

광대역 통신망 시뮬레이션을 위한 객체지향 모델링

Object-oriented Modeling for Broadband Network Simulation

이 영 옥*, 박 진 영**, 박 성 주**

Youngok Rhee, Jin Young Park, Sung Joo Park

Abstract

Broadband networks based on the Asynchronous Transfer Mode(ATM) concept are becoming the target technology for the emerging Broadband Integrated Services Digital Network(B-ISDN). Since B-ISDN is very complex and requires a great amount of investment, optimum design and performance analysis of such systems are very important. Simulation can be widely used to analyze and examine the broadband network behavior. However, for the complicated system like broadband networks it is extremely difficult and time-consuming to develop a complete model for simulation.

In this paper, an object-oriented modeling approach for the broadband network simulation is presented for the effective and efficient modeling. Object-oriented approaches can provide a good structuring capability for complicated simulation models and facilitate the development of reusable and extensible simulation models. We have developed an object-oriented model which consists of object model and behavior model. In the object model, the components of the broadband network and both constant bit rate(CBR) and variable bit rate(VBR) traffic types of call level, burst level, and cell level are modeled as object classes. In the behavior model, the dynamic features for each object class are represented using the state transition diagram. It has been shown by illustration that object-oriented modeling is an effective tool for modeling the complicated B-ISDN.

1. 서론

B-ISDN(Broadband Integrated Services Digital Network) 과 같은 정보화 사회의 기반구조가 되는 차세대 광대역 통신망은 음성, 데이터, 이미지 및 영상 정보가 복합된 다

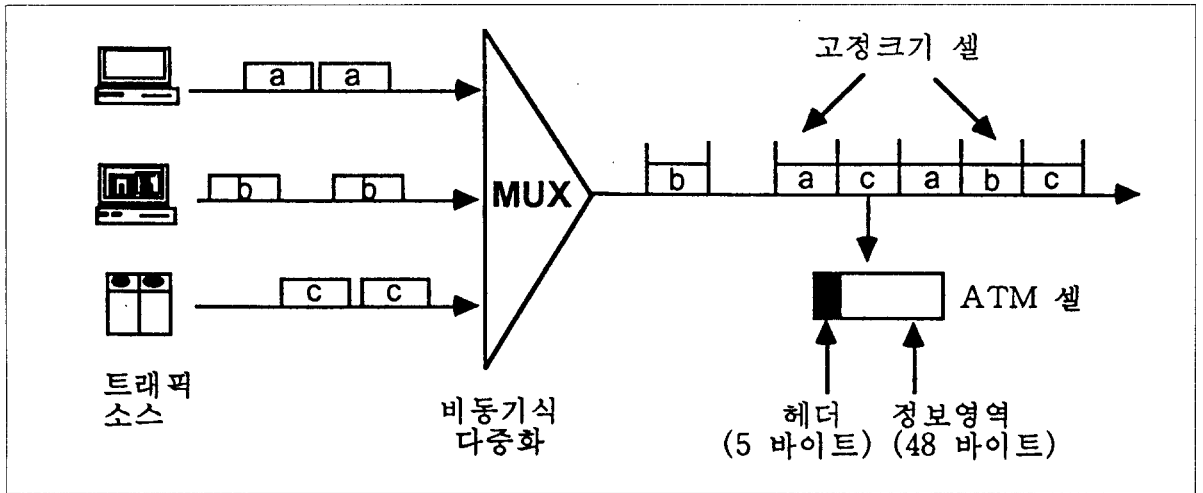
양한 멀티미디어 응용들을 수용하게 된다. 영상전화, 영상 회의, 동영상 비디오텍스, 고속 화일전송, CAD/CAM 응용, 방송 응용등으로 대표되는 광대역 서비스들은 트래픽 특성이 항등비트율(Constant Bit Rate: CBR)인 것 뿐만아니라 가변비트율(Variable Bit Rate: VBR)인 것이 많다는

* 데이콤종합연구소 고도 통신연구실

** 한국과학기술원 경영과학과

점에 큰 특징이 있다[13]. 따라서 광대역 통신망에서는 높은 대역폭을 요구하는 VBR 트래픽들을 효과적으로 수용하는 것이 요구되며, 전기통신 국제표준기구인 ITU-TSS (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)에서는 기존의 회선교환 방식과 패킷교환 방식의 장점을 조합한 ATM(Asynchronous Transfer Mode)을 B-ISDN 구현을 위한 표준으로 채택하였다[7]. ATM 방식은 <그림 1>에 나타난 바와 같이 다중화된 정

망을 포함한 통신망 및 통신 링크에 대한 모델링, 분석 및 설계에 관한 연구들은 CAMAD(Computer-Aided Modeling, Analysis, and Design)라는 제목으로 활발히 연구되고 있으며[17, 20, 24] 해석적 방법, 시물레이션, 그리고 하드웨어 테스트베드를 이용하는 방법이 상호보완적으로 사용되고 있다. 이중 컴퓨터 시물레이션은 광대역 통신망의 구성요소들과 트래픽을 소프트웨어로 원하는 수준만큼 구현함으로써 망의 동작 및 성능을 분석하는데 가장 유연성이 높



<그림 1> ATM 방식과 ATM 셀 구조

보흐름을 셀이라고 부르는 고정 크기의 블럭들로 구성함으로써 모든 서비스에 공통인 유연한 셀 전달능력을 제공한다. 따라서 요구량에 따른 동적 대역폭 할당이 가능하므로 광대역의 VBR 트래픽들을 효과적으로 수용할 수 있다. 또한 가상회선의 개념을 이용한 연결성 기법을 채택하여 전송효율과 노드의 처리효율을 높이고 트래픽 제어 및 망자원관리를 용이하게 함으로써 고속통신을 가능하게 한다.

ATM이라는 새로운 전달모드, 가변비트율을 갖는 광대역 트래픽의 다양한 특성, 그리고 ATM스위치와 크로스커넥트 등 새로이 도입되는 광대역 장비들은 광범위한 분야의 성능분석을 수반한다. 특히 막대한 비용이 소요되는 광대역 기간 통신망의 효율적 구축 및 운영을 위해서는 통신망 설계, 구축 및 운영 등 망수명주기 전반에 걸친 성능분석들이 선행되어 이루어질 필요가 있다. 광대역 통신

은 방법이다. 즉 해석적 방법이 갖고 있는 상태공간의 제약이 거의 없으며, 테스트베드로는 곤란한 극단적인 경우들의 분석을 가능하게 한다. 또한 해석적 방법이나 하위웨어 테스트베드와 결합하여 사용될 수 있다. 즉 해석적 방법의 정확성을 시물레이션을 통하여 검증한다거나 시물레이션 결과를 테스트베드상의 장비에 구현하여 관련성능을 분석하는 방법 등이 많이 사용되고 있다.

그러나, 광대역 통신망과 같이 새로이 구축되는 시스템의 경우에는 특정 항목들을 분석할 때마다 새로운 시물레이션 모델과 그에 따른 소프트웨어를 개발하는 것은 비용과 시간이 많이 들뿐아니라 필요한 기능이 충분히 구현되지 않거나 부정확한 결과를 산출할 위험성이 있다. 따라서 분석단계에서 광대역 통신망 및 트래픽 특성들을 효과적으로 모델링하고 모델링 결과가 다양한 시물레이션 용도에 따라 재사용되거나 쉽게 확장되어 소프트웨어 구현

에 곧바로 적용되어야 하며, 궁극적으로는 모델링과 시뮬레이션을 지원해 주는 전용 모델링 환경(또는 시뮬레이터)의 개발이 필요하다.

객체 지향 기법은 문제 영역의 고유한 개념을 캡슐화(encapsulation)시키고 상속성(inheritance)을 활용함으로써 모델의 재사용성과 확장성을 높이는 장점이 있어, 광대역 통신망의 시뮬레이션을 위한 모형 개발에 적합하다.

본 연구에서는 광대역 통신망의 다양한 성능분석 시뮬레이션을 지원해 주기 위하여 객체지향 기법을 사용하여 광대역 통신망의 구성요소와 트래픽을 모델링하였다. 2장에서는 본 연구에서의 시뮬레이션 대상이 되는 광대역 통신망의 특징 주요개념을 소개하고, 3장에서는 광대역 통신망의 시뮬레이션 모형에 사용될 수 있는 모델링기법들을 소개하고, 이들과 비교하여 객체지향기법의 장점을 분석하며 4장에서는 2장에서 설명한 대상시스템을 객체지향기법을 이용하여 모형화한다. 개발된 객체지향 모델은 객체모델(object model)과 행위모델(behavior model)로 구분된다. 객체모델에서는 통신망의 구성요소들과 호 수준, 버스트 수준, 그리고 셀 수준의 CBR 및 VBR 트래픽들이 객체들로 정의되었다. 행위모델에서는 각 객체들이 갖는 동적인 측면들을 상태전이 다이어그램을 통하여 표현하였다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론 및 토의사항을 간단히 언급한다.

