

## 다중 전송 다단계 네트워크에 관한 연구

조석팔\*

### 요 약

본 논문은 다중 전송 비-블록킹 다단계 네트워크구성에 관한 방안을 검토하고 네트워크 확장으로 인하여 발생되는 문제점을 도출하여 바람직한 방안을 제시하고자 한다. 다단계 네트워크 노드의 확장은 단계가 증가할수록 그 교차점은 지수함수 적으로 증가한다. 따라서 이에 따른 비용대비 최적 값을 찾아 다중 전송에 적용하고 접속 알고리즘의 속도개선에 대한 개선안을 마련코자 한다. 특별히 다단계 네트워크의 반복적인 확장에 초점을 맞추어 최신 정보에 대한 검토 및 몇 가지의 주제를 단순화 하고 명확화 하는 것에 연구의 초점을 맞추었다.

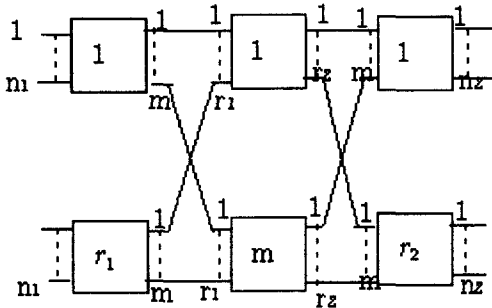
### 1. 개요

다중전송 정보전달에 있어서, 입력되는 정보가 전달되기 위해서는 각 스위치의 출력지점의 채널을 요청한다. 이때 만약 그 수를  $f$ 로 표기하여 기술한다면, 이는  $f$ -전송 정보 전달이라고 할 수 있다. 만약 그 수가 제한되지 않는 상태일 경우라고 하면 이는 순간 순방향 일괄 정보전송 이라고 할 수 있다. 일반적으로 다중전송방식의 정보 전달이 순차적으로 진행된다고 가정하면,  $(i, O)$ 를 다중정보 전송의 채널이라고 할 수 있으며 여기서  $i$ 는 입력이고  $O$ 는 타 사용자로부터 점유되어 사용되어지지 않는 상태로 사용가능한 출력을 의미한다. 그래서 출력  $O$ 은 다른 입력과 연결되어 출력으로 나타날 수 없음을 의미한다. 그러나  $i$ 는 모형에 따라서 사용되지 않는 상태일 수도 있고 사용 중인 상태일 수도 있으나 만약  $i$ 가 사용상태가 아닌 경우 이를 점유가능한 정

보채널이라고 호칭하고, 만약  $i$ 가 사용중일 경우는 이를 점유된 정보채널로 호칭한다. 후자인 경우는,  $i$ 로부터 입력되는 많은 호출 정보를 동일한 메시지로 운반방법을 적용하여야만 한다. 여기서 입력되는 모든 정보는 항상 동일한 입력으로부터 입력되는 호출 정보로 결합 할 수 있기 때문에 점유 가능한 정보단자와 점유된 정보단자 사이에 어떤 다른 상태가 존재하지 않는다.

다단계 접속 네트워크에 있어서 각 단계는 동일한 교차지점으로 구성된다. 그리고 인접 단 사이에만 교차점이 존재한다. 그래서 입력 스위치의 입력 링크의 수를  $n_1$ 으로 표시하고 출력 스위치의 링크를  $n_2$ 로 표시하면 입출력 스위치의 수는  $r_1(r_2)$ 이다. 그래서  $N_1 = n_1 r_1$ 은 네트워크 입력의 수이고  $n_2 r_2$ 는 네트워크의 출력의 수이다. 네트워크에 관해서 발표된 자료는 대부분 다단계 접속에 관한 상호접속 네트워크이다. 그러나 여기서는 3단계 상호접속 네트워크  $C(n_1, r_1, m, n_2, r_2)$ 을 중심으로 검토하고자 한다. 여기서  $m$ 은 중간 단계 스위치들이다.

\* 성결대학교 정보통신 공학부 교수



(그림 1) 3단계 네트워크

$n_1 = n_2 = n$ ,  $r_1 = r_2 = r$  인 대칭적 3단계 네트워크  $C(n, m, r)$ 로 표시한다. 여기 3단계 네트워크는 주어진 단계에서 각 스위치를 교체함으로써  $(2k+1)$ 단계 네트워크로 반복적으로 확장시킬 수 있다.

