

# DDR-SSD를 위한 RAID 레벨 5의 고속화 방법

## Acceleration Method of RAID Level 5 for DDR-SSD

구본근\*, 광윤식\*, 정승국\*\*, 황정연\*\*

Bon-Gen Gu\*, Yun-Sik Kwak\*, Seung-Kook Jeong\*\* and Jung-Yeon Hwang\*\*

### 요 약

본 논문에서는 차세대 스토리지 시스템의 디스크 시스템인 DDR-SSD를 이용하여 RAID 레벨 5를 구성하였을 때 고속화 방법을 제안한다. DDR-SSD는 HDD와 Flash SSD와는 다른 특성을 가지고 있기 때문에 기존의 고속화 기법으로는 최상의 성능을 보이지 못한다. 본 논문에서는 고속화를 위해 패리티 정보만 저장하는 패리티 캐시를 사용하는 것과 패리티 캐시의 저장 셀인 패리티 셀의 구조를 제안하였다. 이것은 디스크 접근 횟수의 감소보다는 패리티 연산 오버헤드를 감소시킨다.

### Abstract

In this paper, we propose the acceleration method of the DDR-SSD RAID level 5. The DDR-SSD is the storage device of the Next Generation Storage(NGS) system. The DDR-SSD has different characteristics with HDD and Flash SSD. That's why the DDR-SSD RAID level 5 does not provide the best performance when the normal acceleration method is used. In this paper, to accelerate the DDR-SSD RAID level 5 operation, we propose the parity cache and the architecture of the parity cell. The parity cache stores only parity blocks. This acceleration method proposed in this paper reduce the number of the disk access and the overhead of parity operations.

Key words : RAID, RAID level 5, NGS, DDR-SSD

### I. 서 론

컴퓨팅 태스크를 위한 자료를 저장하기 위해 다양한 형태의 저장매체들이 개발, 사용되어 왔다. 저장매체들 중에서 성능, 신뢰성, 가격 등의 제한점들을 충족시키며 꾸준히 사용되고 있는 것이 자기 디스크를 기반으로 한 하드 디스크 드라이브(HDD)이다.

HDD는 기계적인 메커니즘을 이용하여 저장 매체에 디스크에 접근을 하는 구조를 갖고 있기 때문에

컴퓨터 시스템의 다른 구성 요소들에 비해 성능은 낮고, 고장 발생 확률은 높다. 지속적인 연구와 개발의 결과로 매년 10% 내외의 성능 향상을 이루었고, 고장 발생 확률의 감소를 통해 신뢰성을 확보하였지만 HDD를 기반으로 하는 디스크 입출력 서브시스템은 컴퓨터 시스템 성능의 주요 병목 지점으로 인식되고 있다[1].

이러한 문제를 해결하기 위해 RAID(Redundant Array of Independent Disk) 시스템이 개발, 사용되고

\* 충주대학교(Chungju National University)

\*\* 한국전자통신연구원(ETRI)

· 제1저자 (First Author) : 구본근

· 투고일자 : 2009년 9월 3일

· 심사(수정)일자 : 2009년 9월 4일 (수정일자 : 2009년 10월 23일)

· 게재일자 : 2009년 10월 30일

있다. RAID는 독립적으로 동작하는 다수의 HDD를 동시에 사용하여 성능을 향상 시키고 저장 용량을 확장하며, 저장되는 자료들에 대한 중복성(redundancy)을 허용하여 디스크에 고장이 발생한 상황에서도 디스크 입출력 서비스를 지속할 수 있는 신뢰성을 확보하고 있다[1],[2].

RAID는 다수의 HDD에 자료를 분산 저장하는 방법과 중복 자료의 생성 및 저장 방법에 따라 레벨 0, 1, 5 및 그 변형들이 존재한다[1],[3]. 자료를 다수의 디스크에 분산 저장을 하는 RAID 레벨 0은 가장 높은 성능을 보이지만 디스크 오류에 대한 대처가 없어 신뢰성은 낮다. 반면 RAID 레벨 1은 동일한 자료를 다수의 디스크에 중복 저장하기 때문에 디스크 오류가 있어도 지속적으로 서비스를 할 수 있어 신뢰성은 높지만 많은 구축 비용, 낮은 저장 효율 및 낮은 성능 등의 문제점을 갖고 있다. RAID 레벨 5는 자료를 다수의 디스크에 분산 저장하여 디스크 입출력 성능을 높이고, 분산 저장되는 자료들에 대한 패리티를 계산, 저장하여 한 개의 디스크에 오류가 발생하여도 계속적으로 서비스를 하는 신뢰성을 확보하고 있다. 그러나 자료를 저장할 때 즉, 디스크 쓰기 연산을 수행할 때 마다 패리티를 계산해야 하므로 디스크 성능이 낮아지는 문제점을 갖고 있다.

