

□ 기술해설 □

# 컴퓨터 통신망의 시뮬레이션

이화여자대학교 김명희\* · 최수미\*\*

● 목 차 ●

1. 서 론	5. 실험 계획
2. 통신망의 정의	5.1 제어 변수와 비제어 변수
2.1 대상 통신망의 선정	5.2 통계적 방법
2.2 통신망의 구성요소	5.3 초기 상태 설정
3. 자료 수집	6. 결과 분석
4. 시뮬레이션 모델 구축	6.1 반복법
4.1 모델링 패러다임	6.2 일괄평균법
4.2 통신망 시뮬레이션 모델링 도구	6.3 재시작법
4.3 CSMA/CD priority protocol 모델의 예	7. 결 론

## 1. 서 론

대상 통신망을 시뮬레이션 하기 위해서는 다음과 같은 단계의 과정을 거쳐야 한다. 첫째, 대상 통신망을 정의하고 둘째, 자료를 수집한다. 셋째, 시뮬레이션 모델을 구축하고 넷째, 계획에 의해 실험을 수행한다. 그리고 마지막으로 결과 분석을 한다. 본 논문에서는 현재 보편화되어있는 Ethernet을 대상 통신망으로 선정하고, 그에 대한 각 단계에서의 작업과 고려사항들을 살펴 본다. 이 외에도 모델 개발과정에 걸리는 시간을 줄이고 비전문가도 쉽게 사용할 수 있는 통신망 시뮬레이션 도구들에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 통신망의 정의

시뮬레이션의 제 1단계는 대상 시스템에 대

한 정의(system definition)이다. 여기서 대상 시스템은 기존 시스템 또는 새로이 설계되는 시스템일 수 있다.

컴퓨터 통신망 시뮬레이션에서도 이와 마찬가지로 먼저 대상 통신망을 선정하고, 선정된 통신망의 기본 구성요소와 요소들 간의 관계를 명확히 기술해야 한다. 시뮬레이션의 복잡도는 대상 통신망의 구성요소 수에 의해 결정되고, 세밀화는 한 구성요소를 어느 정도로 자세히 표현하느냐에 따라 달라진다.

본 장에서는 시뮬레이션 할 대상 통신망을 선정하고, 이에 대한 구성요소를 기술하고자 한다.

### 2.1 대상 통신망의 선정

컴퓨터 통신망은 적용되는 거리에 따라 LAN(Local Area Network), MAN(Metro-politan Area Network), WAN(Wide Area Network)으로 분류된다. 근거리 통신망(LAN)의 성질은 일반적으로 토폴로지, 전송매체 및 매체 액세스 제어 프로토콜과 같은 세 가지 요인에 의

\*종신회원

\*\*학생회원

해 결정된다[1].

토폴로지(topology)란 다양한 컴퓨터를 어떤 형태로 연결할 것인가에 대한 방법으로 스타, 링, 버스/트리 등의 세가지 구조로 나눌 수 있다.

전송매체(transmission media)는 전송속도, 신뢰도, 비용 및 배선의 용이성 등을 좌우하기 때문에 근거리 통신망을 구분하는 가장 뚜렷한 기준이라 할 수 있다. 현재 사용되는 전송매체로는 트위스트 페어(twisted pair), 동축 케이블(coaxial cable) 및 광섬유(optical fiber)가 있다.

매체 액세스 제어 프로토콜(media access control protocol)은 전송매체를 공유하고 있는 통신망 상의 각 스테이션들이 충돌없이 메시지를 전송하기 위한 통신 규약이다. 토폴로지에 따른 프로토콜을 살펴볼 때, 버스/트리 구조에서는 CSMA/CD와 토큰 버스(token bus)가 주로 사용되고, 링 구조에서는 토큰 링(token ring), 슬롯 링(slotted ring), 레지스터 삽입(register insertion) 등이 사용된다.

보편적으로 사용되는 근거리 통신망에는 Ethernet, Token Ring, FDDI가 있다.

다음은 본 논문에서 대상 통신망으로 선정한 Ethernet에 대한 개요이다[1].

〈Ethernet〉

Ethernet은 1979년 제록스사에서 처음 개발된 후 급속한 속도로 보급되어 현재 가장 많이 사용되고 있는 근거리 통신망이다.

토폴로지는 버스 구조이며, 전송속도는 10 Mbits/sec로 동축 케이블이나 트위스트 페어와 같은 전송매체를 사용한다. 매체 액세스 제어 프로토콜은 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 방식이고, 작동 원리를 간략히 기술하면 다음과 같다.

망 안의 어떤 스테이션이 패킷(packet)을 보내고 싶으면 다른 스테이션이 패킷을 현재 전송하고 있는지를 조사한다. 아무도 패킷 전송을 하지 않는 것으로 확인되면 패킷 전송을 시작한다. 그러나 다른 스테이션이 패킷 전송을 하고 있으면 전송이 끝날 때까지 기다렸다 전송을 시작한다. 둘 이상의 스테이션이 동시에 패

킷 전송을 시작하면 충돌(collision)이 발생한다. 충돌이 발생하면 전송을 하던 스테이션들은 전송을 중지하고 망 안의 모든 스테이션들에게 충돌이 발생했음을 알리는 잼(jam) 신호를 보낸다. 잼 신호를 보내고 임의의 시간(backoff delay)을 기다린 후 재전송을 시도한다. 자세한 사항은 IEEE 802.3 표준[18]을 참고하시오.

2.2 통신망의 구성요소

컴퓨터 통신망의 구성요소는 크게 다섯 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 실행 프로세서인 ‘노드’ 둘째, 노드들 사이를 연결하는 “링크” 셋째, 이러한 노드와 링크를 포함한 전체 망의 형태인 “토폴로지” 넷째, 망에서 전송되는 메시지인 “트래픽” 마지막으로 여러형태의 트래픽이 전송되는 규칙인 “프로토콜”이다.

계속해서, 이러한 구성요소들을 정의하기 위해 기술해야 할 사항들에 대해 자세히 알아본다[2][3][19].

1) 노드

Ethernet에 연결된 스테이션, 브리지, 라우터, 게이트웨이 등의 다양한 장치는 노드 형태로 표현될 수 있다. 이러한 노드는 하나씩 정의되거나 동일 속성을 갖는 그룹 형태로 정의될 수 있다. 노드의 속성은 다음과 같다.

- 노드 이름
- 노드 유형
- 프로세서 수
- 버퍼 크기
- 노드의 처리 시간

만일 노드를 여러 노드들의 그룹으로 표현하고 싶다면 다음과 같은 속성들이 추가되어야 한다.

- 그룹 이름
- 노드 수

2) 링 크

링크(link)란 둘 이상의 노드(스테이션)를 연결해 주는 전송 설비(facility)이다. 링크의

거리란 전송하는 스테이션으로부터 대응되는 스테이션 까지의 거리를 말한다. 이러한 거리는 각각의 시뮬레이션 시나리오에 따라 다양하게 나타낼 수 있고, 전파지연시간이나 전송속도는 설정된 거리 파라미터에 의해 영향을 받는다. 링크의 특성을 표현하기 위한 속성은 아래와 같다.

- 링크 이름
- 링크의 거리
- 전송속도
- 전파지연시간

3) 토폴로지

Ethernet의 간단한 토폴로지는 그림 1과 같이 노드(스테이션)들과 링크로 이루어진다. 이러한 버스 구조의 토폴로지에서는 거리란 한 스테이션의 인터페이스 장치와 다음 스테이션의 인터페이스 장치 간의 물리적인 거리(physical distance)를 말한다.

이러한 토폴로지에 대한 명세는 토폴로지가 통신망에 미칠 수 있는 영향을 분석할 수 있게 한다. 다음은 토폴로지를 정의하기 위해 기술해야 할 속성들이다.

