

링크 용량계획을 위한 분석적 시뮬레이션 기법 연구

장택수*, 한정규**

*LIG 넥스원

**LIG 넥스원

e-mail:taeksoojang@lignex1.com

A Study on Analytical Simulation Technique for Link Capacity Planning

Taek-Soo Jang*, Jung-Gyu Han**

*Command & Control R&D Lab., LIG Nex1

**Command & Control R&D Lab., LIG Nex1

요 약

네트워크 관리자는 트래픽 증가에 따른 네트워크 성능저하 문제를 해결하기 위해 개별 링크에 필요한 용량을 산정해야할 때가 있다. 대규모 네트워크의 경우 이산 사건 시뮬레이션만을 수행하여 용량을 산정하는 것보다 분석적 시뮬레이션을 함께 사용하여 용량을 산정한다면 시뮬레이션에 필요한 시간을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 링크 용량계획을 위한 분석적 시뮬레이션의 활용방안을 논하고 그 기법을 기술하였다. 제안한 분석적 시뮬레이션 기법은 정상상태의 네트워크 분석이기 때문에 이산 사건 시뮬레이션에 비해 시뮬레이션에 소요되는 시간은 작지만 정확도는 낮다. 하지만 대규모 네트워크의 상태를 빠르게 파악하고 문제를 해결해야 한다면 좀 더 정밀한 시뮬레이션이나 분석을 위한 사전자료를 만들기에 충분할 것이다.

1. 서론

네트워크 관리자는 트래픽 증가에 따른 네트워크 성능저하 문제를 해결하기 위해 M&S 도구를 사용하여 네트워크의 개별 링크에 필요한 용량을 산정할 수 있다. 이를 위해 관리자는 해당 네트워크에서 목표 사용률을 초과하는 링크를 찾고 링크 용량이 목표 사용률을 만족하도록 조절하는 방법을 사용한다. 하지만 링크 용량의 변경은 트래픽 경로의 변경을 유발할 수 있기 때문에 최적의 링크 용량을 산정하기 위해서는 반복적인 링크 용량 조절과 시뮬레이션 수행이 필요하다. 따라서 네트워크의 규모가 커질수록 링크 용량을 산정하는 시간은 더욱더 늘어난다.

네트워크 M&S 도구를 이용한 링크 용량 산정에 필요한 시간을 줄이기 위한 해결책으로 분석적 시뮬레이션 (Analytical Simulation)이 있다. 분석적 시뮬레이션은 네트워크를 정상상태(steady state)로 분석하는 시뮬레이션 방법으로 이산 사건 시뮬레이션(Discrete Event Simulation)에 비해 시뮬레이션 수행시간이 짧다. 따라서 링크 용량 산정 시, 반복적인 분석적 시뮬레이션으로 링크 용량을 산정한 후 이를 기반으로 이산 사건 시뮬레이션을 수행한다면 시뮬레이션에 소요되는 시간을 줄일 수 있다.

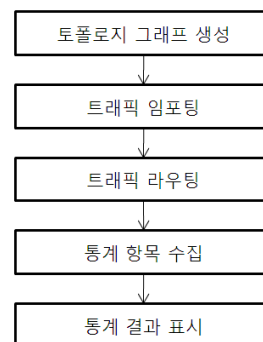
본 논문에서는 링크 용량계획을 위한 분석적 시뮬레이션 기법을 기술한다.

2. 분석적 시뮬레이션 기법

분석적 시뮬레이션은 네트워크를 정상상태에서 분석하는

시뮬레이션 방법으로 평균적인 트래픽 부하가 네트워크에 미치는 영향을 수학적 계산으로 분석한다. 따라서 트래픽을 패킷 단위로 모의하여 네트워크를 분석하는 이산 사건 시뮬레이션에 비해 분석 시간이 짧으며 거시적 관점으로 네트워크를 평가할 수 있다.

