다단계 네트워크에서 웜홀 라우팅 방식의 효율적인 멀티캐스트 알고리즘 연구

김소은[†] · 김창수[††] · 최계현[†††]

요 약

본 논문은 양방향 스위치(bidirectional switchs)를 가진 다단계 상호연결망(MIN, Multistage Interconnection Network)에서 중첩된 목적지 노드로 다중 메시지를 전송할 때 야기되는 스위치간의 블럭킹(blocking)을 최소화하기 위한 알고리즘을 제시한다. U-MIN(Unicast MIN) 알고리즘[4]에 의해 제시되었던 다중 전송 트리는 하나의 소스 노드로부터 여러 개의 목적지 노드로 메시지를 전송하는 단순한 멀티캐스트를 수행하는데 있어서는 매우 유용하지만, 다중 멀티캐스트를 수행하는데 있어서는 심각한 채널 경쟁을 야기한다. 따라서 간접통신망에서 동시에 같은 목적지 노드를 가진 멀티캐스트가 발생했을 때 기존의 U-MIN 알고리즘에서 발생하는 심각한 채널 경쟁을 최소화하기 위한 방법으로 본 논문에서는 SPU-MIN(Source Partitioned Unicast MIN) 알고리즘에 의한 새로운 멀티캐스트 트리를 제시한다. 본 논문에서의 메시지 전송 방법은 웜홀 라우팅 기법에 기반한 반전(turnaround) 라우팅 알고리즘을 이용한다.

A Study on The Efficient Multicast Algorithm of Wormhole Routing Method in Multistage Networks

Soeun Kim[†], Changsoo Kim[††] and Gyeahyun Choi[†††]

ABSTRACT

We present a new algorithm to minimize channel contention while sending multiple messages from multiple source to overlapped destination set on Multistage Interconnection Network (MIN) which supports wormhole routed turnaround routing.

The multicast tree of the U-MIN(Unicast MIN) algorithm is useful in performing messages from one source to multiple destination but gives rise to a serious channel connection in performing multiple multicast because it has been designed for only single multicast. For multiple multicast communication on MIN, we address how to implement multiple multicast services efficiently. And a SPU-MIN(Source Partitioned Unicast MIN) algorithm is proposed and shown to be superior than the U-MIN algorithm for multiple multicast. The turnaround routing algorithm based on wormhole routing technique is employed as a message sending method.

1. 서 론

최근 들어 멀티미디어를 이용한 응용분야들이 활발히 연구되면서 상호 연관된 정보의 전송량이 급증하게 되었다. 이는 병렬처리 시스템에서 여러 개의 프로세스들이 상호 연관되어 수행될 때 관련된 프로세서의 수는 점차 증가하게 된다. 이와 같이 많은 수의 프로세서들이 자원을 공유하고 상호 메시지 교환을 통해 프로그램을 실행하는 시스템에서는 병렬처리로 인한 오버헤드를 최소화시켜야만 성능향상을 기대할 수 있다. 이러한 특성으로 인해 최근 멀티캐스트 망(multicast networks)에 대한 중요성이 특히

본 논문은 '98년도 부경대학교 귀뚜라미문화재단 연구비에 의해 연구되었음

† 부경대학교 특성화사업단 정보화담당 전임연구원
†† 부경대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부 부교수
††† 성심외국어대학 경영정보학과 겸임교수

강조되고 있으며 또한 대규모의 병렬 컴퓨터는 많은 수의 노드로 이루어지기 때문에, 경우에 따라서는 여러 개의 소스 노드로부터 중첩된 목적지 노드들로 동시에 각각의 멀티캐스트가 일어나는 경우가 발생한다. 이때, 병렬 컴퓨터의 효율적인 메시지 전송을 위해서는 중첩된 목적지 노드들로 인해 발생하는 채널 경쟁을 최소화하고 동시에 메시지를 신속하게 전송하기 위한 효율적인 방법[1-4]이 제시되어야 한다.

다목적용 병렬컴퓨터의 상호연결망 시스템에서는 프로그램들이 처리되는 과정에서 발생하는 프로세서간 통신의 여러 가지 패턴들에 대해 동작 특성에 따라 라우터를 기본으로 한 직접통신망(router-based direct network)과 스위치를 기본으로 한 간접통신망(switch-based indirect network)으로 분류된다[5].

직접통신망은 단일전송 메시지 패싱 시스템(unicast message-passing system)에서 다중 멀티캐스트를 구현하기 위해서 임의 노드들 사이에 라우터를 이용한 고정된 직접 연결 경로를 가지므로 특정 패턴들에 대한 통신이 매우 비효율적으로 이루어질 수 있다. 이에 반해 동적 상호 연결망으로서의 간접통신망은 임의의 스위치에 의해 두 노드 사이의 통신을 제공한다. 따라서 시스템 요소들 간의 연결 경로가 실행시간(run-time) 동안에 다양하게 변경될 수 있으며, 프로그램 실행 중의 통신 패턴과 상황에 따라 필요한 경로를 설정하여 사용할 수 있다. 간접통신망의 각 노드는 통신망 스위치를 연결하는 통신망 어댑터(network adapter)를 가지며 메시지 전송시에 메시지가 목적지에 도착하기 전 여러 개의 스위치를 거치게 된다. 각 스위치는 포트들의 집합을 가질 수 있고, 각 포트는 하나의 입력과 출력 링크로 구성된다.

본 논문은 간접통신망의 규칙적 토폴리지(regular topology)에서 양방향 연결망 스위치들이 여러 단계로 접속된 다단계 상호연결망(multistage interconnection networks, MIN)구조의 채널경쟁을 최소화하는 멀티캐스트 통신[6-10] 방법에 대해 기술하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장은 본 논문이 제시하는 알고리즘과 관련된 시스템 모델 및 관련 연구로 가장 밀접한 U-MIN(Unicast MIN) 알고리즘에 대해 기술한다. 3장은 기존의 U-MIN 알고리즘이 다중 멀티캐스트에서 심각한 채널 경쟁을 유발하기 때문에 이를 수정한 SPU-MIN(Source Partitioned U-MIN) 알고리즘을 제시하고, 4장에서는 기존 연구와의 성능 분석을 비교한다. 마지막으로 전체 내용에 대한 결론을 기술하고 있다.

