하이퍼큐브의 Over-d 결함에 대한 적응적 진단

정회원 김 동 군*, 준회원 이 경 희**, 조 윤 기***, 정회원 김 장 환****, 이 충 세*****

Adaptive Diagnosis for Over-d Fault Diagnosis of Hypercube

Dong-gun Kim* ***Regular Member***, Kyung-hee Lee**, Yoon-ki Cho*** ***Associate Members***,
Jang-hwan Kim****, Chung-sei Rhee***** ***Regular Members***

요 약

Somani와 Peleg은 k개의 부정확한 진단을 용인함으로써 결함의 개수가 t(차원)개를 초과할 경우에도 시스템을 진단하는 t/k-dignosable 시스템을 제안하였다. 한편 Kranakis와 Pelc는 결함의 개수가 t개를 초과하지 않는 경우에 하이퍼큐브를 보다 효율적으로 진단하는 알고리즘을 제안하였다. 이 논문에서는 Somani등이 제안한 것처럼 k=1, 2, 3개의 부정확한 진단을 용인하는 경우에 Kranakis등이 제안한 효율적인 방법을 기반으로 하이퍼큐브를 진단하는 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안한 알고리즘이 약 두 배 이상 더 많은 결함을 진단하면서도 기존의 알고리즘보다 효율이 거의 떨어지지 않는다는 사실을 분석을 통하여 확인할 수 있었다.

Key Words : diagnosis, t/k-diagnosable, hypercube, fault, parallel processing

ABSTRACT

Somani and Peleg proposed t/k-diagnosable system to diagonse more faults than t(dimension) by allowing upper bounded few number of units to be diagnosed incorrectly. Kranakis and Pelc showed that their adaptive diagnosis algorithm was more efficient than that of any previous ones, assuming that the number of faults does not exceed the hypercube dimension. We propose an adaptive diagnosis algorithm using the idea of t/k-diagnosable system on the basis of that of Kranakis and Pelc's. When the number of faults exceeds t, we allow a fault(k=1, 2, 3) to be diagnosed incorrectly. Based on this idea, we find that the performance of the proposed algorithm is nearly as efficient as any previously known strategies and detect above about double faults.

Ⅰ. 서 론

하이퍼큐브 병렬처리 시스템에서 노드의 개수는 지수적으로 증가함에도 불구하고 진단 알고리즘에서 가정하는 결함의 개수는 t(dimension)에 비례하여 증가한다. 이런 사실은 시스템 규모가 커짐에 따라 결함의 개수가 t개 이상으로 증가할 개연성을 증가시킨다. 따라서 더 많은 결함노드를 진단하는 더 효율적인 알고리즘의 개발에 대한 동기를 부여 하게 된다.

다양한 병렬처리 시스템 중에서 하이퍼큐브 형태의 병렬처리 시스템은 정규적이며 계층적인 구조를 갖는다. 이런 하이퍼큐브의 특성은 효율적인 진단 알고리즘을 개발하는데 유리하게 적용될 수 있다.

시스템 내에 t(dimension of hypercubes)개를 초과하는 결함노드가 존재할 경우, 진단의 가능여부에 대한 문제를 Over-d 문제라고 정의한다[1]. 이런 경우에는 불완전하지만 정확한 진단이 수행되어야 한다.

* 백석대학교 정보통신학부 외래강사(tnt200202@empal.com), ** 서원대학교 컴퓨터정보통신학부 교수(khlee@seowon.ac.kr)
*** 주성대학 인터넷가상현실과 교수(ykcho@jsc.ac.kr), **** 성결대학교 공대 교수(jhkim@sungkyul.ac.kr)
***** 충북대학교 컴퓨터과학과 교수(csrhee@cbu.ac.kr)
논문번호 : KICS2005-11-474, 접수일자 : 2005년 11월 22일, 최종논문접수일자 : 2006년 4월 18일

Somani, Agarwal, Avis[2]는 over-d 결함 진단에 대하여 언급하였지만, 그들은 비적응적 진단의 경우만을 고려하였다. Friedman은 확률적인 방법을 이용한 over-d 문제의 해결을 시도하였다[3].

Preparata, Metze와 Chien은 시스템 레벨 진단의 개념을 사용하는 결함 진단 방법을 제안하였다[4]. PMC 모델이 제안된 후 많은 연구가 이 모델의 특성을 사용하여 진행되었고 진단 알고리즘에 대한 많은 연구가 이루어졌다.

