

하이퍼 큐브 컴퓨터에서 효과적인 오류 허용 다중전송기법

명훈주, 김성천
서강대학교 컴퓨터학과

Efficient Fault-Tolerant Multicast On Hypercube Multicomputer System

Hunjoo Myung, Sungchun Kim
Dept. of Computer Science, Sogang University

요 약

하이퍼큐브의 성능을 좌우하는 중요한 요소 중 하나가 프로세서간의 통신이다. 그리고 병렬 컴퓨터에서 프로세서의 수가 증가함에 따라, 구성요소들이 오류가 날 확률도 높아졌다. 이러한 이유로, 오류 난 구성요소들이 있어도 다중 전송이 가능하게 효율적으로 설계하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 최근에 제안된 완전 도달성 정보와 새로 추가한 국지적 정보를 이용해서 라우팅 알고리즘을 제안하고, 이것을 바탕으로 다중 전송 성공률이 높은 새로운 다중 전송 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 기법은 기존의 기법보다 통신량의 차이는 거의 없으면서, 다중 전송 성공률이 목적지 노드 수에 따라 5~15%가량 향상시킬 수 있었다.

제 1 장 서론

프로세서간 통신의 효율성은 하이퍼큐브의 성능을 좌우하는 한 요소이다. 그렇기 때문에, 라우팅 전략(routing scheme)은 프로세서간 통신 수행에 있어 아주 중요하다.[1]

또한, 대규모 병렬 컴퓨터 시스템에서 프로세서의 수가 증가함에 따라, 구성요소(component)들이 오류가 날 확률도 증가하게 된다. 이러한 이유로, 구성 요소들이 오류가 난 상황에서도 효율적으로 우회경로를 찾을 수 있는 전략이 필수적이다.

본 논문에서는, 최근에 제안된 제한된 전역적 정보를 바탕으로 완전도달성 개념을 적용한 다중전송기법을 제안한다. 또한, 부분적으로 국지적 정보를 이용, 성능향상을 꾀한다..

제 2 장 기존 연구

2.1 기존의 오류 허용 라우팅 전략

이 절에서는 최근에 제안된, 기존의 안정/불안정 노드 전략에 거리에 따른 완전 도달성 정보를 적용한 전략[4]을 서술한다.

정의 1. 거리에 의한 완전 도달성

오류 나지 않은 어떤 노드 n 을 기준으로 해밍 거리 h 에

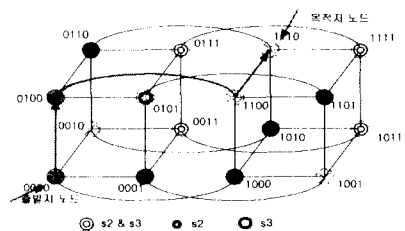
떨어져 있는 오류 나지 않은 모든 노드들이 거리 h 의 경로로 도달 가능할 때, n 을 거리 h 거리에 의해 완전히 도달 가능하다고 한다.

거리에 따른 완전 도달 가능한 노드들의 집합을 알면 불필요한 우회를 피할 수 있으나, 이것을 구하고 이에 따른 적합한 경로를 찾아내는 일은 매우 어려운 일이다. 이 논문에서는 이것에 대한 대안으로 다음과 같은 근사값을 제안한다.

정의 2. 거리에 의한 안정 노드

오류가 나지 않은 모든 노드들은 거리 1에 의한 안정 노드이다. 오류가 나지 않은 한 노드에 거리 $h-1$ 에 의한 안정 노드 $d=h+1$ 개 이상이 인접해 있다면, 그 노드를 거리 h 에 의한 안정 노드라고 한다.

이러한 사실들을 바탕으로 Kaneko와 Ito가 제안한 FR 알고리즘[4]이 있다



[그림 2.1] FR 알고리즘의 예

[그림2-1은 FR알고리즘의 예이다.

제 3 장 FBM 알고리즘

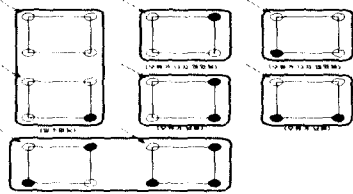
3.1 새로운 라우팅 전략

본 논문에서는 하이퍼큐브 네트워크가 완전히 불안정한 상태인 상황에서 라우팅을 할 때, 위험요소가 되는 상태를 찾아 내고, 이를 다음과 같이 정의하였다.

정의 6. 반-불안정 상태

2차원 큐브내에서 한 이웃노드와 해밍거리 2에 위치에 있는 노드가 오류가 난 노드일 때 오류가 나지 않은 두 노드를 반-불안정 상태라 한다.