2. 시스템 모델 및 관련 연구

다중 컴퓨터에서 많이 사용되고 있는 스위칭 기술로서 각 패킷을 flit (flow control digit)이라는 작은 단위로 나눠 파이프라인 형식으로 메시지를 전송하는 웜홀 스위칭(wormhole switching)[11-13] 방식은 교착상태(deadlock)를 회피하기 위해 특별한 주의를 필요로 하는 단점이 있는 반면, 전송 지연(communication latency)을 낮추고 버퍼 요구량(buffer requirement)을 줄임으로써 낮은 전송 지연과 각 라우터와 스위치에서 버퍼 공간의 양이 적게 요구되는 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 웜홀 스위칭 방법을 기반으로 효율적인 다중 멀티캐스터 알고리즘을 제안한다.

2.1 다단계 상호연결망

다중프로세서 시스템 구조는 비동기적으로 동작하는 여러 개의 프로세서들과 독립적인 액세스가 가능한 여러 개의 기억장치 모듈들로 구성되는데, 특히 주기억장치가 어느 한 프로세서에 속해있지 않고 모든 프로세서들에 의해 공유되는 시스템을 공유기억장치 시스템이라 한다. 공유기억장치 시스템의 각 프로세서는 특수 프로그램을 저장하고 있는 적은 용량의 지역 기억 장치를 별도로 가질 수는 있으나, 그 외의 운영체제와 사용자 프로그램 및 데이터들은 공유 기억장치에 저장된다. 따라서 별도의 프로세서간 데이터 교환 메카니즘이 필요하지 않고, 프로그램 실행시간 동안에 각 프로세서들이 처리할 작업들을 동적으로 균등하게 할당할 수 있으므로 프로세서 이용율을 극대화시킬 수 있어서 시스템 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 그러나 프로세서들과 기억장치들 간의 통로(버스 또는 상호연결망)상에 통신량이 많아지기 때문에 경쟁으로 인한 지연 시간이 길어질 수 있으며, 두 개 이상의 프로세서들이 공유자원을 동시에 사용하고자 하는 경우에 충돌이 발생하여 대기 상태에 들어갈 수 있다는 단점을 가지고 있다.

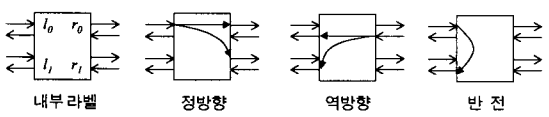
공유기억장치 시스템의 상호 연결구조로서 버스를 이용한 프로세서간 연결방식은 구조는 간단하지만, 시스템 내에 포함될 수 있는 요소들의 수에 한계가 있기 때문에 시스템의 규모가 커짐에 따라 하드웨어가 매우 복잡해져 실제 구현에 많은 어려움이 따른다. 그러므로 본 논문에서는 크로스바 네트워크와 같이 완전한 연결성을 제공해주지는 못하지만, 하드웨어의 복잡성을 줄이면서도 단일-버스 구조보다는 성능을 크게 향상시키고 결함 허용도도 증가시킬 수 있는 다단계 상호 연결망(MIN) 구조를 사용한다.

(1) 스위치 접속 방식

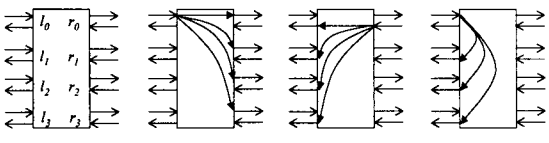
스위치는 다단계 통신망에서 메시지를 전송하는 기본적인 역할을 담당하며, 일반적으로 정방향(forward) 접속, 역방향(backward) 접속, 반전(turn-around) 접속의 세 가지 접속 모드를 가지고 있다.

그림 1은 이와 같은 접속 형태를 가진 k×k 스위치를 나타내고 있다. 그림 1과 같이 k×k 스위치의 왼쪽 포트를 l_i로 오른쪽 포트를 r_i $(0 \le i \le k-1)$로 계수하고, 각 포트는 이웃한 각 스위치들 사이에 반대 방향을 가진 두 개의 단방향 채널로 연결되어 양방향 채널과 같은 역할을 담당한다고 가정한다.

각 포트 상의 입력장치를 *input port* $l_i(r_j)$, 출력장치를 *output port* $l_i(r_j)$로 가정할 때, *input port* l_i가 *output port* r_j로 접속되는 경우 $(0 \le i, j \le k-1)$를 정방향 접속, *input port* r_i가 *output port* l_j로 접속되는 경우 $(0 \le i, j \le k-1)$를 역방향 접속이라 하고, *input port* l_i가 *output port* l_j로 접속되는 경우 $(0 \le i \ne j \le k-1)$를 반전 접속이라 한다. 이때, *input port* r_i가 *output port* r_j로 접속되는 경우 $(0 \le i \ne j \le k-1)$는 없으며, 이러한 특성은 가장 짧은 웜홀 라우팅 패스에 대해 발생 가능한 교착상태를 회피하게 된다[10,14].



(a) 2×2 스위칭 소자



(a) 4×4 스위칭 소자

그림 1. k×k 스위칭 소자의 세가지 접속 방식

(2) 채널 연결 패턴

다단계 상호 연결망에서 이웃한 단계들의 각 스위치 사이의 접속은 채널로 연결된다. 따라서 k×k 스위치를 가진 N-노드 다단계 상호 연결망은 식 1과 같이 표현될 수 있다.

$$C_0(N)\,G_0(N/k)\,C_1(N)\cdots C_{n-1}(N)\,G_{n-1}(N/k)\;\;C_n(N) \quad \text{(식 1)}$$

위의 식 1에서 G_i는 i 번째 단계 (i^{th} stage)를 나타내고 C_i는 i 번째 연결(i^{th} connection) 패턴을 나타내며, 노드 수 $N=k^n$ (n: 단계 수)이 된다. 이때, 스위치가 butterfly 연결 방식에 기반을 둔 다단계 상호 연결망의 스위치 연결 패턴 C_i는 각 단계간의 스위치 포트를 일대일 대응시키기 위해 각 단계에서 정의 1의 i^{th} butterfly순열 β_i^k [5]는 다음과 같다.