RAID 레벨 5에서 발생하는 디스크 쓰기 연산의 성능 저하를 해결하기 위해 버퍼링, 부동 패리티 기법, 패리티 로깅, 디클러스팅 패리티, 패리티 스페이링 등 각종 고속화 기법이 제안되고 구현되었다[1]. 이러한 고속화 기법들을 사용하는 하드웨어 RAID 컨트롤러들은 레벨 0에 근접하는 성능을 보이고 있다[4].

디스크 입출력 서브시스템의 성능을 향상시키기 위한 다른 접근 방법으로는 새로운 저장 매체를 이용하는 것이다. 자기 디스크에 자료를 저장하는 HDD와는 달리 반도체 메모리를 저장 매체로 사용하는 SSD(Solid State Disk)는 저장 매체에 접근하기 위한 기계적인 메커니즘이 없기 때문에 HDD에 비해 매우 높은 전송률 및 IO 처리량을 보이고 있다.

SSD는 자료를 저장하는 반도체 메모리의 종류에 따라 Flash SSD와 DDR-SSD 등으로 구분될 수 있다. Flash SSD는 자료를 저장하는 반도체 메모리로 플래

시 메모리를 사용하며, 플래시 메모리의 특성으로 인해 쓰기 연산이 읽기 연산보다 더 긴 시간이 필요한 비대칭적 서비스 시간을 갖는다. DDR-SSD는 주기억 장치로 사용되고 있는 DDR(또는 DDR2) 방식의 메모리를 이용하며, 읽기 연산과 쓰기 연산을 위한 시간이 동일한 대칭적 서비스 시간을 갖는다.

성능과 신뢰성 향상 및 저장 공간의 확장을 위해 SSD를 이용하여 RAID 시스템을 구축할 수가 있다. 반도체 기술을 이용하여 자료를 저장하는 SSD는 기본적으로 HDD보다 고성능의 저장 매체이며, 이를 이용하여 RAID 시스템을 구축한 경우에는 매우 높은 성능을 기대할 수 있다. 그러나 SSD를 이용하여 RAID 레벨 5를 구성하는 경우에는 예상과는 다른 성능 추이를 보인다. [4]에서는 하드웨어 RAID 컨트롤러에 SSD를 이용하여 레벨 5를 구성하였을 때의 성능 평가를 하였는데 HDD와 비슷한 정도의 성능을 보이는 것으로 기술하고 있다. 그 원인으로는 기존의 RAID 시스템들이 HDD의 동작 특성을 고려하여 RAID 레벨 5의 고속화를 하였기 때문에 저장 방식이 다른 저장 매체에서는 그러한 고속화 기법들이 오버헤드로 작용하여 성능이 기대한 것과는 다르게 평가되었다. 물론 [4]에서의 성능 측정 결과를 일반화할 수는 없지만 저장 매체의 동작 특성에 따라 RAID 레벨 5의 고속화 방법이 달라져야 함을 나타낸다.

본 논문에서는 DDR-SSD를 이용하여 RAID 레벨 5를 구성했을 때를 위한 고속화 방안을 제안하고자 한다. 본 논문에서 RAID 레벨 5의 고속화 방안을 제안하는 배경으로는 DDR-SSD가 차세대 스토리지(Next Generation Storage, 이하 NGS)시스템을 위한 디스크 시스템이고, 신뢰성 및 성능 제고를 위해 RAID 시스템의 구축이 요구되기 때문이다. DDR-SSD는 여러 기술적인 특성 및 저장 방식 측면에서 HDD와 Flash SSD 등과 같은 기존의 디스크 시스템과 다르기 때문에 HDD의 동작 특성에 최적화되어 있는 기존의 RAID 레벨 5 고속화 방안으로는 최상의 성능을 나타내지 못한다. 따라서 본 논문에서는 DDR-SSD의 특성을 고려하여 RAID 레벨 5의 고속화 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 DDR-SSD의 특성을 기술하고 RAID 레벨 5의 고속화