2. 대상 시스템

본 장에서는 광대역 통신망 시뮬레이션을 위한 대상 시스템에 대하여 노드 및 링크 그리고 가입자 장비들로 구성된 ATM 기반 광대역 통신망, CBR 및 VBR의 광대역 트래픽, 그리고 망에 부과된 트래픽에 대하여 노드에서 행하는 각종 제어 및 망자원관리의 세 분야로 나누어 기술한다.

2.1 광대역 통신망

ATM에 기반한 광대역 통신망은 <그림 2>에서와 같이, ATM 스위치 및 크로스커넥트와 같은 노드, 인접한 노드 간을 연결하는 트렁크, 트렁크를 경유하여 스위치 사이에 트래픽이 흐르는 가상경로(Virtual Path: VP) 등의 망요소들과 스위치에 접속되어 트래픽을 발생시키는 LAN, 호

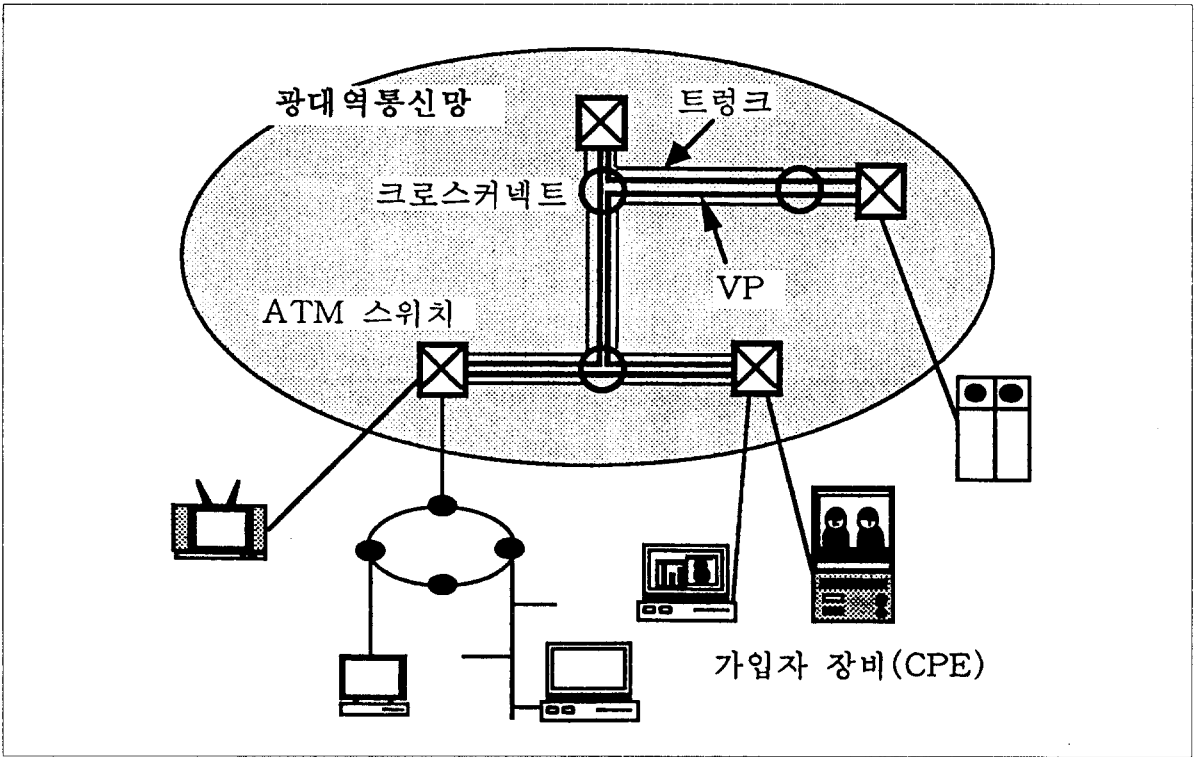
스트 컴퓨터, 비디오 단말기 등과 같은 가입자 장비(Customer Premises Equipment: CPE)들로 구성된다.

각 지역에 있는 스위치는 해당지역의 트래픽소스(가입자)들을 수용하며, 스위치들간의 트래픽 중계기능도 갖고 있다. 스위치는 트래픽소스 또는 다른 노드로 부터의 트래픽을 교환시키거나 자신이 목적지인 경우 호를 종료시키며, 호 또는 버스트가 도착하면 승인제어, 루팅, 또는 중계 등과 같은 트래픽 제어를 한다. 크로스커넥트(XC)는 트렁크 용량 범위내에서 논리적 링크인 VP들을 다양하게 구성할 수 있는 기능을 제공한다. 트렁크는 관로로 직접 연결되어 있는 인접한 두 노드 사이에 있으며, 스위치들 사이에 VP를 구성할 수 있는 경로와 용량을 제공한다. 노드와 트렁크는 시설망(facility network)를 구성하는 요소들이며, 그들의 구성관계에 따라 물리적 토폴로지가 구성된다. VP는 두 스위치간의 트래픽이 흐르는 논리적 링크이며, 트렁크를 경유하여 구성된다. VP는 ATM 기반 광대역 통신망을 효율적으로 운영할 수 있게 하는 중요한 개념으로 한 쌍의 노드간을 연결시키며, 여러 개의 VP들이 하나의 트렁크상에 다중화될 수 있다[8, 22]. 따라서 하나의 시설망에는 <그림 3>에서 보는 바와같이 VP들의 구성방법에 따라 여러 개의 트래픽망의 토폴로지가 내재되어 있다.

2.2 광대역 트래픽

광대역 트래픽들은 통계적으로 몇 가지의 수준에서 특성이 파악될 수 있으며, Hui에 의해 호/연결 수준, 버스트 수준, 셀/패킷 수준으로 분류하는 방법이 제시되어 많이 활용되고 있다[16].

광대역 트래픽들은 또한 호의 비트율 특성에 따라 CBR 트래픽과 VBR 트래픽으로 분류할 수 있다. CBR 트래픽의 경우 각 호가 하나의 버스트에 해당된다고 볼 수 있으므로 호수준과 셀수준의 모델링으로 충분하다. CBR 트래픽은 피크대역폭, 호도착시간분포, 호지속시간(holding time)분포의 3가지 파라미터로 표현될 수 있다. VBR 트래픽의 경우 하나의 호는 <그림 4>에서와 같이 여러 개의 버스트 수준을 가지므로 일반적으로 n -상태 마코비안 프로세스로 표현될 수 있다(해석적 방법의 경우 $n=2$ 가 주로 사용되고 있음). VBR 트래픽은 호도착시간간격분포, 호지속시간분포의 2가지 파라미터와 각 버스트 수준의 대



<그림 2> ATM 기반 광대역 통신망의 구성

역폭, 지속기간분포 및 다른 버스트 수준으로 전이될 확률을 나타내는 전이벡터로 표현될 수 있다.