- 망에 연결된 노드 수
- 노드 간의 거리
- 버스의 거리

4) 트래픽

노드로부터 발생되는 메시지(트래픽)는 출발지와 목적지가 명시되어야 한다. 그리고 메시지 길이 및 메시지 도착 간격은 여러 형태의 분포로 표현되거나 상수 형태로 지정 될 수 있다.

또한, 메시지 길이의 최대 혹은 최소치를 고려하여야 한다. 만일 Ethernet에 우선순위 작동을 포함시킨다면 각각의 메시지에 우선순위를 지정해 주어야 한다. 각 노드로부터 발생하는 메시지는 한 종류 또는 여러 종류의 우선순위를 갖게 설계될 수 있다. 트래픽은 다음과 같은 속성에 의해 기술되어진다.

- source 노드
- destination 노드
- 메시지 길이 분포
- 도착 간격 시간 분포
- 제한
  - 최대 메시지 길이
  - 최소 메시지 길이
- 우선순위

5) 프로토콜

Ethernet의 프로토콜인 CSMA/CD를 정의하기 위해서 고려해야 할 속성을 살펴보면 다음과 같다.

재시도 분포(retry distribution)란 메시지들 간에 충돌이 일어난 후, 재시도 하는데 걸리는 시간 분포이다. 만일 충돌이 최대 제한 횟수(retry limit) 보다 작다고 가정하면, 재시도 시간은 슬롯 시간(slot time)의 정수배에 offset을 더한 값으로 계산될 수 있다. 슬롯 시간은 적어도 round-trip 전파지연시간을 가져야 한다. 재시도의 최대 횟수는 최대 제한 횟수에 의해 결정되고, 표준안의 경우에는 16번의 재시도를 한다. limit delay란 최대 제한 횟수만큼 재전송한 후 새로이 전송을 시작하기까지 걸리는 시간이다. 메시지 간의 경쟁을 모델링하기 위해서는 경쟁이 일어나는 간격(contention inter-

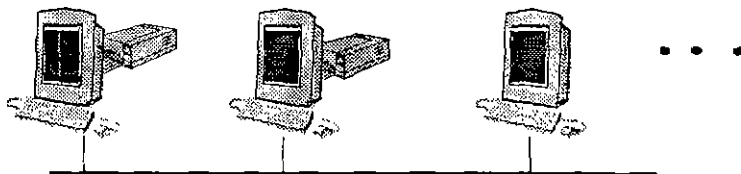


그림 1 Ethernet 토폴로지

val)이 필요하다. 잼 간격(jam interval)이란 충돌이 일어난 후 다른 스테이션에 잼 신호를 보내는데 걸리는 시간이고, sensing time은 채널의 사용 여부를 검사하는 시간이다. collision window는 메시지를 전송한 후 충돌의 여부를 검사하는데 지연되는 시간이다.

이러한 속성을 위한 디폴트 값은 표준안 [IEEE 802. 3]으로부터 지정될 수 있다. 그러나 만일 표준 Ethernet 모델을 변형 시키고자 한다면 이러한 속성값을 재조정해야 한다.

- retry distribution
  - slot time
  - offset
  - retry limit
  - limit delay
- contention interval
- jam interval
- sensing time
- collision window

### 3. 자료 수집

확률 변수의 값이 입력 자료로 주어지는 시스템의 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 입력을 위한 확률분포를 결정해야 한다. 이러한 확률분포에는 이론적 분포와 경험적 분포가 있다.

이론적 분포(theoretical distribution)란 적합도 검정을 거친 분포로서 예를들면 정규분포, 지수분포 등이 있다. 이들 분포를 정의하는데 필요한 파라미터들은 위치(location), 규모(scale), 형태(shape)이다. 이론적 분포의 장점은 모델에 대한 검정을 용이하게 하며, 파라미터를 변경함으로써 분포의 변형이 쉽다는 점이다.

경험적 분포(empirical distribution)는 주어진 자료로부터 직접적으로 이루어진 분포이다. 이 분포는 이론적인 분포를 선택할 수 없을 때 사용되며, 실제적인 경우에 많이 사용되고 있다.

주어진 자료로부터 이론적 분포를 결정하는 도구들도 현재 개발되고 있다. 이러한 예로 UniFit II를 들 수 있다[20]. UniFit II는 정확한 입력 분포를 자동으로 선정해 주고, 적합

도 검정 실시 및 전형적인 분석을 해준다. 그리고 전문적인 통계 지식 없이도 사용 가능하며, 경험적 분포 구축 또한 지원한다.

다음은 UniFit II의 주요 기능이다.

- Guided model selection mode :
  - 자료에 적합한 분포를 자동 결정
  - 연속형 분포의 선정에만 적용
- Manual model selection mode :
  - 전문가에 의한 확률분포 선정(수작업)
  - 이산형/연속형 분포 모두 적용
- No-data model selection mode :
  - 자료가 없을 경우 작업 처리 시간과 설비 고장 시간에 대한 확률 모델 결정을 지원
- Get introductory on-line help :
  - 상세한 튜토리얼 제공

### 4. 시뮬레이션 모델 구축

통신망을 모델링하고 시뮬레이션하기 위해 많은 모델링 패러다임과 소프트웨어 도구들이 개발되어 왔다. 대부분의 모델링 패러다임은 이산-사건(discrete-event) 시뮬레이션 기법을 사용하고 있으며 이러한 모델은 시스템 상태(system state)와 사건(event)에 의해 표현된다.

시뮬레이션을 위한 전통적인 접근방법은 FORTRAN, C와 같은 범용 프로그래밍 언어를 이용하는 것이다. 그러나 범용 언어를 이용하는 방법은 개발과정에서 너무 많은 시간과 노력이 들어간다는 단점이 있다. 그래서 1960년대 초부터 이러한 문제점을 개선하기 위해서 GPSS, SLAM과 같은 시뮬레이션 전용 언어들이 개발되어 왔으며, 1980년대 들어서서는 통신망 성능 분석을 위한 시뮬레이터(simulator)들이 개발되고 있다.

통신망 시뮬레이터의 기반 모델로 많이 사용되는 패러다임에는 대기행렬망(Queueing Network), 페트리 넷(Petri Net), FSM(Finite State Machine), 블럭 다이어그램 및 객체지향 모델이 있다[19][20].

4.1절에서는 통신망 시뮬레이션을 위한 여러 형태의 모델링 패러다임을 살펴보고, 4.2절에서는 각각의 모델링 방법에 기반한 통신망 시뮬

레이션 모델링 도구로, 최근에 사용되고 있는 패키지들을 소개한다. 그리고 4.3절에서는 CSMA/CD Priority protocol 모델의 예를 통하여 대상 통신망을 모델로 구축할 때 고려해야 할 점을 살펴 본다.

### 4.1 모델링 파라다임

모델을 어떤 방식으로 구축하느냐에 따라 각 파라다임 고유의 특성을 갖게 된다. 본 절에서는 다섯 종류의 파라다임에 대한 기본 개념을 간략히 설명하고 각각의 장단점을 살펴보고자 한다.

#### 1) 대기행렬망 모델

대기행렬(queue) 모델은 고객(customer)들이 일정한 비율로 도착하고, 하나 또는 그이상의 서버(server)들로부터 서비스를 받기 위해 기다리는 시스템을 모델링한 것이다. 이 모델을 통신망에 적용하면 통신망 상에서 전송되는 메시지는 매체 또는 자원을 위해 경쟁하고, 때로는 서비스를 받을 때까지 큐잉되는 것으로 모델링할 수 있다.