따라서 비-블록킹 네트워크에서는 서로 다른 입력들이 링크-입력 경로를 가지는 모든 호의 요청을 받아들여 접속시킬 수 있다. 비-블록킹에는 3단계의 등급이 존재한다. 비-블록킹이란 의미는 종전 호의 요청이 어떻게 접속되었던지 간에 항상 호의 요청이 있을 때 마다 지연이나 대기상태가 없이 바로 접속시킬 수 있다는 의미이다. 이 경우 호의 요청에 대한 접속은 경로설정 알고리즘에 의하여 항상 접속되어 질 수 있다. 이는 기존의 접속 경로의 재설정이 가능하여 항상 호 요청에 대한 접속이 이루어 질 수 있을 때

이를 재배열 비-블록킹으로 호칭한다. 재배열 비-블록킹을 설명하는 또 다른 방법은 스위칭 시스템에 입력되는 모든 호의 요청에 대한 경로 설정이 동시에 이루어 질 수 있다는 것이다. 표준 경로에 대한 비-블록킹과 재구성을 통한 비-블록킹[1]에는 동일한 변수가 있지만 여기에서는 논하지 않기로 한다.

우선 3단계 접속 네트워크상에 다중 전송 즉, 단단계 상호 접속 네트워크의 개념[2]을 소개하고자 한다. 여기서는 매우 강력한 재배열 비-블록킹 네트워크에 대한 충분조건을 갖추었다고 가정하는 전제조건을 제시한다. 그러나, 비-블록킹 결과는 경로설정이 다중전송 호의 요청에 동일 출력 스위치로 경로 설정 시 공유한다는 가정을 하기 때문에 이는 넓은 의미의 광역 비-블록킹이다. 실제 실행과정은 비-분리 규정으로 정의 되어 있으며, 이를 경로 설정 알고리즘으로 정의한다. 비-분리 규정을 사용한 일괄전송 정보를  $r_2$ -전송 정보로 처리할 수 있다.

다른 네트워크와의 비용을 비교하기 위해서 비록 현실적인 비용 비교 방법은 아니지만 교차점의 수를 측정하는 방법이 매우 바람직하다. 이러한 비교과정에서 매개 변수의 수를 줄이기 위해  $N_1 = N_2 - N$  으로 가정한다.

특히 3단계 접속 네트워크에서 다중전송 단단계 상호 접속 네트워크는 비데오 컨퍼런싱,

<표 1> f- 전송 강력 비-블록킹 Clos 네트워크

확장성	정보모형	필요충분 조건
모든 단계에서 확장능력	점유가능 점유불가	$m \geq \min (n_1 - 1)f + n_2, (N_1 - 1)f + 1, N_2$
단계 1에 비-확장	점유가능 점유불가	$m \geq \min N_2 - r_2 + (n_1 + n_2 - 1)/n_2, N_1$ $\infty$
단계 2에 비-확장	점유가능 점유불가	$m \geq \min (n_1 - 1)f + n_2 - 1 + \min f, r_2, (N_1 - 1)f + \min f, r_2, N_2$ $m \geq \min n_1 f + n_2 - 1, N_1 f, N_2$
단계 3에 비-확장	점유가능 점유불가	$m \geq \min (n_1 - 1)f + n_2, (N_1 - 1)f + \min f, n_2, N_2$

VOD, 전자 상거래, 병렬처리 등 여러 분야에서 폭넓게 사용되고 있다. 본 연구는 다중 전송 비-블록킹 네트워크에 초점을 맞추고 있으며 일반적인 용어 정의는 [3]에서 언급하였다.

## II. 강력한 비-블록킹

다중전송방법에 있어서 강력한 비-블록킹방법에 대하여 기초적인 실험을 통하여 그 성능결과를 증명하였다. 이 비-블록킹 네트워크의 다단계 상호접속은 네트워크로 구성된 것만은 아니다.