2.3 트래픽제어와 망자원관리

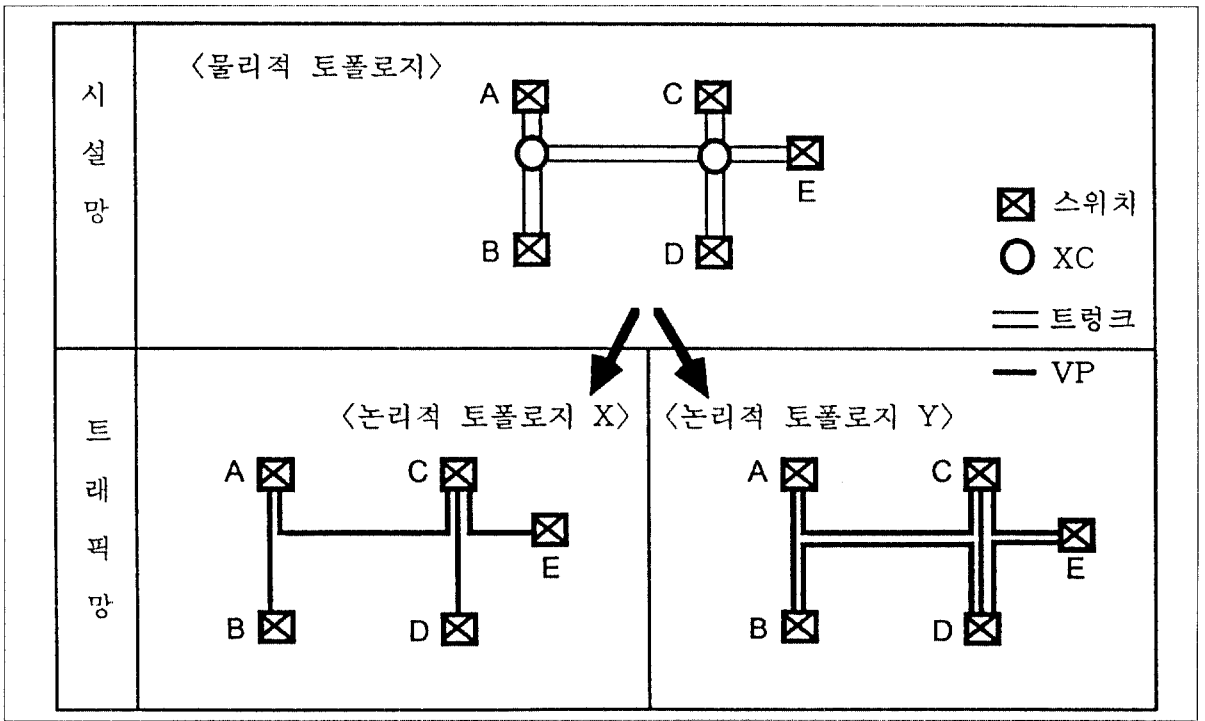
광대역 통신망의 트래픽제어와 망자원관리에 대해서는 표준으로 설정된 방법은 아직 없으며[9], 여러가지 선택할 수 있는 대안들이 활발히 연구되고 있다[2]. 본 절에서는 ATM 기반 광대역 통신망에서의 트래픽처리와 망운영에 관련된 주요 기능들에 대하여 기술한다.

-호승인제어(call/connection admission control: CAC): 스위치에 접속되어 있는 CPE들로부터 망으로 새로운 호가 도착되면 망의 부하상태나 도착된 호의 트래픽 특성 또는 요구하는 서비스품질등을 고려하여 연결설정을 승인할 것인지 거절할 것인지를 결정한다. CAC에 적용할 수 있는 기법들은 다양하게 제시되고 있으며 호의 피크비트율로 대역폭을 예약하여 판정하

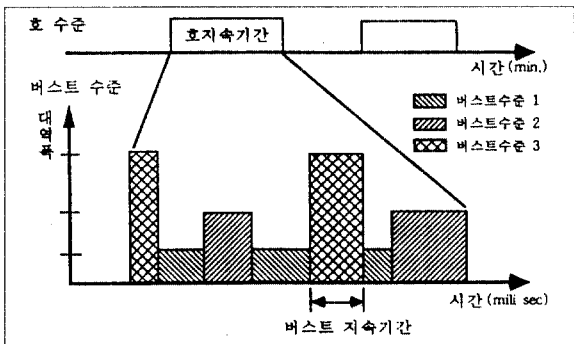
는 방법, 호의 등가대역폭을 계산하여 판정하는 방법, 그리고 주기적으로 망부하를 측정하여 판정하는 방법 등이 주류를 이루고 있다.

-루팅: 호의 목적지와 트래픽 특성 및 망의 부하등을 감안하여 경로를 설정한다. CAC와 결합되어 호설정 과정에서 작동되는 기능이다. 대표적인 루팅 방법들은 각 노드에 루팅 테이블이 있어서 다음 노드까지만 연결하는 고정(fixed/static) 루팅, 각 노드에 일차경로와 대체 경로들이 있는 대체-경로(alternate-path) 루팅, 랜덤 루팅, 최소비용/최단경로 루팅, 다중경로 루팅 등이 있다.

-대역폭 할당(bandwidth allocation: BA): 승인된 호에 대해 경로상의 링크들에 대역폭을 할당한다. 대역폭 할당은 CAC에서의 유사하게 피크, 등가, 평균 비트율을 적용하는 방법들이 많이 사용된다. 링크가 분할되어 사용되는 경우에는 통과될 수 있는 링크를 지정한다.



<그림 3> 시설망에 내재되어 있는 트래픽망



<그림 4> 3개의 버스트 수준을 갖는 VBR 트래픽

-링크관리: 링크용량을 이용하는 방법은 정적인 방법과 동적인 방법의 두 가지가 있다. 정적인 방법에서는 링크용량을 트래픽 유형별로 나누어 사용하는 것이며 트래픽 유형에 관계없이 공유하는 방법, 트래픽 유형별로 분할하는 방법, 분할하여 사용하되 부분적으로 공유하는 방법 등이 있다. 동적인 방법은 크로

스커넥트의 기능을 이용하여 링크용량을 망의 부하상황에 따라 트링크 용량 범위내에서 변형시키는 방법이다. 이를 위해서는 어떤 상황에서 링크용량을 변경시킬 것인지에 관한 사항이 정의되어야 한다.

- 폭주제어(congestion control: CC): 폭주는 예측할 수 없는 트래픽 흐름의 통계적 변동이나 망내의 고장상태로부터 발생하며, 망이 기설정된 호들의 협상된 서비스품질을 만족시키지 못하고 새로운 요청에도 응하지 못하는 망자원들의 상태를 의미한다. 일반적으로 망이 폭주상태인지를 확인하는데에는 노드 및 링크의 이용률, 샘플셀의 지연시간, 그리고 버퍼의 상태들을 체크하는 방법이 많이 사용된다. 망이 폭주상태에 있을 때의 가능한 조치들로는 CAC 및 루팅 방법을 이용하거나 우선순위제어를 이용하는 방법이 사용된다.
- 우선순위제어(priority control: PC): ATM 방식에서는 셀 헤더내의 CLP(cell loss priority) 비트를 이용하여 두 가지의 우선순위를 갖는 트래픽 흐름이 가능하게 되어 있다. 우선순위제어를 적용하는 방법들은 다음

과 같은 사항들이 포함된다. 망이 폭주에 달했을 때는 낮은 우선순위의 셀부터 폐기한다. 트래픽이 순간적으로 링크용량을 초과할 때는 낮은 우선순위의 셀부터 폐기시킨다. 버퍼가 일정수준이상 찼을때는 높은 우선순위의 셀만 새로 받아들인다.

3. 모델링 기법

통신망의 성능분석이나 설계를 위한 모델링과 시물레이션을 위해 다양한 접근방법들이 개발되어 왔다. 개발된 방법들의 대부분은 이산-사건(discrete-event)시물레이션 기법을 사용하는데 이는 통신망이 이동하는 객체가 대기로를 따라 여행하면서 고정된 자원들을 순차적으로 사용하는 방식으로 잘 표현되기 때문이다[21]. 따라서 접근방법들간의 주요한 차이점은 망모델과 프로토콜의 동적인 측면들을 표현하는 방법에 기인한다. 아직까지도 널리 사용되고 있는 전통적인 방법은 범용 프로그래밍 언어를 이용하거나 GPSS, SLAM 그리고 SIMSCRIPT와 같은 시물레이션 언어를 이용하는 것인데, 망 엔지니어들에게는 초기 모델개발 및 변경사항의 발생시마다 상당한 프로그래밍 노력이 요구되는 단점이 있다. 이에 따라 다양한 모델링 방법들이 통신망 모델링을 위하여 제시되었으며 관련 소프트웨어도구들이 개발되어 왔다.

3.1 기존의 통신망 모델링 기법

통신망을 위한 기존의 모델링 기법들중 대표적인 것들은 EQN(extended queuing network)모델, 페트리 넷 모델, FSM(finite state machine) 그리고 블럭다이아그램 모델을 들 수 있다.

EQN은 통신망의 성능 분석 모델을 명세하기 위해 전통적인 대기행렬망 모델에 몇개의 모델링 요소들을 첨가한 것이다. EQN 모델링 구성요소로는 트래픽 소스, 큐, 공유된 자원, 작업의 흐름, 자원의 공유를 통제하는 규칙과 같은 것들이 있다. EQN모델은 수학적으로 정의된 모델이므로 해석적인 방법에 의해 통신망의 성능분석을 위한 통계량의 값을 구할수 있는 장점이 있으나, 이로 인해 모델에 많은 가정이 필요하게 되어 복잡한 망을 표현할 수 없다는 문제점이 있다. 즉, 상세한 프로토콜 함수, 스위치, 랜덤 액세스와 같은 복잡한 모델 구성 요소들을 표

현하기에는 많은 한계와 어려움이 있다. 또한 EQN모델을 기반으로 하는 대부분의 시스템은 사용자가 새로운 모델을 만들기 위하여 기존의 모델을 확장하여 사용하거나, 재사용할수 있는 기능을 제대로 지원하지 않고 있다.