대상이 되는 디스크 쓰기 연산에 대해 기술을 한다. 제 3장에서는 DDR-SSD의 특성을 고려한 고속화 방안을 제안한 후, 이어서 본 논문의 연구 내용을 정리하고 향후 연구 과제를 제시한다.

II. DDR-SSD와 RAID 레벨 5의 쓰기 연산

2-1 DDR-SSD

DDR-SSD는 DDR(또는 DDR2) DRAM을 저장 매체로 하는 디스크 시스템으로서 NGS 시스템의 중요한 구성요소이다[5],[6]. 그림 1은 [6]에서 설계하고 구현한 DDR-SSD를 구성하고 있는 모듈의 블록 다이어그램을 나타내고 있다.

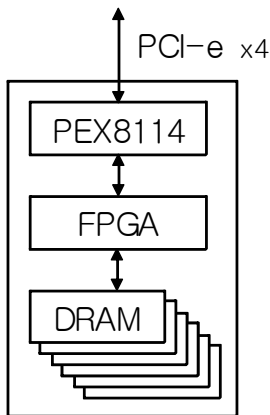


그림 1. DDR-SSD 모듈의 블록다이어그램.  
Fig. 1. Block diagram of the DDR-SSD module.

DDR-SSD 모듈은 PEX8114를 통해 PCI express 프로토콜을 이용하여 신호를 교환하며, FPGA는 DRAM의 동작을 제어하며, PCI express 버스 신호와 DRAM 동작 신호를 상호 변환한다. 각 DDR-SSD 모듈에는 여덟 개의 DDR DRAM을 삽입할 수 있으며, 삽입하는 DRAM의 용량에 따라 모듈의 저장 용량이 결정된다. [6]에서 설계한 모듈은 4GB DRAM을 이용하여 모듈의 저장 용량은 32GB이다.

DDR-SSD는 최대 여덟 개의 모듈로 구성될 수 있으며, 이들 모듈들은 자체 설계한 제어 보드(riser board)를 통해 연결된다. [6]에서 설계한 DDR-SSD는 32GB의 모듈을 여덟 개를 사용하여 총 256GB의

DDR-SSD를 설계하였다.

DDR-SSD는 DRAM을 이용하여 자료를 저장하기 때문에 기계적 접근 메커니즘을 갖는 HDD와는 달리 탐색 시간과 회전지연시간과 같은 접근시간이 필요하지 않다. 또한 Flash SSD는 플래시 메모리의 특성상 쓰기 연산 시간이 읽기 연산 시간보다 긴 비대칭적 연산 시간을 갖고 있지만 DDR-SSD는 읽기 연산과 쓰기 연산을 위한 연산 시간이 동일한 대칭적 연산 시간을 갖기 때문에 쓰기 연산 성능을 높이기 위한 복잡한 알고리즘이나 추가적인 연산들이 필요하지 않다.

2-2 RAID 레벨 5의 쓰기 연산

RAID 레벨 5는 디스크 블록에 대해 쓰기 연산을 할 때 패리티 블록을 생성하여 다른 디스크에 저장한다. 이때 패리티 블록을 생성하기 위해 사용되는 디스크 블록들을 패리티 그룹이라고 하며, RAID 시스템에 사용되는 디스크들의 동일한 블록 번호를 갖는 디스크 블록들로 구성이 된다.

그림 2는 다섯 개의 디스크로 구성된 RAID 레벨 5에서 디스크 블록 쓰기 연산 수행을 나타내고 있다. 그림에서 'D'로 표시된 것은 자료를 저장하는 디스크 블록을 의미하며, 'P'로 표시된 것은 패리티를 저장하는 디스크 블록을 의미한다. 이 예에서 패리티 그룹에는 모두 다섯 개의 디스크 블록들로 구성되어 있으며, 각 블록은 각 디스크에서 동일한 블록 번호를 갖는다. 각 패리티 그룹의 패리티 블록은 라운드로빈 형식으로 각 디스크에 저장되며, 그림 2의 패리티 그룹은 디스크 5에 패리티 블록을 저장하고 있다.