대기행렬 모델은 Kendall의 A/B/s 표현법을 사용하는데, A는 고객의 도착 간격 시간에 대한 분포, B는 도착한 고객을 서비스하는데 걸리는 시간에 대한 분포, s는 고객을 서비스하는 서버의 수를 명시한다.

여러 개의 단일 대기행렬이 망의 형태로 결합되어 어떤 서버에서 처리된 고객이 다른 서버로 도착하는 경우를 대기행렬망 모델이라 한다.

대기행렬망을 구성하는 모델링 요소는 통신망을 구성하는 모델링 요소와 표 1과 같은 일대일 대응 관계가 있다.

표 1과 같은 대응 관계를 가지고 간단한 통신망을 대기행렬망 모델로 표현한 것이 그림 2이다.

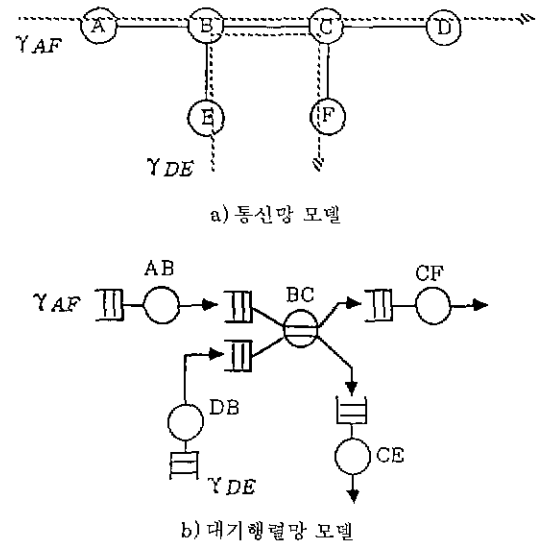


그림 2

위와 같은 대기행렬망 모델의 큰 장점은 통신망에 대한 적당한 가정만 주어지면 성능평가 결과를 쉽게 얻을 수 있다는 점이다. 즉, 대기행렬망 모델은 수학적으로 정의된 모델이기 때문에 해석적인 방법(analytic method)에 의해 성능분석을 위한 통계치를 구할 수 있다. 그러나 대기행렬망 모델을 해석적 방법으로 풀기 위해서는 모델에 대한 많은 가정이 필요하기 때문에 실제로 망을 표현하는데 많은 제약이 따른다. 또한 다양하고 복잡한 통신망을 표현하기 위해 필수적인 확장성을 지원하지 못한다.

#### 2) 페트리 넷 모델

페트리 넷 모델은 1960년대 초 C. A. Petri에 의해 개발된 수학적 도구이다. 이러한 페트리 넷의 종류로는 개념적으로 분석하기 쉽고 간단한 black and white nets로부터 복잡한 시스템을 모델링하기 위해 개발된 coloured nets 까지 매우 다양한 형태가 존재한다[4].

페트리 넷은 장소(place)와 변환(trans-

표 1 통신망 요소와 대기행렬망 요소의 일대일 대응

통신망 모델	대기행렬망 모델
메세지	작업(job)
링크	서비스 센터
패킷 버퍼	큐
메세지 도착과정	도착 시간 분포
메세지 전송시간	서비스 시간 분포
메세지 흐름	라우팅 체인

sition), 그리고 이들을 연결하고 입력 및 출력 관계를 결정짓는 아크(arc)로 구성된다. 모델의 동적인 행위는 변환이 수행되기 위해서 변환의 모든 입력장소가 적당한 수의 토큰을 가져야만 한다는 점화 규칙(firing rule)에 의해 결정된다.

페트리 넷의 가장 중요한 특징은 변환의 실행 여부가 지역적인 상태 즉, 변환과 연결된 입력 장소에 토큰이 존재하는가에 따라 결정되는 지역성(locality)을 가지고 있다는 것이다. 이러한 지역성은 병행 시스템(concurrent system)을 모델링 하기에 아주 좋은 속성이다.

페트리 넷 모델은 간단하기 때문에 자동적인 분석을 가능하게 하지만 복잡한 시스템을 모델링할 경우 상태 공간이 확장(state space explosion)되는 문제점을 안고 있다. 또한 이 모델은 상세한 프로토콜 함수, 집중 장치(concentrator)와 같은 통신망의 복잡한 구성요소들을 모델링하는데 적당한 방법이지만 대기행렬, 서버, 토폴로지를 제대로 표현하지 못하는 단점이 있다. 따라서 전체적인 통신망 시스템에 대한 시뮬레이션 보다는 주로 프로토콜 검증에 위해 사용된다.

3) FSM(Finite State Machine) 모델

일반적으로 FSM(Finite State Machine)과 FA(Finite Automation)는 동일한 의미로 사용된다. FA는 이산적인 입력과 출력, 유한개의 상태(state), 상태와 상태를 연결하는 변환(transition)을 갖는 수학적 모델이다. 각각의 입력에 대하여 상태는 자신에게 되돌아오는 것을 포함하여 다른 상태로 나가는 변환을 갖는다. FA는 변환 다이어그램(transition diagram)이라 불리는 유향그래프를 갖는다. 그래프에서 정점은 FA에서의 상태를 의미한다.

그림 3은 X.25 프로토콜의 일부분을 FSM 모델로 표현한 것이다[5].

FSM 모델 역시 페트리 넷 모델처럼 상세한 프로토콜 함수를 표현하는 때는 적당한 반면, 시스템의 비동기적인 측면이나 토폴로지와 같은 측면을 표현하는 때는 많은 제약이 따른다.

4)블럭 다이어그램 모델

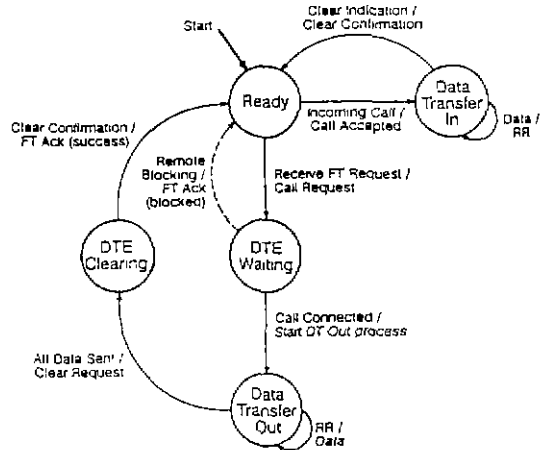


그림 3 X.25 프로토콜의 FSM 모델

블럭 다이어그램은 블럭(노드), 포트, 아크의 세 가지 구성요소를 갖는다. 블럭은 일종의 함수를 말하는데 시스템에서 블랙박스의 역할을 한다. 포트는 블럭들 간의 통신을 위한 장치로 입력포트와 출력포트가 있다. 이러한 포트를 통하여 블럭들 간에 자료가 교환된다. 아크는 보통 선으로 표현되는데 입력포트와 출력포트를 연결시켜 주는 역할을 한다. 아크는 연결과 비연결의 두 가지 유형이 있다.

블럭은 블랙박스의 역할을 하기 때문에 그것의 내부구조를 자세히 알 필요는 없다. 단지 입출력 포트의 역할과 그것의 자료 형태, 그리고 그 블럭이 어떤 기능을 수행하는지에 대한 정보만 가지고 있으면 된다. 이러한 블랙박스 모델은 각각의 블럭이 독립적으로 설계될 수 있다는 점에서 정보 은닉의 장점을 갖는다. 그리고 이 모델은 기본적으로 계층 구조를 지원한다. 복잡한 모델의 경우 계층적으로 구성함으로써 문제를 보다 단순화 시킬 수 있다. 또한 블럭의 계층 구조는 라이브러리에 존재하는 기존의 모듈을 재사용하는데 편리한 기능을 제공한다.