논리1; 항상 점유가능 한 일괄 전송 정보를 가진 강력한 비-블록킹 네트워크는 최소의 교차점점  $O(N^2)$ 를 가지며  $N \times N$ 점점은 강력한 일괄전송 유형의 비-블록킹이다. 여기서  $N^2$ 교차점을 가지므로 비용절감 및 다중전송을 위해 강력한 비-블록킹 네트워크 구성에 대한 시도는 어렵지만  $f$ -전송 네트워크에 비해 비용은 절감할 수 있다.

비록 3단계 네트워크상에 충분조건[2]이 충족된다 손 치더라도 진정한 필요충분 조건은 아니다. 한편 여기에 몇 가지 고려하여야 할 사항은 서로 다른 하드웨어 모형에 관한 것이다. 기본적으로 네트워크의 교차지점은 점-대-점 접속에 대한 확장 능력을 가지고 있으나 확장 능력이 없는 스위칭시스템은 그 제한을 두는 것이 바람직하다. 추측컨대 이러한 크로스바 유형의 교차지점을 가지는 방법은 단순한 제어구조로서 보다 적은 하드웨어로 구성되어 있어서 비용적인 측면에 있어서 매우 효과적이다.

여기서 모형  $i, i=1,2,3$  은 단계  $i$ 가 확장 능력을 가지고 있지 않다는 것을 나타내며 모형

0는 모든 단계가 확장능력을 가지고 있다는 것을 나타낸다. 특별히 입력과 출력에 대한 경계 효과를 고려하여 서로 다른 조건에 대해 필요충분조건을 얻기란 매우 번거롭다 최근에 필요충분조건을 충족하기 위해서 일관된 접근이 시도 되었으며 이는 검증 시 매우 단순화 하고자 하는 의도이다[3]. 더욱이 이러한 접근이 위의 4가지 비-블록킹 모형에만 작용하는 것이 아니라 폭 넓은 의미의 광역 비-블록킹 모형에도 작용한다. 우선 표 1에서는 강력 비-블록킹 모형에 대하여 확인된 사항을 나타내고 있다. 이는 논리 2의  $O(N^2)$ 보다 비용이 더 많이 든다는 것을 확인 했다. 그래서 이경우는  $f$ 를 제한하여만 한다.  $f=r_2$ 에 대해서, 표 1의 모든 강력 비-블록킹 네트워크는  $n_1 = O(N^{1/3})$ 과  $n_2 = O(N^{2/3})$ 를 설정하는  $O(N^{5/3})$ 접점이 필요하며 모형 1은  $O(N^2)$ 접점이 필요하다.  $C(n, m, r)$ 에 대한 모든 모형은  $O(N^2)$ 접점이 요구된다.

## III. 광역 비-블록킹

다중 전송 다단계 상호접속 네트워크의 경로 설정 알고리즘은 일반적으로 3가지 등급이 있다. 여기 0-1 확장 등급은 경로설정 알고리즘이 각 단계에서 확장을 허용하는지 아니하는지에 따라 특성화되어진다. 특히 주목할 것은 하드웨어 구조에서 크로스바가 최대 확장단계일 때 그 결과는 강력 비-블록킹이다. 크기 확장 등급은 각 단계에서 확장규격에 따라 특성화되어지며 윈도우 등급은 다중 전송 요청에 의한 분할 규격에 따라 특성화되어진다.

첫 번째의 광역 비-블록킹 알고리즘과 같은

0-1 확장 알고리즘은 3단계로 구성된 네트워크에서의 비-분할 알고리즘이다. 이것은 광역 비-블록킹에 대한 충분조건을 제공하고 있으며 통일된 접근방식이 표1에서와 유사한 필요충분조건을 얻기 위해 소개되었다.

출력 스위치의 확장능력을 추가한 비-분할 규정은 하나의 경로로 통하여 f-전송 호를 동일한 출력 스위치에 있는 모든 출력채널에 접속할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서  $f_2 > r_2$ 는  $f_2 = r_2$ 로 줄일 수 있다. 그러므로 비-분할 규정 따른 비용은 표1에서  $f_2 = r_2$ 를 가진 강력 비-블록킹 네트워크와 유사하다.

01 확장 등급이 강력 비-블록킹 결과에 의해 구분되어지는 반면, 크기 확장 등급은 재배열 비-블록킹의 결과에 의해 구분되어진다[5]. 이러한 알고리즘은 나중에 입력단계에서 확장규모를  $n_2$  나  $\log_2 n_2$ 의 상한 경계로 설정하는 넓은 의미의 광역 비-블록킹 알고리즘으로 설명되어질 수 있다[3].