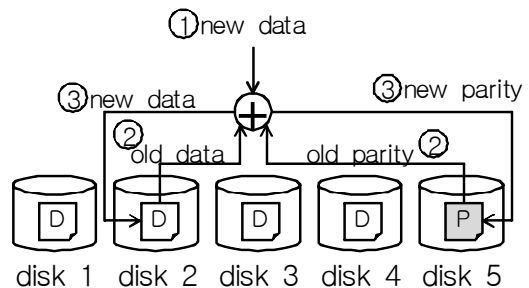


그림 2. RAID 레벨 5의 쓰기 연산  
Fig. 2. Write Operation of the RAID level 5

그림 2의 구성에서 디스크 2에 저장되어 있는 데이터 블록에 대한 쓰기 요청에 따라 새로운 데이터 블록(new data)이 도착(과정 ①)을 하면 RAID 시스템은 디스크 2에 있는 기존의 데이터(old data)와 디스크 5에 저장되어 있는 패리티 블록(old parity)을 읽어(과정 ②)와 XOR 연산을 수행한다. XOR 연산 수행의 대상은 새로운 데이터, 기존 데이터, 기존 패리티이며, 그 결과로 새로운 패리티가 생성된다. 새로운 패리티를 생성한 후 새로운 데이터와 패리티를 디스크 2와 디스크 5에 각각 쓰기 연산을 수행한다(과정 ③).

앞서 기술한 것과 같이 한번의 디스크 쓰기 연산을 위해 한 번의 읽기 연산 시간—old data와 old parity 읽기는 동시에 수행될 수 있다—과 한 번의 쓰기 연산 시간—new data와 new parity 쓰기도 동시에 수행될 수 있다—이 필요하다. 이러한 쓰기 연산 과정은 RAID 레벨 5의 성능을 감소시키는 주요 원인이 되며, 이러한 과정을 고속화하기 위해 버퍼링, 부동 패리티 기법, 패리티 로깅, 디클러스팅 패리티, 패리티 스페이링 등의 고속화 방안들이 제안되었고, 사용되고 있다.

### III. DDR-SSD RAID 레벨 5 고속화 방안

#### 3-1 고속화 접근법

앞서 기술한 것과 같이 DDR-SSD는 기계적 메커니즘을 갖지 않는 반도체 메모리를 이용하여 자료를 저장하기 때문에 반도체 메모리의 자료 전송 대역폭의 대부분을 읽기 또는 쓰기 연산을 위해 사용할 수 있기 때문에 매우 높은 성능을 보인다. 또 DDR-SSD의 DDR 메모리는 주소를 이용한 임의 접근(random access) 저장 매체이므로 모든 메모리 공간에 대한 접근 시간이 동일하다. 따라서 직접 접근(direct access) 매체인 HDD에 비해 임의 접근 요구에 대해 동일한 접근 시간에 서비스를 할 수 있다.

또한 플래시 메모리와는 다르게 겹쳐 쓰기(overwrite)를 통해 쓰기 연산을 수행할 수 있기 때문에 쓰기 연산을 위한 특별한 알고리즘 또는 제어 기

법이 필요하지 않다.

이러한 DDR-SSD의 특징은 디스크 접근 횟수의 감소라는 접근법으로 RAID 레벨 5 고속화를 이루려는 기존의 방안들이 DDR-SSD에서는 최상의 성능을 나타내지 못할 가능성이 있다.

DDR-SSD의 특성을 고려해 볼 때 DDR-SSD를 위한 RAID 레벨 5의 고속화는 디스크 접근 횟수의 감소와 더불어 패리티를 생성하는 XOR 연산의 속도를 높일 수 있도록 하여야 한다.

#### 3-2 디스크 접근 횟수의 감소

디스크 접근 횟수의 감소를 위해 대부분의 RAID 컨트롤러는 자체적으로 버퍼링과 캐싱을 위한 메모리를 포함하고 있으며 평균 수 ms의 접근시간을 갖는 HDD 또는 수십  $\mu$ s의 접근시간을 갖는 Flash SSD를 이용하여 RAID 시스템을 구축하는 경우에 이러한 자체 메모리는 성능 향상에 큰 기여를 하고 있다.