링크 용량계획을 위한 분석적 시뮬레이션은 링크 용량을 산정하는 기준인 개별 링크의 사용률, 개별 트래픽의 종단간 지연 및 전송 경로 정보를 분석한다. 이를 위해 분석적 시뮬레이션은 그림 1과 같은 단계를 수행하여 분석한다.



(그림 1) 분석적 시뮬레이션 수행 단계

분석적 시뮬레이션을 수행하는 단계는 크게 5단계로 구성 된다. 우선 분석 대상 네트워크의 토폴로지를 그래프로 표현하고 네트워크에 설정된 트래픽 정보를 정상상태의

부하로 계산한다. 그 다음 트래픽을 라우팅하여 통계 항목을 수집하고 결과를 표시한다.

2.1 토폴로지 그래프 생성

토폴로지 그래프 생성은 최단 경로 알고리즘을 사용하여 트래픽 라우팅이 가능한 그래프를 생성하는 것이다. 이를 위해 그래프 생성 시 일부 장비와 그와 관련된 링크는 그래프에서 추가, 제외 또는 간략화하는 추상화(abstraction) 작업을 수행해야 한다.

추상화 작업은 bent pipe 설정의 위성단말, transmission broadcast radio, WLAN radio 등의 무선 전송장비와 Multiplexer, ATM 등의 회선 기반 장비에 대해 실시한다. 무선 전송장비의 경우 유선과 같이 별도의 링크 객체가 없기 때문에 송수신에 참여하는 무선 전송장비들을 알기 위해서는 추가적인 정보수집이 필요하다. 회선 기반 장비의 경우 회선은 다른 회선 기반 장비를 통해서 구성되고 양단간에는 일정한 대역폭을 보장하기 때문에 이를 하나의 간선으로 표시하기 위해 추가적인 정보수집이 필요하다.

<표 1> 토폴로지 그래프 생성

단계	설명
1. 그래프 생성 및 전송장비 추상화	네트워크의 모든 장비와 링크에 대한 정점과 간선 생성 및 전송장비 추상화 수행
2. 회선 추상화	네트워크의 모든 회선 정보를 이용하여 그래프에 있는 회선 기반 장비와 링크 추상화 수행

2.1.1 그래프 생성 및 전송장비 추상화

무선 전송장비 추상화를 수행하면서 그래프를 생성하기 위해 네트워크의 각 장비에 대해 다음을 수행한다.

1. 장비 A가 무선 전송장비라면 처리를 종료, 아니라면 다음 단계를 수행한다.
2. 장비 A를 그래프에 정점으로 추가한다.
3. 장비 A에 연결된 모든 링크 정보를 추출한다.
4. 추출한 개별 링크에 대해 다음을 수행한다.
5. 링크가 이미 그래프에 추가된 링크라면 처리를 종료, 아니라면 다음 단계를 수행한다.
6. 링크에 연결된 이웃 장비 B가 유선 전송장비라면 다음 단계를 수행, 아니라면 단계 8을 수행한다.
7. 장비 B를 그래프에 정점으로 추가(그래프에 없다면) 하고 장비 A의 정점과 간선으로 연결한 후 종료한다.
8. 장비 B에서 추상화에 필요한 정보를 얻어서 장비 A의 정점과 간선으로 연결할 장비 X를 찾는다.
9. 장비 X를 그래프에 정점으로 추가(그래프에 없다면) 하고 장비 A의 정점과 간선으로 연결한 후 종료한다.

위 알고리즘을 수행하면서 추가적으로 수행해야 할 작업은 각각의 정점과 간선에 표 2와 같은 정보를 저장하는 것이다. 이 정보들은 트래픽 라우팅과 통계 항목 계산 및 결과 표시에 사용된다.

