

다단상호연결네트워크의 성능 향상 기법의 해석적 모델링 및 분석 평가

정회원 문 영 성*

The Analysis and Modeling of the Performance Improvement Method of Multistage Interconnection Networks

Youngsong Mun* *Regular Members*

본 논문은 1995년도 한국과학재단 핵심전문연구과제 951-0904-057-2 지원에 의하여 수행한 연구임.

요 약

콜 패킹은 회선교환방식을 사용하는 클로스형 다단 상호연결 네트워크에서 연결 요구에 대한 블럭킹확률을 상당히 감소시키는 라우팅기법으로써 인지되어 왔다. 본 논문에서는 처음으로 클로스 네트워크에 적용된 콜 패킹기법의 점대점 블럭킹확률에 대한 일반적인 분석적 모델을 제안한다. 콜 패킹의 정도라는 새로운 변수를 도입함으로써, 제안된 모델은 콜 패킹기법 및 랜덤 라우팅기법을 사용할때의 호의 블럭킹확률을 정확하게 예측할 수 있다. 그 모델의 정확성은 다양한 크기의 네트워크와 트래픽 조건하에서 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 입증된다.

Abstract

Call packing has been recognized as a routing scheme that significantly reduces the blocking probability of connection requests in a circuit-switched Clos multistage interconnection network. In this paper, for the first time, a general analytical model for the point-to-point blocking probability of the call-packing scheme applied to Clos networks is developed. By introducing a new parameter called the degree of call packing, the model can correctly estimate the blocking probability of both call-packing and random routing schemes. The model is verified by computer simulation for various size networks and traffic conditions.

I. 서 론

일반적인 병렬, 분산시스템에서 요구된 성능을 획득하기 위하여는 시스템 구성요소들 간에 효율적인 데

이타 전송을 할 수 있는 통신망이 매우 중요하다. 데이타전송이 패킷교환 형태로 일어났을때 모든 패킷들은 출력으로의 전송을 위하여 큐에 놓여지므로 스위칭기법이 회선교환 시스템에서 만큼 절대적이지는 않다. 그러나, 회선교환으로 동작하는 시스템의 경우, 전송되는 노드들 간의 전용화된 연결이 각 네트워크 사이클 동안에 요구되므로, 효율적인 스위치 네트워

* 숭실대학교 컴퓨터학부 조교수
論文番號 : 96270-0827
接受日字 : 1996年 8月 27日

크는 매우 중요하다.

만일 스위치 네트워크로 크로스바 네트워크를 사용한다면, 어떠한 입력과 출력 쌍 사이의 연결도 출력이 점유되어있지 않는한 항상 가능하다. 그러나, 크로스바 네트워크로 실제적인 스위칭 시스템을 구성하기 위하여서는 많은 수의 교차점들을 요구한다. 따라서 교차점의 수를 줄이기 위하여 다단 스위치들이 사용되어질 수 있는데 이러한 다단 스위치는 호의 연결을 허용치 않는 블러킹이 발생할 수 있다. Clos[1]가 처음으로 3단의 비블러킹 스위치의 필요조건을 유도해냈으므로 그 다단 회선 스위칭 시스템을 클로스 네트워크라고 하며, 이는 대다수의 스위칭 시스템과 ISDN에서, 스위칭 동작의 중추적인 역할을 담당한다.

경로 재배열 기법이 클로스 네트워크에서 요구되는 교차점의 수를 줄일 수 있지만 재배열의 오버헤드로 인하여 실제 스위칭 시스템에 폭 넓게 적용되지 못했다. 따라서 콜 패킹[2] 라우팅기법이 다단 네트워크에서 블러킹확률을 줄이기 위하여 개발되었다. 이 경우 연결 요구는 네트워크에서 가장 많이 사용된 링크를 먼저, 가장 적게 사용된 링크를 나중에 서비스하도록 시도된다. 본 논문에서는 다단 클로스 네트워크에 적용된 콜 패킹기법의 점대점 블러킹확률에 대한 일반적인 분석적 모델을 제시한다. 콜 패킹의 정도라는 새로운 파라미터를 도입함으로써, 그 모델들은 어떠한 크기의 클로스 네트워크에서도 콜 패킹라우팅 및 랜덤 라우팅기법을 사용할 때의 블러킹확률을 정확하게 예측할 수 있다. 제안된 모델의 정확성은 여러가지 크기의 클로스 네트워크와 트래픽 조건하에서 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 입증된다.