페트리 넷 모델은 1960년대초에 개발된 동기화 특성을 갖는 분산시스템을 모델링 하기 위한 수학적 도구로, 토큰, 장소, 아크라는 모델링 요소를 가지고 망을 표현하며, 모델의 동적인 행위는 토큰의 가용성과 각종 규칙에 따라 실행되는 변환을 가지고 표현한다. 페트리 넷 모델은 상세한 프로토콜 함수, Concentrator, 스위치와 같은 통신망의 복잡한 구성 요소들을 모델링 하는데 적당한 모델링 툴이다. 그러나 대기행렬, 서버, 토폴로지를 제대로 표현하기에는 어려움이 있는 단점이 있다.

FSM은 이산적인 입력과 출력, 유한개의 상태(state), 상태와 상태를 연결하는 변환(Transition)을 변환 다이어그램(Transition Diagram)이라 불리는 방향성을 가진 그래프로 표현하는 모델이다. FSM모델은 Petri Net 모델과 유사한 특징을 가져, 상세한 프로토콜 함수는 잘 표현하는 반면, 시스템의 비동기적인 측면이나 토폴로지와 같은 측면을 표현하는데는 많은 제약이 따른다.

블럭 다이어그램 모델은 망 모델링 및 시물레이션에 단일화된 관점을 적용하고자 개발된 모델링 기법으로 대표적인 구현 사례로 BONEs[23]를 들 수 있다. 블럭 다이어그램은 블럭(노드), 포트, 아크의 크게 세 가지 구성요소를 갖는다. 블럭은 일종의 함수를 말하는데 시스템에서 블럭박스의 역할을 한다. 포트는 블럭들간의 통신을 위한 장치로 입력포트와 출력포트가 있다. 아크는 보통 선으로 표현하는데 입력포트와 출력포트를 연결시켜 주는 역할을 한다. 블럭 다이어그램을 이용한 통신망 시물레이션 모델은 모델링 파라다임 자체가 간단하고 유연성이 많아서 통신망의 모든 측면을 모델링 하기가 비교적 용이하다. 또한 모델의 계층 구조를 지원함으로써 모델링 파라다임이 인간의 사고 과정과 유사하여 모델링이 비교적 쉽다. BONEs에서는 모델링에 매우 유용한 개념인 자료구조의 상속성을 지원하여 모듈의 재사용성과 확장성을 증가시킨다. 그러나 단지 자료구조의 단순 상속성(Single inheritance)만을 지원하고 모형의 상속성 및 다형성을 지원하지 않고 있어 완전한 의미의 상속성을 지원한다고는 할 수 없다. 또한 BONEs에서 새로운 모델을 만들기 위해서는 먼저 자료구조를 정의해야 하는데, 이는 이미 만들려

고 하는 모델에 대한 거의 완전한 이해를 전제로 하는 것이다. 따라서 모델의 점증적인 개발방식을 효율적으로 지원할수 없다.

3.2 객체지향 통신망 모델링 기법

최근 들어서는 통신망 시뮬레이션 분야의 추세가 엔지니어링 워크스테이션의 X윈도우 환경을 이용한 강력한 그래픽 기능의 제공, 모델의 모듈화 및 계층화 지원, 그리고 객체지향적 접근방법의 도입이 주류를 이루고 있다. 기존의 모델링 파라다임을 기반으로한 분석도구들도 90년대에 들어서서 그래픽 인터페이스를 강화하고 객체지향적 요소를 추가하고 있다.

EQN 모델에 기반한 RESQ는 HOST에서 Workstation으로, PL/I에서 C로 환경을 바꾸면서 그래픽 기능을 대폭 강화한 RESQME [14]로 향상되었다. 최근에 등장한 TOPNET[19]은 페트리 넷 모델에 기반하고 객체지향적 방법이 가미되어 있다. FSM과 블록 다이어그램을 이용하는 OPNET[10]이나 BONEs등 대표적인 상용 소프트웨어들은 모듈화 및 계층화를 지원하는 객체-기반(object-based)접근방법을 채택하고 있다. 기존의 패킷통신망 분석 도구인 COMNET II.5를 향상시킨 COMNET III[5]는 객체지향 시뮬레이션 언어인 MODSIM II[6]를 이용하여 구현되었으며 모델의 생성, 실행, 분석 과정에 그래픽 기능을 지원함으로써 편리한 모델개발 환경을 제공한다. 또한 최근에 개발되는 범용 시뮬레이션 및 모델링 도구들은 객체지향 접근방법에 의한 것이 주류를 이루고 있다. DEVSIM++[12]는 Zeigler의 모듈화, 계층적인 DEVS(discrete event system specification) formalism[15]을 C++로 구현한 객체지향 모델링 및 시뮬레이션 환경이다. EXsim[25]과 DOSE[18]는 기존의 블록 다이어그램 모델링 틀에 기반하고 구현을 C++로한 범용 이산-사건 시뮬레이션을 위한 객체지향 환경이다.

이와같이 기존의 망모델링 파라다임에 객체지향적 요소를 추가하거나 분석도구자체를 객체지향적으로 구현함으로써 갖는 장점은 크게 다음과 같은 세 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 효과적인 모델개발 환경을 제공한다는 점이다. 시뮬레이션 모델을 표현하는데 있어 객체지향 방법은 가장 자연스러운 선택이며 표현되려는 모델과 표현언어 사이에 직접적인 대응이 가능하므로 신속한 모델 구축, 개

발비용의 절감, 그리고 모델 성능의 향상을 기대할수 있다. 둘째, 재사용성 및 확장성이 뛰어나다는 점이다. 객체지향 모델은 기본적으로 모듈화, 계층적이며 상속성(inheritance)의 특성이 있으므로 변경이나 기능의 추가가 필요할때 쉽게 구현할수 있다. 셋째, 실제 시스템을 기술하는 표현력이 풍부하다는 점이다. 객체지향 모델링 파라다임은 일관된 체제하에 객체모델 및 행위모델을 원하는 수준의 세밀한 부분까지 표현할 수 있다. 통신망의 프로토콜이나 세부적 작동기능들을 표현하는 행위모델은 EQN, 페트리 넷, FSM등 기존의 모델링 파라다임과 연계하여 사용할수도 있다.

3.3 광대역 통신망 시뮬레이션 모형의 요구사항

광대역 통신망 시뮬레이션의 경우 통신망의 구성이 복잡하고 각종 제어 기법들을 수용해야 하므로 표현력이 풍부할 것이 요구되며, 통신망 기술이 빠르게 개발되고 있고 새로이 구축되는 시스템이므로 다양한 분석을 위한 신속한 프로토타이핑이 요구된다. 이를 위해서는 모델이 모듈화 및 계층화되어 있어야 하고 재사용성 및 확장성이 높아야 한다. <표 1>에는 이와같은 광대역 통신망 시뮬레

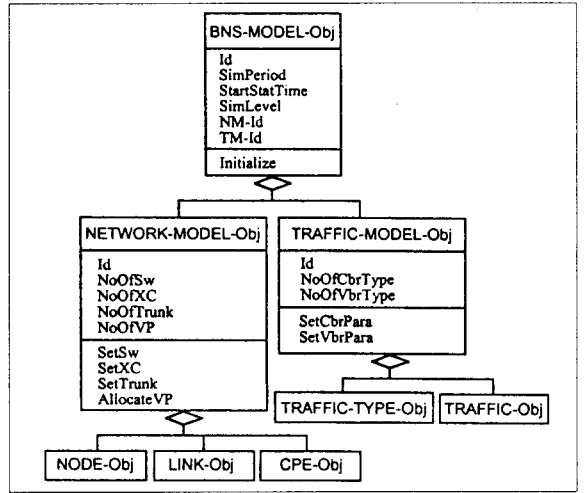
<표 1> 광대역 통신망 시뮬레이션을 위한 모델링 요구사항

시뮬레이션 요구사항	모델링 요구사항
○ 다양한 응용분야	강력한 표현력 다양한 트래픽 수준
○ 신속한 프로토타이핑	재사용성 확장성
○ 높은 복잡성	모듈화 구조 계층적 구조
○ 계산량 부하 (특히, 셀수준 시뮬레이션)	Parallelism Concurrency

이션의 요구사항과 그에 따른 모델링 요구사항들이 제시되어 있다. 따라서 본 연구에서는 광대역 통신망 시뮬레이션을 위한 모델링 파라다임으로 객체지향적 접근방법을 선택하였다. 여기에는 추후 광대역 통신망 전용의 시뮬레이터 개발시에도 효과적인 모델개발 환경을 제공한다는 점도 고려되었다.