그림 4는 FSM 모델에서 예로 제시되었던 X.25 프로토콜을 블럭 다이어그램으로 모델링한 예이다[5].

블럭 다이어그램을 이용한 통신망 시뮬레이션 모델은 모델링 파라다임 자체가 간단하고 유연성이 많아서 통신망의 모든 측면을 모델링하기가 비교적 용이하다. 또한 모델링 파라다임

이 인간의 사고 과정과 유사하여 모델을 이해하기 쉽다.

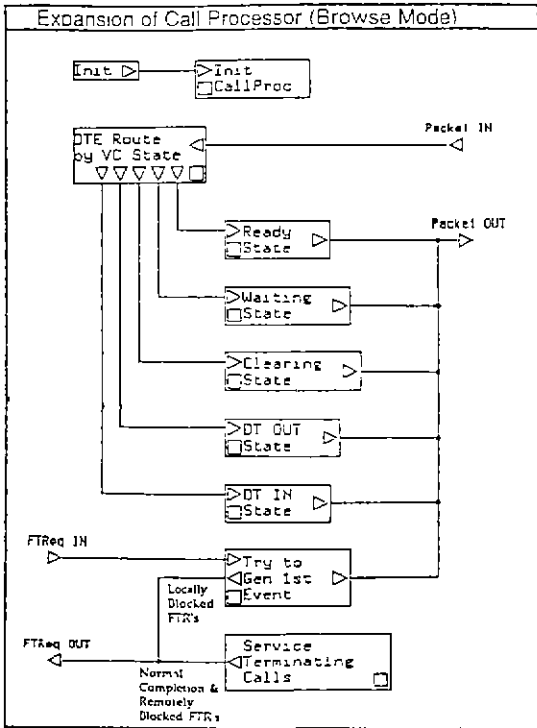


그림 4 X. 25 프로토콜의 블록 다이어그램 모델

5) 객체지향 모델

객체지향(object-oriented)이란 우리가 해결하고자 하는 문제를 포함하고 있는 현실세계를 객체들의 집합으로 보는 접근방식을 말한다. 다시 말하면 객체지향 모델링은 크고 복잡한 시스템이 자신의 구조(structure)와 행위(behavior)에 따라 구성될 수 있도록 하는 framework로서 복잡한 문제를 보다 효과적으로 정의하고 해결할 수 있다.

개념적 모형에서 객체는 자기자신에 대한 속성과 다른 객체에 대한 관계로 표현되는 구조적 특성, 그리고 오퍼레이션으로 표현되는 행위적 특성을 포함한 것으로 정의된다.

이 방법을 통신망에 적용하면 구성하는 요소들의 특성, 요소와 요소 관계를 묘사하는 구조 모델, 그리고 프로토콜, 메세지, 그 반응등을 기반으로 하는 행위 모델로 나타낼 수 있다[6][7].

객체지향 모델링의 대표적인 특성에는 추상화, 캡슐화, 유형화, 상속성 등이 있다. 추상화의 예로 통신망에서의 모델은 다음과 같이 정의될 수 있다[6].

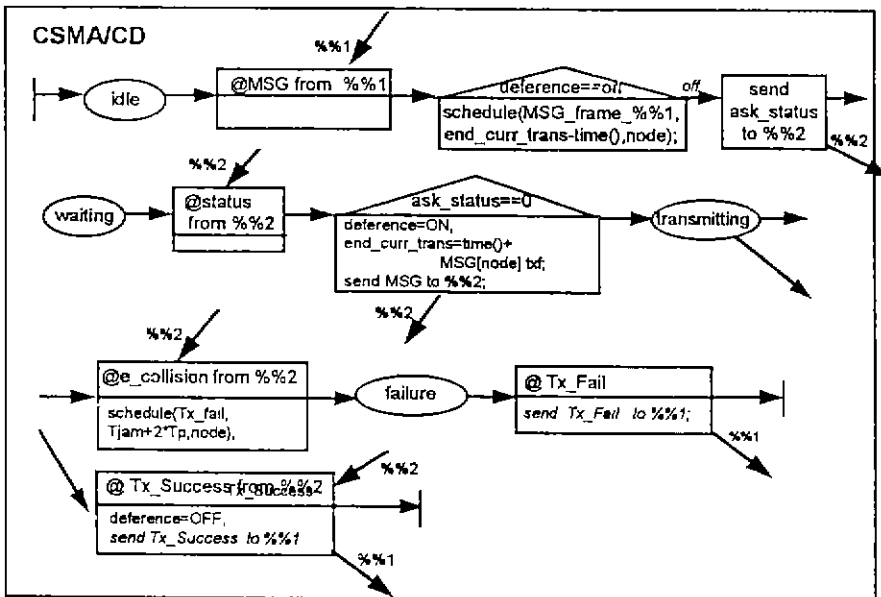


그림 5 CSMA/CD 프로토콜의 객체지향 모델

<모델>

- 행위기반 추상화 :  
디지털 데이터를 아날로그 포맷으로 바꾸는 디바이스
- 자료기반 추상화 :  
적어도 두개의 포트(port)를 가진 디바이스로 하나의 포트는 데이터 케이블에, 다른 하나는 아날로그 전송 라인에 연결되어 있어야 한다.

위에서 설명한 객체지향 모델링 파라다임으로 CSMA/CD 프로토콜을 모델링한 예는 그림 5와 같다[21].

객체지향 모델의 장점은 생산성 향상, 자연적인 모델링, 재사용성, 유지보수의 용이성에 있다. 그러나 이러한 많은 장점에도 불구하고 일반 언어에 비해 배우기 어렵고, 현재 하드웨어 기술로는 기존 방식 보다 실행 속도가 늦다는 단점이 있다.

**4.2 통신망 시뮬레이션 모델링 도구**

모델 개발 과정의 시간과 노력을 덜고 비전문가도 모델링을 할 수 있도록 다양한 통신망 시뮬레이션 도구들이 개발되고 있다.

본 절에서는 전술한 모델링 파라다임에 기반을 둔 도구들로 최근에 개발된 다섯 가지 통신망 시뮬레이션 도구를 소개하고자 한다. RESQME는 대기행렬망, TOPNET은 페트리 넷, OPNET은 FSM, BONeS는 블럭 다이어그램, COMNET III는 객체지향 모델에 기반을 둔 통신망 시뮬레이션 도구이다.

1) RESQME

RESQME(RESearch Queuing package Modeling Environment)는 RESQ를 확장한 시스템으로, 확장된 대기행렬망 모델에 기반을 두고 있다.

RESQME에서는 모델에 대한 정보를 상위 수준과 하위 수준으로 구별하여 제공한다. 상위 수준에서는 망 다이어그램, 망 다이어그램의 구성요소와 부분모델, 작업의 흐름, 결과 도표 등과 같은 그래픽 뷰를 제공한다. 하위 수준에서는 그래픽으로 표현된 각 객체의 속성에 대한

정보를 제공한다. 예를들어, 큐 객체는 큐의 이름, 큐의 타입, 서비스 시간등의 속성을 갖고, 망 다이어그램은 모델 이름, 문제해결 방법, 파라미터와 같은 속성을 가진다.

RESQME는 크게 다음 세 부분으로 구성되어 있다.

Create Edit

모델은 RESQ 모델링 프리미티브를 나타내는 아이콘들로 구축되고 작업의 흐름은 아이콘들을 연결하여 표현한다.

Evaluation

모델을 실행시키는데 필요한 파라미터를 입력한다.

Output Analysis

수집된 자료를 분석하는 기능을 제공하고 특정 아이콘에 대한 독립적인 성능 분석도 가능하다.