Feng은 하이퍼큐브의 구조적인 특징을 이용하는 적응적 진단 알고리즘 HADA(Hypercube Adaptive Diagnosis Algorithm)를 제안하였다. HADA의 최악의 경우 수행효율이 2n($\lfloor \log n \rfloor +2$)테스트를 소요함을 보여주었다[1].

Somani와 Peleg는 Over-d 결함을 진단하기위해 k개의 부정확한 진단을 용인함으로써 더 많은 결함을 진단하는 t/k-진단가능 시스템을 제안하였다.그리고, 하이퍼큐브인 경우에 대해서는 $t=(k+1)n-(k+1)(k+2)/2+1$ 일 때 t/k-진단 가능하다($k \leq n, n>3$)는 정리를 증명하였다[5].

한편 Kranakis와 Pelc는 전체 하이퍼큐브 Hn을 Hj×Hn-j로 분할하여 진단을 수행하는 BADH(Better Adaptive Diagnosis of Hypercubes) 알고리즘을 제안하여 진단의 효율을 높였다[6]. 그러나 진단 가능한 결함의 최대 수를 n으로 가정하였기 때문에 대규모의 병렬처리 시스템에 알고리즘을 적용하기는 적합하지 않다.

이 논문에서는 결함의 개수가 t개를 초과하는 경우에 대하여 진단의 정확여부를 판단할 수 없는 충분히 작은 개수의 노드가 k=1, 2, 3개 존재한다는 것을 허용함으로써, 진단 가능한 결함의 최대 수를 증가 시키는 알고리즘을 제안한다.

Ⅱ. t/k-BADH 알고리즘

이 논문에서 제안하는 진단 알고리즘은 Kranakis와 Pelc이 제안한 알고리즘을 이용한다[6]. BADH 알고리즘은 하이퍼큐브의 t-진단가능 하다는 특징을 이용하여 진단할 하이퍼큐브를 모든 결함노드를 포함하는 최소 크기의 RGC(the Reflected Gray Code) 링으로 분할을 한다[7]. 이 알고리즘에서는 진단 가능한 최대의 결함 수가 n이라고 가정하였으므로 하이퍼큐브를 분할하는 RGC링의 크기는 r=⌊logn⌋+1이다. 그런데 n개를 초과하는 결함을 진단하기 위해서, t/k-시스템의 하이퍼큐브를 분할할 때 RGC 링의 크기는 t개 만큼의 결함노드를 포함할 수 있게 분할해야 한다. 즉 RGC링의 크기를 r=⌊logt⌋+1로 변환하여야 한다. 이렇게 변환한 후 원래의 정리가 성립되지 않기 때문에 변환에 따른 새로운 정리와 알고리즘의 정확성이 증명되어야 한다.

정리 2.1. 하이퍼큐브는 $t=(k+1)n-(k+1)(k+2)/\ 2+1$에 대하여 t/k-진단 가능하다.($k \leq n, n>3$) [3].

t/k-진단가능 시스템에서 k가 커지면 불확실한 진단의 개수가 늘어나면서 진단의 정확성이 떨어지게 되므로 k가 작으면서도 진단 가능한 노드의 최대수가 많이 증가되기를 바란다. 그러므로 이 논문에서는 $k=1$로 가정하여 진단 가능한 노드 수가 $t=2(n-1)$일 경우가 연구된다. 정리 2.1에서 $k=1$인 경우에 $t=2(n-1)$ 이므로 하이퍼큐브는 $2(n-1)/1$ 진단 가능 시스템이다

t/k-BADH 알고리즘은 4개의 단계에 걸쳐 진단을 수행한다. 각 단계에서 수행되는 작업은 아래의 알고리즘을 이용하였다.

2.1 t/(k=1)-BADH 알고리즘

단계 1. Hn의 서브그래프 $H_j \times R_r$을 구성한다. 여기서, $r=\lfloor \log t \rfloor +1$, $j=n-r$이고, R_r은 H_r안에 있는 RGC-링이다. 시계방향으로 R_r의 모든 노드들의 테스트를 수행한다. 안전한 링을 모두 확인한다. 안전한 링의 모든 노드를 결함이 아니라고 진단한다.

단계 2. 인접한 안전한 링의 모든 노드를 테스터로서 사용하여 모든 보호받은 링에 있는 노드를 진단한다.

