

결합복구율을 고려한 연속 매체 디스크 배열의 신뢰도 분석

오 유 영[○] 김 성 수

아주대학교 정보통신대학 정보및컴퓨터공학부

Reliability Analysis of a Continuous Media Disk Array under Repair Rate

Yuyoung Oh and Sungsoo Kim

Division of Information and Computer Engineering, Ajou University

요 약

본 논문에서는 '그룹화된 패리티를 갖는 소수 라운드 로빈(PRR_{gp}: Prime Round Robin with Grouped Parities)' 방식에 대한 기존의 조합 모델을 이용한 신뢰도 분석 시에 문제가 됐던 결합복구율을 고려하지 못한 모델링에 대해서 마르코프 모델을 이용한 신뢰도 모델링을 바탕으로 결합복구율을 고려한 신뢰도를 계산한다 또한 산출된 신뢰도를 근거로 반최적화된(semi-optimal) 패리티 그룹 나누기 알고리즘을 도출하고 동시에 두 개의 결합에 대한 분석을 수행한다. 마르코프 모델을 이용한 신뢰도 모델링을 통해서 결합발생율만을 고려했을 경우에 신뢰도가 기존의 조합 모델의 신뢰도와 거의 일치하고 결합발생율과 결합복구율을 동시에 고려한 경우에 신뢰도가 결합발생율만을 고려했을 경우보다 더 높다는 것을 보인다. 반최적화된 패리티 그룹 나누기 알고리즘을 사용할 경우에, 동시에 두 개의 결합에 대한 분석을 통해서 약 30% 이상의 경우에 대해서 저장된 패리티 정보를 이용한 복구가 가능하다.

1. 서론

디스크 배열을 저장 서비스시스템으로 사용하는 VOD, MOD 서버에서 제한된 자원을 최적화해야 하는 부하균형 문제가 발생하게 되는데 이를 만족시키기 위한 다양한 배치 기법들이 제안되었다 특히 비디오 임의 액세스 탐색 연산을 지원하면서 부하 균형을 만족시킬 수 있는 배치 기법으로 PRR(Prime Round Robin) 기법이 제안되었다[1]. PRR 기법은 디스크의 저장 공간이 낭비될 가능성이 존재하고 하나의 디스크라도 결합이 발생할 경우에 그 결합으로부터 복구가 불가능하다. 그래서 PRR 기법에서 문제가 된 낭비되는 디스크 저장 공간에 패리티 정보를 저장함으로써 향상된 신뢰도를 제공하는 디스크 배치 전략으로서 PRR_{gp} 기법이 제안되었고 신뢰도 측면에서 조합 모델을 사용해서 PRR, PRR_{gp} 기법에 대한 디스크 배열의 신뢰도를 산출함으로써 PRR_{gp} 기법의 향상된 신뢰도를 나타냈다[2]. 하지만 [2]에서는 신뢰도 모델링 방법으로 결합발생율만을 고려한 조합 모델을 사용해서 신뢰도가 계산되어졌고 또한 패리티 정보를 계산하고 저장하기 위한 패리티 그룹 나누기 알고리즘이 최적화 되지 않아 비효율적이었고 동시에 두 개의 결합에 대한 분석이 미약했다.

본 논문에서는 [2]에서 결합발생율만을 고려한 조합 모델을 극복할 수 있는 신뢰도 모델링 방법으로 결합발생율 뿐만 아니라 결합복구율을 고려할 수 있는 마르코프 체인을 이용해서 신뢰도를 계산하여 비교·분석하고 또한 반최적화된 패리티 그룹 나누기 알고리즘을 제안하고 동시에 두 개의 결합에 대한 분석을 수행한다.

제2장에서는 PRR_{gp} 기법으로 연속 매체가 배치된 디스크 배열에 대한 조합 모델과 이산시간 마르코프 체인을 이용한 신뢰도 모델링에 대해서 살펴보고 제3장에서는 [2]에서 결합발생율만을 고려한 조합 모델로 계산된 신뢰도와 이산시간 마르코프 체인을 이용해서 계산된 신뢰도를 비교하고 또한 결합발생율만을 고려한 경우와 결합발생율과 결합복구율을 동시에 고려한 경우에 이산시간 마르코프 체인을 이용해서 산출된 신뢰도를 비교·분석한다. 또한 제시된 반최적화된 패리티 그룹 나누기 알고리즘의 타당성에 대해서 검증하고 동시에 두 개의 결합에 대해서 분석한 결과를 살펴보고 마지막으로 제4장에서는 본 논문에 대한 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대해서 논한다.