이러한 반-불안정상태 정보를 갖게 됨에 따라서 2차원 큐브관점에서 각 노드들은 그림과 같이 2차원 큐브가 가질 수 있는 8가지 상황을 6가지로 판단할 수 있게 됨으로써, 오류난 노드를 거쳐 라우팅을 하려는 것을 줄일 수 있게 되었다



[그림 3-1] 반-불안정상태 도입으로 인한 2차원 하이퍼큐브의 상황

물론, 2차원큐브 단위로 나누어 정보를 가지는 것이 가능하기 때문에 3차원, 4차원 등으로 큐브를 나눌 수도 있겠으나, 정보의 비용을 고려하면서 성능향상을 피하는 제한된 전역적 정보를 이용하는 전략을 사용하는 만큼, 정보 비용에 가장 부담을 덜 주는 2차원 하이퍼큐브를 국지적 정보를 얻는 단위로 사용하였다.

3.2 새로운 다중전송기법 전략

본 절에서는 앞에서 제안된 새로운 라우팅 전략을 바탕으로 ASBM 전략을 적용한 새로운 다중 전송 기법을 제안한다. 여기서 ASBM이란 주소의 합을 기반으로 한 다중 전송 기법(ASBM: Address-Sum-Based Multicast)을 말한다[6]

본 논문에서 제안하는 새로운 다중 전송 기법의 이름을 FBM(Full-reachability Based Multicast)라고, 명명하였다. 또한, 기존의 안정/불안정 노드 오류 정보를 바탕으로 ASBM 전략을 적용한 기법을 편의상 SBM(Safe node/unsafe node Based Multicast) 부르도록 하였다.

SBM 기법에서 주로 주소 합에 근거해서 다중 전송을 하였기 때문에, 특정 목적지 노드를 가진 메시지는 오류 난 노

드 때문에 우회할 수밖에 없는 경로임에도 불구하고, 그 경로로 전송될 수밖에 없는 경우가 종종 생긴다. FBM 기법에서는, 이러한 점을 착안하여 주소 합에 근거해서 다중 전송을 하되, 최단 거리로 라우팅이 가능한 차원 중에 S_k 상태를 가지고 있는 이웃노드가 있다면(다른 노드들은 모두 보통 불안정 상태이거나 강한 불안정 상태인 경우에) 그 노드로 전송을 함으로써, 우회하는 경우를 최소화한다.

또한, 앞 절에서 제안한 국지적 정보를 이용한다.

다음 그림은 FBM 다중 전송 기법의 알고리즘이다.

< FBM 알고리즘 >

AS 는 목적지 노드들의 상대 주소의 합을, K는 각 차원의 AS가 0이 아닌 차원들의 집합을, R은 목적지 노드들의 상대주소의 집합을 의미한다.

1. K와 R이 모두 공집합이 아닐 경우에 다음을 반복 수행한다.
 - 1.1 AS가 가장 큰 차원 k를 선택한다.
 - 1.2 k가 오류가 난 노드가 아니라고 하면 집합 R에 대해 다음을 반복 수행한다.
 - 1.2.1 $r \in R$ 이 k를 거쳐 최단 거리로 라우팅이 가능하다면 r에 대해 다음을 검사해 본다.
 - 1.2.1.1 k차원에 이웃한 노드가 불안정 상태이고 다른 이웃 노드들중에서 S_k 상태인 노드가 있다면, k차원으로 메시지를 전송하는 것을 포기하고, 그 노드로 메시지를 전송시키게 한다.
 - 1.2.1.1 k차원을 거쳐 최단 거리로 갈 수 있는 경로 중에 거리 2만큼 떨어진 노드들이 모두 오류가 난 상황이라면 k차원으로 메시지를 전송하는 것을 포기한다.
 - 1.2.2 위의 조건을 만족한다면, AS에서 r의 값을 빼고, k차원으로 가는 버퍼에 r을 저장한다. 그리고 R에서도 r을 제거한다.
 - 1.3 k를 K에서 제거한다.
2. R가 공집합이 아니라면, R의 원소들은 우회해야 하는 메시지들이다.
 - 2.1 비어있지 않은 버퍼로 메시지를 전송한다.

[그림 3 2] FBM 알고리즘

제 4 장 시뮬레이션 및 성능평가

4.1 성능 평가 요소 및 가정

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 FBM 다중 전송 기법과 SBM 다중 전송 기법을 시뮬레이션을 통해 비교하였다.

성능평가 기준으로는 평균 통신 단계와 통신량을 사용하였고, 이와 함께 다중 전송 성공률을 사용하였다.