<정의 1> 다단계 상호 연결망에서 k-ary butterfly 순열 β_i^k 구성 (단, 0≤i≤n-1)

$$\beta_i^k(x_{n-1}\cdots x_{i+1}x_ix_{i-1}\cdots x_1x_0) = x_{n-1}\cdots x_{i+1}x_0x_{i-1}\cdots x_1x_i$$

$$where\ 0 \le x_i \le k-1$$

정의 1의 i^{th} butterfly 연결 방식은 각 노드의 0^{th}와 i^{th} 인덱스 값을 교환하여 얻어지는 스위치 포트로 채널을 연결함으로써 수행되는 방식이다. 그림 2는 노드 수가 8일 때 β_i^2 $(i=0,1,2)$에 대한 butterfly 연결을 나타내고 있다.

그림 3은 8개의 노드와 양방향 채널을 가진 다단계 상호연결 망(bidirectional MIN)에서 2×2 스위칭 소자들을 이용한 butterfly 연결 망의 예를 나타내고 있다.

여기서 2×2 스위칭 소자들로 구성되는 $G_i(0 \le i \le k-1)$ 단계들 간의 연결은 정의 1과 같은 k-ary butterfly 함수에 따라 이루어지며 본 논문에서는 설명을 쉽게 하기 위해 그림 3에서처럼 각 프로세서 노드들은 통신망의 왼쪽에 위치한다고 가정한다.

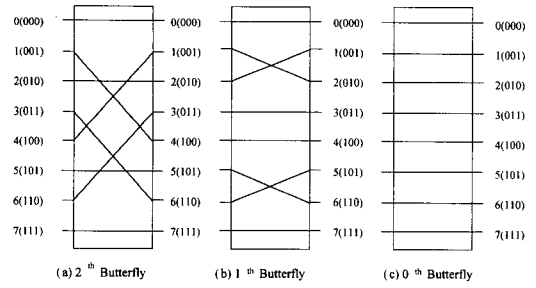


그림 2. N=8 일 때 butterfly 연결 방식

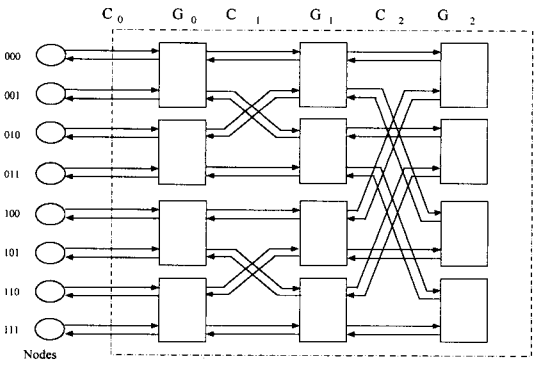


그림 3. 8개 노드의 butterfly 양방향 다단계 상호 연결망

그림 3과 같은 연결망에서 일정 수의 스위칭 소자들은 하나의 그룹(세로 방향으로 나열된 스위칭 소자들)을 형성하게 되는데, 이 그룹을 단계(stage)라고 부른다. 각 단계의 입출력 단자 수는 각 단계를 이루는 스위칭 소자들의 수에 따라 결정되며, 입력 단자들이 임의의 어떤 출력 단자들과도 접속될 수 있도록 하기 위해서 여러 개의 단계들이 직렬로 연결되어야 한다. 이와 같이 여러 개의 단계들로 구성된 상호 연결망을 다단계 상호 연결망이라고 부른다. 다단계 상호 연결망에서 단계의 수와 각 단계를 구성하는 스위칭 소자의 수는 서로 연결될 노드들의 수에 따라 결정된다. N을 상호 연결망의 노드 수라고 했을 때, 단계의 수는 $m=\log_2 N$, 이 되고, 각 단계를 구성하는 스위칭 소자의 수 $s=N/2$ 이 된다. 예를 들어, 8개의 노드로 구성된 다단계 상호 연결망에서는 m=3, s=4 가 된다(그림3 참조).

2.2 반전 라우팅 알고리즘

다단계 상호 연결망 k×k 스위치를 가진 butterfly 구조에서 소스노드의 주소 S를 $s_{n-1}\cdots s_1 s_0$, 목적지 노드의 주소 D를 $d_{n-1}\cdots d_1 d_0$ 로 나타낼 때, 함수 $Firstdifference(S, D)$ 는 $s_{n-1}\cdots s_1 s_0$ 와 $d_{n-1}\cdots d_1 d_0$ 간의 좌측으로부터 비교하여 서로 다른 첫번째 디지트(digit)의 위치값 t를 구하는 함수로서 다음과 같이 정의한다[6].

<정의 2> $Firstdifference(S,D)=t$ if $s_i=d_t$ for $n-1\geq i>t$ and $s_t\neq d_t$ for $n-1\geq t\geq 0$

본 논문의 다단계 상호 연결망은 시스템 내에 발생하는 메시지를 목적지 노드로 전송하기 위해 정의 2에서 구해진 함수값 t 를 이용해 반전 라우팅 패스를 수행한다. 반전 라우팅 패스는 메시지를 전송하는데 있어 다음 정의 3과 같은 규칙을 갖는다.

<정의3> 반전 패스(turnaround path)는 소스노드에서 목적지노드로 메시지를 전송하는 경로로서 다음 조건을 만족해야만 한다.

(1) 패스는 반드시 몇 개의 정방향과 몇 개의 역방향, 그리고 단 하나의 반전 접속으로 구성되어야 한다.

(2) 정방향을 수행하는 채널 수는 역방향을 수행하는 채널 수와 같다.

(3) 패스를 따르는 정방향, 역방향 채널들은 동일 포트의 채널 쌍이 아니다.

그림 4는 반전을 이용하여 소스노드로부터 목적지 노드로 메시지를 전송하는 반전 라우팅 알고리즘[6,10]이다.

그림 4의 라우팅 알고리즘은 $Firstdifference(S,D)$에 의해 주어지는 값 t 를 이용해 $G_i=G_t$ 가 될 때까지 l_t 를 입력포트로 한 정방향 접속을 수행하며, 마침내 $G_i=G_t$ 일 때, 단계 G_t 에서 반전 접속을 수행한다. 반전 접속 수행 후, 메시지 입력 포트는 r_t 로 전환되고, 전송 메시지는 역방향 접속을 수행하여 목적지 노드로 전송된다.