이 논문의 구성은 다음과 같이 같다. 즉, 다음 절에서는 클로스형 네트워크를 간략하게 검토하고, III절에서는 블러킹확률의 관점에서 클로스 네트워크의 성능을 평가하기 위한 분석적 모델이 제안된다. 그리고 그 모델들의 정확성은 IV절에서 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 입증된다. 끝으로 V절에서 논문의 결말을 짓는다.

II. 클로스형 네트워크

이 절에서는 클로스형 네트워크의 스위칭 메카니즘

을 간략하게 검토하고 블러킹 조건의 관점에서 고찰해본다.

1. 클로스 네트워크와 블러킹 조건

3단 클로스 네트워크를 다섯개의 파라미터, 즉 (k, n, m, r, j) 로 표현할 수 있다. 파라미터 n 과 m 은 각각 첫번째 단의 스위칭 요소(SE)의 입력수와 마지막 단 SE의 출력수를 나타낸다. 파라미터 r, k 와 j 는 각각 첫번째, 두번째 그리고 세번째 단에 있는 SE의 수를 나타낸다. $n=m$ 그리고 $r=j$ 일때 이 3단 네트워크는 대칭이 된다. 따라서 그림 1에 나타난 네트워크는 세개의 파라미터 (k, n, r) 에 의해 완전하게 나타내어진다.

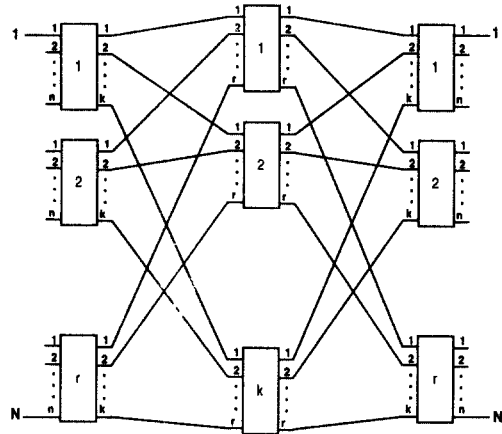


그림1. 3단 클로스 네트워크

만일 $k \geq m+n-1$ 이면 점대점 연결의 엄밀한 의미에서 그와같은 네트워크는 비블러킹이라는 것이 Clos^[1]에 의해 증명되었다. 이 조건은 점대점 연결시 비블러킹이 되기 위한 두번째 단에 있는 스위치 수 즉, k 의 필요조건을 말한다. $k < 2n-1$ 일지라도, 블러킹이 일어났을때 앞서 확립된 경로들을 재배열 함으로써 새로운 연결을 수용할 수 있다. $k \geq \max(m, n)$ 인 경우에 한해서 3단 클로스 네트워크가 재배열 됨으로써 비블러킹 된다는 것이 Slepian-Duguis의 정리에 의해서 증명되었다.

회선스위칭 시스템의 블러킹 동작은 링크 블러킹확

를(link-blocking probability)이나 스위치 블러킹확률(switch-blocking probability)로 모델화 할 수 있고, 이것들이 스위칭 시스템의 블러킹확률 연구시 좋은 측정치가 될 수 있지만, 좀더 실제적인 측정치는 점대점 손실(point-to-point loss)이다. 또한, 이것을 점손실(point loss)이라고도 한다. 점손실 고려시, 특정한 입력으로부터 특정한 출력으로의 연결이 블러킹 되었을 때 한개의 연결 요구가 손실된 것으로 가정한다.