단계 3. 만약 보호되지 않은 링이 많게는 두 개 존재한다면, 외래 이웃들이 모두 결함을 갖는 노드 x만을 제외하고 보호되지 않은 링의 모든 노드를 진단한다.

단계 4. 만약 전 단계까지 진단되지 않은 노드가 있다 면, 마지막으로 그 노드를 진단한다.

단계 1에서 r=⌊logt⌋+1의 크기로 하이퍼큐브를 분할한다. 노드의 n비트 인덱스 중 j개의 인덱스비트와 나머지 r개의 인덱스비트로 분류함으로써 자동적으로 수행된다. 이때 선택된 r개의 비트들로 이루어진 서브큐브 H_r에는 앞서 설명한 RGC를 이용한 링 임베딩 방법을 이용하여 링의 임베딩이 이루어

진다. 그 다음에 각각의 링에서는 임의의 방향으로 진단을 수행한다. 이 단계에서는 서브-링에 존재하는 결함노드의 정확한 위치를 확인하는 것이 아니므로 한 방향으로만 진단을 수행하여, 링 내부에 결함노드의 유무만을 판별하고, 결함노드의 정확한 진단은 다음 단계에서 행한다. 전체 시스템에는 최대 t개까지의 결함이 존재한다고 가정하였고, 서브-링의 노드의 수 $2^r > t$이므로 한 방향으로의 진단 수행결과가 안전한 링으로 진단되면 서브-링 내부에는 결함노드가 존재하지 않는다고 단정할 수 있다. 따라서, 안전한 링으로 진단된 서브-링들에 대한 진단은 첫 번째 단계에서 끝내고 이후에는 불안전한 링들에 대한 진단만을 수행한다. 즉, 첫 번째 단계에서 대부분의 노드들에 대한 진단은 완료된다. 단계 1에서 진단을 수행하는데 걸리는 시간을 계산해 보면 홀수 인덱스의 노드들이 짝수 인덱스의 노드들을 테스트한 후 짝수 인덱스의 노드들이 홀수 인덱스의 노드들을 테스트함으로써 서브-링에 대한 진단이 완료되므로 테스트라운드 2가 소요되며, 전체의 노드들이 모두 진단에 참여하므로 2^n테스트 횟수가 소요된다.

단계 2에서는 단계 1에서 불안전한 하다고 진단된 링들에 대한 진단이 단계 2에서 이루어지는데, 불안전한 링은 한 개 이상의 결함노드를 포함하고 있으므로 서브-링 스스로는 정확한 진단을 할 수 없다. 이때에 $j = n - r$이므로 이웃한 서브-링들의 수는 j개가 존재하게 되는데, j개의 서브-링들 중에 안전하다고 진단된 링이 존재한다면 즉, 보호받은 링이라고 한다면 각각의 노드들에 대하여 대응되는 이웃한 안전한 링의 노드들로 테스트를 수행한다. 단계 2에서는 보호받은 링에 대한 진단이 완료된다.

보조정리 2.1.1. n≥19에 대하여, 많아야 2개의 보호받지 않은 RGC링이 존재한다.

증명) 3개의 보호받지 않은 RGC링이 존재한다고 가정하면, 보호받지 않은 RGC링의 인접 링들이 불안전한 링이기 때문에 $3j$개의 불안전한 링이 존재한다. 세 개의 보호받지 않은 링도 불안전한 링이다. 그러므로 $3j+3$개의 불안전한 링이 존재하는데 그 중에 중복 계산된 링이 있다. 하이퍼큐브의 임의의 두 노드는 공통이웃을 2개 갖거나 하나도 갖지 않는다. 세 개의 노드는 많아야 5개의 공통이웃을 갖는다. 즉 중복 계산된 불안전한 링의 개수가 많아야 5개이다. 그러므로 불안전한 링은 적어도 $(3j+3-5) = (3j-2)$가 존재한다.

$$3j-2 = 3(n-r)-2 =$$
$$3n-3(\lfloor \log t \rfloor + 1) - 2 > t,$$

$n \geq 19$이 되므로 최대 t개의 결함노드가 존재한다는 조건에 위배된다. 따라서 많아야 2개의 보호받지 않은 RGC링이 존재한다. □

단계 3에서는 보호받지 않은 링에 대한 진단이 수행된다. 보호받지 않은 링은 이웃한 링들 중에 안전한 링이 한 개도 없다. 그러나 단계 2까지 완료되고 난 후에는 보호받지 않은 링의 이웃한 링들은 모두 진단이 완료된 상태가 된다. 따라서 보호받지 않은 링의 각 노드들의 외래 이웃들 중에 결함이 아니라고 진단된 노드들을 가지고 각 노드들을 테스트한다.

