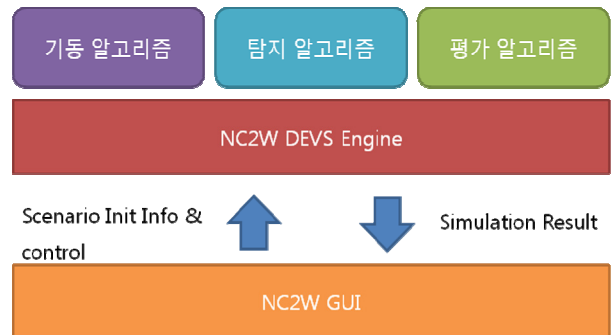


그림 4 NC2W 의 구조

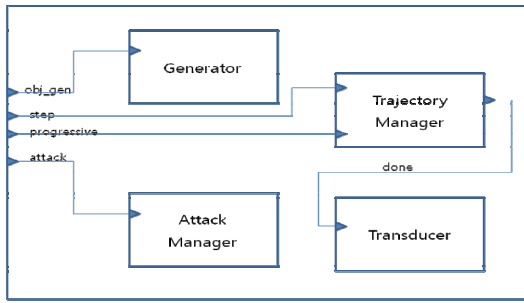


그림 5 NC2W의 시뮬레이션 모델

다음은 NC2W를 사용하여 사용자가 입력한 시나리오에 따라 시뮬레이션을 실행한 화면이다.

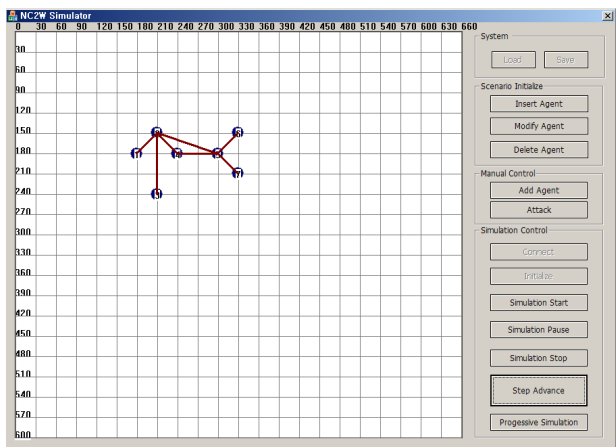


그림 6 NC2W 수행 화면

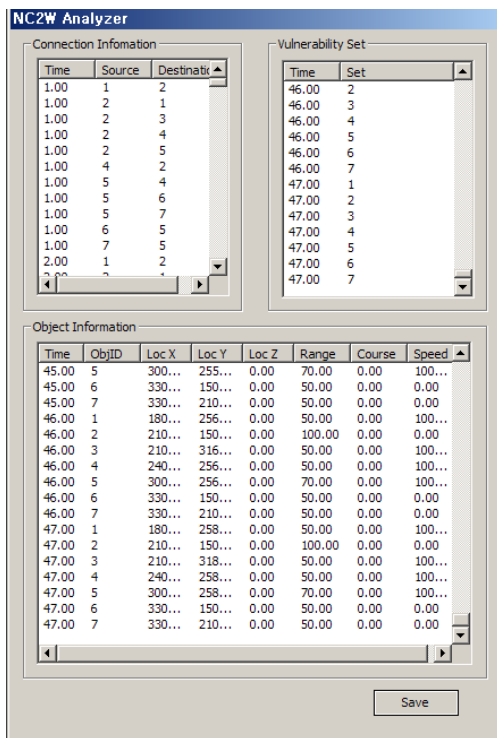


그림 7 NC2W 분석 화면

### 5. 결론

NCW 환경에서는 NCW에 참여하는 개체들의 연결 구성에 따라 정보의 우위가 결정되며 아군의 다양한 전술 혹은 적군의 공격에 따라 구축된 네트워크가 시간에 따라 동적으로 변화하는 특징을 가지고 있다. 따라서 다양한 전술 환경에서 네트워크가 어떻게 변화하고 변화된 네트워크의 가치를 측정할 수 있는 시뮬레이터가 필요하다. NC2W는 NCW의 다양한 시나리오에 대해서 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 설계되었으며 사용자가 입력한 시나리오에 따라 시나리오의 개체들이 기동하고 기동 시에 변화되는 네트워크에 대하여 네트워크를 정형적으로 평가할 수 있는 척도인 네트워크 연결성을 평가하여, 네트워크를 취약하게 만드는 개체의 집합을 출력한다.

NC2W는 시뮬레이터의 유지 보수를 위하여 시뮬레이터 자동 합성 방법론을 사용하여 동일한 모델과 시뮬레이션 엔진에 대해서 다양한 기동, 탐지, 평가 알고리즘을 실험할 수 있는 환경을 제시한다. NC2W를 통하여 다양한 시나리오와 가변적으로 변화하는 전장 상황을 반영하여 네트워크의 성능을 정형적으로 측정함으로써 향후 NCW의 개념을 적용하여 효율적인 전술을 입안하는데 도움을 줄 수 있다. 향후 실제 NC2W에서 사용하는 데이터 포맷을 사용하고 다양한 시뮬레이터와의 연동을 통하여 NCW 환경에서의 네트워크 가치 측정을 위한 시뮬레이터로 사용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] A. W. Marshall, "Measuring the Effects of Network Centric Warfare," vol. 1, Booz Allen & Hamilton Inc, 1999.
- [2] Ford L. R. Jr. and D. R. Fulkerson, *Flows in Networks*, Princeton University Press, Princeton, 1962.
- [3] Douglas B. West, *Introduction to Graph Theory*, Prentice Hall, 2001.
- [4] T. Moon, E. Kruzins "Proposed Network Centric Warfare Metrics: From Connectivity to the OODA Cycle," *MORS Journal* Vol.10 No.1, April 2005
- [5] Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer and Tag Gon Kim, *Theory of Modeling and Simulation*, ACADEMIC PRESS, 2001.
- [6] T. G. Kim, *DEVSimHLA User's Manual*, 2007. Available: <http://smslab.kaist.ac.kr>
- [7] 김주영, 김탁곤, "DEVs를 이용한 위게임 시뮬레이터 자동 합성 방법론," 한국시뮬레이션학회 2006년 춘계학술대회논문집