<표 2> 정점 및 간선이 가져야할 정보

구분	필요한 정보
정점	-장비 식별자 -통계 결과 표시에 사용할 장비 명칭
간선	하나의 간선으로 표현되는 링크들 각각에 대해 -링크 식별자 -링크 대역폭, 전파지연, cost -통계 결과 표시에 사용할 링크 명칭

2.1.2 회선 추상화

회선 추상화 작업의 목표는 IP 장비 간에 회선을 이용한 전송 구간을 하나의 링크로 표현하는 것이다. 회선 추상화를 위해 가장 먼저 해야 할 작업은 네트워크의 모든 회선 정보를 읽어서 목록으로 저장하는 것이다. 이후 회선 목록에서 그래프에서 회선의 최단 경로 홉수가 0인 것을 찾아 다음 작업을 수행하고 목록에서 제외한다.

1. 해당 회선의 가입자 장비 간에 새로운 간선을 추가한다.
2. 회선의 가입자 링크를 표현하는 기존 간선을 그래프에서 제거한다.

회선의 최단 경로를 찾고 간선을 추상화하는 위 작업을 네트워크의 모든 회선에 대해 루프를 돌면서 수행한다. 루프의 종료는 목록에 더 이상 처리할 회선이 없거나 경로 변경(홉수 개선)이 없는 경우이다.

최단 경로 알고리즘은 Dijkstra 알고리즘[1]을 사용한다. 토폴로지 그래프에 최단 경로 알고리즘을 사용하기 위해서는 그래프의 모든 간선에 weight를 설정해야 한다. 모든 간선에 동일한 weight를 설정하면 RIP 프로토콜과 유사하게 최소 홉수의 경로를 얻을 수 있다. 그리고 간선에 해당하는 링크의 대역폭에 반비례하는 weight를 설정하면 OSPF와 유사한 최소 비용의 경로를 얻을 수 있다.

2.2 트래픽 임포팅

분석할 네트워크에 유통되는 개별 트래픽의 평균 데이터 사이즈(bps 단위)와 평균 패킷 사이즈(bit 단위)를 구한 후 송수신 장비별로 묶어서 총 부하와 패킷 사이즈를 계산한다. 개별 트래픽의 평균 데이터 사이즈와 평균 패킷 사이즈는 분석을 위해 지정된 시간 구간 내의 트래픽을 대상으로 계산한다. 송수신 장비별 총 부하는 개별 트래픽의 평균 데이터 사이즈를 합하면 된다. 송수신 장비별 평균 패킷 사이즈의 총계는 개별 트래픽의 패킷 사이즈에 대한 가중 평균(weighted average)을 구한다. 이때 weight는 개별 트래픽의 평균 데이터 사이즈를 사용한다.

2.3 트래픽 라우팅

트래픽 라우팅 단계에서 라우팅될 트래픽은 송수신 장비별로 계산된 총 부하이다. 정상상태 분석이므로 생성한 네트워크 토폴로지 그래프에 임포트한 트래픽을 라우팅하는

알고리즘은 최단 경로 알고리즘을 사용한다. 최단 경로 계산을 위한 기준에는 대역폭, 홉수, 링크 cost 등을 개별 또는 조합하여 사용할 수 있도록 하며 분석 수행 시 기준을 선택할 수 있도록 한다.

경로 선택 기준에 따라 라우팅된 트래픽은 개별 링크의 부하로 계산된다. 따라서 트래픽의 총 부하는 트래픽이 유통되는 경로에 포함되는 그래프 간선에 부하로 누적 계산되어야 한다. 또한 송수신 장비별 트래픽 총계 정보는 트래픽이 유통되는 경로 정보를 저장해야 한다. 이는 통계 항목 수집과 통계 결과 표시를 위해 필요하기 때문이다.

2.4 통계 항목 수집

경로 선택 기준에 따라 라우팅된 트래픽은 개별 링크의 부하로 계산한다. 임포트한 모든 트래픽을 링크의 부하로 계산한 후 링크 사용률과 중단간 지연을 계산하게 된다.