또한, 크로스바 교차점 최 끝단을 p가 되도록 입력 단계에서 확장규모를 제한하는 확장규모 알고리즘이 제안되었다. 이는 목시적으로 비-분리 규정에 의하여 다음과 같이 설명할 수 있다.

논리2:  $C(n_1, r_1, m, n_2, r_2)$ 는

$m > (n_1 - 1)p + (n_2 - 1)f^{1/p}$  일 때 p-제한 경로 설정 하에서 점유된 정보채널에 대한 광역 f-전송 비-블록킹이다. p-중간 스위치의 정확한 설정은  $O(n_2 f)$  시간임을 발견할 수 있으며 p에 대한 최적의 선택은  $f/2 \log \log f$ 이다.  $f = r_2$  지점에서, 교차점의 수는  $O(n_1) = O(n_2) = O(N^{1/2})$ 으로 설정함으로써 최종결과 값으로 얻어진  $O(N^{3/2} \log r / \log \log r) = O(N^{3/2} \log N / \log$

$\log N)$ 이 된다. 여기서 보여준 것은 이것을  $(2k+1)$  단계에서 3단계 네트워크로 확장하고 그리고 교차점의 수는 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$O(N^{1 + \frac{1}{(k+1)}} [\log N / \log \log N]^{(k+2)/2 - 1(k+1)})$$

첫 번째 단계는 집중기로 구성되도록 하고 두 번째 단계 네트워크를 고려하여  $r_1 \times N_2$  크로스바로 구성한다. 이러한 구성에 있어서 각 입력단은 정확히 두 개의 인접부분과 공유한다. 경로 설정 알고리즘은 첫 번째 단계에서 확장을 허용하지 않으며 집중기의 출력은 선택된 부분이 너무 많은 정보량을 발생하지 않도록 경로 설정을 시도하는 것이 바람직하다. 여기서  $O(N^{5/3})$  교차점을 가진 다중전송 광역 비-블록킹 3단계 네트워크가 구성될 수 있게 하는 것을 보여주고 있다. 그리고  $O(N^{3/2})$  교차점을 가진 5단계 확장 및  $O(N^{1+1/s} (\log N)^{1-1/s})$  교차점을 가진 s-단계 확장도 가능하다.

다른 방법 중 한 가지는,  $N = 2^n$  출력을 그룹이라고 호칭하는 윈도우로 분할함으로써 다중  $\log_2 N$  네트워크상에서 첫 번째 윈도우 알고리즘을 제시하고 있으며 단계  $[n/2] + 1$ 에서 동일한 스위치 세트  $2^{[n/2]}$  출력을 구성할 수 있음을 의미하고 있다. 다중전송 호의 요청은 동일한 윈도우로부터 출력이 동일한 호의 요청으로 분할될 수 있다. 이 경우 동일한 입력으로부터 요청되는 호는 마치 이들 입력이 다른 입력으로부터 입력된 것처럼 분할 경로를 가진다. 여기서 다른 것과 비교하여 윈도우 크기를 가변적으로 하여 확장시키는 방안도 제시되고 있다. 그러나 교차점의 수는  $o(n^2 \log N)$ 이 된다.

이와 같이 본 논문에서는 앞에서 언급한 것을

3단계 노드를 가진 네트워크 상에서 윈도우 알고리즘을 적용하였으며 필요충분조건을 얻기 위해 동일한 접근을 시도하였다. 그리고 여기  $\sqrt{\gamma}$  는  $C(n, m, r)$  에 대한 윈도우 크기의 최적의 근접 선택임을 나타내고 있으며 한편  $m \geq (2n-1)\sqrt{\gamma}$  는 필요충분조건이다.

여기서  $C(n, (2n-1)\sqrt{\gamma}, r)$  에  $n = O(N^{1/2})$  을 설정함으로써  $O(N^{7/4})$  를 얻을 수 있다는 사실에 주목할 필요가 있다. 윈도우 크기를  $r_2$  로 설정함으로써 윈도우 알고리즘은 모형 1에 경로설정과 동일하다. 윈도우 크기를 1로 설정할 경우 윈도우 알고리즘이 분할 규정이 적용되지 않는다는 사실을 제외하고는 모형 2에 경로 설정과 동일하다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 윈도우 알고리즘은 두 개의 모형을 접합할 수 있다.