2. 콜 패킹과 재배열

서론에서 기술했듯이, 3단 네트워크의 경우 콜 패킹 기법은 중간 단계에 있는 스위치 중 가장 많이 사용되는 스위치를 먼저 사용하려고 시도한다. 이 기법은 네트워크의 부하가 많은 부분을 더 높은 우선순위로 사용함으로써, 부하가 가벼운 부분이 연결 요구들을 수용할 수 있는 자유경로(free paths)를 가질 것이라는 기대에 근거한다. 이 콜 패킹기법을 채택함으로써, 랜덤 라우팅보다 더 많은 잇점을 얻을 수 있다. 첫째, 더 낮은 블러킹확률을 얻을 수 있다. 둘째, 재배열 네트워크에서 재배열 할 필요가 더 적어진다.

콜 패킹이 사용될때, 네트워크의 가장 많이 사용되는 부분의 부하가 대개 높다. 결과적으로 가장 많이 사용되는 스위치들이 가장 높은 호 종료(call termination)와 트래픽 율(traffic rate)을 갖는다. 그러므로, 자유경로들은 현존하는 호들의 종료로 인하여 이들 스위치들에서 자주 발생하며, 이렇게 자유로워진 경로들은 부가적인 호들을 수용할 수 있다. 또한, 가벼운 부하의 스위치들에 현존하는 어떤 호들도 그 경로에 재배치될 수도 있다. 이와같은 콜 재패킹기법을 사용함으로써, 가장 많이 사용되는 스위치들의 점유도를 증가시킬 수 있다. 계산 오버헤드가 비현실적으로 높지만 재배열 비블러킹 네트워크의 경로 재배열에 대한 여러가지 알고리즘들이 제안되어졌다.

III. 성능 모델링

이미 언급했듯이, 콜 패킹이 랜덤 라우팅보다 블러킹확률을 감소시키기 위한 훨씬 더 효율적인 방법임이 인지되었다. 그러나, 이 사실은 어떤 분석적인 모델링 및 평가에 의하지 않고 시뮬레이션에 의해서만 인

정되어져 왔다. 즉, 어떤 제한된 경우의 랜덤 라우팅만이 분석적으로 모델되고 연구되었다.[3]. 따라서, 이 절에서 콜로스 네트워크에 대한 일반적인 분석적 모델을 전개한다. 그 모델은 어떠한 크기의 콜로스 네트워크에 대해서도 랜덤 라우팅 및 콜 패킹 라우팅 방법의 양쪽을 포괄적으로 수용한다. 대부분의 연구에서와 마찬가지로, 이 절에서는 점대점 블러킹확률(P_B)이 가장 중요한 성능 측정치로서 모델된다. 3단 콜로스 네트워크에 대한 두개의 모델이 구해진다. 만일 같은 방법론이 적용되면 다른 크기의 네트워크에 대한 모델들도 쉽게 얻을 수 있다.

1. 해석적 모델

$Lee^{(1)}$ 는 처음으로 랜덤 라우팅에 대한 모델을 전개했다. 다음은 그 모델을 전개하기 위해 사용된 기본 가정이다.

- 입력 트래픽 t 는 k 개의 단간 링크들에 균등하게 분포된다.
- 입력당 전송된 트래픽 부하는 각 출력채널에서 뿐만아니라 각 입력채널에서도 같다.
- 링크가 점유되어 있을 확률은 다른 링크들의 상태와 독립이다.