2.3 U-MIN 알고리즘

기존의 U-MIN(Unicast-based multicast for multistage interconnection networks) 알고리즘[10]은 양방향 스위치를 가지고 웜홀 방식으로 반전 라우팅을 제공하는 다단계 통신망 시스템 상에서 단일

1 **Algorithm:** Turnaround routing method at stage j in multistage connection networks
2 **Input:** Source address S : $s_{n-1} \cdot \cdot \cdot s_1 s_0$
3 Destination address D : $d_{n-1} \cdot \cdot \cdot d_1 d_0$
4 **Procedure:**
5 t= *Firstdifference*(S, D) (j≤t is always true)
6 If j=t,
7 then take a turnaround connection to output port l_{d_t}
8 If j<t and the message comes from an input port l_t,
9 then take a forward connection to any available output port $r_h(0 \le h \le k-1)$
10 If j<t and the message comes from an input port r_t,
11 then take a backward connection to the output port l_{d_t}

그림 4. Firstdifference(S,D)에 따른 반전 라우팅 방법

멀티캐스트가 발생할 경우, 채널 경쟁을 최소화하기 위해 제안된 알고리즘이다. 그러나 U-MIN 알고리즘에서는 단 하나의 멀티캐스터만을 고려했기 때문에 다수의 소스노드로부터 동일한 목적지 노드들로 다중 멀티캐스터가 발생하게 되면 정렬 알고리즘에 의해 동일한 오름차순 체인을 구성하게 된다. 이는 동일한 입력 값을 받기 때문에 동일하거나 유사한 멀티캐스트 트리를 생성하여 심각한 채널 경쟁을 유발시키는 원인이 된다.

그림 5는 U-MIN 알고리즘에 의한 다중 멀티캐스트 처리 시에 채널경쟁을 유발할 수 있는 다중 멀티캐스트 트리의 예를 나타낸 것이다.

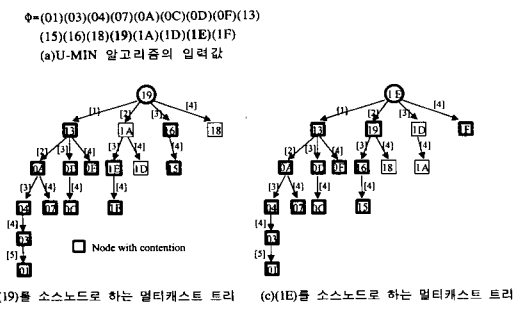


그림 5. U-MIN 알고리즘의 다중 멀티캐스트 트리

그림 5의 (b)와 (c)는 소스노드가 각각 19_{16}, $1E_{16}$인 다중 멀티캐스트 트리로 소스 노드는 다르지만 소스노드와 목적지노드들로 이루어지는 입력 값이 동일한 오름차순 체인(그림 5-(a))으로 구성되기 때문에 소스노드가 다름에도 불구하고 중첩되는 목적지 노드에 대해 목적지 노드로의 방문 우선 순위가 유사하게 설정되어 각 채널에서의 경쟁을 유발하게 된다.

3. 채널 경쟁을 고려한 라우팅 메카니즘

본 논문에서는 이러한 다중 멀티캐스트로부터 채널 경쟁을 최소화하기 위한 기법으로서 SPU-MIN (Source partitioned U-MIN) 알고리즘을 제안하고 있다.

3.1 SPU-MIN 알고리즘

U-MIN 알고리즘은 다단계 상호 연결망 상에서 단일 멀티캐스트를 수행하는데 있어서는 채널경쟁을 최소화시키는 장점을 가졌지만, 다중 멀티캐스트에서는 심각한 채널경쟁을 유발하였다. 본 논문에서 제시하는 SPU-MIN 알고리즘은 다단계 상호 연결망에서 단일 멀티캐스트뿐만 아니라 다중 멀티캐스트까지 고려하여 메시지 전송시에 스위치 경쟁을 최소화하도록 제안하였다.

본 알고리즘에서는 입력으로 사용될 소스 노드와 목적지 노드들로 구성된 오름차순 체인(Φ)을 정의 4에 의해 소스 노드의 위치를 기반으로 재배열(Φ_1, R-chain)함으로써 목적지 노드의 메시지 전송 우선 순위가 중복되는 것을 최소화[17]하였다.

<정의 4> 만일 $\Phi = \langle d_0, d_1, \ldots, d_n \rangle$ 가 오름차순 체인이고 소스 노드 d_t 가 Φ의 요소이면, 소스 노드 d_t 를 중심으로 R-chain 구성은 $\Phi_1 = \langle d_t, d_{t+1}, \ldots, d_n, d_0, d_1, \ldots, d_{t-1} \rangle$이 된다.[18].

그림 6은 d_0 를 소스 노드, $d_1, \cdots, d_{m-1}$ 을 목적지 노드라고 가정할 때, m-1개의 목적지 노드로 메시지를 전송하는데 있어 채널간의 경쟁을 회피하기 위한 목적지 노드로의 메시지 전송 우선 순위를 부여하는 방법이다. 이는 최소시간 다중통신을 수행하기 위

한 오일러 디트레일 경로[15,16]에 기반을 둔 것이다

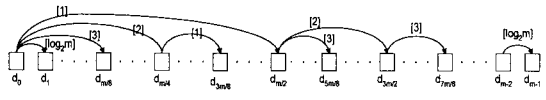


그림 6. 오일러 디트레일 전송 우선순위에 의한 다중통신

그림 7은 원홀 기법을 기반으로 반전 라우팅을 수행하는 다단계 상호 연락망에서 단일 멀티캐스트뿐만 아니라 다중 멀티캐스트의 채널 경쟁을 최소화하기 위해 본 논문에서 제안하는 SPU-MIN 알고리즘이다.