DDR-SSD의 저장매체인 DRAM은 수 ns의 접근시간을 갖기 때문에 상대적으로 디스크 접근 횟수의 감소가 RAID 레벨 5 고속화에 큰 영향을 주지 않는다. 그러나 접근 횟수를 감소시킴으로써 RAID 컨트롤러와 DDR-SSD를 연결하고 있는 PCI express 버스의 점유 횟수를 감소시킬 수 있으며, 유휴 상태의 버스를 다른 DDR-SSD가 사용할 수 있기 때문에 전체 RAID 시스템의 성능 제고에 기여할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 DDR-SSD의 접근 횟수 감소를 위해 캐시 메모리를 사용하되 자료 블록을 저장하는 데이터 캐시와 패리티 블록을 저장하는 패리티 캐시를 분리하여 사용하는 분리 캐시 방법의 사용을 제안한다.

데이터 캐시에는 DDR-SSD에 저장되어 있는 데이터 블록을 임시 저장하기 위한 것으로 호스트로부터 읽기 요청 또는 쓰기 요청이 전달되었을 때 RAID 컨트롤러는 해당 데이터 블록이 데이터 캐시에 이미 적재되어 있으면 DDR-SSD에 접근을 하지 않고 데이터 캐시에 있는 것을 이용하여 서비스할 수 있다.

패리티 캐시에는 DDR-SSD에 저장되는 패리티 블록 중 일부분을 저장하는 것으로 어떤 자료 블록에 대해 디스크 쓰기 연산을 수행할 때 그 블록에 대응하는 패리티 블록이 패리티 캐시에 이미 존재하는 경

우에는 DDR-SSD에 접근할 필요없이 패리티 캐시의 내용을 이용하여 새로운 패리티 블록을 계산한다.

### 3-3 XOR 연산의 속도 향상

XOR 연산은 패리티를 계산하기 위해 사용되는 연산으로서 기존의 RAID 레벨 5에서는 기본적으로 이전 블록의 내용과 새로운 블록의 내용을 XOR 연산을 수행하고, 그 결과와 이전 패리티 블록의 내용과 다시 XOR 연산을 수행하여 새로운 패리티 블록을 생성한다.

패리티 계산을 위해 이미 새로운 블록, 이전 블록, 이전 패리티 블록이 RAID 컨트롤러의 지역 메모리에 이미 적재되어 있다고 가정하면 패리티 계산을 위해 다음과 같이 최소 4회의 메모리 접근이 필요하다: 새로운 블록에서 RAID 프로세서(또는 고속화 회로)의 레지스터로 자료 전송, 이전 블록에서 RAID 프로세서(또는 고속화 회로)의 레지스터로 자료 전송, 이전 패리티 블록에서 RAID 프로세서(또는 고속화 회로)의 레지스터로 자료 전송, RAID 프로세서(또는 고속화 회로)의 레지스터에서 새 패리티 블록으로 자료 전송. 이러한 전송과 더불어 XOR 연산을 수행하여야 하기 때문에 RAID 레벨 5의 오버헤드는 작지 않다.

본 논문에서는 이러한 패리티 연산 오버헤드를 감소시키기 위해 새로운 패리티 캐시 구조를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 패리티 캐시를 구성하는 기본 메모리 셀을 패리티 셀이라고 정의하고, 그 구조는 그림 3에 나타난 것과 같다.

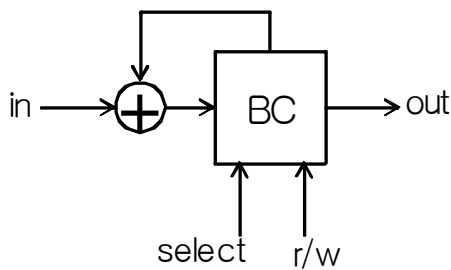


그림 3. 패리티 셀 다이어그램  
Fig. 3. Parity Cell Diagram

그림 3에 나타난 패리티 셀은 1 비트의 정보를 저장하는 것으로 입력되는 비트 정보와 이미 저장하고 있는 비트 정보를 입력으로 갖는 XOR 게이트의 출

력을 셀에 저장하는 구조이다. 즉, 일반적인 데이터 셀과는 다르게 새로운 비트 정보를 저장할 때 셀에 이미 저장되어 있는 자료와 저장하고자 하는 자료를 이용하여 홀수 패리티—XOR 게이트 출력— 정보를 생성하며, 이것을 저장한다.

