

## SCI에 근거한 ICR 네트워크의 신뢰도와 비교

김동철\*

### 요약

논문은 IEEE 표준인 SCI(Scalable Coherent Interface)에 근거한 degree 2의 ICR(Interleaved Cyclic Ring) 네트워크의 신뢰도를 연구하였고 대표적인 링 네트워크들과 비교하였다. ICR 네트워크의 신뢰도 연구에 있어서 두 노드가 동시에 통신 할 수 있는 신뢰도를 계산하였다. ICR 네트워크의 신뢰도 연구에서 실패율(failure rate)의 변화에 신뢰도의 반응을 연구하였고, 적은 노드에 대하여 정확한 신뢰도를 구하고, 노드 수가 증가한 경우에는 최대 최소 경계를 계산하여 평균치 일반식을 구하였다. ICR 네트워크의 사이클의 변화에 따라 ICR 네트워크의 신뢰도를 다른 링 네트워크와 비교하였다.

## The Reliability and Comparison of ICR Network Based on SCI

Dong-Chul Kim\*

### Abstract

The purpose of this study is to study the reliability of degree 2 ICR(Interleaved Cyclic Ring) network and to compare with the other rings. Two node reliability is the probability that source node communicates with the destination node through a specified time interval for ICR network. The impact for change of failure rate is studied for ICR network. For small size of network, the exact value of reliability is calculated but the approximation of average reliability general function from upper bound and lower bound reliability is obtained for large size of it. The reliability of ICR network is compared with it of the other rings according to changing the cycle value of ICR.

Key words : SCI(Scalable Coherent Interface), Reliability, ICR(Interleaved Cyclic Ring)

### 1. 서론

기술의 발달과 함께 대규모의 네트워크 시스템을 형성하기 위해 많은 노드를 서로 연결하여야 한다. 이때 노드수의 증가는 시스템 안에 신뢰도에 영향을 미치며, 신뢰도가 높은 통신 네트워크를 구축하는 것은 중요한 문제이다.

SCI(Scalable Coherent Interface)[9]는 IEEE standard 이며 많은 수의 프로세서들을 서로 협동하여 사용할 수 있도록 하며 메시지 패싱과 공유메모리모델 모두를 공급하며 1 gigabyte/sec의 비율로 데이터를 전송할 수 있다.

Lin과 Silo는 단일 링(single ring)과 두개 링(double ring)에 대한 네트워크 구조의 신뢰성을 비교하였다[5]. Araen과 Lee는 링의 노드사이에 또 다른 링크(chord)를 연결하는 구조의 코달 링(chordal ring)을 새로이 제안했고, 코달 링에 대한 최적지름(diameter)이  $O(N/2)$

임을 보였다[2]. Raghavendra는 새로이 FLBH(Forward Loop Backward Hop)이라는 구조를 제안했고 분석하였다. FLBH은 기존에 존재하여 있는 counter rotating ring과 braid ring과 같은 네트워크 구조와 성능을 비교하여 FLBH이 성능면에서 월등함을 보였다[6]. Tring은 SCI를 사용하여 멀티프로세서 연결을 연구했고[8] Scott는 최초로 SCI 단방향 SCI링에 대한 해석적 모델을 보였고, simulation을 이용하여 증명하였다[7]. Johnson과 Goodman은 SCI ring에 대한 라우팅(routing) 제한을 연구하였다[3].

Kim[4] 논문에서는 SCI 링 네트워크를 기반으로 하는 ICR(Interleaved Cyclic Ring)이라 부르는 네트워크를 제안했다. ICR 네트워크 구조는 커다란 링을 작은 링들로 나누어 서로 연결하여 구성하며 이들 각각의 링은 한쪽 방향으로 point-to-point를 이룬다. AL-Rousan은 SCI에 근거한 나무구조 링을 이용하여 신뢰도와 성능을 연구하였다. 이 논문에서는 적은 SCI 네트워크를 여러개 결합하여 트리 구조를 사용한 시스템을

\* 제일저자(First Author) : 김동철

접수일 : 2005년 2월 4일, 완료일 : 2005년 2월 10일

\* 평택대학교 컴퓨터학과 조교수

kim@ptuniv.ac.kr

만들었고, 이러한 시스템의 성능을 다른 시스템과 비교하였다[1].