SPU-MIN Algorithm

1 **Input:** $\Phi_1 = \{d_l, d_{l+1}, \ldots, d_r\}$ is R-chain
2 which is reconstructed for source node (d_l)
3 and destination nodes.
4 **Output:** send the message from source node to
5 destination nodes.
6 **Procedure:**
7 $\Phi_1 = \{d_l, d_{l+1}, \ldots, d_r\}$
8 while $l < r$ do
9 $c = l + \left\lceil \frac{r-l}{2} \right\rceil$;
10 $D=\{d_c, d_{c+1}, \cdots, d_r\}$;
11 $r = c-1$;
12 send a message to node d_c with the address
field D;
13 endwhile

그림 7. SPU-MIN 알고리즘

그림 7의 SPU-MIN 알고리즘의 입력값은 정의 4에 의한 R-chain이 사용된다. 여기서 입력 받은 R-chain은 그림 6과 같은 최소 시간 멀티캐스트를 수행하여 메시지가 전송될 목적지노드로의 전송 우선 순위를 설정한다. 라인 8에서 체인 Φ_1의 최우측값 (l)보다 작은 최좌측값(r)이 존재하면 Φ_1 의 중간 노드를 구하여 체인을 양분한 후 중간노드 d_c 로 반전 라우팅 알고리즘에 의해 메시지를 전송한 후, 양분된 체인 중 d_c 를 포함하지 않은 체인을 새로운 R-chain으로 구성하여 메시지가 전송되지 않은 나머지 노드들로 동일한 방식에 의해 메시지를 전송한다.

SPU-MIN 알고리즘은 정의 4에 의한 입력값 R-chain에서 소스노드의 위치가 체인의 최좌측으로 고정되기 때문에 기존의 알고리즘이 소스노드의 위치를 고려하여 복잡하게 구성되었던 것과는 달리 알고리즘이 간단하게 구성되고, 따라서 알고리즘 수행 시간이 단축되는 장점을 가지게 된다.

3.2 SPU-MIN에 의한 멀티캐스트

본 절에서는 본 논문에서 제안하는 SPU-MIN 알고리즘이 단일 멀티캐스트와 다중 멀티캐스트에서 실제 수행되는 과정을 보인다.

다중 멀티캐스트는 여러 개의 소스노드로부터 여러 개의 목적지노드들로 메시지를 전송하는 방식이다. 본 논문에서는 멀티캐스트를 수행하는 각 소스노드가 동일한 목적지노드들을 갖는다고 가정한다.

그림 8은 원홀 기법에 기반한 반전 라우팅을 수행하는 다단계 상호 연결망에서 SPU-MIN 알고리즘에 의한 단일 멀티캐스트의 수행을 보여준다. 그림 8-(b)는 정의 4에 의해 소스노드를 선두로 하여 재배열된 그림 8-(a)의 R-chain에 의한 멀티캐스트 트리이다. 그림 8-(c)는 이러한 멀티캐스트 트리에 따라 메시지 전송 우선 순위를 부여했을 때, 2×2 스위치를 가진 다단계 상호 연결망에서 메시지 전송 결과 각 단계에 따라 중첩된 채널없이 메시지가 전송되는 것을 볼 수 있다.

SPU-MIN 알고리즘은 간접통신망(indirected or switch-based networks)에서 단일 멀티캐스트 발생 시 스위치 경쟁을 최소화한다. U-MIN 알고리즘이 다중 멀티캐스트 발생 시에 그림 5와 같이 심각한 채널경쟁을 일으킨 반면, SPU-MIN 알고리즘은 U-MIN 알고리즘의 단점을 개선하여 다중 멀티캐스트가 발생하더라도 스위치 경쟁을 최소화할 수 있는 방법이다.

그림 9는 그림 5와 같이 각각 19_{16}, $1E_{16}$ 를 소스노드로 하여 다중 멀티캐스트를 수행할 때, 정의 4에 의한 입력 값으로 SPU-MIN 알고리즘이 수행된 결과를 나타낸다. 그림 9에서 SPU-MIN 알고리즘이 그림5의 U-MIN 알고리즘에 의해 수행된 다중 멀티캐스트보다 채널 경쟁이 많이 감소하였음을 볼 수 있다.