4. 객체지향 모델

객체지향 기법은 해결하고자 하는 문제를 포함한 현실 세계를 독립적인 객체들의 집합체로 봄으로써 복잡한 문제를 보다 효과적으로 정의, 해결하기 위한 기법이다. 각 객체는 독자적인 상태와 행위능력을 가지며, 타객체들과의 상호작용을 통하여 시스템을 구성한다. 따라서 2장에서 정의한 광대역 통신망의 시물레이션을 위한 객체지향 모델은 객체들을 파악하여 속성 및 오퍼레이션을 정의하고 객체들간의 관계를 설정하는 객체모델과 각 객체의 동적인 측면들을 기술하는 행위모델로 구성된다.



〈그림 5〉 최상위 수준의 객체 모델

4.1 객체모델

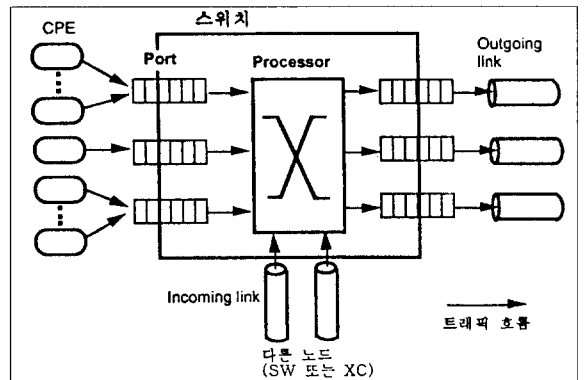
객체모델은 객체지향 모델링 기법인 OMT(Object Modeling Technique)[11]의 객체 다이어그램을 이용하여 작성되었다. 각 객체들은 박스로 표현되며, 박스의 위간에는 객체 이름, 가운데에는 객체의 속성들, 아래간에는 객체의 오퍼레이션(메소드)들이 기술되어 있다. 객체 모델에서 보여주는 객체간의 계층구조는 대상시스템에 대한 체계적인 이해는 물론 객체 자체에 대한 정의와 사용을 경제적으로 할 수 있는 수단을 제공한다. 하위 수준에 있는 객체들은 기본적으로 그 보다 상위 수준에 정의되어 있는 객체의 모든 특성을 상속받는다. 객체들간의 계층구조는 삼각형으로 상속성(inheritance)/일반화(generalization) 관계를 표시하고, 다이아몬드 기호로 집합(aggregation) 관계를 표시한다.

1) 최상위 수준의 객체모델

최상위 수준에서의 객체들의 구조가 〈그림 5〉에 제시되어 있다. 최상위 객체인 BNS-MODEL-Obj는 시물레이션 시간과 수준, 그리고 해당 망모델과 트래픽모델의 Id를 속성으로 가지며, NETWORK-MODEL-Obj와 TRAFFIC-MODEL-Obj로 구성된다. 이들은 대상망의 규모와 트래픽 유형들의 수를 속성으로 갖고 있으며, 망자원들과 트래픽 유형들을 초기화 시킨다. NETWORK-MODEL-Obj는 하부에 노드, 링크, 그리고 CPE 객체들로 구성되며, TRAFFIC-MODEL-Obj는 트래픽 유형과 트래픽 객체들로 구성된다.

2) 노드의 객체모델

광대역 통신망의 노드에는 스위치와 크로스커넥트(XC)의 두 종류가 있으며, 스위치는 포트와 프로세서로 구성된다고 모델링한다. 스위치의 구성요소들과 망구성요소들을 트래픽 흐름에 따라 표현하면 〈그림 6〉과 같다.



〈그림 6〉 스위치 구성요소와 트래픽 흐름

NODE-Obj는 스위치와 크로스커넥트가 공통으로 갖는 처리시간이나 고장 및 고장시의 복구시간 분포 등을 속성으로 가지며, SWITCH-Obj와 XC-Obj는 각각 고유 특성을 속성으로 갖는다. SWITCH-Obj는 CPE 또는 다른 노드로부터의 트래픽을 교환시키거나 자신이 목적지인 경

우 종료시키며, 가입자 또는 링크와의 인터페이스 부분에 포트들을 가질 수 있다. 프로세서는 호송인제어, 루팅, 대역폭 할당, 폭주제어, 우선순위제어 등과 같은 트래픽 제어 기능을 갖는다. XC-Obj는 링크 재배치 주기를 속성으로 가지며, 트렁크 용량 범위내에서 VP의 구성 및 용량을 재배열하는 기능을 한다. 각 객체들의 속성 및 오퍼레이션은 <그림 7>에 나타나 있다.

3) 링크의 객체모델

LINK-Obj는 노드들간에 트래픽을 전달시켜 주는 객체이며, 물리적 링크인 TRUNK-Obj와 논리적 링크인 VP-Obj의 두 종류가 있다. LINK-Obj는 단위시간에 트래픽을 전송할 수 있는 용량, 링크의 길이, 고장발생에 관한 시간분포, 그리고 고장시 복구때 까지의 시간분포 등을 공통 속성으로 갖고, 전파지연시간을 계산하고 고장 및 복구에 관련된 오퍼레이션을 수행한다. TRUNK-Obj는 연결시키는 인접한 두 노드의 Id만을 소유속성으로 갖는다. VP-Obj는 트래픽을 통과시키는 양단 스위치의 Id, 방향성, 통과시키는 트래픽 유형, 그리고 각 시점에서의 가용용량 등을 고유속성으로 갖는다. <그림 8>에 링크의 객체모델이 제시되어 있다.

4) CPE의 객체모델

CPE는 광대역 통신망 사용자에게 해당하는 객체이며, 스위치에 접속되어 대상망에 트래픽을 부과하는 기능을 한다. 각 CPE는 어느 한 가지의 트래픽 유형을 갖는다.

5) 트래픽 유형의 객체모델

TRAFFIC-TYPE-Obj는 CPE에서 트래픽이 생성되는 형태와 속성들을 정의하는 객체이다. 트래픽 유형에는 CBR과 VBR의 두 가지 유형이 있다. 트래픽 유형의 객체모델은 <그림 10>과 같으며, 제시된 모델은 예들들어 다음과 같이 VBR 트래픽 모델을 표현할 수 있다.

TypeId : VBR-Type-1

PeakBitRate : 100 Mbps

InterArrivalDist : Exponential(30)

DurationDist : Exponential(15)

NoOfBurst : 3

버스트 수준 1 :

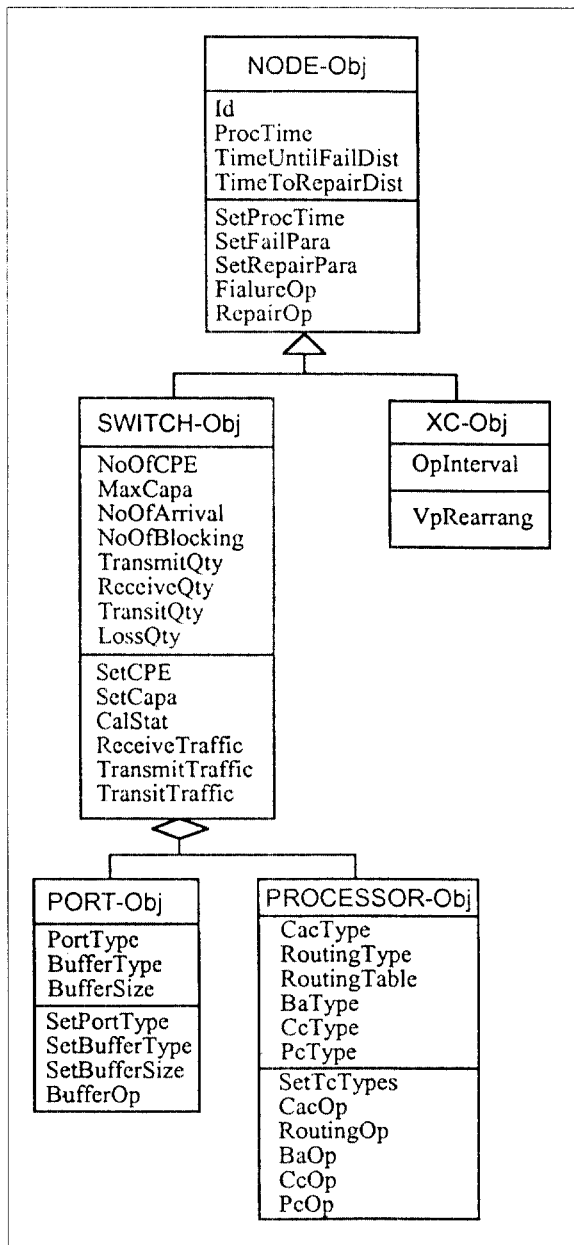
BurstBitRate : 10 Mbps

BurstDurationDist : Exponential(3)