보조정리 2.1.2. 만약 보호받지 않은 링이 존재한다면, 이러한 링안에 있는 노드들 중에서 인접한 외래 이웃들이 모두 결함을 갖는 노드 x는 많아야 2개 존재한다.

증명) 만약 인접한 외래 이웃들이 모두 결함을 갖는 노드가 3개 존재한다고 가정하면, 각각의 노드는 j개의 결함인 외래 이웃을 갖기 때문에 모두 $3j$개의 결함노드가 존재한다. 임의의 세 노드의 공동이웃은 많아야 5개이다. 그러므로 전체 결함노드 수는 적어도 $(3j-2)$이 되므로 인접한 외래 이웃들이 모두 결함을 갖는 노드가 3개 존재한다는 가정은 위의 보조 정리와 마찬가지로 최대 t개의 결함노드가 존재한다는 조건에 위배된다. 따라서 많아야 2개의 노드가 인접한 외래 이웃들이 모두 결함이다. □

단계 4에서는 외래 이웃들이 모두 결함노드인 노드들에 대한 진단이다. 이런 노드들은 외래 이웃들이 모두 결함이여서 그들로부터 진단 받을 수 없다.

보조정리 2.1.3. 이웃들이 모두 결함인 노드 즉 판단할 수 없는 단일 노드는 많아야 한 개가 존재한다.

단계 4에서 위의 단계에서 아직 진단되지 않은 노드가 존재할 때 두 가지의 경우가 발생하게 된다. 첫째, 단계 3이 완료 후 t개의 결함노드가 발견이 된 경우, 최대 t개의 결함노드만 존재한다는 조건에 의해서 이 두개의 노드는 자동적으로 결함이 아니라고 진단된다. 두 번째, 많아야 t-1개의 결함노드가 발견이 된 경우는 1개의 진단 오류 즉 1개의 결함

이 아닌 노드를 결함이라고 진단하는 것을 허용하기 때문에 이 노드를 결함이라고 판단한다. 또한 결함이 아닌 노드를 결함이라고 진단하면 이 노드를 대응하는 새 노드(프로세서)로 교환하기 위하여 드는 비용은 많지 않다. 그러므로 결함인 노드를 결함이 아니라고 진단하여 시스템 전체의 정확성이 보증되지 않는 위험을 택하기보다는 진단오류가 생길 수 있는 노드를 결함이라고 판단한다.

2.2 t/(k=2)-BADH 알고리즘

보조정리 2.2.1. n≥29에 대하여, 많아야 3개의 보호받지 않은 RGC링이 존재한다.

보조정리 2.2.2. 만약 보호받지 않은 링이 존재한다면, 이러한 링안에 있는 노드들 중에서 인접한 외래 이웃들이 모두 결함을 갖는 노드 x는 많아야 3개 존재한다.

보조정리 2.2.3. 이웃들이 모두 결함인 노드 즉 판단할 수 없는 단일 노드는 많아야 두 개 존재한다.

2.3 t/(k=3)-BADH 알고리즘

보조정리 2.3.1. n≥39에 대하여, 많아야 4개의 보호받지 않은 RGC링이 존재한다.

보조정리 2.3.2. 만약 보호받지 않은 링이 존재한다면, 이러한 링안에 있는 노드들 중에서 인접한 외래 이웃들이 모두 결함을 갖는 노드 x는 많아야 4개 존재한다.

보조정리 2.3.3. 이웃들이 모두 결함인 노드 즉 판단할 수 없는 단일 노드는 많아야 세 개 존재한다.

Ⅲ. 알고리즘의 성능 분석

이 장에서는 제안된 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 테스트 횟수를 분석하였다.

보조정리 3.1.1. 링에 f개의 결함이 있으면 테스트의 수는 많아야 $f+1$이다. 더욱이 링에 1개의 결함이 존재하면 테스트의 개수는 1개이다.

보조정리 3.1.2. 이웃에 안전한 노드가 있는 보호받지 못한 링의 모든 노드는 많아야 $f+1$테스트를 진단 할 수 있다. 여기서 f는 노드들 중에서 결함의 개수이다. 만약 $f=1$이면 한번의 테스트가 사용된다.