가존에 존재하던 Chordal 링 네트워크와 FLBH(forward loop and backward hop) 네트워크는 모두 링 구조를 이용하지만 SCI 프로토콜조건을 만족시키지 못한다. 그러나 ICR 네트워크는 SCI 프로토콜을 만족하며 성능 면에서도 FLBH 보다 훨씬 뛰어난을 보였다.

본 논문에서는 SCI에 근거한 ICR 네트워크의 양 단자간의 신뢰도를 연구하였다.

## 2. ICR 네트워크 구조

### 2.1 Degree 2 ICR 네트워크

ICR 네트워크의 구조를 이해하기 위해서 예를 들어 사이클  $c=4$ 와, 노드 총수  $N=16$ 인 ICR 네트워크를 구성하는 표1에서 보면 쉽게 이해 할 수 있다. 이 네트워크는 4개의 서브링으로 나누어지며 각각의 링은 표1에서와 같이 일정한 방식으로 연결하여 구성된다. 여기서 degree 2의 노드의 네트워크를 구성하기 위해서 각각의 SCI 노드를 합하여 2X2 (2개의 입력과 2개의 출력)의 노드로 생각할 수 있다.

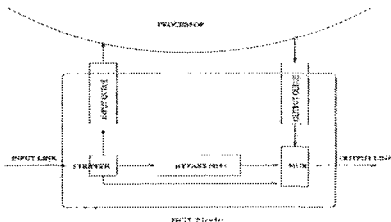


그림 1. SCI 스위치 포트

서브링 0과 서브링 2의 시계방향으로의 연결은 0→1→4→5→8→9→12→13→0 와 2→3→6→7→10→11→14→15→2 이다. 서브링 1과 서브링 3은 시계반대방향으로 연결되어 있다.

ICR 네트워크에서 노드의수가 많아짐에 따라 사이클의 크기도 함께 변화한다.

표 1. ICR 네트워크(사이클은 4이고, 총 노드는 16)

주소	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
모드4	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
링 0	→				→				→				→			
링 1		←				←				←				←		
링 2			→				→				→				→	
링 3	←			←				←				←				←

### 2.2 ICR 네트워크에서 사용되는 SCI 스위치 구조

SCI 노드는 그림1이다. 링으로부터 오는 1개의 입력을 데이터가 프로세서로 보낼지 다음 링으로 보낼지 결

정한다. 만약 다음 링으로 보내려 할 때 먼저 bypass 큐에 넣는다. 만약 bypass 큐에 보낼 패킷이 없으면 즉시 패킷을 보낸다. SCI 노드에서는 항상 bypass 큐가 output 큐보다 패킷을 보내는데 우선권이 있다.

프로세서가 패킷을 보내려 할 때 output 큐에 패킷을 넣고 bypass 큐 안에 패킷이 없으면 보내고 있으면 큐 안에 넣어서 bypass 큐 안에 패킷이 없을 때 까지 기다린다.

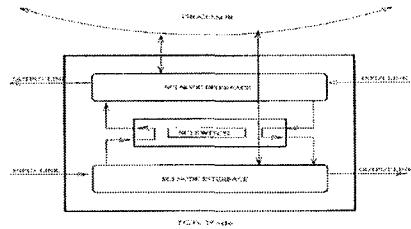


그림 2. ICR 노드모델

### 2.3 신뢰도 분석을 위한 ICR 네트워크 노드모델

ICR 네트워크에서 스위치는 2X2로 구성된다.

그림2에서 ICR 노드 모델은 2개의 SCI 스위치 포트를 서로 반대로 연결하여 만들었다. 이 스위치를 통해서 두개의 서브 링이 연결되어 있고 각각의 서브 링은 독립적이라고 가정하자.