그러나, 본 논문에서는 평균 통신 단계를 사용하지 않고,

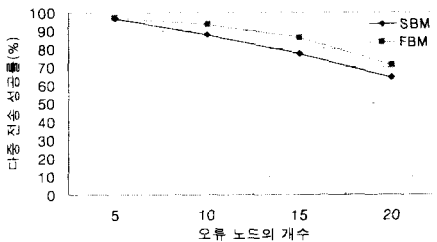
우회한 라우팅 개수와 라우팅을 실패한 개수로 대신하였다.

하이퍼큐브 네트워크는 그 구조상 대칭적인 특성으로 인하여 어떤 노드를 출발지 노드로 결정하더라도 동등하게 알고리즘을 적용할 수 있기 때문에, 출발지 노드를 0으로 가정한다고 하더라도 모든 경우를 반영할 수 있다. 성능 분석을 보다 쉽게 하기 위해서, 다중 전송 성공이 아예 불가능한 상황을 배제하였다.

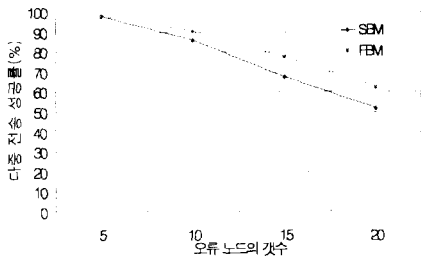
실험은 7차원 하이퍼큐브에서 다중 전송 목적지 노드가 10, 40, 70개일 경우에 오류노드를 5개씩 증가시키면서 다중 전송 성공률, 우회한 라우팅 개수와 라우팅 실패 개수, 통신량을 측정하였다.

4.2 성능 평가 결과

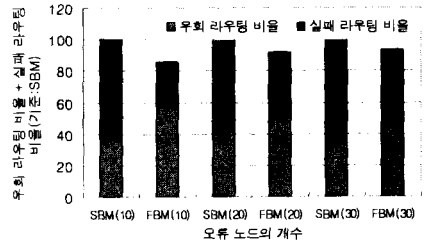
앞에서 언급한 성능평가 요소와 가정을 바탕으로 수행한 시뮬레이션의 결과를 분석한다.



[그림 4-1] 7-큐브에서 오류 노드의 증가에 따른 다중 전송 성공률(목적지 노드가 40일 때)



[그림 4-2] 7-큐브에서 오류 노드 증가에 따른 다중 전송 성공률(목적지 노드가 70개 일때)



[그림 4-3] 7-큐브에서 오류 노드 증가에 따른 우회 라우팅과 실패 라우팅 비율(목적지 노드가 40개 일때)

오류 노드에 따른 통신량을 비교에서는 SBM 다중 전송 기법과 FBM의 다중 전송기법의 통신량이 거의 차이가 없다.

제 5 장 결론

본 논문에서 제안된 FBM 다중 전송 기법은 기존의 SBM 다중 전송 기법에 비해 다중 전송 성공률이 최대 11%의 차이를 보인다.

본 논문에서 제안된 기법은 완전 도달성이라는 개념으로 보다 정확하게 다중 전송을 할 수 있었고, 또한, 해밍 거리 2만큼 떨어진 노드 상태를 파악할 수 있음으로 해서 우회 라우팅의 기회를 줄일 수 있었다. 이러한 성능향상에도 불구하고 통신량에서는 기존 기법과 별 차이가 없었다.

본 논문에서 사용된 국지적 정보는 저차원 하이퍼큐브에서는 좋은 성능을 보이나 차원이 높아질수록 성능향상 정도는 낮아진다. 이 문제의 해결은 추후과제로 삼는다.

참고논문

- [1] C.-M. Chiu and K.-S. Chen, "Efficient Fault-Tolerant Multicast Scheme for Hypercube Multicomputers", *IEEE Trans. parallel and distributed systems*, 9(10), pp.952-962
- [2] Y. Saad and M.H. Shultz, "Topological properties of hypercube," *IEEE Trans. Computers*, 37(7): 867-872, July 1988
- [3] N.-F. Tzeng and H.-L. Chen. "Structural and tree embedding aspects of incomplete hypercubes, " *IEEE Trans. Computers*, 43(12):1434-1439, December 1994
- [4] Keiichi Kaneko and Hideo Ito, "Fault-Tolerant Routing Algorithms for Hypercube Networks," *IPPS 1999*, pp.218-224, March 1999.
- [5] Jie Wu and Kejun Yao, "A Limited-Global-Information-Based Multicasting Scheme for Faulty Hypercube", *IEEE Trans. Computers*, 44(9), pp.1162-1166, September 1995.