정리 3.1.3. BADH(k=0) 알고리즘은 n차원 하이퍼큐브에서 $n \geq 9$일 때 최악의 경우에 많아야 2n + 3n/2 테스트를 진단한다.

정리 3.1.4. BADH(k=0) 알고리즘은 n차원 하이퍼큐브에서 $3 \leq n \leq 8$일 때 최악의 경우에 많아야 2n + 3n/2 테스트를 진단한다.

위 정리들에 대한 증명은 Kranakis와 Pelc를 논문을 참조할 수 있다[6].

정리 3.2.1. t/(k=1)-BADH 알고리즘은 n차원 하이퍼큐브에서 $n \geq 19$일 때 최악의 경우에 많아야 2n + 3t/2 테스트를 진단한다.

증명) 단계 1은 2n테스트를 수행한다. 우선 단계 3에서 모든 진단이 완료된다고 가정하자. a_0를 1개의 결함노드를 가진 링의 수라고 하고 b_0는 적어도 2개의 결함노드를 가진 링의 수라고 하자. B_0는 적어도 2개의 결함노드를 가진 링에서 결함의 총 수라고 하자. 보조정리 3.1.1.과 3.1.2.에 의하면 단계 2와 3에서 사용되는 총 테스트 수는 많아야 $a_0+B_0+b_0$이다. $a_0+B_0 \leq t$이고 $b_0 \leq B_0/2$이므로 $a_0+B_0+b_0 \leq 3t/2$이다. 이 경우 단계 4에서 테스트는 없다.

두 번째로 단계 3에서 진단되지 않은 2개의 노드가 있다고 가정하자. 그러므로 단계 2와 3에서 진단된 결함의 총 수는 많아야 $t-2$이다. a_1를 1개의 결함노드를 가진 링의 수라고 하고 b_1는 적어도 2개의 결함노드를 가진 링의 수라고 하자. B_1는 적어도 2개의 결함노드를 가진 링에서 결함의 총 수라고 하자. $a_1+B_1 \leq t-2$ 이고 $b_1 \leq B_1/2$이므로 $a_1+B_1+b_1 \leq 3(t-2)/2$이다. 여기에 단계 4에서 1개의 테스트가 더해진다. 그러므로 단계 2, 3, 4에서 테스트의 총 수는 많아야 $3(t-2)/2+1<3t/2$이다.

마지막으로 단계 3에서 진단되지 않은 1개의 노드가 있다고 가정하자. 이 경우 1개의 노드는 진단이 불가능함에도 불구하고 시스템 전체의 정확성을 위해 결함노드로 처리한다. 그러므로 단계 2와 3에서 진단된 결함의 총 수는 많아야 t이다. 그러므로 위의 첫 번째 경우와 같은 테스트 수를 갖게된다.

결과적으로 앞의 세 가지 경우에 대해서 t/(k=1)-BADH 알고리즘은 많아야 총 테스트 개수가 2n + 3t/2이 된다. □

이제 n<19경우에 n 차원 하이퍼큐브 진단에 대해서 살펴보자. n=2, 3이고 t=2, 4에 대해서는 2n=2t이므로 최대로 t개 일 때 결함을 진단하는 것은 가능하지 않다. 그러므로 $4 \leq n \leq 18$인 경우를

생각할 수 있다. 이 경우에는 정리 3.2.1.을 직접 적용하는 것이 가능하지 않기 때문에 각 경우에 따라 분석을 해서 진단 할 수 있다. 이때 이전에 했던 방식과 비슷한 방법으로 진단하면 다음과 같은 정리를 얻을 수 있다.

정리 3.2.2 t/(k=1)-BADH 알고리즘은 n차원 하이퍼큐브에서 $4 \le n \le 18$일 때 최악의 경우에 많아야 2n + 3t/2 테스트를 진단한다.

앞에서 증명한 방식으로 t=2, 3에 대해서도 다음과 같은 정리를 얻을 수 있다.

정리 3.3 t/(k=2)-BADH 알고리즘은 n차원 하이퍼큐브에서 $n \ge 5$일 때 최악의경우에 많아야 2n + 3t/2 테스트를 진단한다.