또 다른 예로 다중 멀티캐스트 시 채널 경쟁이 심각하게 발생하는 경우를 보여주기 위해 두 개의 소스

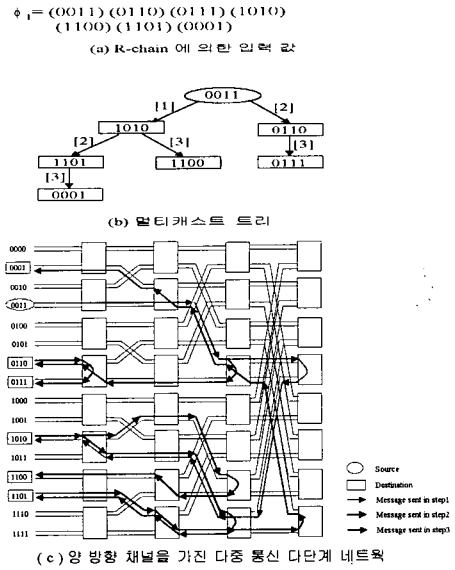


그림 8. SPU-MIN 알고리즘에 의한 단일 멀티캐스트

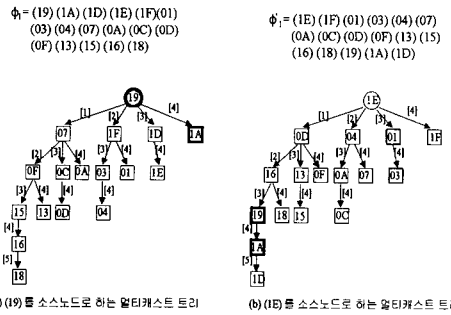
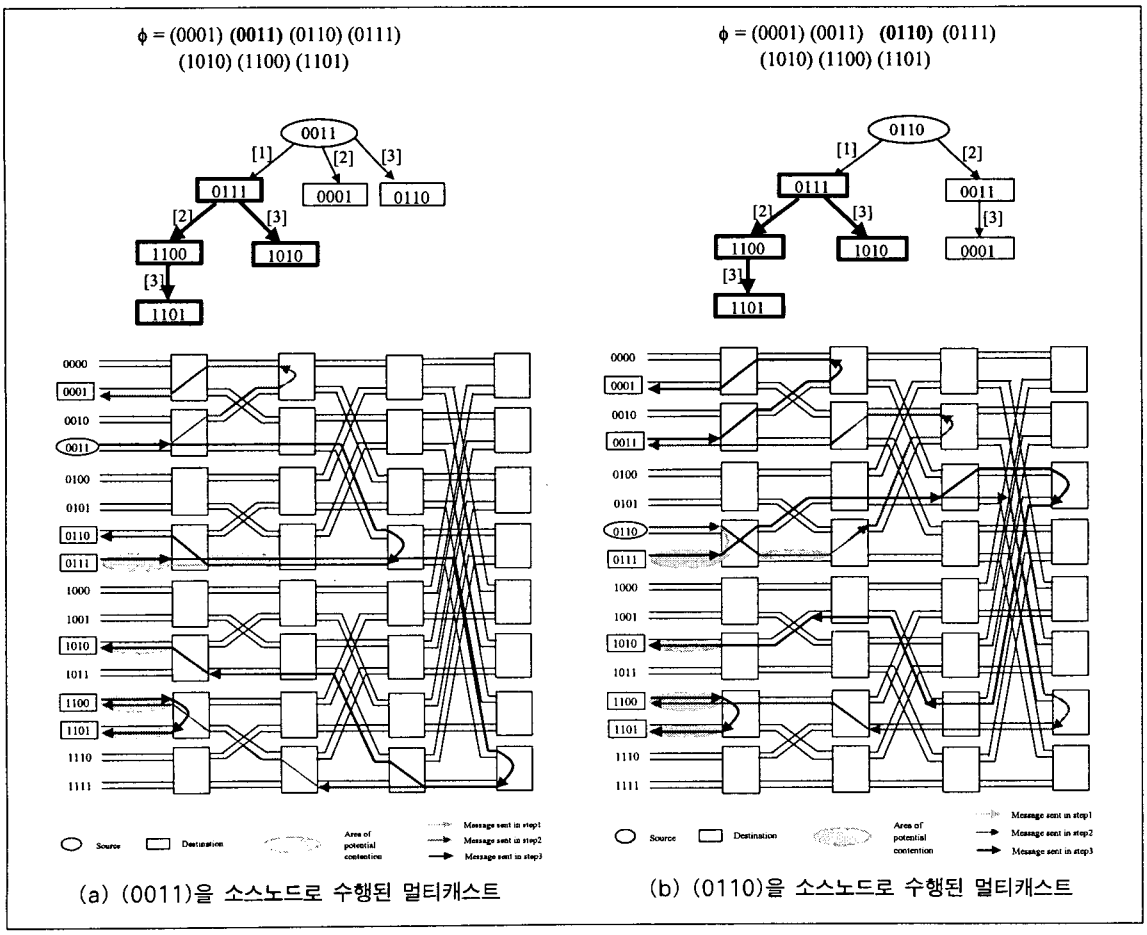


그림 9. SPU-MIN 알고리즘에 의한 다중 멀티캐스트

노드 (0011, 0110)가 동일한 목적지 노드들로 메시지 전송을 할 경우 U-MIN 알고리즘과 SPU-MIN 알고리즘의 멀티캐스트 트리 구성 및 채널 경쟁을 그림 10과 그림 11에 도식적으로 나타내고자 한다.

그림 10-(a)와 10-(b)는 U-MIN 알고리즘에 의해



(a) (0011)을 소스노드로 수행된 멀티캐스트

(b) (0110)을 소스노드로 수행된 멀티캐스트

그림 10. U-MIN 알고리즘에 의한 다중 멀티캐스트

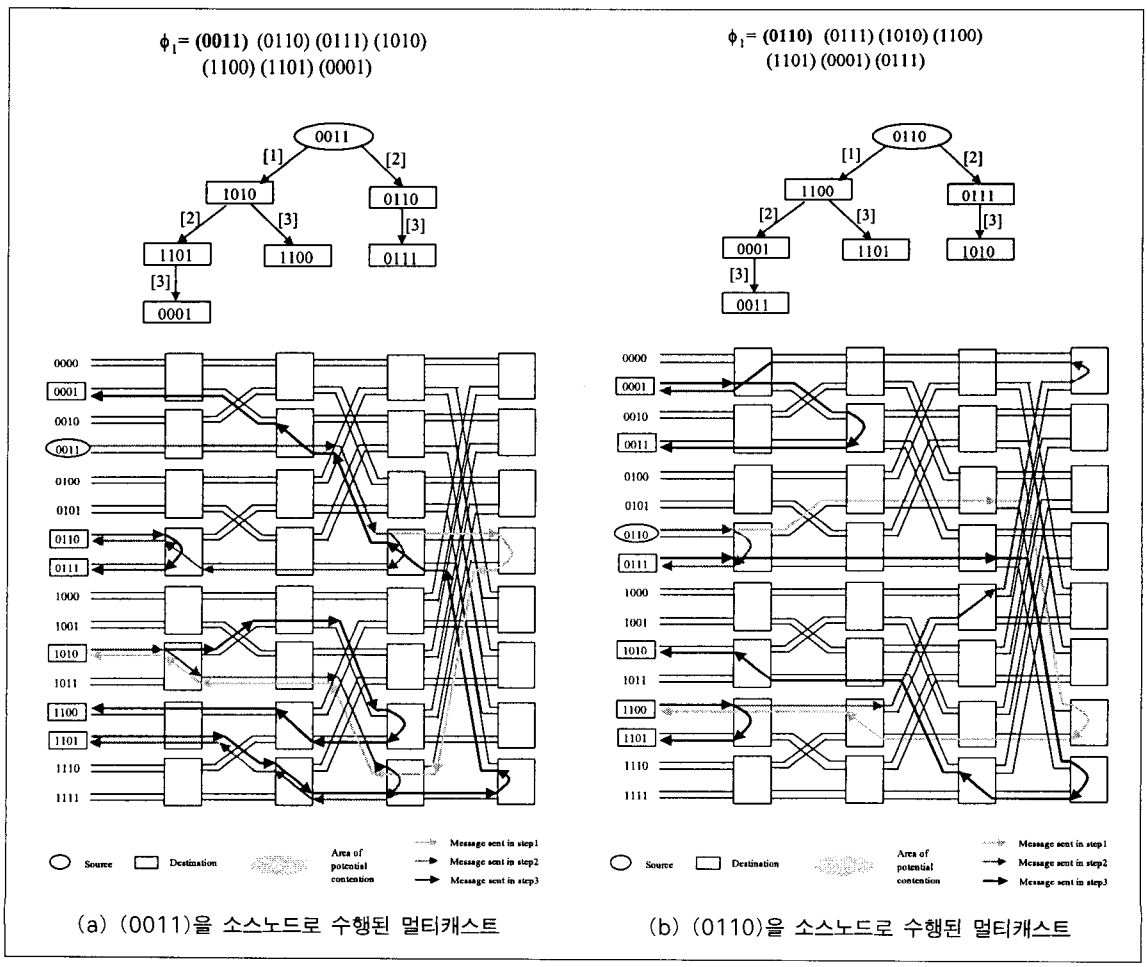
(0011)과 (0110)를 각각 소스노드로 한 다중 멀티캐스트 수행시 타원형으로 표시된 부분이 동일한 목적지노드에 의해 발생가능한 채널 경쟁 영역이 된다. 이러한 채널 경쟁이 많아짐으로서 통신 지연 및 교착상태가 유발 할 수 있다. 두 멀티캐스트가 다단계 상호연결망 상에서 동시에 실행될 경우 같은 입력값에 의해 우선 순위가 중복됨으로써 그림 10과 같은 채널 경쟁이 발생하게 된다.