#### IV. 재배열 비-블록킹

여기서는 다중전송 재배열 비-블록킹  $C(n_1, r_1, m, n_2, r_2)$  에 필요충분조건을 제공하고 있으며 필요조건과 충분조건이 되도록 개선안을 제시하고 있다.

논리3: 모형 2에서는  $C(n_1, r_1, m, n_2, r_2)$  이  $m \geq \min n_1 f, N_2, m n_2, N_1$  일때  $f$ -전송 재배열 비-블록킹 될 수 있다.  $f = r_2$  에 있어서 네트워크는  $n_1 = O(N^{1/3})$  와  $n_2 = O(N^{2/3})$  를 설정함으로써 교차점  $O(N^{5/3})$  을 가지게 되며 대칭적인 네트워크에  $O(N^2)$  교차점이 필요하다는 사실에 주목할 필요가 있다.

강력 비-블록킹 경우와는 달리, 재배열 비-블록킹의 필요충분조건은 모형 0, 1, 3에 대하여 알려져 있지 않으며 모형 1에 대한 비용 네트워크는  $O(N^{7/4})$  이다. 앞에서 언급한 바와 같이 모형 0에 대한 재배열 비-블록킹 결과는 실제로로 광역 비-블록킹 결과와 같다. 3단계 네트워크나  $s$ -단계 반복확장에 대한 비용은 동일하게 매우 높다.

여기서 추측하는 바로는 모형 1에 있어서,  $C(n, 2n, r)$  은 2-전송 재배열 비-블록킹이 된다. 이러한 추정에 근거한 연구결과는 강력한 비-블록킹 형의 점-대-점 네트워크가 이중 전송 호에 대한 재배열 비-블록킹형과 유사한 결과를 제공하고 있음을 나타내고 있다[10]. 또한 추정되는 바로는 점-대-점 호  $(i, j)$  는 재배열 없이 항상 경로설정이 가능하다. 그 이유는  $(n-1)$  공동 입력 또는 공동 출력이 점-대-점으로 이중-전송과 무관하게 대부분  $n-1$  중간 스위치를 점유하고 있기 때문이다. 또한 이러한 것은 모형 1에서만 가능하다는 것이 주목할 만한 사항이다 [11].

$n_1 \geq n_2$  인 3단계 비대칭 네트워크의 개념을 확장해 보면,  $n_1 < n_2$  일 때  $n_2 = 2, n_2 = 3$  라는 것이 증명된다[12]. 여기서 다중-전송 호의 요청이 이중-전송 호의 요청을 취급하지 않는다는 것을 고려하고 있다. 입력 스위치의 크기가  $1 \times k (k \leq m)$  인 경우 3단계 네트워크와 수학적으로 동일하므로 첫 번째 2단계 간의 연결은 완전한 이중 분할 구조가 아니다. 그리고  $M_i$  의 입력 단에 각 중간 스위치의 입력링크에 입력  $i$  를 배정함으로써 실제로 입력단의 삭제가 가능하다. 이것을 2단계 네트워크라고 한다. 다른 3단계 네트워크와 비교하여 보면, 각 입력 스위치가 분할 될 수 있기 때문에 비록 첫 번째 단계에

서 교차점이 계산되지 않는다고 하더라도 3단계 네트워크로 취급할 수 있다.

서로 다른 출력 스위치 상에 출력이 각 단계의 첫 번째 링크와 경쟁될 수 있다는 것이 주목할 사항이다. 그러나 2 단계 네트워크에 있어서, 각 단계의 첫 번째 링크는 입력에 전용으로 할당되어 있으며 경쟁상태가 아니다. 그러므로 오로지 하나의 출력 스위치로만 재배열 비-블록킹 조건을 충족시킬 수 있다. 첫째 2단계 사이를 연결하는 꼭지점을 B로 표시할 경우, 네트워크는 B가 용량  $n_2$ 의 분할집중기 일 때 재배열 비-블록킹이라 할 수 있다. 여기서 교차점의 수는  $k$ 의 함수로서  $n_2$ 에 의존하므로  $O(N^{7/4})$ 을  $O(N^{5/3})$ 으로 가정할 수 있다.