정리 3.4 t/(k=3)-BADH 알고리즘은 n차원 하이퍼큐브에서 $n \ge 6$일 때 최악의 경우에 많아야 2n + 3t/2 테스트를 진단한다.

그림 1에서는 k=0, 1, 2, 3일 경우에 하이퍼큐브의 차원 수 n(6≤n≤46)이 커짐에 따라 진단 할 수 있는 결함의 최대 수를 비교한 것이다. k=0인 경우는 부정확한 진단을 허용하지 않음으로 이는 BADH 알고리즘에서 진단할 수 있는 결함의 수이고 k=1, 2, 3인 경우는 부정확한 한개, 두개, 세개의 결함을 허용하는 t/k-BADH 알고리즘에서 진단할 수 있는 결함의 수이다. 이 논문에서 제안한 알고리즘은 기존의 BADH 알고리즘이 진단할 수 있는 결함 수의 약 2배 이상의 결함을 허용한다.

그림 2, 3에서는 Feng이 제안한 HADA 알고리즘, BADH 알고리즘과 이 논문에서 제안한 t/k-BADH 알고리즘의 성능을 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 이 논문에서 제안한 알고리즘은 HADA 알고리즘보다 훨씬 적은 테스트 수를 요하고 BADH 알고리즘과 비슷한 테스트 수를 소요한다.

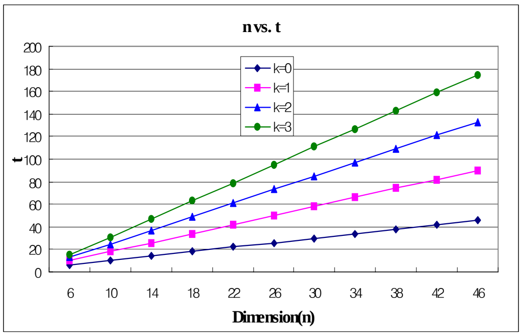

그림 4. k=0,1,2,3일때 진단 가능한 결함수

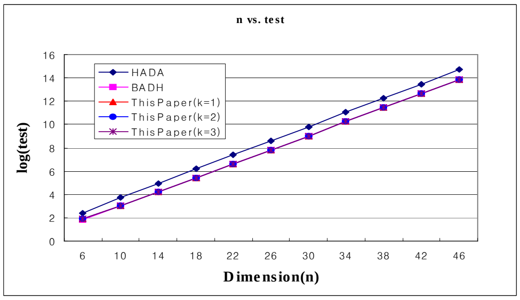

그림 2. 최악의 경우 성능비교

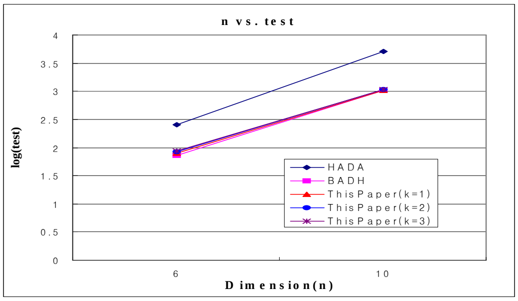

그림 3. 최악의 경우 성능비교(n=6, 10)

Ⅳ. 결 론

기존의 하이퍼큐브 진단 알고리즘은 진단 가능한 노드의 수가 n보다 작거나 같다는 가정을 하고 있다. Kranakis와 Pelc는 전체 하이퍼큐브 H_n을 결함을 모두 포함할 수 있는 서브 링을 하나의 노드로 하는 새로운 하이퍼큐브 $H_j \times R_{n-j}$로 분할하여 진단을 수행하는 알고리즘 HYP-DIAG를 제안하였다. 그러나 이 알고리즘 역시 최대로 하이퍼큐브 차원 수 n만큼의 결함을 진단 할 수밖에 없다는 단점을 갖고 있다. Somani와 Peleg는 진단의 정확여부를 판단할 수 없는 노드의 존재를 허용함으로서 진단 가능한 결함의 최대 수를 증가하는 t/k-진단가능 시스템을 제안하고 하이퍼큐브가 t/k-진단가능 시스템이라는 사실을 증명하였다.

이 논문에서는 BADH 알고리즘을 기반으로 t/k-진단가능 시스템의 개념을 적용하여 결함노드 수 $t > n$일 경우의 Over-d 문제를 해결하고자 시도하였다.