이 시뮬레이션 도구는 대기행렬망 모델에 기반을 두고 있기 때문에 통신망의 비동기적이고 대기행렬적인 측면을 모델링하는데 효율적이다. 그러나 상세한 프로토콜 함수, 스위치와 같은 복잡한 모델 구성요소를 표현하기에는 많은 한계점이 있다.

2) TOPNET

TOPNET(Tool for the Object-oriented Petri net based Network Evaluation and Test)은 Timed Net을 이용하여 통신망 및 통신망의 프로토콜 계층을 분석할 목적으로 개발된 시뮬레이션 도구이다[15]. TOPNET은 다음과 같은 세 부분으로 구성되어 있다.

블럭 편집기

블럭 편집기는 객체지향 특성을 가지고 있어 모델 설계자는 블럭의 인터페이스와 내부구조를 정의하고 수정할 수 있다.

망 편집기

통신망 모델을 명시하기 위한 그래픽 도구로서 사용자는 다음과 같은 단계를 통해 모델을 구축한다.

- 망 토폴로지 기술



- 망 구조의 기술
- 기능 블럭들의 인출 및 초기화
- 기능 블럭들의 상호 연결

□시뮬레이터

사건 중심 시뮬레이션을 수행한다.

즉, 망 편집기와 블럭 편집기를 이용해 구축한 모델을 실행 시킨다.

TOPNET은 위와 같은 구성요소 이외에 시뮬레이션 라이브러리와 변환기를 갖는다. 시뮬레이션 라이브러리는 블럭에 대한 정보가 저장된 데이터베이스를 말하고 변환기는 망 편집기에서 만든 모델을 실행가능한 시뮬레이션 프로그램으로 변환시키는 모듈이다.

3) OPNET

OPNET(OPTimized Network Engineering Tools)은 미국 MIL3사에서 개발한 도구로 상세한 프로토콜 모델링과 성능 분석 기능을 갖추고 있다. OPNET은 크게 다음과 같은 세 부분으로 구성되어있다.

□모델 개발 부분

- 망 편집기 : 서브 망과 노드 객체로 구성된 망 모델을 기술

[지원되는 통신 노드]

Fixed Communication Node

Mobile Communication Node

Satellite Communication Node

- 노드 편집기 : 노드 모델을 기술
- 프로세스 편집기 : 프로토콜, 알고리즘과 같은 프로세스 모델을 기술
- 파라미터 편집기 : 노드 모델과 프로세스 모델에서 사용되는 다양한 파라미터를 정의

□시뮬레이션 실행

- 프로브(probe) 편집기 : 시뮬레이션 수행동안 어떤 통계치를 모니터할 것인지를 기술
- 시뮬레이션 도구 : 시뮬레이션을 실행할 도구로 random number seed, 시뮬레이션 시간, 출력화일명 등을 지정

□결과 분석

- 분석 도구 : 시뮬레이션 결과를 평가하기 위한 것으로 통계치를 그래프 형태로 표현

- 필터 편집기 : 시뮬레이션 결과들을 수리적인 처리를 해서 목적에 맞는 결과치들을 출력하는 도구

FSM 모델을 기반으로 한 대표적인 시스템인 OPNET은 상세한 프로토콜 함수를 표현하는데는 적합한 반면, 시스템의 비동기적인 측면이나 토폴로지와 같은 측면을 표현하는 데는 많은 제약이 따른다.

4) BONEs

BONEs(Block Oriented Network Simulator)는 계층적, 블럭 중심의 모델링 파라다임에 따라 통신망과 분산 처리 시스템의 성능 분석용 도구로 미국의 Comdisco사에서 개발되었다[5].

BONEs의 주요 특징은 블럭을 통한 시스템의 모듈화 및 계층화가 지원되고, 그래픽을 통해 입력된 모델을 자동으로 실행가능한 C 프로그램으로 변환시켜 준다. 그리고 시뮬레이션을 위한 다양한 프리미티브를 제공하며 사용자가 직접 프리미티브를 만들어 사용할 수 있다. 주요 적용 분야로는 LAN, PSDN, 패킷 통신망 등이 있다.

다음은 BONEs를 이루고 있는 부분들이다.

□DSE(Data Structure Editor)

모델에서 사용할 자료구조를 정의한다.

정의된 자료구조는 계층성과 상속성을 지원한다.

□BDE(Block Diagram Editor)

블럭을 설계하는 부분으로 블럭은 프리미티브 코드만을 이용하여 만들거나 기존의 블럭을 이용하여 그래픽적으로 만들 수 있다.

□Simulation Manager

정의된 모델에 대해 오류와 일관성 검사를 수행한 후 모델을 C프로그램으로 변환시킨다. 시뮬레이션을 실행하기 전에 사용자는 트래픽의 비율, 버퍼의 크기, 전송 비율과 같은 파라미터를 지정해 주어야 한다.

□Post Processor

시뮬레이션 결과를 분석하고 보여주는 기능을 한다.

□Library Management and Consistent

Checking

모든 객체는 라이브러리에 저장된다.

라이브러리 관리기는 라이브러리를 보호하고 동일 모델을 수정하는 것을 방지한다.

BONeS Library

트래픽 소스, 프로토콜 함수, 대기행렬, timer, 실행 제어와 같은 모델을 제공하고 사용자는 이러한 모델을 이용하여 모델 개발 시간을 단축 시킬 수 있다.

Code Generator

블록 다이어그램으로 명세된 모델을 실행 가능한 C코드로 변환시킨다.

Primitive

프리미티브는 C코드를 이용하여 정의한 모듈로 계층적 모듈과 프리미티브 모듈을 제공한다. 사용자는 원하는 프리미티브를 C로 작성하여 사용할 수 있다.

5) COMNET III

COMNET III는 CACI사에서 개발한 객체 지향 통신망 시뮬레이션 도구이다[8]. 이 도구는 객체지향 시뮬레이션 언어인 MODSIM II로 구현되어 있다. COMNET III는 LAN, MAN, WAN을 분석할 수 있으며, ATM, X.25, ISDN, SS7, SNA, Frame Relay 등의 최신 기술의 분석도 제공한다. COMNET III는 다음과 같은 부분들로 구성되어 있다.

Network Topology

- node : 노드는 backbone 망에 접속되거나 sub-network에 연결될 수 있다.

노드 형태로는 Computer & Communication Node, Computer Group Node, Router Node, ATM Switch Node가 있다.

- link : 링크는 다양한 형태의 노드를 연결해 주는 역할을 한다.

이러한 링크는 전송속도, 최소 및 최대 프레임 길이, 전파지연시간 등의 파라미터를 갖을 뿐만 아니라 매체 액세스 제어 프로토콜과 데이터 링크 프로토콜을 포함한다.

- sub-networks : 서브 망은 링크와 링크에 연결된 노드의 집합으로 표현되고, 이것은 한개의 아이콘으로 나타낼 수 있다.

Network Load

- Call sources

- Message sources

- Session sources

- Application sources

- Response sources

Link Operation

- Point-To-Point

- CSMA/CD

- CSMA

- Token-Passing

- Polling

- ALOHA

Network Operation

- Minimum Penalty Routing

- Shortest Measured Delay Routing

- IGRP Routing

- Link State-Shortest Path Routing

- RIP Minimum Hop Routing

- User Defined Table Routing

- Sliding Window Flow Control

- SNA Pacing Flow Control

Built-In Probability Distribution

Simulation Control

- Warmup Length

- Replication Length

- Number of Replications

- Other Simulation Control Parameters

Reports

다양한 통계치를 그래픽적으로 출력한다.