2. PRR_{gp} 기법의 신뢰도 모델링¹⁾

[2]에서 사용한 조합 모델은 신뢰도 모델링에서 중요한 결합복구율(repair rate)을 포함시키는 것이 어렵다[3, 4]. 그래서 결합복구율을 모델링할 수 있는 이산시간 마르코프 체인(discrete-time Markov chain)을 이용해서 PRR_{gp} 기법에 대한 디스크 배열의 신뢰도를 계산한다 먼저 결합발생율(failure rate)만을 고려한 이산시간 마르코프 체인을 이용한 모델링을 통해서 신뢰도를 계산하고, 결합발생율과 결합복구율을 둘 다 고려한 경우에 대해서 모델링을 한다.

2.1 조합 모델

디스크 배열을 구성하는 N개의 디스크를 동일한 것으로 간

본 연구는 1998년도 정보통신연구재단 대학기초연구지원사업에 의한 결과임

1) 본 논문에서 사용된 기호는 참고 문헌 [2]에 설명되어 있다

주하고 동일한 신뢰도(Rel)를 갖는 것으로 가정한다. 한 디스크의 신뢰도는 $R(t) = e^{-\lambda t}$ 에 의해서 구해질 수 있다고 가정한다. 여기서 λ 는 일정한 결함발생율(constant failure rate)이다.

PRR_{grp} 기법으로 연속 매체가 배치된 디스크 배열의 신뢰도(R_{PRR_{grp}})는 [2]에서와 같이 계산되어질 수 있다. 즉, N이 소수일 경우에는 페리티를 넣을 저장 공간이 없기 때문에(m = 0) R_{PRR_{grp}} = Rel^N이 된다. N이 소수가 아닐 경우에 다시 말하면 페리티 정보를 저장할 경우에, 각 r(i)를 계산하기 위해서 먼저 D₀, ..., D_m을 R₀, G₀에서 D_i를 제외한 디스크들을 R₁, R₁₋₁ = G₁, (1 ≤ i < m)이라고 한다. 새로운 그룹을 구성하는 R₀을 이루는 디스크 수(RN₀)는 RN₀ = m + 1, RN₁ = GN₀ - 1, RN_i = GN_{i-1} (2 ≤ 1 < m)이 된다. 임의의 한 그룹 R_i에 대한 신뢰도는 $r(i) = \sum_{k=0}^1 \binom{RN_i}{k} Rel^{RN_i-k} (1-Rel)^k$ 이고, $\binom{RN_i}{k} = \frac{RN_i!}{(RN_i-k)!k!}$ 이다. 디스크들을 새로운 그룹(R_i)으로 나눈 후, R₀ 그룹에 속한 모든 디스크가 결함 없이 올바르게 동작할 경우에 그 외의 그룹들(R₁, ..., R_m)에서 그룹마다 1개 이하의 결함이 발생하더라도 이 결함으로부터 복구가 가능하다. 이 경우의 신뢰도는 $Rel^{m+1} * r(1) * \dots * r(m)$ 이 된다. R₀ 그룹에서 D₀, ..., D_{m-2}중에서 임의의 한 디스크(D_i)에 결함이 발생할 경우에 신뢰도는 $Rel^m * (1-Rel) * \prod_{k=1}^m r(k) * \prod_{k=2}^{m-1} r(k) * Rel^{\sum_{i=1}^m RN_i - \sum_{i=2}^m RN_i}$ 가 된다.

2.2 마르코프 모델
2.1에서 사용한 조합 모델 방법은 신뢰도 모델링에서 중요한 결함복구율을 포함시키는 것이 어렵다[3, 4]. 그래서 결함복구율을 모델링할 수 있는 이산시간 마르코프 체인을 이용하여 신뢰도를 계산한다. 먼저 결함발생율만을 고려한 이산시간 마르코프 체인을 모델링하고, 결함발생율과 결함복구율을 둘 다 고려한 경우에 대해서 모델링함으로써 신뢰도를 계산할 수 있다.
디스크 배열이 완전한 상태(perfect state)에서 시작한다고 가정할 경우에 일정한 결함발생율만을 고려한 마르코프 체인은 그림 1과 같다. 그림 1에서 원은 상태(state)를 나타내는데 N, N-1, N-2, ..., N-m+1, N-m은 디스크 배열을 구성하는 디스크 중에서 각각 N, N-1, N-2, ..., N-m+1, N-m개가 올바르게 작동하고 있다는 것을 의미하고 F는 디스크 배열이 작동할 수 없는 상태(failed state)를 나타낸다 특히 그림 1에서 P는 한 상태에서 다른 상태로 전이할 분기 확률인데 이것은 그림 2와 같이 구해진다.
일정한 결함발생율만을 고려한 경우와 유사하게, 일정한 결함발생율과 일정한 결함복구율(constant repair rate)을 모두 고려한 경우의 마르코프 체인은 그림 3과 같다. 그림 4는 N이 9일 경우에 결함발생율과 결함복구율을 동시에 고려한 이산시간 마르코프 체인을 보여준다.