## 3. ICR 네트워크의 신뢰도

### 3.1 링 네트워크의 신뢰도

ICR 노드는 두 개의 SCI interface와 processor로 구성되어 있다.

우리는 다음과 같은 가정 하에 우리의 실험을 실시하고자 한다.

1. 모든 기본 단위는 결합상태이던지 비결합 상태로 나누어진다.
2. 각 부 시스템은 통계적으로 서로 독립이다.
3. 만약 부 시스템(링)에서 어떤 한 개의 노드가 결합 상태이면 그와 관계되는 링은 결합 상태로 된다.
4. 우리가 고려한 것 외의 모든 것은 항상 완벽하다고 가정한다. (예 링크)
5. 우리가 구하는 신뢰도는 두 개의 프로세서 사이의 확률이다.
6. 시간의 흐름에 따라 결합은 exponentially 분포되어 있다고 한다.

### 3.2 적은 수의 SCI 노드를 가진 ICR 네트워크의 신뢰도

사이클이 4일때 신뢰도 함수  $R_{S_i}(t)$ 는 다음과 같다.

$$R_{S_i}(t) = \sum_{k=1}^4 \binom{4}{k} \cdot p(t)^k \cdot (1-p(t))^{4-k} \quad (1)$$

여기서  $p(t)$ 는 각각의 부 링 네트워크가 견디어 낼 수 있는 확률이며  $k$ 는 failure 없는 링의 개수이다.

사이클 수가 증가 할수록 인접한 링들 사이에 많은 다른 경우가 있음을 보여 준다. 그러므로 사이클이 증가할수록 정확한 ICR 네트워크의 신뢰도를 구하기 어려움을 보여준다. 예를 들어  $N=64$ ,  $c=8$ 일 경우

$\binom{64}{8} = 12870$ 의 가능한 경우의 수를 갖는다. 그러므로 이 모든 경우의 수를 다 추적하는 것은 쉽지 않다.

두개의 프로세스 사이에 신뢰도의 일반 함수는 다음과 같다.

$$R_S(t) = \sum_{k=1}^{c-1} \left( \sum_{ki=1}^{g_k} M_{ki} \cdot x_{ki} \cdot \frac{w_{ki}}{\binom{N}{k}} \right) \cdot p(t)^k \cdot (1-p(t))^c + p(t)^c$$

(2)

where  $\sum_{ki=1}^{g_k} M_{ki} = \binom{c}{k} (g_k \gg 1)$ .

$M_{ki}$ 로세는 서브링들의 조합에 의한 특별한 그룹에 상태를 나타낸다.  $g_k$ 는  $\sum_{ki=1}^{g_k} M_{ki} = \binom{c}{k}$ 를 만족하는 어떤 양수다.  $x_i$ 는 제외된 그룹 수를 말한다. 위의 예의 경우  $N = 16$  그리고  $c = 4$ 일 경우 위의 일반 파라미터는 다음과 같다.

$$M_{11} = 4, w_{11} = 8, x_{11} = 1, g_1 = 1$$

$$M_{21} = 4, w_{21} = 12, x_{21} = 1, g_2 = 2$$

$$M_{22} = 2, w_{22} = 8, x_{22} = 2$$

$$M_{31} = 4, w_{31} = 16, x_{31} = 1, g_3 = 1$$

### 3.3 많은 수의 SCI 노드를 가진 ICR 네트워크의 신뢰도

이 절에서 ICR 네트워크의 최대치와 최소치의 신뢰도를 구하는 일반식을 구하여 보자. 만약  $k$  링들이 서로 차례로 이웃할 경우,  $R_1 R_2 \dots R_k$ , 최대의 노드들이, 즉,  $(k+1) \cdot \frac{N}{c}$ , 서로 통신할 수 있다. 앞 절에서 신뢰도의 일반항 식에서  $w_{ki}$ 를  $(k+1) \cdot \frac{N}{c}$ 로하고  $x_i$ 를 1으로 하자. 그때 최대치의 신뢰도는 다음과 같다.