이외에도 SIMGRAPHICS II 그래픽 편집기를 이용하여 사용자가 그래픽 객체를 만들 수 있다. COMNET III에서는 통신망에 필요한 구성요소들을 미리 객체 라이브러리에 저장해 놓고 사용자가 이를 이용할 수 있게 함으로써 모델 개발 시간을 단축시키고, 재사용성을 높여 준다. 이러한 객체 라이브러리의 종류는 다음과 같다.

- Hardware Library

(Bridge, Gateway, Router)

- Physical link/MAC Library

- (CSMA/CD, FDDI, TOKEN BUS)
- Data Link Library (User-defined)
- Routing Library (OSPF, RIP, IGRP, ISIS, Minimum Hop)
- Transport Library (TCP/IP, OSI/TP4, Generic)
- Application Library (User-defined, Command library)

COMNET III에서는 어떤 노드를 보다 세분화된 하위 망으로 정의할 수 있다. 하위 망은 모델의 다른 부분과는 독립적으로 그들 내부의 구조와 프로토콜을 정의할 수 있으며, 하위 망 단위로 정의되었다가 다른 모델에 사용될 수도 있다. 또 다른 특징으로 특정 객체를 선택하여 그 객체에 관련된 성능 분석 결과를 즉시 볼 수 있고 원하는 수준의 망에 대한 움직임을 애니메이션을 통해 관찰할 수 있다.

### 4.3 CSMA/CD priority protocol 모델의 예

본 절에서는 대상 통신망 시뮬레이션 모델로 구축하는 방법을 예를 들어 설명한다. 앞 절에서 보았듯이 통신망 시뮬레이션 도구는 점차로 사용자의 편이를 돕기 위해 모델링 과정을 단순화 시키는 방향으로 나아가고 있다. 그러나 이 절에서는 모델링 과정의 이해를 돕기 위해, 시뮬레이션 전용 언어인 SLAM으로 CSMA/CD priority protocol을 모델링한 예를 살펴보기로 한다[9]. 이 절에서는 모델링의 전 단계인 대상 통신망에 대한 정의는 간단히 내리고, 주로 모델링이 어떠한 형태로 되었는가에 초점을 두어 설명 한다.

대상 모델인 CSMA/CD priority protocol 중 “동적 프로토콜”은 다음과 같이 작동한다.

- 단계 1) time 슬롯  $t$ 의 시작점에서 임의의 스테이션은 우선순위 레벨에 따라 다른 확률  $p$ 로 메시지를 전송한다. 또는  $1-p$ 의 확률로 전파지연 시간  $t$  만큼 지연된다.
- 단계 2) 전송은 충돌이 생기면 즉시 중지된다.
- 단계 3)  $t$ 시간의 끝에서 모든 준비 스테이션은 채널을 다시 검사하고 만일 채널을 사용하지 않으면 단계 1)을 반복한다.

그렇지 않으면 전송하는 스테이션을 제외한 다른 스테이션들은 재스케줄링하고 채널이 비기를 기다렸다가 단계 1)을 반복한다.

위와같은 작동 중 한 스테이션에서의 사건과 행위를 개념적으로 모델링 한 것이 그림 6이다.

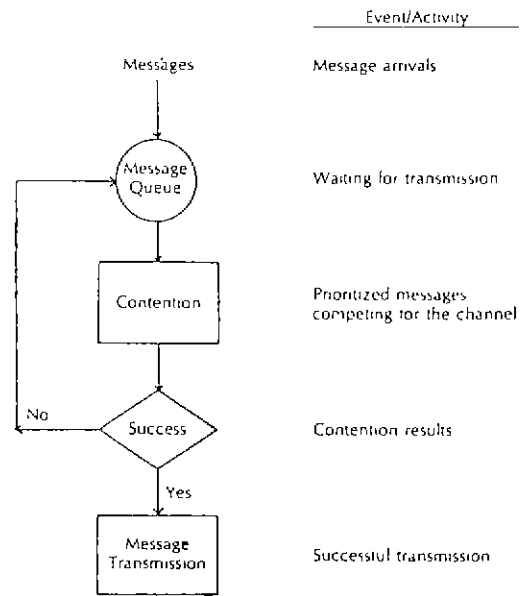


그림 6 한 스테이션에서의 사건과 행위

동적 프로토콜에 대한 SLAM 시뮬레이션 모델은 그림 7과 같다. 이 모델은 네 가지의 요소로 구성되었다.

첫번째 요소는 “Resource”로 명명된 부분으로 이 요소는 채널을 게이트로 스테이션을 resource로 지정한다. 여기서 스테이션의 수는 10개로 가정되었다.

두번째 요소는 “Synchronization”으로 시스템의 전송을 동기화 한다. 경쟁은 OPN, CLS, N2 노드에 의해서 0.005 시간 단위 (time unit)가 걸리는 것으로 지정된다. 만일 한 메시지가 전송을 완수하면 채널은 전송 시간을 위해 1.21 시간 단위를 증가 시킨다.

세번째 요소는 모든 스테이션에 포함되나 여기서는 한개의 스테이션에 대한 것만을 나타내

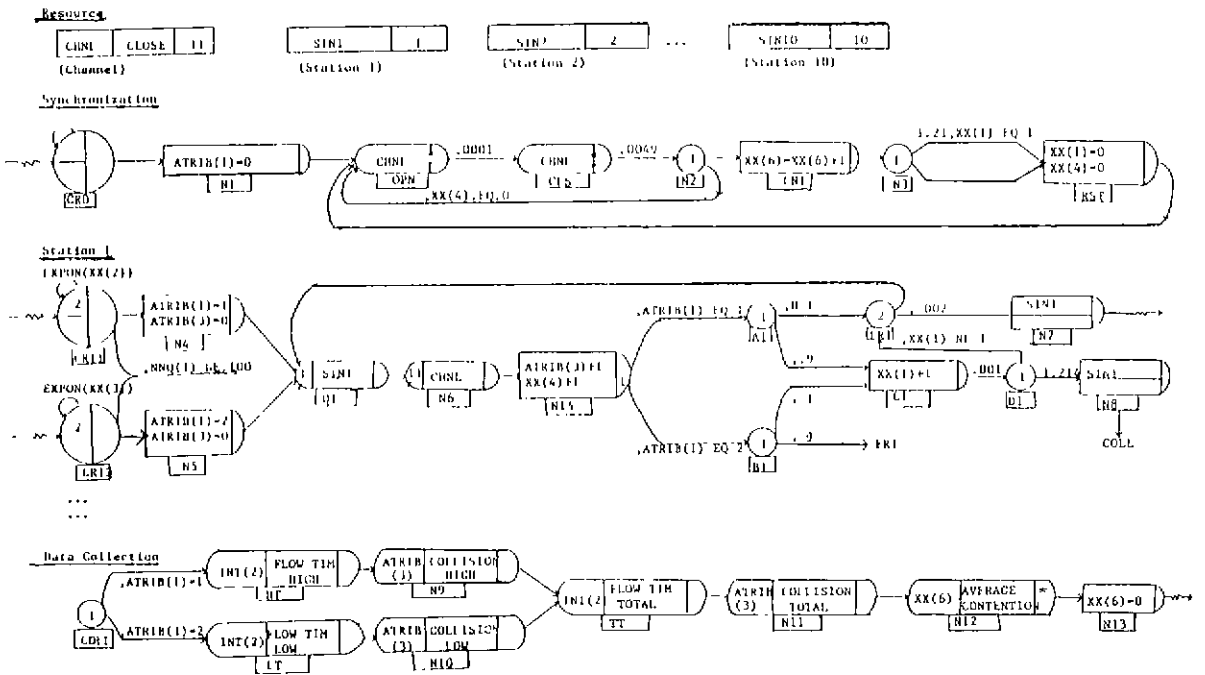


그림 7 동적 프로토콜에 대한 SLAM 모델

었다. 이 요소는 메시지를 초기화하고 각 스테이션에서 경쟁을 조절한다. CR11과 CR12는 두 종류의 다른 우선순위를 갖는 메시지를 생성한다. XX(2)와 XX(3)는 각각의 메시지 도착 간격을 나타내는 변수이다. 스테이션 1의 각 메시지는 채널에서 경쟁하기 위해 큐 Q1로 들어가고 큐가 가득 차면 제거된다. 노드 A1과 B1은 우선순위가 높고 낮음에 따라 다른 p-persistent 분포를 갖는다. 경쟁중인 메시지의 수를 나타내는 XX(1) 변수는 노드 C1에 기록된다. N8은 많은 경쟁 후 성공적으로 전송된 메시지를 표현한다. D1은 오직 하나의 메시지만이 채널을 액세스하는 상황을 표현한다. 전송 확률의 특성 때문에 다른 메시지는 전송되지 않는다.