3. 성능평가

2장에서 살펴본 조합 모델과 마르코프 모델을 이용한 신뢰도 모델링을 통해서 계산된 신뢰도를 비교·분석함으로써 결함발생율만을 고려한 경우가 있어서 두 가지 모델링으로 산출된 결과가 거의 일치하다는 것을 보이고, 결함발생율과 결함복구율을 고려한 마르코프 모델을 이용해서 산출된 신뢰도가 결함발생율만을 고려한 경우보다 더 높다는 것을 보인다. 그리고 산출된 신뢰도를 근거로 반최적화된 페리티 그룹 나누기 알고리즘을 유도하고, 동시에 두 개의 결함 발생 시에 대해서 분석한다.

3.1 신뢰도 분석

그림 5는 N이 9일 경우에 일정한 결함발생율(λ)을 0.0001/hour로, Δt 를 0.001hour로 고정시키고 시간 t를 100에서 1000시간까지 변화시키는 경우에 조합 모델과 마르코프 모델을 이용했을 경우에 PRR_{grp}에서 신뢰도를 보여준다. 조합 모델보다 마르코프 모델을 이용한 경우의 신뢰도가 약간 더 높은 결과를 보이지만, Δt 를 더 작게 할수록 마르코프 모델의 신뢰도가 조합 모델의 신뢰도에 근접하게 될 것이다. 그림 6은 일정한 결함발생율과 일정한 결함복구율(μ)을 동시에 고려한 경우와 결함발생율만을 고려한 경우의 신뢰도를 보여준다. 예상한 것과 같이 λ 만을 고려한 경우보다 λ 와 μ 를 모두 고려한 경우가 신뢰도가 더 높다는 것을 알 수 있다.

3.2 페리티 그룹 나누기 알고리즘과 동시에 두 개의 결함에 대한 분석

그림 7의 페리티 그룹 나누기 알고리즘이 반최적화된 알고리즘이라는 것을 보이기 위해서 일정한 결함발생율(λ)을 0.0001로 고정시키고 시간을 100에서 1000으로 변화시키면서 조합 모델을 이용해서 대표적인 N(3에서 30사이 중에서 그룹의 수가 2이상인 N)에 대해서 가장 높은 신뢰도를 산출하는 그룹 나누기에 대한 결과를 표 1이 보여준다. 표 1의 결과를 보면 그림 7에 제시된 알고리즘이 반최적화된 것임을 알 수 있다.

동시에 두 개의 결함에 대한 분석을 위해서 반최적화된 페리티 그룹 나누기 알고리즘을 사용한다고 가정하고 N을 3에서 100까지의 모든 경우에 대해서 동시에 두 개의 결함에 대한 복구 가능한 비율을 표 2가 보여준다. 이 결과를 근거로 전체에 대한 평균을 구하면 약 30%, 페리티 그룹의 수(m)가 2이상인 N에 대해서 평균을 구하면 약 60%의 경우에 동시에 두 개의 결함에 대한 복구가 가능하다.

4. 결론

본 논문에서는 연속 매체의 검색에 다양한 VCR 기능 연신을 효율적으로 제공하면서 높은 디스크 이용률과 신뢰도를 제공할 수 있는 그룹화된 페리티를 갖는 소수 라운드 로빈 기법에 대한 조합 모델과 마르코프 모델을 이용한 신뢰도 모델링을 통해서 산출된 신뢰도를 비교·분석했다. 결함발생율만을 고려한 경우에 조합 모델과 마르코프 모델을 이용해서 산출된 신뢰도가 거의 일치함을 보였고, 결함발생율과 결함복구율을 고려한 마르코프 모델을 통해서 산출된 신뢰도가 결함발생율만을 고려했을 경우보다 더 높다는 것을 보였다. 그리고 제시된 페리티 그룹 나누기 알고리즘이 반최적화된 것임을 보였고 또한 동시에 두 개의 결함에 대해서 약 30% 이상의 경우에 대해서 복구가 가능하다는 것을 보였다. 신뢰도 모델에서 결함발생율과 결함복구율 뿐만 아니라 동시에 결함커버리지(fault coverage)를 포함시킬 수 있는 이산시간 마르코프 모델의 개발과 연속시간 마르코프 모델(continuous-time Markov model)에서의 신뢰도 계산에 대해서 연구할 계획이다. 또한 결함허용 저장 서비스시스템에 대한 연구도 병행될 것이다.