우리는 특히 k=1, 2, 3인 경우에 대해서 효율적인 t/k-BADH 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 진단 가능한 최대의 노드 수를 증가하는 대신에 소량의 부정확 진단을 허용하도록 하였다. t/k-BADH 알고리즘의 효율성을 이용하여, $k=1,2,3$일 경우 $2n-2, 3n-5, 4n-9$개의 보다 많은 결함

을 진단할 수 있을 뿐 아니라, 적은 양의 테스트로 비교적 우수한 진단능력을 보여주었으며, 특히, 결함의 수가 많을 수 있는 대형 멀티프로세서에서 쓰임이 용이함을 보여 주었다. 앞으로의 연구방향은 k를 일반화시킬 때의 효율성에 대한 연구를 진행하고자 한다.

참 고 문 헌

〔1〕 C. Feng, L.N. Bhuyan, and F. Lombardi, “Adaptive System-Level Diagnosis for Hypercube Multiprocessors”, IEEE trans. Computers, vol. 45, no. 10, pp. 1157-1170, Oct. 1996.

〔2〕 A.K. Somani , V.K. Agarwal , D. Avis, “A Generalized Theory For System Level Diagnosis”, IEEE Trans. Computers, vol. 36 no. 5, pp. 538-546, May 1987.

〔3〕 A.D. Friedman, “A New Measure of Digital System Diagnosis”, Proc. Fifth Int'1 Symp. Fault-Tolerant Computing, pp. 167-170, 1975.

〔4〕 F.P. Preparata, G. Metze, and R.T. Chien, “On the Connection Assignment Problem of Diagnosable Systems”, IEEE Trans. Electronic Computers, no. 12, pp. 848-854, Dec. 1967.

〔5〕 A.K. Somani and O. Peleg, “On Diagnosability of Large Fault Sets in Regular Topology-Based Computer Systems”, IEEE Trans. Computers, vol. 45. no. 8, pp. 892-903, Aug, 1996.

〔6〕 E. Kranakis and A. Pelc, “Better Adaptive Diagnosis of Hypercubes”, IEEE Trans. Computers, vol. 49, no. 10, pp. 1013-1020, Oct. 2000.

〔7〕 R, W. Hamming, Coding and Information Theory. Prentice Hall, 1980.

김 동 군 (Dong-gun Kim) 정회원

1996년 충북대학교 통계학과 학사

1998년 충북대학교 대학원 통계학과 석사

1998년~현재 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사 과정

<관심분야> 결함허용, 분산알고리즘, 데이터마이닝, 무선네트워크, 유비쿼터스

이 경 희 (Kyung-hee Lee) 준회원

1995년 충북대학교 컴퓨터과학과 학사

1999년 충북대학교 대학원 전자계산학과 석사

2004년 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사

2002년 9월~현재 서원대학교 컴퓨터정보통신학부 교수

<관심분야> XML, 객체데이터베이스, 데이터마이닝, 바이오인포매틱스

조 윤 기 (Yoon-ki Cho) 준회원

1994년 충북대학교 컴퓨터과학과 학사

1996년 충북대학교 대학원 전자계산학과 석사

2002년 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사

2002년~현재 주성대학 인터넷가상현실과 조교수

<관심분야> XML 문서관리, 소프트웨어 테스팅, 정보검색, 임베디드시스템

김 장 환 (Jang-hwan Kim) 정회원

1980년 서울대학교 경제학 학사

1997년 한국과학기술원 전산학 석사

2003년 충북대학교 전산학 박사

1984년~1988년 쌍용정보통신 연구원

1988년~1993년 Qnix Data System 연구원

1993년~1998년 SK Telecom 연구원

1998년~2005년 대덕대 IT계열 교수

2005년~현재 성결대학교 공대 교수

<관심분야> Mobile & Wireless Communication, Performance Analysis of Networks, Database System, Information Security, Mobile Multimedia, Mobility Managements, Mobile Embedded System, Ubiquitous Computing, 알고리즘 및 계산이론, 결함허용, 정보통신 경제 예측

이 충 세 (Chung-sei Rhee) 정회원

1979년 8월 Univ. of South Carolina 컴퓨터과학과 석사
1990년 12월 Univ. of South Carolina 컴퓨터 과학과 박사
1998년 9월~1991년 9월 동아대학교 경영정보학과 부교수
1991년 9월~현재 충북대학교 컴퓨터과학과 교수
<관심분야> 결함허용, 알고리즘, 전문가시스템, 정보보안