링크들의 상태는 상호의존적이기 때문에 마지막 가정은 실제적이지는 않다. 그러나, 이 가정은 모델링의 간략화를 위해 사용되어 졌다. 이러한 가정들을 사용하면, 첫단계에 있는 스위치당 입력 링크의 수가 n 일 때 한개의 링크가 점유되어 있을 확률(p)은 tn/k 이 된다. 그리고 그렇지 않을 확률은 $1-p$ 이고 양쪽 링크가 자유로울 확률은 $(1-p)^2$ 이다. 따라서 한개의 경로가 점유되어 있을 확률은 $[1-(1-p)^2]^k$ 이다. 최종적으로, 중간 스위치를 통하는 모든 k 경로들이 랜덤 라우팅일 때의 블러킹확률은 다음과 같다.

$$P_{BR} = [1-(1-p)^2]^k \quad (1)$$

이 모델에 콜 패킹의 효과를 도입하기 위하여 1에서 d 까지의 단간의 링크들이 항상 점유되어있고 $d+1$ 부터 k 까지의 단간의 링크들이 점유되어 있지

않다고 가정한다. 그리하여, 단간 링크의 블럭킹확률은 다음과 같이 된다.

$$p = \begin{cases} \frac{1}{k-d} & 1 \text{에서 } d \text{까지의 링크들} \\ \frac{tn-d}{k-d} & d+1 \text{에서 } k \text{까지의 링크들} \end{cases} \quad (2)$$

따라서 콜 패킹시의 블럭킹확률(P_{BC})은 다음과 같다.

$$P_{BC} = [1 - (1 - \frac{tn-d}{k-d})^2]^{(k-d)}, 0 \leq d < tn \quad (3)$$

d 는 콜 패킹으로 인해 완전히 점유된 중간 스위치의 수이기 때문에 콜 패킹의 정도를 나타낸다. 1부터 d 까지의 단간 링크들이 항상 점유되어 있다는 가정은 다소 이상적이다. 링크들의 상태는 실제로 연결요구의 분포에 의존하므로 예측이 불가능하다. 그러나, 콜 패킹을 도입하면, 그 단간 링크들이 항상 점유되어 있을 가능성은 매우 높다. 나중에 제시된 시뮬레이션 결과들은 이런 가정이 실제적인 트래픽 조건에서 받아들여 질 수 있다는 것을 보여준다. III-2절에서, 콜 패킹의 정도 d 는 트래픽과 네트워크 크기의 관점에서 예측된다. $d=0$ (콜 패킹이 없음)일때, (3)은 랜덤 라우팅의 (1)로 된다.

2. 콜 패킹 정도의 결정

콜 패킹 전략이 채택되어졌을때 콜 패킹의 정도 d 는 실제적인 블럭킹확률을 얻기 위하여 결정되어져야 한다. d 는 분명히 네트워크와 트래픽 크기에 대한 함수이다. d 를 결정하기 위해서, 중간 단에 있는 k 개의 스위치들 상의 입력 트래픽의 분포를 알고 있어야만 한다. 그러나, 이 분포를 예측하는 것은 불가능하다. 분포를 알수는 없지만 각 입력이 균일하고 독립적인 분포라고 가정한다. 그리고 중심 제한 이론(central limit theorem)을 사용하여 중간 단에 있는 스위치들간의 호출의 분포가 정규분포가 된다고 말할 수 있다. 따라서 정규분포의 확률 밀도 함수의 곡선 아래 영역을 사용하여 콜 패킹의 정도를 결정할 수 있다. 그 영역은 평균 0과 분산 1을 갖는 정규 랜덤 변수를 사용하여 다음과 같이 결정된다.

$$Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^\infty e^{-t^2/2dt} \quad (4)$$

위에 있는 적분은 닫혀있는 형태의 해를 갖지 않는다. 전통적으로 적분들은 $Q(z)$ 리스트에 대한 테이블을 참조함으로써 또는 수치적 계산을 요구하는 근사법을 사용함으로써 계산되어졌다. 만일 중간 단에 k 스위치 노드들이 존재한다면, 그때 총 트래픽 중에서 첫단에 있는 SE에서 중간단에 있는 s 번째 있는 SE로의 가는 부분, G_s 는 다음과 같다.