참고문헌

[1] 권태근, 연속 매체 저장 시스템에서 디스크 입출력 성능 향상 기법, 박사학위논문, 서울대학교 컴퓨터공학과, 1996.
[2] 오유영, 권원석, 김성수, 김창훈, "신뢰도와 임의의 속도 탐색을 고려한 연속 매체 디스크 배치 기법," 1998년 한국정보과학회 춘계학술발표논문집, 제25권 제1호(A), pp. 45-47, 1998. 4.
[3] D.K. Pradhan, Fault-Tolerant Computer System Design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
[4] B.W. Johnson, Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems. Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

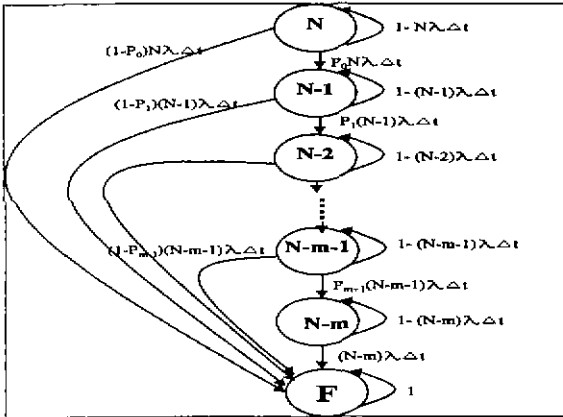


그림 1 일정한 결합발생율(λ)을 고려한 PRR_{pp} 기법에서의 디스크 배열의 마르코프 체인

$$P_x = \frac{A+B}{\binom{N}{x+1}}$$

A = R₀가 결합이 없을 때에 R₁-R_m에서 x+1개의 결합이 발생하더라도 작동할 모든 경우의 수
 B = R₀에 한 개의 결합이 있을 때에 R₁-R_m에서 x개의 결합이 발생하더라도 작동할 모든 경우의 수
 그림 2 상태 전이 분기 확률(P)

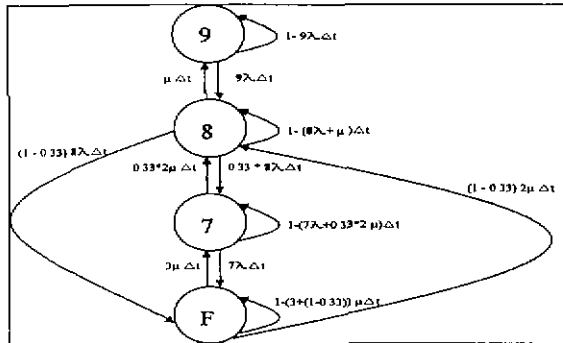


그림 3 일정한 결합발생율(λ)과 일정한 결합복구율(μ)을 고려한 PRR_{pp} 기법에서의 디스크 배열의 마르코프 체인

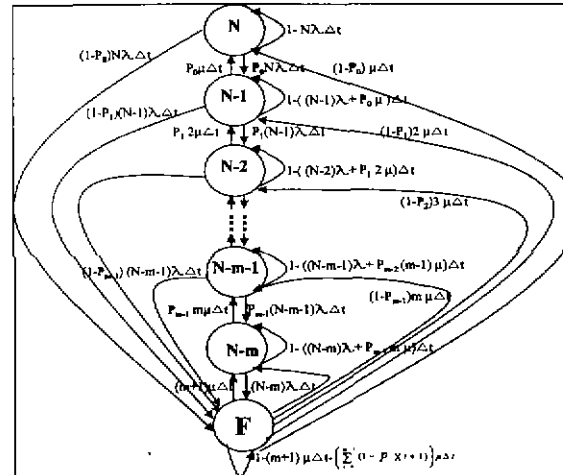


그림 4 일정한 결합발생율(λ)과 일정한 결합복구율(μ)을 고려한 PRR_{pp} 기법에서의 디스크 배열의 마르코프 체인(N=9)