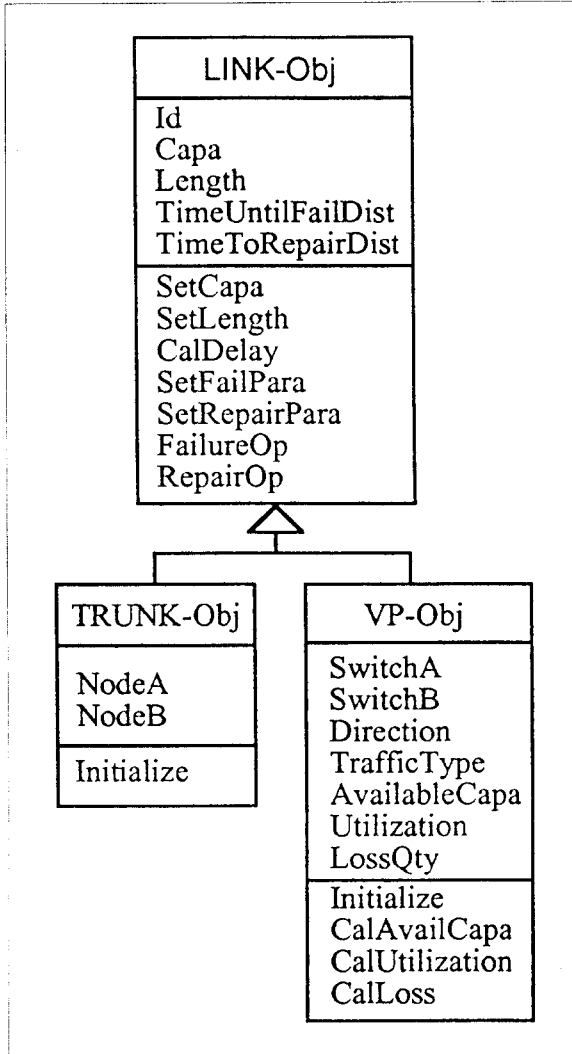
LevelTransVector : (0, 0.7, 0.3)

버스트 수준 2 :

BurstBitRate : 50 Mbps



<그림 7> 노드의 객체 모델



〈그림 8〉 링크의 객체 모델

BurstDurationDist : Exponential(1)

LevelTransVector : (0.5, 0, 0.5)

버스트 수준 3 :

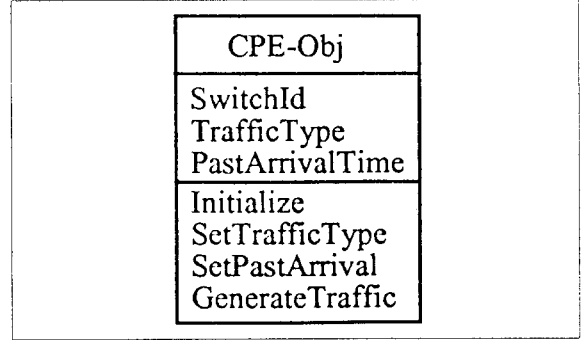
BurstBitRate : 100 Mbps

BurstDurationDist : Exponential(0.5)

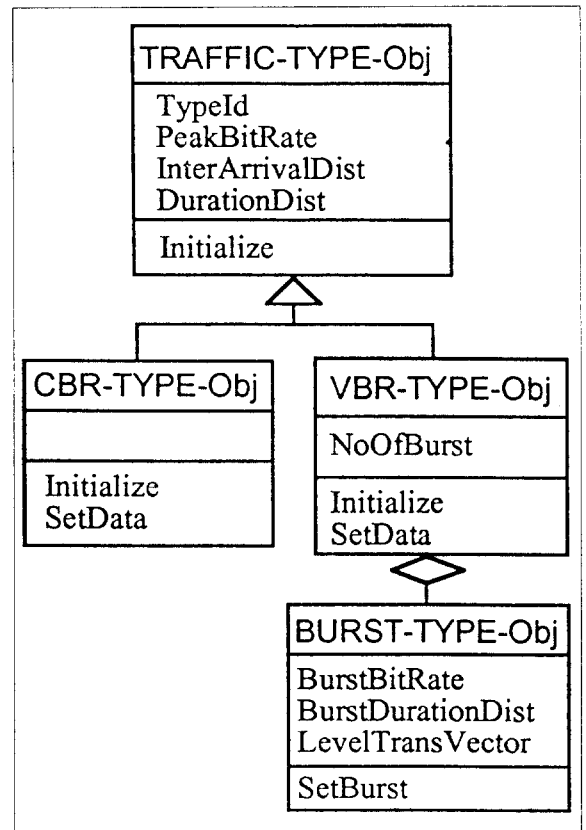
LevelTransVector : (0.4, 0.6, 0)

6) 트래픽의 객체모델

트래픽은 트래픽 유형을 이용하여 CPE에서 생성되어

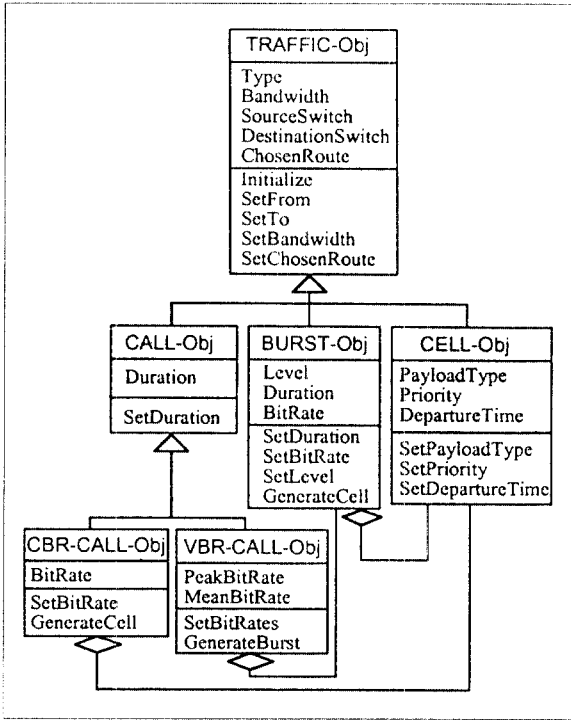


〈그림 9〉 CPE의 객체 모델



〈그림 10〉 트래픽 유형의 객체 모델

망자원사이에 전송되는 이동 객체이다. 트래픽에는 〈그림 11〉에서와 같이 호, 버스트, 셀의 3가지 객체가 있으며, 시뮬레이션 수준에 따라 해당 객체를 생성시킨다. 필요에



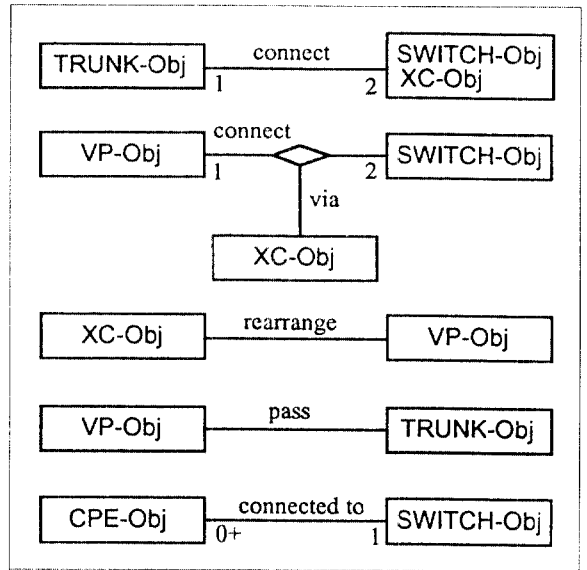
〈그림 11〉 트래픽의 객체 모델

따라서는 두 가지 이상 수준의 객체들이 동시에 생성될 수 있다. 호 수준 트래픽인 경우에는 CPE-Obj에서 생성되며, 버스트들은 VBR-CALL-Obj에서, 셀들은 BURST-Obj에서 생성하도록 모델링하였다.

7) 망구성 객체들간의 관계

NETWORK-MODEL-Obj에 속하는 객체들 사이의 관계는 다음과 같으며, 객체-관계 다이어그램으로 나타내면 〈그림 12〉와 같다.