RAID 컨트롤러가 새로운 데이터 블록—이 블록은 데이터 캐시에도 저장이 됨—을 패리티 셀로 구성되어 있는 패리티 캐시에 저장을 하면 패리티 캐시에는 기존에 저장하고 있던 패리티 블록 정보와 새로운 데이터 블록을 이용한 새로운 패리티 정보가 저장된다. 따라서 RAID 컨트롤러가 패리티 정보를 생성하기 위한 별도의 XOR 연산을 수행하지 않아도 되기 때문에 패리티 연산 오버헤드를 감소시킬 수 있다.

### 3-4 패리티 캐시 동작 절차

앞서 기술한 패리티 셀로 구성된 패리티 캐시는 전용의 패리티 캐시 컨트롤러와 함께 RAID 레벨 5 고속화 요소를 이룬다. 패리티 캐시 컨트롤러가 디스크 블록 쓰기 요청에 대해 처리하는 절차는 그림 4와 같다.

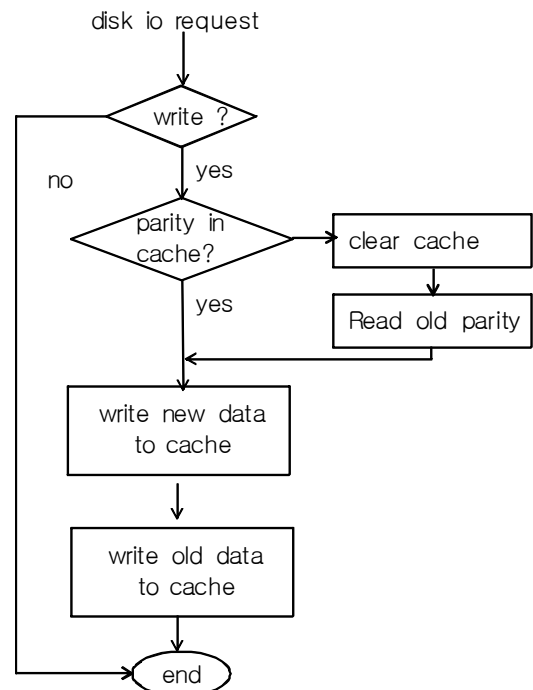


그림 4. 패리티 캐시 컨트롤러의 동작 흐름  
Fig. 4. Flowchart of Parity Cache Controller

호스트로부터 디스크 쓰기 요청이 전달되면 RAID 컨트롤러는 해당 데이터 블록이 데이터 캐시에 이미 적재되어 있는가를 검사한다. 만약 데이터 캐시에 이미 해당 블록이 사상되어 있다면 그곳에 새로운 데이터 블록의 내용을 적재하며, 그렇지 않다면 데이터 캐시의 한 블록을 할당하여 데이터 블록을 적재한다. 그런 후 데이터 블록을 패리티 캐시 컨트롤러에게 전달한다.

패리티 캐시 컨트롤러는 그림 4에 나타낸 것과 같이 해당 자료 블록과 대응되는 패리티 블록이 패리티 캐시에 존재하는 가를 검사한다. 만약 패리티 캐시에 해당 패리티 블록이 저장되어 있으면 새로운 자료 블록과 기존의 자료 블록을 패리티 캐시에 저장을 한다. 패리티 캐시는 패리티 셀들로 구성되어 있기 때문에 자료 블록을 패리티 캐시에 저장을 할 경우에 내부적으로 XOR 연산을 수행한 효과를 갖는다.

만약 패리티 캐시에 해당 패리티 블록이 저장되어 있지 않은 경우에는 사용하고 있지 않은 패리티 캐시 슬롯을 정하여 소거한 후 기존 패리티 블록을 패리티 캐시에 저장한 후 앞서 기술한 과정을 수행한다. 패리티 캐시의 교체 정책은 일반 캐시 메모리의 교체 정책과 동일하게 적용을 할 수 있다.