그림 11-(a)와 11-(b)는 (0011)와 (0110)를 각각 소스노드로 SPU-MIN 알고리즘에 의한 다중 멀티캐스트를 수행한다. 두 멀티캐스트가 다단계 상호연결망 상에서 동시에 실행될 경우 그림 10과는 달리 서로 다른 우선 순위를 부여받아 메시지를 전송함으로써 채널경쟁을 회피하는 것을 볼 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 U-MIN 알고리즘과 SPU-MIN 알고리즘에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 동일한 조건에서 두 알고리즘간의 충돌되는 채널의 수를 비교 분석함으로써 그 성능을 평가하였다.

그림 12는 64개의 노드를 가진 다단계 상호 연결망 상에서 목적지 노드들의 수를 변화시키면서 다중 멀티캐스트를 수행하였을 때, 목적지 노드의 수에 따른 평균 채널 경쟁을 나타낸 것이다. 목적지 노드의 수가 적을 때는 비슷한 채널 경쟁률을 보이다가 목적지 노드 수가 많아지면 U-MIN 알고리즘은 훨씬 높은 채널 경쟁률을 보이고 있다. 이는 U-MIN 알고리즘이 단일 멀티캐스트를 기반으로 오름차순 체인



(a) (0011)을 소스노드로 수행된 멀티캐스트

(b) (0110)을 소스노드로 수행된 멀티캐스트

그림 11. SPU-MIN 알고리즘에 의한 다중멀티캐스트

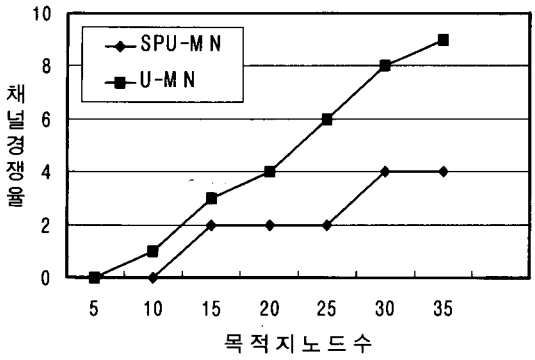


그림 12. 64 node-MIN에서 U-MIN과 SPU-MIN 알고리즘의 채널 경쟁율 비교

(∅) 정렬을 하기 때문에 양분된 그룹의 한쪽은 다른 소스 노드의 목적지 노드들 그룹과 일치하여 그만큼 채널 경쟁을 가지기 때문이다.

그림 13은 다단계 상호 연결망 상에서 목적지 노드의 수를 증가시키면서 각각 소스노드와 목적지 노드를 랜덤하게 변화시켰을 때, 멀티캐스트에 의한 두 알고리즘의 성능을 평균 채널 경쟁과 비교하여 나타낸 것이다.

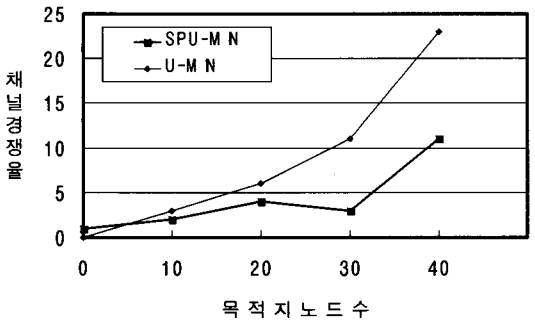


그림 13. 목적지노드와 소스노드를 랜덤하게 변화시켰을 경우 채널 경쟁율

이는 소스노드의 위치에 따라 채널 경쟁률이 다르게 나타날 수 있기 때문에 이러한 변화를 측정하기 위해 시뮬레이션 한 것이다. 그림 13의 결과는 그림 12와 유사한 채널 경쟁률을 나타내고 있는데, 다만 목적지 노드의 수가 30일 때 노드수 20보다 채널 경쟁률이 떨어지는 현상을 보이고 있다. 이는 소스 노드와 목적지 노드의 위치를 임의적으로 선정하여 시뮬레이션한 결과로 멀티캐스터의 트리에서 동일 목적지 노드들이 중복되지 않는 노드들이 많이 선정된 결과로 분석되었다. 이는 단순히 목적지 노드의 수가 증가한다고 채널 경쟁률이 증가하는 것이 아니라 소스 노드와 목적지 노드의 분포에 따라 채널 경쟁률이 다르게 나타날 수 있음을 보여주고 있다. 그러나 전체적으로 SPU-MIN 알고리즘은 어떠한 상황에도 U-MIN 알고리즘보다는 낮은 채널 경쟁률을 가짐을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과, 목적지 노드 수를 증가시킬수록 U-MIN 알고리즘과 제안된 알고리즘 모두 채널경쟁은 증가하고 있지만 목적지 노드가 계속 증가할수록 입력 노드 위치에 따른 메시지 전송 우선 순위의 할당과정에 있어 SPU-MIN 알고리즘은 단계별 전송 중복 현상이 줄어들기 때문이다.