## V. 결론

다중전송 비-블록킹 다단계 상호 접속 네트워크에 대한 연구조사의 한 방법으로서 3단계 네트워크에 초점을 두고 현재까지 집중 검토하였다. 몇 가지 관심사항과 발견된 중점 사항은 첫째, 많은 다중전송을 위한 강력 비-블록킹과 광역 비-블록킹 모형에 대한 필요충분조건에 대한 계산을 통일시킬 필요가 있다는 것을 확인하였으며, 둘째로, 서로 상관관계가 낮은 모형을 상호 결합하는 방안으로서는 경로 설정알고리즘을 이용하여 새로운 등급과 윈도우 등급의 설정이 필요하다는 사실을 확인하였다. 이러한 과정을 통하여 모형 1에 있어서 이중-전송에 대한 최근의 진행사항 검토 및 분석에 관한 것이 도출되었다. 그래서 여기서 몇 가지 제시하고자 하는 것은 3가지 등급의 경로설정 알고리즘을 분류함으로써

다중전송을 위한 광역 비-블록킹 3단계 네트워크를 연구하기 위한 보다 체계적인 노력과 연구가 이루어져야 할 것이다. 특별히 입력단계의 확장 규모는 하드웨어 구조에 종속된다는 것을 확인하였다. 모형1에 있어서 재배열 비-블록킹 네트워크에서 점-대-점 접속을 통한 정보에 대하여 강력 비-블록킹 요구사항을 만족하기 위해서는 향후 분야를 세분화하여 연구할 필요가 있음을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] G. M. Masson and B. W. Jordan, Jr. Generalized multistage connection Networks, *Networks*, 2, 1972.
- [2] F. K. Hwang, *The mathematical theory of non-blocking switching networks*, World Scientific. Singapore, 1998.
- [3] F. K. Hwang, *A unifying approach to determine the necessary and sufficient conditions for nonblocking multicast clost networks*, Preprint, 2002.
- [4] J. Friedman, A lower bound on strictly nonblocking network, *Combinatorica*, 8, 1988, pp.180-189.
- [5] D. G. Kirkpatrick, M. Klawe, and N. Pippenger, Some graph-coloring theorems with applications to generalized connection networks, *SIAM J. Alg. Disc. Methods*, 6, 1985, pp.570-580.
- [6] G. M. Masson, Nonblocking broadcast switching networks, *IEEE Trans. Comp.*, 44, 1995, pp.1168-1179.

- [7] P. Feldman, J. Friedman, and N. Pippenger, Wide-sense nonblocking networks, *SIAM, J. Disc. Math*, 1, 1988, pp.158-73.
- [8] Y. Tscha Yet another result on multilog networks, *IEEE Trans. Commun.*, 47, 1999, pp.1426-1432.
- [9] W. Kabacinski and G. Danilewicz, Wide-sense and strict sense nonblocking operation of multicast multilog networks, *IEEE Trans. Commun.*, 6, 2002, pp.1025-1035.
- [10] F. K. Kwang, and C. H. Lin, Broadcasting in a three-stage point-to-point nonblocking network, *Int'l J. Rel. Qual, Safety Eng.*, 2, 1995, pp.260-268.
- [11] D. Z. Du and H. Q. Ngo, An extgension of DHH-erdos conjecture on cycle-plus-triangle graph, *Taiwanese J. Math*, 6, 2002, pp.260-268.
- [12] L. D. Tong, *Strictly non-blocking 3-stage clos network with some rearrangeable multicast capability*, Preprint, 2001.

## A study on multistage nonblocking network

Sok-Pal Cho\*

### Abstract

In multicast traffic, an input can request to connect to up to a certain number of outputs. This reviews the multicast nonblocking multistage interconnection networks. In a multistage interconnection network each stage consists of crossbars of the same size. This paper focuses on the three-stage network and its recursive extensions. Not only will this article bring the literature upto date, but it also will provide some fresh viewpoints to either clarify or simplify some issues.

Key words : network, multicast traffic, multicast interconnection

---

\* Dept. of Computer Communication Eng., Sungkyul University.