$$G_s = 2\{Q(\frac{X}{k}S-1)\} - Q(\frac{X}{k}S) \quad (5)$$

이론적으로, X 는 무한대이다. 그러나 위의 등식에서 그런 X 를 사용하는 것은 실제적으로 불가능하다. 그러므로 계산을 위해 $Q(x)$ 를 매우 작게하는 X 의 값을 선택해야만 한다. 예컨대, X 가 5.0일때 $Q(x)$ 는 0에 근사한 2.87×10^{-6} 이 된다. 따라서 x 의 값으로 5.0이 사용된다. 한 링크 상의 트래픽은 1보다 더 클수 없기 때문에 G_s 가 1보다 더 클때 G_s 를 1로 수정해야 한다.

마지막으로, d 는 $G_s (1 \leq s \leq m)$ 의 합으로 구해진다. 여기서 m 은 G_s 가 1보다 더 작게 되는 가장 작은 정수이다. (4)와 (5)로 부터 d 는 트래픽 t 네트워크 크기 n 과 k 의 함수임을 알수 있다. 위에서 구한 해석적 모델에서 어떠한 양수도 d 값이 될 수 있다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

여러가지 트래픽 조건과 라우팅 기법에 대한 클로스 네트워크의 성능은 앞에서 전개된 모델을 사용하여 평가되고, 그 정확성은 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 입증된다. 먼저, 시뮬레이션에 사용된 방법이 논의된다.

1. 시뮬레이션 방법

시뮬레이션은 포아송 도착과 지수의 지속시간을 갖는 텔리 트래픽을 시뮬레이션 하기위하여 제안된 Kosten의 roulette방법⁽⁴⁾을 사용했다. 유한 소스 트래픽이 시뮬레이션되는데 이는 자유로운 입력에 대한 평균 도착율은 고정된다는 것이다. 결과치에 대한 누적시작되기 전에 통계상의 평형상태에 이르는 시뮬레이션이 되도록 하기위하여 200,000사건들로 구성

된 각각의 시뮬레이션은 20번 반복되고 각 시뮬레이션에서 50,000사건은 무시된다. 그 결과들은 0.95 신뢰구간으로 평가된다.

2. 제안된 모델의 분석

그림 2에서 제안된 모델에 의한 (10,10,10) 클로스 네트워크가 고찰된다. 이 그림은 랜덤 라우팅과 콜 패킹인 경우에 대한 시뮬레이션과 분석적 모델로부터의 데이터를 보여준다. 또한 95% 확신을 갖는 신뢰구간으로 나타냈다. 기대한대로 콜 패킹의 정도 d 가 증가함에 따라 블러킹확률이 감소함을 알 수 있다. 또한 입력 점유율이 증가함에 따라 블러킹확률에 대한 d 의 영향이 점점 작아짐을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 랜덤 라우팅에 대한 제안된 모델의 중요한 특징 중의 하나는 보수적인 추정을 한다는 것이다.

그림 3은 (11,10,10) 클로스 네트워크에 대한 결과를 보여준다. 그 결과들은 블러킹확률이 더 작다는 것을 제외하고는 (10,10,10)의 결과와 유사하다. 예측된 콜 패킹의 정도 d 를 사용한 (11,10,10) 네트워크에 대한 블러킹확률을 그림 4에 나타냈다. 제안된 모델의 결과들이 연구된 전범위에 대해 매우 정확하다는 것을 주시하자.