- 하나의 TRUNK-Obj는 두 개의 SWITCH-Obj 또는 XC-Obj를 연결한다.
- 하나의 VP-Obj는 직접 또는 XC-Obj를 거쳐 두 개의 SWITCH-Obj를 연결한다.
- XC-Obj는 VP-Obj를 재배열 한다.
- VP-Obj는 TRUNK-Obj를 통과한다.
- CPE-Obj는 SWITCH-Obj에 접속되어 있다.



〈그림 12〉 망구성 객체들간의 관계

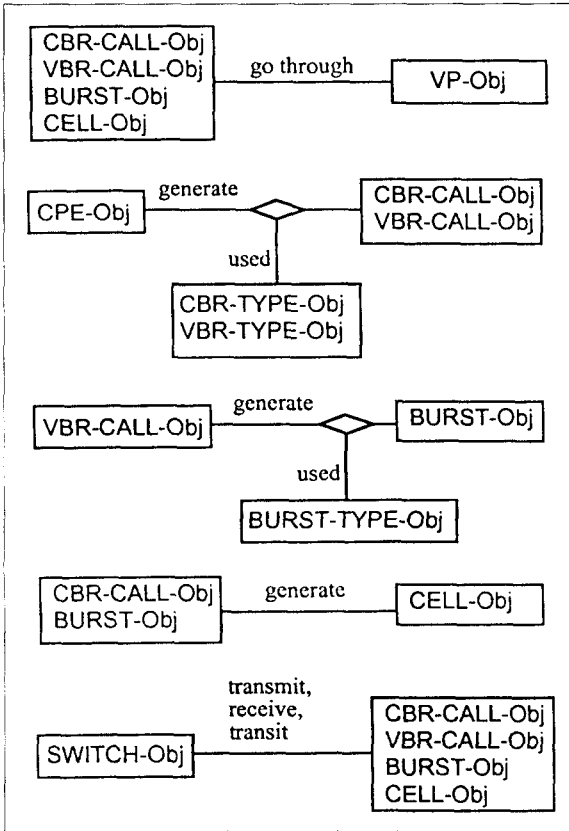
8) 망구성 객체들과 트래픽 객체들간의 관계

NETWORK-MODEL-Obj에 속하는 객체들과 TRAFFIC-MODEL-Obj에 속하는 객체들간의 관계는 다음과 같으며 〈그림 13〉에 제시되어 있다.

- CBR-CALL-Obj, VBR-CALL-Obj, BURST-Obj, CELL-Obj는 VP-Obj를 통과한다.
- CPE-Obj는 CBR-TYPE-Obj, VBR-TYPE-Obj를 이용하여 CBR-CALL-Obj, VBR-CALL-Obj를 생성한다.
- VBR-CALL-Obj는 BURST-TYPE-Obj를 이용하여 BURST-Obj를 생성한다.
- CBR-CALL-Obj, BURST-Obj는 CELL-Obj를 생성한다.
- SWITCH-Obj는 CBR-CALL-Obj, VBR-CALL-Obj, BURST-Obj, CELL-Obj를 전송하고 수신하고 중계시킨다.

4.2 행위 모델

행위모델은 각 객체들에 대해 시간과 오퍼레이션의 순서에 따라 변화되는 상태를 상태전이도(state-transition diagram)로 표현한다. 그러나 객체들의 계층구조를 정의하기 위한 상위객체들과 같은 가상의 객체들 및 트래픽

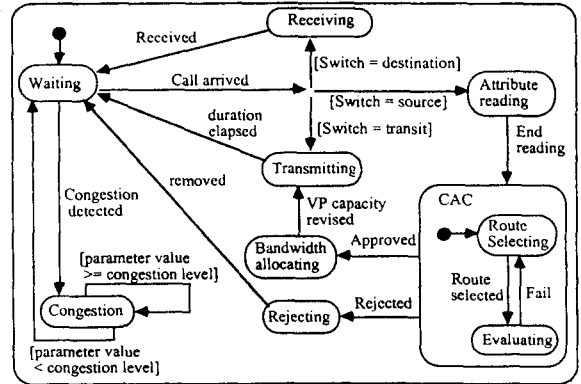


(그림 13) 망구성 객체와 트래픽 객체들간의 관계

유형을 정의하는 객체들과 같이 트래픽이 생성되는 형태와 속성을 정의하는 선언적 객체들은 시간에 따른 변화가 없으므로 행위모델을 정의할 필요는 없다. 본 연구에서는 정의대상 객체들 중에서 망자원과 트래픽에서 각각 시스템의 동적 특성을 파악하는데 핵심적인 역할을 하는 스위치의 프로세서와 VBR 호에 대한 행위모델을 제시한다.

1) PROCESSOR-Obj의 행위모델

프로세서는 트래픽이 입력포트나 VP로 부터 스위치에 도착하면 해당 경우에 따라 처리한다. 우선 스위치가 목적지이면 트래픽을 수신하고, 다시 다른 노드로 가는 것이면 중계처리를 한다. CPE에서 새로 도착한 호이면 속성값을 읽어들이어 CAC를 수행한다. (그림 14)의 상태전이 도에서 CAC 상태는 다시 루트를 선택하는 상태와 선택된 루트에 대해 망자원의 여유가 있는지를 평가하는 상태로



(그림 14) PROCESSOR-Obj의 행위 모델

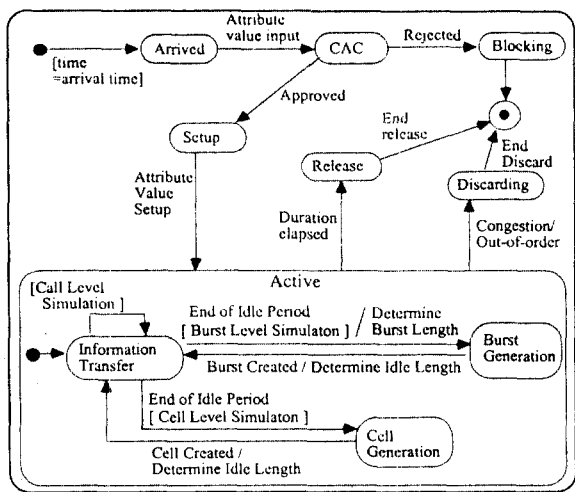
구성되어 있는것을 보여준다. 호가 승인된 경우에는 대역폭을 할당하고 전송을 시작된다. 호가 거절된 경우에는 호를 폐기시킨다. 또한 망자원들의 상태를 감시하여 폭주가 발생된 것을 감지하면 폭주상태로 가며, 폭주제어를 수행하여 복구되면 정상 상태로 환원된다.

2) VBR-CALL-Obj의 행위 모델

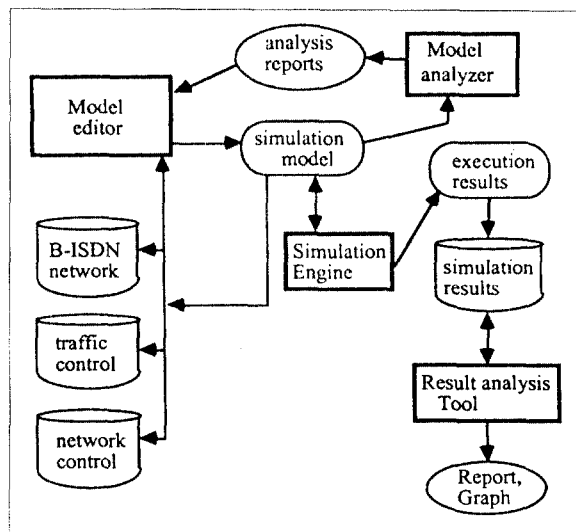
VBR 호는 CPE에서 생성되면 속성값들을 지정받고 스위치로 가서 CAC 상태에 있게된다. CAC에서 호가 거절되면 폐기된다. 승인된 경우에는 버스트 등의 파라미터들을 설정한 후에 활동 상태에 있게된다. 활동단계에서는 시뮬레이션 수준에 따라 상태가 세분된다. 호수준 시뮬레이션의 경우에는 정보전달 과정을 바로 거치게 되나 버스트 수준이나 셀 수준인 경우에는 버스트나 셀을 생성시키게 된다. 활동상태는 호의 지속기간이 지나면 해제상태로 가며 해제되면 폐기된다. 활동상태에 있을 때 폭주나 망자원의 고장등이 발생하면 도중에 폐기될 수도 있다.