링크의 사용률 계산은 {링크의 총 부하} / {링크의 대역폭}이며 트래픽 송수신 양방향에 대해 각각 계산해 준다. 트래픽의 중단간 지연은 각 링크의 전파지연(propagation delay)과 큐잉지연(queuing delay)을 모두 합하여 계산한다. 전파지연은 링크의 전파지연 값을 그대로 사용한다. 큐잉지연은 M/M/1 모델[2]에 기반하여 아래와 같이 근사적으로 계산한다.

$$Queuing\ Delay = \frac{Average\ Packet\ Size}{Link\ Rate \times (1 - Link\ Utilization)}$$

계산한 링크 사용률은 그래프 간선에 추가 정보로 저장하고 중단간 지연은 송수신 장비별로 계산된 트래픽 정보에 저장하여 통계 결과 표시에 사용할 수 있도록 한다.

2.5 통계 결과 표시

통계 결과 표시는 전체 네트워크의 링크 상태를 한눈에 파악할 수 있는 요약화면과 개별 링크와 트래픽을 분석할 수 있는 상세화면을 제공한다.

요약화면은 전체 네트워크의 문제 구간을 빠르게 찾을 수 있도록 모든 링크를 사용률에 따라 다른 색상으로 표시하여 보여준다. 또한 사용자가 사용률 구간과 색상을 설정할 수 있도록 하여 분석이 용이하도록 한다.

상세화면은 개별 링크에 대한 양방향의 사용률과 트래픽의 중단간 지연 및 유통 경로를 확인할 수 있도록 테이블 형태로 표시한다. 그리고 하이퍼링크를 사용하여 분석이 용이하도록 한다. 각 정보를 표시하는 테이블 템플릿은 다음과 같다.

<표 3> 링크 사용률 테이블 템플릿

Device A	Device B	Bandwidth (Kbps)	A->B Utilization(%)	B->A Utilization(%)
Router 1	Mux A	256	65.6	51.5
Mux D	Router 2	512	50.0	78.8

링크 사용률 테이블은 네트워크를 구성하는 모든 링크에 대해 대역폭과 양방향 사용률을 표시한다.

<표 4> 트래픽의 중단간 지연 테이블 템플릿

Name	Type	Device A	Device B	Load (Kbps)	End-to-End Delay(sec)	Route
News	Http	PC1	Sever 1	256	65.6	Route
File	Ftp	Server 2	PC 2	512	None	None

트래픽의 중단간 지연 테이블은 모든 트래픽에 대해 트래픽의 로드를 표시하고 라우팅이 가능한 경우 중단간 지연과 라우팅 경로를 표시한다. 라우팅 경로는 하이퍼링크를 사용하여 아래와 같은 트래픽 경로 테이블에 링크시킨다.

<표 5> 트래픽 경로 테이블 템플릿

Source	Link	Destination
Workstation 1	Workstation 1 <-> Router 1	Router 1
Router 1	Router 1 <-> Router 3	Router 3
Router 3	Router 3 <-> Workstation 2	Workstation 2

3. 결론

본 논문에서는 링크 용량계획을 위한 분석적 시뮬레이션의 활용방안을 논하고 그 기법을 기술하였다. 제안한 분석적 시뮬레이션 기법은 정상상태의 네트워크 분석이기 때문에 이산 사건 시뮬레이션에 비해 시뮬레이션에 소요되는 시간은 작지만 정확도는 낮다. 하지만 대규모 네트워크의 상태를 빠르게 파악하고 문제를 해결해야 한다면 좀더 정확한 시뮬레이션이나 분석을 위한 사전자료를 만들기에 충분할 것이다.

향후에는 OPNET를 이용하여 분석적 시뮬레이션을 수행하는 엔진을 개발하여 제안한 기법의 타당성을 확인하고자 한다. 또한 링크 용량계획 시 사용자가 수행하는 반복적인 용량변경과 시뮬레이션 수행을 자동화 할 수 있는 최적화 기법에 대해 연구할 것이다.

참고문헌

[1] Thomas Cormen, Charles Leiserson, Ronald Rivest and Clifford Stein, "Introduction to Alogirthms" 2nd Ed., McGraw-Hill Book Company, pp.595-691
 [2] Donald Gross, Carl M. Harris, "Fundamentals of Queuing Theory" 3rd Ed., pp.53-55