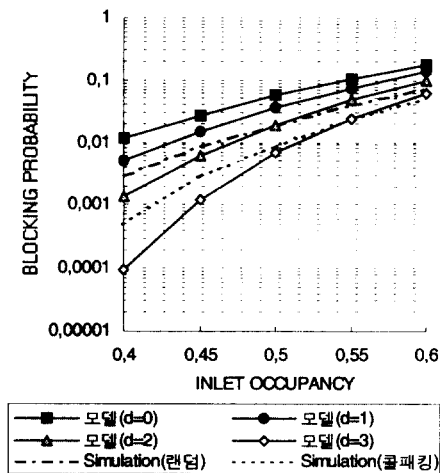


그림 2. (10,10,10)네트워크 성능

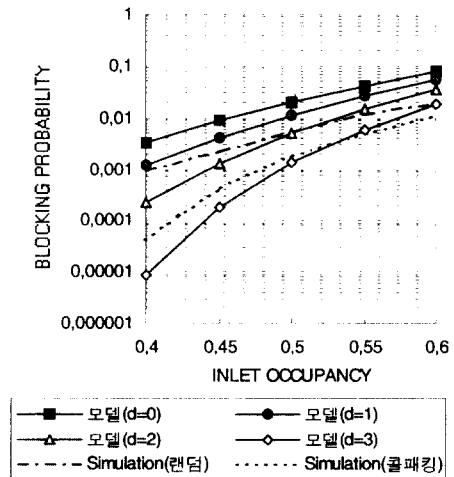


그림3. (11,10,10)네트워크 성능

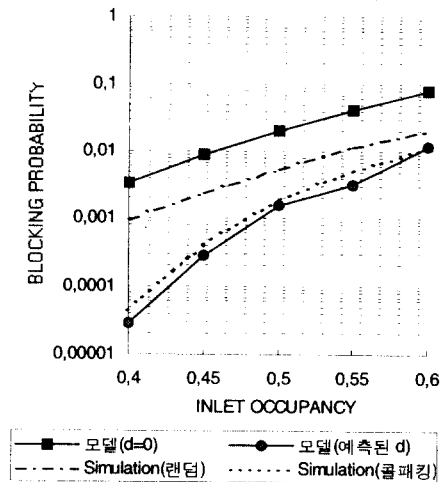


그림4. (11,10,10)네트워크의 성능

V. 결론

클로스형 스위칭 네트워크의 성능이 블러킹확률 관점에서 모델되고 평가되어 졌다. 클로스형 스위칭 네트워크의 블러킹확률을 줄이기 위하여 콜 패킹기법이 가장 효율적이고 가능한 라우팅 기법으로 고려된다. 이 논문에서, 랜덤 라우팅 및 콜 패킹 라우팅 기법을

평가하기 위하여 분석적 모델을 제안했다. 향후 연구 주제는 여기서 제안된 모델을 일반적인 다단 상호연결 네트워크[5]에 적용하는 것이다.

참 고 문 헌

1. C. Clos, "A Study of non-blocking switching networks," Bell Syst. Tech. J., vol. 32, pp. 406-424, Mar. 1953.
2. M.H. Ackroyd, "Call repacking in connecting networks," IEEE Trans. Commun., vol. COM-27, pp. 589-591, Mar. 1979.
3. C.Y. Lee, "Analysis of switching networks," Bell Syst. Tech. J., vol. 34, pp. 1287-1315, Nov. 1955.
4. L. Kosten, "Application of artificial traffic methods to telephone problems," Teletechnik, p. 107, 1957.
5. Y. Mun and H.Y. Youn, "Performance analysis of finite buffered multistage interconnection networks," IEEE Trans. Comput., vol. 43, no. 2, pp. 153-162, Feb. 1994.



문 영 성(Youngsung Mun) 정회원

1960년 1월 27일생

1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 졸업(학사)

1986년 6월: 캐나다 알버타대 전자공학과 졸업(석사)

1993년 8월: 텍사스주립대(Arling-

ton) 컴퓨터학과 졸업(박사)

1987년 7월~1994년 2월: 한국통신 전임연구원

1992년 11월: 미국 Supercomputing 학술대회 최우수 학생논문상 수상

1994년 3월~현재: 숭실대학교 컴퓨터학부 조교수

*주관심분야: Mobile IP, IP over WATM, MANET