$$R_{s-u}(t) = \sum_{k=1}^{c-1} \left( \sum_{ki=1}^{g_k} M_{ki} \cdot \frac{\binom{(k+1) \cdot N}{c}}{\binom{N}{2}} \right) \cdot p(t)^k \cdot (1-p(t))^{c-k} + p(t)^c$$

$$= \sum_{k=1}^{c-1} \binom{c}{k} e^{-\frac{2 \cdot k \cdot N \cdot \lambda \cdot t}{c}} \cdot 1 - e^{-\frac{2 \cdot N \cdot \lambda \cdot t}{c}}$$

$$\frac{\binom{(k+1) \cdot N}{c}}{\binom{N}{2}} + e^{-\frac{2 \cdot k \cdot N \cdot \lambda \cdot t}{c}} \quad (3)$$

만약  $k$ 개의 링들이 모두 떨어져 있을 경우에는 단지  $2N/c$  프로세서들이 각각의 서브링 안에서 대화한다. ICR 네트워크가 모두 독립되어 있을 경우 네트워크가 최소의 신뢰도를 가지게 된다. 여기서  $w_{ki}$ 를  $2N/c$ 로 된다. 그때 최소치의 신뢰도는 다음과 같다.

$$R_{s-l}(t) = \sum_{k=1}^{c-1} \left( \sum_{ki=1}^{g_k} M_{ki} \cdot x_{ki} \cdot \frac{\binom{w_k}{2}}{\binom{N}{2}} \right) \cdot p(t)^k \cdot (1-p(t))^{c-k} + p(t)^c$$

$$= \sum_{k=1}^{c-1} x_k \cdot \frac{\binom{w_k}{2}}{\binom{N}{2}} \cdot \binom{c}{k} + e^{-\frac{2 \cdot k \cdot N \cdot \lambda \cdot t}{c}}$$

$$\cdot \left( 1 - e^{-\frac{2 \cdot N \cdot \lambda \cdot t}{c}} \right)^{c-k} + e^{-\frac{2 \cdot c \cdot N \cdot \lambda \cdot t}{c}} \quad (4)$$

## 4. 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 3은 노드수가 16개이고 사이클이 4인 ICR 네트워크와 단순링, 더블링을 비교한 신뢰도 이다. 신뢰도가 0.5일 경우 단순링에 비해 ICR은 2배의 시간의 지속성을 가진다.

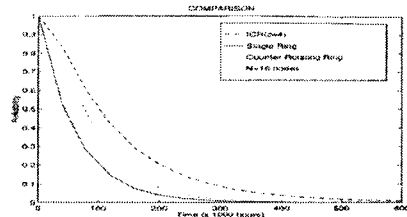


그림 3. 네트워크들의 신뢰도 비교(c=4)

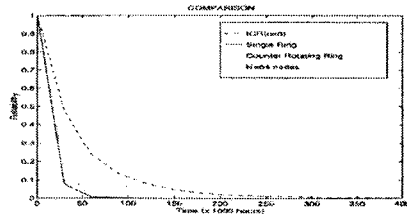


그림 4. 네트워크들의 신뢰도 비교 (C=8)

그림 4는 노드수가 64까지 증가 할 경우 신뢰도를 비교하였다. ICR이 0.1인 경우 2배 이상의 시간의 지속성을 보여 준다.

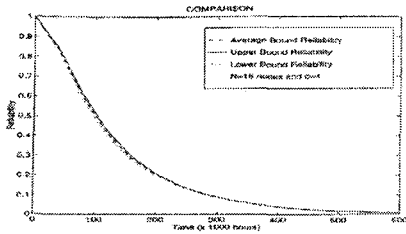


그림 5. ICR 네트워크의 최대, 최소, 평균 신뢰도 비교(C=4)

그림 5는 노드수가 16일 경우 ICR 네트워크의 최대, 최소, 평균 값을 비교하였다. 그림 6은 정확한 값과 평균값의 편차가 아주 적은 것으로 나타났다.