#### IV. 결 론

스토리지 시스템을 위한 기본 디스크 시스템으로 HDD를 많이 사용을 하고 있다. 그러나 고용량, 고성능, 고신뢰성을 요구하는 새로운 컴퓨팅 태스크, 서비스 그리고, 사업 모델이 개발되면서 HDD보다 좋은 특성을 갖는 저장 매체의 개발이 요구되고 있다.

DDR-SSD는 저장 매체로서 DDR DRAM을 사용하는 것으로 기존의 HDD나 Flash SSD와는 다른 특성을 가지고 있다.

본 논문에서는 DDR-SSD를 이용하여 RAID 시스템을 구축했을 때 RAID 레벨 5 고속화 방안을 제안하였다. 본 논문에서는 고속화 방안으로 패리티 블록만을 저장하는 별도의 패리티 캐시의 사용을 제안하였고, 패리티 캐시를 구성하는 기본 저장 셀인 패리티 셀의 구조를 제안하였다.

패리티 캐시를 이용함으로써 외부적인 XOR 연산의 수를 감소시킬 수 있으며, PCI express를 사용하는 고성능의 DDR-SSD가 자료 전송을 위해 버스가 해제되기를 기다리는 정도를 감소시켜 RAID 시스템의 성능에 오버헤드가 감소되도록 하였다.

향후 연구 과제로는 본 논문에서 제시한 고속화 방안을 활용할 수 있는 RAID 컨트롤러의 구조와 구현 방법에 대한 것이다.

#### 감사의 글

본 논문은 2009년도 한국전자통신연구원의 지원에 의한 연구 결과임.

#### 참 고 문 헌

- [1] Peter Chen, Edward Lee, Garth Gibson, Randy Kats, and David Patterson, R, "RAID : High-Performance, Reliable Secondary Storage," *ACM Computing Surveys*, Vol. 26, Issue 2, Jun. 1994.
- [2] Pei Cao, Swee Boom Lim, Shivakumar Venkatarman, and Jone Wilkers, "The TickerTAIP Parallel RAID Architecture," *ACM Tr. On Computer Systems*, VOL. 12, No. 3, pp.236-269, Aug. 1994
- [3] 김종현 역, 컴퓨터시스템 구조론, 사이텍미디어, 2006
- [4] 구본근, 곽윤식, 정승국, 황정연, "DDR-SSD용 RAID 구현을 위한 RAID 구현 방법 및 저장 매체별 디스크 입출력 대역폭을 이용한 성능 평가", *한국정보기술학회, 게재예정(심사완료)*, 2009.
- [5] 정승국, 고대식, "차세대 스토리지 SSD 기술동향", *정보통신연구진흥원 주간기술동향*, 1369호, pp.23-34, 2008. 10.
- [6] Ko Dae-Sik, Chung Seung-Kook, "A Design of DDR-1 Solid State Drive using PCI-e Interface," *APCC2009*, accepted, Shanghai China, Oct. 2009

구 분 근



1991년 2월 : 인제대 전산학과(공학사)  
 1993년 2월 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학과(공학석사)  
 1998년 2월 : 경북대 컴퓨터공학과(공학박사)  
 1998년 3월~현재 : 충주대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 컴퓨터구조, 임베디드시스템, 상황인식시스템, 스토리지 시스템

황 정 연



1993년 2월:중앙대 통계학과(이학석사)  
 2006년 2월:충남대 통계학과(이학박사)  
 1993년 6월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
 관심분야 : 데이터마이닝, EA/ITA, DDR 기반의 SSD

시스템, SRM S/W 개발

곽 윤 식



1984-6 경희대학교 공학사  
 1994. 3 경희대학교 공학박사  
 1991.5 ~현재 충주대학교 컴퓨터공학과 교수  
 관심분야 : 컴퓨터비전, 인터넷통신 등

정 승 국



2004년 2월:한남대 전자정보통신공학과(박사)  
 1985년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
 관심분야 : 그리드 컴퓨팅, SSD, Utility Computing, Storage & Server Virtualization