네번째 요소는 "Data Collection"으로 flow time, 경쟁 수, N8로부터 성공한 메시지의 성능 측정치에 대한 정보를 수집한다. 비성공 메시지는 스테이션 F8을 해제하고 프로세스는 다음 준비 메시지에 대해서 반복한다.

### 5. 실험 계획

본 장에서는 시뮬레이션 모델의 실행을 실험하고자 할 때 통계적 실험계획법의 이용에 대해 알아본다. 실험계획법에 있어서 모델을 구성하는 파라미터들과 특별한 구조적 가정들을 요인(factor)이라고 한다. 그리고 수행한 결과치를 반응(response)이라고 한다. 요인은 정량적이거나 정성적인 것이 될 수 있고 제어 변수와 비제어 변수의 두 유형이 있다.

시뮬레이션에서 실험 계획이란 최소의 비용으로 즉, 최소량의 시뮬레이션으로 요구된 정보를 얻기 위해서 미리 시스템 변형체를 결정하는 방법이다. 특히 어떤 요인이 실질적으로 중요하며 그리고 그 요인들이 어떻게 반응에 영향을 주는가를 살펴봄으로써 목적에 보다 정확하게 접근하게 된다. 시뮬레이션 실험의 주요 특징은 보통의 유형 실험보다 훨씬 많은 실험 조건을 제어할 수 있고 현실적으로 제어할 수 없는 비제어 요인도 제어할 수 있다. 보다 근본적인 특징은 난수발생기에 의해서 임의성을 제어할 수 있다는 데에 있다[24]. 임의의 알고리즘을 검사하기 위한 개념적 절차를 도식화하면

그림 8과 같다[10].

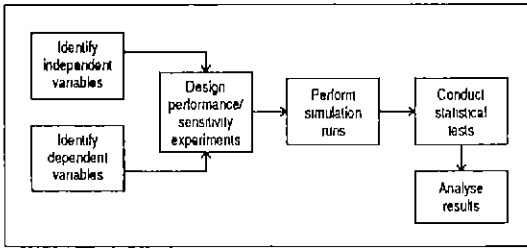


그림 8 알고리즘 검사를 위한 개념적 절차

변수 Message Survivability (S) 값을 두 알고리즘에 대해서 나타낸 것이다[10].

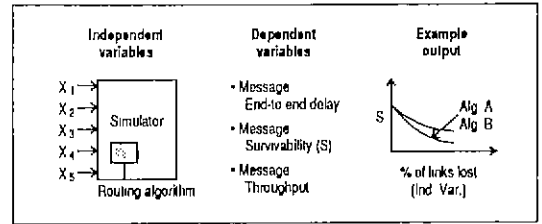


그림 9 제어 변수와 비제어 변수의 관계

### 5.1 제어 변수와 비제어 변수

제어 변수(독립 변수)란 어떤 시스템에 영향을 주는 변수로 보통 입력 변수를 의미한다. 이러한 제어 변수를 체계적으로 변화시키면서 대상 시스템 또는 알고리즘의 강건성(robustness)을 검사할 수 있다.

통신망 시스템에서 라우팅 알고리즘에 대한 성능 분석을 할 경우 다음과 같은 파라미터가 제어 변수가 될 수 있다.

- Link Capacity (X1)
- Port per Node (X2)
- Load (X3)
- Percent of Nodes Lost (X4)
- Deadline Time for Message Delivery (X5)

비제어 변수(비독립 변수)란 제어 변수에 의해서 영향을 받는 변수로 보통 성능을 나타내는 출력 변수를 의미한다. 앞에서 제시한 제어 변수에 영향을 받는 비제어 변수로는 다음과 같은 것들이 있다.

- Message End-to-End Delay
- Communication Network Message Survivability
- Message Throughput

위에서 설명한 제어 변수(독립 변수)와 비제어 변수(비독립 변수)의 관계는 그림 9에 잘 표현되어 있다. 이 그림에서 그래프는 제어 변수 Percent of Nodes Lost (X4)에 대한 비제어

### 5.2 통계적 방법

시뮬레이션 실험을 위한 통계적 방법은 보다 적은 실행 횟수로 컴퓨터 처리 시간을 줄이고, 설계자로 하여금 모든 실험을 할때 보다 더 빨리 최선의 안을 선택하게 해 준다. 이러한 통계적 방법은 Descriptive 방법과 Inferential 방법으로 분류할 수 있다[10].

#### 1) Descriptive 통계적 방법

Descriptive 통계적 방법에서는 오직 하나의 제어 변수만이 낮은 값에서 높은 값으로 고정된 크기만큼 변화하고, 모든 다른 변수는 상수 값을 유지한다. 이러한 접근의 주된 장점은 결과 해석이 용이하다는 점이다. 그러나 알고리즘이 어떻게 수행되는가에 대한 측면에서는 다소 정확하지 못하다. 이러한 사실은 실제 세계에서 대부분의 제어 변수는 동시에 변화한다는 점에 기인한다.

#### 2) Inferential 통계적 방법

Inferential 통계적 방법에서는 모든 제어 변수가 동시에 체계적으로 변화한다. 이 방법은 대안을 분석할 수 있고, 여러 대안중 선택된 하나의 알고리즘에 대한 행위를 잘 이해할 수 있게 해 준다. 실질적인 잇점은 이러한 행위 분석에 있다.

Inferential 통계적 방법에는 독립 변수의 변화가 두 단계인 2<sup>k</sup> 요인 배치, 관심있는 주효과와 낮은 차수 교호작용의 추정치를 얻게 해주는 2<sup>k+p</sup> 요인 배치가 있다. 근본적으로 2<sup>k+p</sup> 요인

배치는 2<sup>k</sup> 가능 요인 조합의 부분집합(크기 2<sup>k-1</sup>)을 선택하여 단지 선택된 조합만을 시뮬레이션함으로써 형성되어진다. 이외에도 민감도(sensitivity)를 분석할 수 있는 다중 선형 회귀 분석과 아노바(ANOVA) 기법 등이 있다.

### 5.3 초기 상태 설정

초기 상태 설정을 위해 흔히 사용되는 방법에는 다음 두 가지가 있다[24].

첫째, 시스템이 비어있는 상태에서부터 시뮬레이션할 때 나타나는 준비 효과(warming effect)를 줄이기 위해 초기 통계량을 제거한다. 둘째, 여러번의 관측을 통해 초기 상태의 분포를 구한 후 임의로 샘플링하여 초기 상태를 설정한다.

## 6. 결과 분석

결과 분석에 따르는 시뮬레이션의 형태는 종료 시뮬레이션(terminated simulation)과 안정상태 시뮬레이션(steady-state simulation)으로 나누어진다.

종료 시뮬레이션이란 한정된 시간 사이에 시스템의 수행 결과치가 얻어지는 시뮬레이션이다. 이러한 종료 시뮬레이션은 초기 상태에 크게 의존하므로 초기 상태를 결정하는 데 유의해야 한다.