5. 결 론

본 논문은 다단계 상호 연결망에서 다중 멀티캐스트를 수행하는데 있어 채널간의 경쟁을 최소화하기 위한 방법을 제시하였다. 본 논문이 제시하는 라우팅 알고리즘은 메시지 전송 시간이 중간 노드의 길이에 영향을 거의 받지 않는 웜홀 스위칭 기법에 기반을 두고 반전 라우팅 알고리즘을 수행하는 양방향 채널 다단계 상호 연결망을 모델로 하였다.

기존의 U-MIN 알고리즘은 다단계 상호 연결망에서 단일 멀티캐스트를 수행하는데 있어서는 채널경쟁을 최소화하지만 다중 멀티캐스트를 수행하는데 있어서는 동일한 채인을 입력받기 때문에 심각한 채널경쟁을 야기시키는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 SPU-MIN 알고리즘은 다중 멀티캐스트에서도 채널 경쟁을 최소화하고, 소스노드의 위치를 고정되게 하여 U-MIN 알고리즘보다 단순화함으로써 알고리즘 수행 시간을 감소하도록 하였다.

향후 연구 과제로서는 다양한 시스템 모델뿐만 아니라 방송망 전송(broadcasting)을 고려한 적응적 라우팅 기법의 채널 경쟁을 최소화하는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] D.K. Panda, P. Prabhakaran, "Multicasting using

Multidestination Worms Conforming to Base Routing Schemes", Technical Report TR37, Dept. of CIS, The Ohio state University, 1993.

[2] R. Kesavan, D.K. Panda, "Multiple Multicast with Minimized Node Contention on Wormhole k-ary n-cube Networks", Technical Report OSU-CISRC-4/96-TR26, 1996.

[3] R. Sivaram, D.K. Panda, C.B. Stunkel, "Multicasting in Irregular Networks with Cut-Through Switches using Tree-Based Multi-destination Worms", Technical Report, The Ohio state University, Mar. 1997.

[4] R. Kesavan, K. Bondalapati, D.K. Panda, "Multicast on Irregular Switch-based Networks with Wormhole Routing", In Proceedings of the International Symposium on High Performance Computer Architecture (HPCA-3), pages 48-57, 1997.

[5] J. Duato, S Yalmanchili, L.M. Ni, "Interconnection Networksan Engineering Approach", IEEE computer society press.

[6] L.M. Ni, Y. Gui, and S.Q. He, "Performance Evaluation of Switch-Based Wormhole networks", Technical Report MSU-CPS-ACS-96, Michigan State Univ., July 1994.

[7] D.K. Panda, S. Singal, P. Prabhakaran, "Multi-destination Message Passing Mechanism Conforming to Base Wormhole Routing Scheme", PCRCW'94, Lecture Notes in Computer Science, No. 853, Springer-Verlag, pp. 131-145, 1994.

[8] D.K. Panda, S. Singal, P. Prabhakaran, "Multi-destination Message Passing Mechanism Conforming to Base Wormhole Routing Scheme", Technical Report OSU-CISRC-6/94-TR33, Dept. of CIS, The Ohio state University, 1994.

[9] D.K. Panda, R. Sivaram, "Fast Broadcast and Multicast in Wormhole Multistage Networks with Multidestination Worms", Technical Report OSU-CISRC-4/ 95-TR21, 1995.

[10] Hong Xu, Yadong Gui, and L.M. Ni, "Optimal Softward Multicast in Wormhole-Routed Multistage Networks", IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., vol. 8, no. 6, June. 1997.

[11] L.M. Ni, P. McKinley, "A Survey of Routing Techniques in Wormhole Networks", Technical Report MSU-CPS-ACS-46, Oct. 1991.

[12] C.J. Glass, L.M. Ni, "Adaptive Routing in Mesh-Connected Network", Technical Report MSU-CPS-ACS-45, Oct. 1991.

[13] X. Lin, P.K. McKinley, A.H. Esfahanian, "Adaptive Multicast Wormhole Routing in 2D Mesh Multicomputers", PARLE'93, Pages 228-241, Jun. 1993.

[14] W.J. Dally, C.L. Seitz, "Deadlock-Free Message Routing in Multiprocessor Interconnection Networks", IEEE Trans. on computer vol. C-36, No. 5, May. 1987.

[15] P.K. McKinley, H. Xu., A.H. Esfahanian, L.M. Ni, "Unicast-based Multicast Communication in Wormhole Routed Networks" IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst. vol. 5, no. 12, Dec. 1994.

[16] P.K. McKinley, H.Xu, A.H. Esfahanian, and L.M. Ni, "Unicast-Based Multicast Communication in Wormhole-Routed Networks", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 5, pp. 1252-1265, Dec. 1994.

[17] R. Kesavan, D.K. Panda, "Minimizing Node Contention in Multiple Multicast on Wormhole k-ary n-cube Networks", In Proceedings of the International Conference on Parallel Processing, Chicago, IL, Aug. 1996.

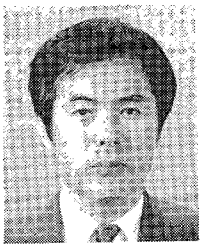
[18] D.F. Robinson, P.K. McKinley, B.H.C. Cheng, "Optimal Multicast Communication in Wormhole-Routed Torus Networks", IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst. vol.6, no. 10, Oct. 1995.

김 소 은

1992년 경성대학교 전산통계학과 (학사)
1999년 부경대학교 전산학과(석사)
1993~1996 항도직업전문학교 교사
1999~현재 부경대학교 특성화사업단 정보화담당 전임연구원
관심분야 : 컴퓨터네트워크, 라우팅, 데이터베이스 등

김 창 수

1984년 울산공과대학 전산학과 졸업(공학사)
1986년 중앙대학교 전산학과 졸업(이학석사)
1991년 중앙대학교 전산학과 졸업(공학박사)
1992~1996. 7 부산수산대학교 전산학과 전강 · 조교수
1994~1996 국립수산진흥원 겸임연구관
1997년 미국 UCSB 전산학과 방문교수
1996~현재 부경대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부 부교수
관심분야 : 분산병렬처리, 통신보안, GPS/GIS 응용, 인터넷 DB 등



최 계 현

1978년 부산수산대학교 증식학과 (이학사)
1994년 부산수산대학교 전산학과 (이학석사)
1997~현재 성심외국어대학 경영정보학과 겸임교수
1998. 11 창현정보 시스템 대표
관심분야 : 분산병렬처리, 인터넷 DB, 인터넷 CAI 등