그림 7은 사이클이 8일 경우를 나타내었다. 여기서 최대값과 최소 값은 상당히 차이가 있음을 볼 수 있다. 사이클이 커지면 편차가 증가 함을 알 수 있다

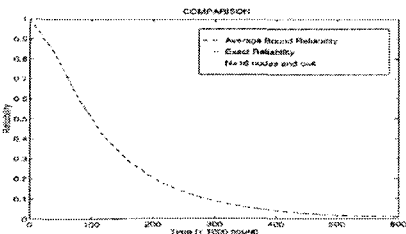


그림 6. ICR 네트워크의 정확한 신뢰도 값과 평균값의 비교

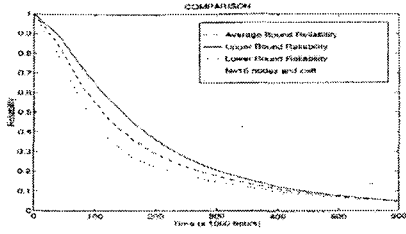


그림 7. ICR 네트워크의 최대, 최소, 평균 신뢰도의 비교(C=8)

그림 8은 같은 노드 수 일 경우 사이클이 클 경우 신뢰도가 증가 함을 볼 수 있다. 신뢰도가 0.3 이하에서는 상당한 차이가 있음을 보여 준다.

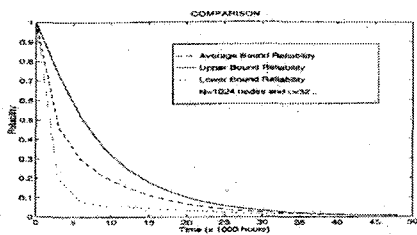


그림 8. 1024 노드의 평균 신뢰도

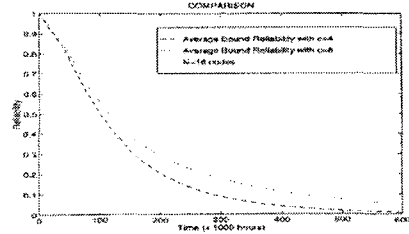


그림 9. ICR 네트워크의 평균 신뢰도의 비교

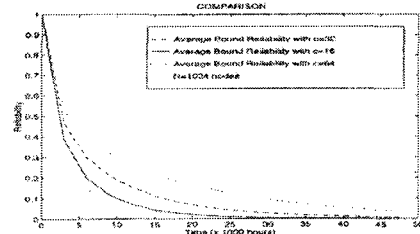


그림 10. 1024 노드의 사이클 변화에 평균 신뢰도 비교

그림 9에서는 1024개 노드일 경우 최대치와 최소치를 구하였다. 그림 평균값을 구하여 비교 하였다. 많은 수의 노드 일 경우에 최대치와 최소치의 값 사이에 상당한 편차가 있음을 알 수 있다.

그림 10은 사이클의 변화에 따른 신뢰도를 비교하였다. 여기서 평균 신뢰도의 비교에서 0.5를 기준으로 하여 점점 더 차이가 많이 벌어짐을 볼 수 있다. 사이클이 커짐에 따라 낮은 확률에서 신뢰도가 안정됨을 볼 수 있다.

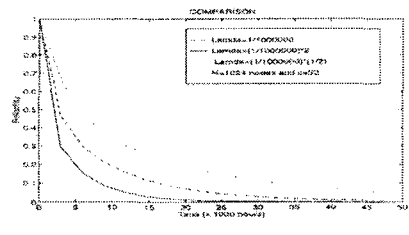


그림 11. 결함율의 변화에 신뢰도의 변화 비교(N=16)

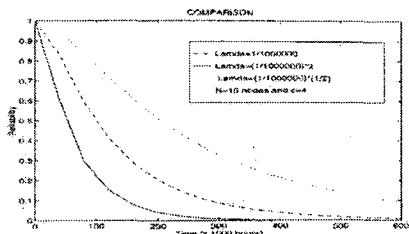


그림 12. 결함율의 변화에 신뢰도의 변화 비교(N=1024)

그림 11과 12는 노드의 결함율을 배로 증가하고 반으로 감소 하였을 경우 아주 신뢰도에서 민감하게 변화

하는 모습을 볼 수 있다. 노드수가 16일 경우 신뢰도가 0.5 이하의 경우에 상당히 많은 차이가 있다. 그림 12일 경우 노드수가 1024개의 경우 신뢰도가 0.6 이상 일 경우 적은 변화를 보여 준다.