5. 결론 및 토의

본 연구에서는 광대역 통신망 시뮬레이션을 위하여 대상시스템인 광대역 통신망과 트래픽을 정의하고 객체지향 기법을 사용하여 모델링하였다. 개발된 모형은 객체지향 기법의 장점을 살려 모듈화 및 계층화하여 재사용성 및 확장성이 높으며, 소프트웨어 개발시 설계 및 구현 단계로의 이전이 자연스럽게 이루어질수 있도록 하였다. 실제로 광대역 통신망 기술이 발전함에 따라 새로이 나타날



〈그림 15〉 VBR-CALL-Obj의 행위 모델



〈그림 16〉 모델링 환경의 개념 구조

수 있는 망요소 및 제어기법들도 본 연구에서 정의된 객체들을 토대로 상속을 통해 정의하거나 새로운 단위모델로 첨가시켜 주면 된다. 또한 망모델의 일부만 시뮬레이션할 경우에도 객체들의 독립성 및 정보은폐성 때문에 대상 모델을 쉽게 구현할 수 있다. 개발된 모델을 이용하여 광대역 통신망 설계 문제를 대상으로 호수준 및 버스트수준의 시뮬레이션 모델을 작성하고 객체지향 시뮬레이션 언어로 구현해 본 결과 모델의 구성 및 구현이 용이하고 다양한 분석을 위한 변경이 편리한 것을 확인할 수 있었다[3].

추후의 연구사항으로 우선, 본 연구에서 제외한 모델을 다양한 응용분야에 적용시킴으로써 더욱 확장시키는 것이 필요하다. 이미 개발된 모델을 광대역 통신망 설계문제와 B-ISDN의 서비스품질 및 망성능 파라미터 값 설정문제에 적용시키는 연구는 현재 진행중이다. 또한, 본 연구에서는 제한 광대역 통신망의 객체지향 모델을 기반으로 하는, 모델 정의에서부터 시뮬레이션 결과 분석까지를 일관되게 지원해 줄 수 있는 모델 개발 환경을 구축하는 것이 필요하다. 모델 개발 환경은 우리나라와 같이 광대역 통신망을 구축하려고 하는 경우에 있어서는 광대역 통신망을 구축하는데 있어서 필요한 다양한 형태의 분석을 쉽게, 적은 비용으로 실행해 볼 수 있으므로 그 효과와 중요성이 매우 높다고 할수 있다. 현재 모델 개발 환경을 구축하는 것은 〈그림 16〉에 제시된 바와 같은 시스템 구조

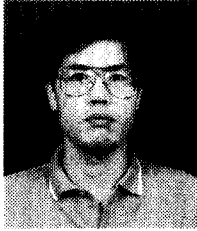
를 고려하고 있으며, 개발된 모델을 기존의 시뮬레이션 소프트웨어에 접목시켜 효과적으로 통합 시뮬레이션 환경을 구축하는 방안을 고려하고 있다.

참고문헌

- [1] 박진영, 이영옥, 임홍순, 박성주, "광대역 디지털 통신 네트워크 시스템의 객체지향 시뮬레이션 모형". 한국 시뮬레이션학회 추계학술발표회, 1993년 10월.
- [2] 이영옥, "ATM 망의 트래픽제어 기술", 한국통신학회지, 제8권, 제12호, 1991년 12월, pp. 29-42.
- [3] 이영옥, 김한섭, 성장환, 박성주, "광대역 통신망 설계를 위한 객체지향 모델링 및 시뮬레이션", Working Paper, 1994년 3월.
- [4] 박성주 외, B-ISDN을 위한 객체지향 시뮬레이션 모델링 기술 연구, 한국통신기술 주식회사 부설연구소-한국과학기술원 경영과학과 공동연구 보고서, 1993년 4월.
- [5] CACI Products Company, COMNET III-User's Manual, February 1994.
- [6] CACI Products Company, MODSIM II: Reference Manual, January 1992.
- [7] ITU-T Recommendation I.121, Broadband Aspects of

- ISDN, White Book, July 1992.
- [8] ITU-T Recommendation I.311, *B-ISDN general network aspects*, White Book, July 1992.
- [9] ITU-T Recommendation I.371, *Traffic control and congestion control in B-ISDN*, White Book, July 1992.
- [10] MIL 3 Co., *OPNET-Modeling Manual*, 1991.
- [11] Rumbaugh, J., M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy and W. Lorensen, *Object-oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, 1991.
- [12] Ahn, M. S. and T. G. Kim, "Devs Methodology for evaluating time-constrained Message Routing Policies", *Discrete event dynamic systems*, Vol. 3, 1993, pp. 173-192.
- [13] Bermejo, L., P. Parmentier and G. H. Petit, "Service Characteristics and Traffic Models in a Broadband ISDN", *Electrical Communication*, Vol. 64, No. 213 (1990), pp. 132-138.
- [14] Chang, K. C., R. F. Gordon, P. G. Loewner and E. A. MacNair, "The Research Queueing Packet Modeling Environment(RESQME)", in *Proc. MASCOTS '93*, La Jolla, January 17-20, 1993, pp. 361-366.
- [15] Concepcion, A. I. and B. P. Zeigler, "DEVs Formalism: A Framework for Hierarchical Model Development", *IEEE Tr. on Software Eng.*, Vol. 14, No. 2(1988), pp. 228-241.
- [16] Hui, J. Y. "Resource Allocation for Broadband Networks", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 6, No. 9(1988), pp. 1598-1608.
- [17] Kurose, J. F. and H. T. Mouftah, "Computer-Aided Modeling, Analysis, and Design of Communication Networks", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 6, No. 1(1988), pp. 130-145.
- [18] Mark, V. W., "DOSE: A Modular and Resuable Object-Oriented Simulation Environment", in *Proc. OOS '91*, Anaheim, January 23-25, 1991, pp. 3-11.
- [19] Marsan, M. A., G. Balbo, G. Bruno and F. Neri, "TOPNET: A Tool for the Visual Simulation of Communication Networks", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 8, No. 9(1990), pp. 1735-1747.
- [20] Mouftah, H. T., J. F. Kurose and M. A. Marsan, "Guest Editorial: Computer-Aided Modeling, Analysis, and Design of Communication Networks I", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 8, No. 9(1990), pp. 1625-1629.
- [21] Roth, R. H., M. Ilyas and H. T. Mouftah, "SIMULATION : A Powerful Tool for Prototyping Telecommunications Networks", *Simulation*, Vol. 58, No. 2 (1992), pp. 78-82.
- [22] Sato, K-I, S. Ohta and I. Tokizawa, "Broad-Band ATM Network Architecture Based on Virtual Paths", *IEEE Tr. on Comm.*, Vol. 38, No. 8(1990), pp. 1212-1222.
- [23] Shanmugan, K. S., V. S. Frost and W. LaRue, "A Block-Oriented Network Simulator(BONeS)", *Simulation*, Vol. 58, No. 2(1992), pp. 83-94.
- [24] Townsend, J. K., A. F. Elrefaie, H. Meyr and M. Pent, "Guest Editorial: Computer-Aided Modeling, Analysis, and Design of Communication Links", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 11, No. 3(1993), pp. 285-288.
- [25] Zheng, Q. and P. Chow, "EXsim: A General Purpose Object Oriented Environment for Discrete-Event Simulations", in *Proc. OOS '93*, La Jolla, January 23-25, 1993, pp. 15-21.

● 저자소개 ●



이영욱

1985년 서울대학교 산업공학과 졸업

1987년 한국과학기술원 경영과학과에서 석사학위 취득

현재 동 학과 연구원 박사과정에 재학중이며, 데이콤 중앙연구소 선임연구원으로 재직중이다.

관심분야: 통신 시스템 분석, 네트워크 시뮬레이션, 객체지향 모델링 등이다.



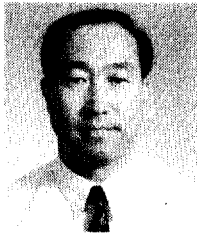
박진영

1986년 서울대학교 경영학과 졸업

1988년 한국과학기술원 경영과학과에서 석사학위 취득

현재 한국과학기술원 경영과학과 박사과정에 재학중

관심분야: 비즈니스 모델링, 정보시스템 모델링, 객체지향 모델링 등이다.



박성주

1973년 서울대학교 산업공학과 졸업

1975년 한국과학기술원에서 산업공학석사 취득

1978년 미국 미시간 주립대학에서 시스템공학박사 취득

1978~1980년 KIST 소프트웨어개발센터 선임연구원

현재 한국과학기술원 경영과학과 교수

관심분야: 정보시스템 통합 환경, 의사결정지원시스템, 시뮬레이션, 데이터베이스 등이다.