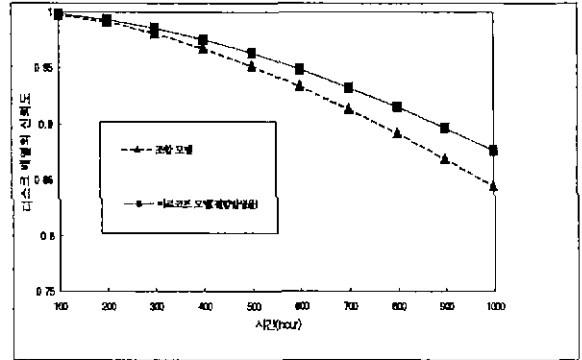


그림 5 PRR_{pp} 기법에서의 디스크 배열의 신뢰도(N:9, λ:0.0001, Δt:0.001, t:변화)

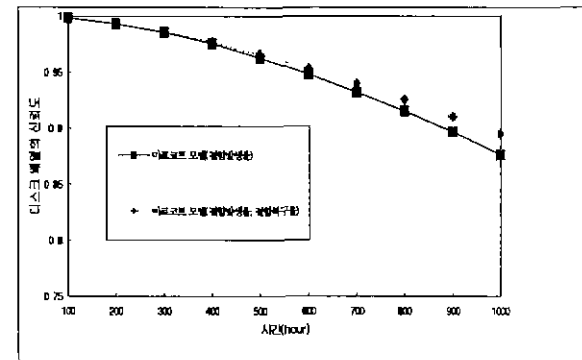


그림 6 PRR_{pp} 기법에서의 디스크 배열의 신뢰도 (N:9, λ:0.0001, μ:0.0001, Δt:0.001, t:변화)

m = N - N_p에 의해서 페리티 그룹의 수(m)를 결정한다.
 (m ≠ 0)
 (N<sub>p>/m)의 몫(x)과 나머지(y)를 구한다.
 for(i = 0; i < m; i++) GN_i = x;
 for(i = 0; i < y; i++) GN_{m-1+i} = x+1;
 그림 7 최적화된 페리티 그룹 나누기 알고리즘</sub>

표 1 최고의 신뢰도를 산출하는 페리티 그룹 나누기 조합

N hour	9	10	15	16	21	22	25	26	27	28							
100	4.3	2.3	2.7	6.14	4.5	10.9	16.6	7.11	12.7	8.8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5		
200	3.4	2.2	3.6	7.14	4.5	9	10.6	6.7	11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5
300	3.4	2.2	3.6	7.14	4.5	10.9	16.6	7.11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5	
400	4.3	2.3	2.7	6.14	4.5	9	10.6	6.7	11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5
500	3.4	2.2	3.6	7.14	4.5	10.9	16.6	7.11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5	
600	3.4	2.2	3.6	7.14	4.5	9	10.6	6.7	11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5
700	3.4	2.2	3.6	7.14	4.5	9	10.6	6.7	11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5
800	4.3	2.3	2.7	6.14	4.5	9	10.6	6.7	11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5
900	3.4	2.2	3.6	7.14	4.5	9	10.6	6.7	11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5
1000	4.3	2.3	2.7	6.14	4.5	10.9	16.6	7.11	12	7.8	8	5.6	6.6	3.5	5.5	5.5	

표 2 동시에 두 개의 결합에 대한 결합허용이 가능한 비율 (m ≥ 2, 3 ≤ N ≤ 100)

N	복구가 가능한 비율	N	복구가 가능한 비율	N	복구가 가능한 비율	N	복구가 가능한 비율
9	33.33	36	72.38	63	47.62	86	64.32
10	44.44	39	46.15	64	63.49	87	72.36
15	40.00	40	61.54	65	71.39	88	77.14
16	53.33	45	46.67	66	76.08	91	48.35
21	42.86	46	62.22	69	47.83	92	64.48
22	57.14	49	46.94	70	63.77	93	72.51
25	44.00	50	62.61	75	48.00	94	77.35
26	58.77	51	70.43	76	64.00	96	80.53
27	66.10	52	74.96	77	71.96	96	82.76
28	70.11	55	47.27	78	76.76	99	48.48
33	45.45	56	63.05	81	48.15	100	64.65
34	60.61	57	70.86	82	64.20		
35	68.34	58	75.56	85	48.24		