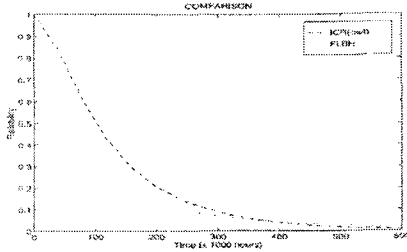


그림 13. ICR 과 FLBH 과의 신뢰도 비교

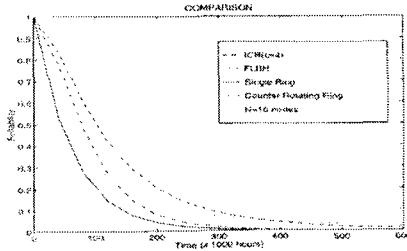


그림 14. 4개의 네트워크의 신뢰도 비교

그림 13에서는 노드수가 16일 경우 ICR과 FLBH의 신뢰도를 비교 하였다. 신뢰도가 0.1 보다 클 경우 ICR 네트워크가 상당히 신뢰도가 크고 0.1 이하에서는 적은 차이로 적다.

그림 14는 FLBH를 포함하여 다른 링과의 비교를 보여 준다. ICR 네트워크의 신뢰도가 큰 것을 보여 준다.

### 5. 결론

본 논문에서는 IEEE 표준인 SCI에 근거한 ICR 네트워크의 신뢰도를 분석하였다. 우선 작은 크기의 신뢰도를 구하였고, 이식을 일반화 하여 일반식을 구하였다. 크기가 큰 네트워크에는 정확한 값을 구하는 데는 많은 문제가 있어서 최대값과 최소값을 구하여 평균을 구하였다. 이때 최대, 최소값의 일반식을 제시하였고 이것을 이용하여 크기가 큰 네트워크의 신뢰도를 구하였다. 다른 대표적인 네트워크와의 신뢰도를 비교하였고, 시이클의 변화와 노드수의 변화, 결합율의 변화에 따른 영향을 분석하였다

### 참고 문헌

- [1] MAL-Rousan, L.Beamson, and J.Archibald. Reliability analysis of large-scale ring-based hierarchical networks. In Proc. of the 8th International Conference on Parallel and Distributed Computing Systems, pages 104-114, September 1995.
- [2] B.Arden and H.Lec. Analysis of chordal ring. IEEE Transactions on Computers, C-30:291-295, April 1981.
- [3] R.Johnson and J.Goodman. Synthesizing general topologies from rings. In Proc. of the 1992 International Conference on Parallel Processing (ICPP'92), volume I, pages 86-95, August 1992.
- [4] D.Kim and L.Beamson. An interleaved cyclic ring network based on SCI. In Proc. The Third International workshop on SCI-based High Performance Low-cost Computing, pages 99-108. Institute of Computer Science, FORTH Science and Technology, October 1995.
- [5] N.Lin and C.Silio. A reliability comparison of single and double rings. Proceedings IEEE INFOCOM '90, 2:504-511, 1990.
- [6] C. Raghavendra, M. Gerla, and A. Avizienis. Reliable loop topologies for large local computer networks. IEEE Transactions on Computers, C-34:46-54, January 1985.
- [7] S.Scott and J. Goodman. The impact of pipelined channels on kary n-cube networks. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 5(1):2-16, January 1994.
- [8] Ivan Tving. Multiprocessor interconnection using SCI. Master's thesis, Department of Computer Science, University of Denmark, February 1992. November 1986.
- [9] (SCI-92), SCI, Scalable Coherent Interface, IEEE Std. 1596-1992.

김 동 철



University of Utah 학사  
Oregon State University 석사  
Brigham Young University 박사