안정상태 시뮬레이션이란 실험 결과치가 시뮬레이션이 행해진 시간이 무한대로 갈 때 얻어지는 시뮬레이션이다.

분석자는 그 시스템에 대해 무엇을 알고 싶은가에 따라서 적절한 선택을 할 수 있다. 이어지는 절에서는 개념적인 면에서 초보자가 다루기 쉬운 세가지 방법에 대해 간략히 설명한다[11].

### 6.1 반복법

반복법(Replication method)은 개념적으로 가장 쉬운 출력결과 분석기법이다. 이 기법은 각 런(run)마다 다른 난수계통(random number stream)을 사용하여 K번을 반복 실행한다. 각 실행에 대해 서로 다른 난수계통을 사용하므로 각각의 평균들은 독립적이고 충분히 큰 K에 대해서는 거의 정규형으로 분포되어진다.

### 6.2 일괄평균법

일괄평균법(Batch mean method)은 하나의 긴 수행을 일괄(batch)이라고 부르는 길이 M인 K개의 서브런(sub run) 집합으로 나누고, 각 일괄마다 표본 평균을 계산하여 총평균(grand mean)과 신뢰구간을 계산하는 방식이다. 반복법에서 매 런마다 고려해야 할 준비 효과를 한번만 고려해도 된다는 점에서 효율적이다.

### 6.3 재시작법

재시작법(Regenerative method)은 재시작점이라는 시뮬레이션 기간의 임의의 점에서, 모델은 이전의 재시작점에서와 같은 상태로 되돌아간다. 확률적인 의미에서, 그 점에서의 동작을 새로이 시작하거나 생성한다. 연속적인 재시작점 간의 구간을 재시작 사이클이라 하며 이러한 사이클은 독립적이고 균일하게 분포되어 있다. 그와 같은 사실은 재시작법이 다른 기법보다 강력함을 말해 준다. 그러나 복잡한 모델에서 재시작점을 정의하는 것은 어려운 일이다.

## 7. 결론

본 논문에서는 통신망 시뮬레이션을 위해서 거쳐야 할 다섯 단계와 각각의 단계에서 고려해야 할 사항들을 살펴보았다. 여기서 제시된 다섯 단계 외에도 구축된 모델에 대한 검증 및 타당성 검사를 위한 단계가 포함될 수 있다.

대상 통신망인 Ethernet의 기존 시뮬레이션 연구를 중심으로 살펴볼 때, 특정 단계에 대한 연구는 활발하나 전체 과정을 고려하여 시뮬레이션을 수행한 예는 드문것 같다. 본 논문에서 제시한 다양한 예를 통하여 다른 통신망을 위한 시뮬레이션에서도 이와 같은 단계가 적용 가능하리라 생각한다. 또한 다양한 모델링 파라다임에 기반한 통신망 도구들의 장단점을 비교함으로써 자신의 목적에 맞는 도구를 선택할 수 있는 기준을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] William Stallings, Data and Computer Communications, Prentics Hall, 1994.

- [2] V. S. Frost, W. W. LaRue, A. G. McKee et al, "A tool for local area network modeling and analysis", *Simulation*, pp. 283-298, Nov., 1990.
- [3] COMNET II. 5 User's Manual, CACI Products Company, 1992.
- [4] C. A. Lakos and C. D. Keen, "LOOPN-Language for Object-Oriented Petri Nets", in *Proc. Object-Oriented Simulation Conf. (OOS '91)*, pp. 22-30, 1991.
- [5] K. S. Shanmugan, "A Block-Oriented Network Simulator(BONeS)", *Simulation*, pp. 83-94, Feb., 1992.
- [6] Bapat, S., *Object-Oriented Networks : models for architecture, operations, and management*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
- [7] Rumbaugh, J. et al, *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1991.
- [8] COMNET III User's Manual, CACI Products Company, 1994.
- [9] Yih-Long Chang & Sheldon Shen, "Simulation investigation on message based CSMA/CD priority protocols", *Simulation*, pp. 203-214, May, 1988.
- [10] M. A. Shaikh & E. L. Althouse, "Efficient simulation experiments for comparing communication network routing algorithms", *Simulation*, pp. 233-239, June, 1989.
- [11] M. H. MacDougall, *Simulating Computer Systems Techniques and Tools*, The MIT Press, 1987.
- [12] J. F. Kurose & H. T. Mouftah, "Computer-Aided Modeling, Analysis, and Design of Communication Networks", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 6, No. 1, pp. 130-145, 1988.
- [13] Imrich Chlamtac & Raj Jain, "A methodology for building a simulation model for efficient design and performance analysis of local area networks", *Simulation*, pp. 57-66, Feb., 1984.
- [14] Imrich Chlamtac & William R. Franta, "A generalized simulator for computer networks", *Simulation*, pp. 123-132, Oct., 1982.
- [15] M. A. Marsan, G. Balbo, G. Bruno, F. Neri, "TOPNET: A Tool for the Visual Simulation of Communication Networks", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 8, No. 9, pp. 1735-1747, 1990.
- [16] V. S. Frost, W. W. Larue, JR. and K. S. Shanmugan, "Efficient Techniques for the Simulation of Computer Communications Networks", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 6, No. 1, pp. 146-157, 1988.
- [17] S. V. Hoover & R. F. Perry, *Simulation*, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- [18] IEEE Standard 802. 3, "Local Area Network : Carrier Sence Multiple Access with Collision Detection(CSMA/CD) access method and physical layer specifications", 1992.
- [19] 박성주 외, B-ISDN을 위한 객체 지향 시뮬레이션 모델링 기술 연구, 한국통신 기술 주식회사 부설연구소-한국과학기술원 경영과학과 공동연구보고서, 1993.
- [20] 통신 및 컴퓨터 시스템 시뮬레이션, 한국시뮬레이션학회 대한산업공학회 공동 주최 산학협동 단기강좌교재, 1994.
- [21] 오기은, "컴퓨터 통신망 시뮬레이션을 위한 객체 지향 모델링", 이화여자대학교 전자계산학과 석사학위논문, 1994.
- [22] 김명희, "근거리 통신망을 포함한 광역 통신망의 성능분석을 위한 평가도구의 개발", '93 통신학술 연구과제 보고서, 이화여자대학교, 1994.
- [23] 김명희, 채기준, "COMNAS : 통신망에 대한 성능분석 도구", 한국시뮬레이션 학회 논문지 제3권, 제1호, pp. 115-124, 1994.
- [24] 이영해, 백두권, 시스템 시뮬레이션, 경문사, 1991.

김 명 희



1970~1974 이화여자대학교 사회학과, B. S.  
 1977~1979 서울대학교 계산통계학과, M. S.  
 1981~1986 독일 괴팅겐 대학교 전자계산학과, Ph. D.  
 1987~현재 이화여자대학교 전자계산학과, 현 부교수  
 관심분야 : 시뮬레이션 & 모델링, 3차원 영상, 성능 평가

최 수 미



1989~1993 이화여자대학교 전자계산학과, B. S.  
 1993~1995 이화여자대학교 전자계산학과, M. S.  
 1995~현재 이화여자대학교 전자계산학과, 박사과정  
 관심분야 : 시뮬레이션 & 모델링, 3차원 영상

● 정보과학회 영문 논문지 논문모집 ●

- 제출기한 : 창간호 - 1995년 7월 31일(월)
- 제출 : 한국정보과학회 사무국 한영진
- 주소 : 서울특별시 서초구 방배3동 984-1(머리재빌딩 401호)  
 ☎ 137-063 T. 02-588-9246 F. 02-521-1352