

실시간 비지정 문화재 관리 및 도난 추적 시스템 개발을 위한 효율적인 디스크 버퍼 관리 정책 분석

최준형* · 황상호* · 친승만**

The Analysis of Efficient Disk Buffer Management Policies to Develop Undesignated Cultural Heritage Management and Real-time Theft Chase

Jun-Hyeong Choi* · Sang-Ho Hwang* · SeungMan Chun**

요약

본 논문에서는 플래시 기반 대용량 저장매체를 활용하는 비지정 문화재의 관리와 실시간 도난 추적을 위한 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 IoT 기술을 활용하여 문화재의 관리 및 도난 추적을 위한 문화재 관리 장치, 플래시 기반 서버 및 관제 서비스로 구성된다. 하지만 플래시 기반 저장매체는 제한된 수명을 가지므로 이를 보완하기 위한 방안이 반드시 필요하다. 따라서 본 논문에서는 대용량 플래시 기반 저장매체에 내장된 디스크 버퍼를 활용하여 단점을 극복한 시스템을 제안하며 다양한 환경의 워크로드를 통하여 디스크 버퍼 관리 정책의 성능평가를 진행하였다. 실험결과로 CLOCK과 FCFS에 비하여 LRU 정책이 10.7% 적은 플래시 기반 저장매체 쓰기 횟수를 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we present a system for undesignated cultural heritage management and real-time theft chase, which uses flash-based large-capacity storage. The proposed system is composed of 3 parts, such as a cultural management device, a flash-based server, and a monitoring service for managing cultural heritages and chasing thefts using IoT technologies. However flash-based storage needs methods to overcome the limited lifespan. Therefore, in this paper, we present a system, which uses the disk buffer in flash-based storage to overcome the disadvantage, and evaluate the system performance in various environments. In our experiments, LRU policy shows the number of direct writes in the flash-based storage by 10.7% on average compared with CLOCK and FCFS.

키워드

Undesignated Cultural Heritage, Internet of Things, NAND Flash Memory, Disk Buffer, Page Replacement Policy
비지정 문화재, IoT, 낸드 플래시 메모리, 디스크 버퍼, 페이지 교체 정책

1. 서론

비지정 문화재는 문화재로서 가치가 있으나, 아직

국가 및 지방자치단체에서 지정 또는 등록되지 않은 문화재를 의미한다. 이들은 미래에 지정 또는 등록될 잠재력이 높지만, 법적인 지위를 얻지 못하여 관리의

* (재)경북IT융합산업기술원(jhchoi@gitc.or.kr, shhwang@gitc.or.kr)

** 교신저자 : (재)경북IT융합산업기술원

• 접수일 : 2023. 10. 20

• 수정완료일 : 2023. 11. 15

• 게재확정일 : 2023. 12. 27

• Received : Oct. 20, 2023, Revised : Nov. 15, 2023, Accepted : Dec. 27, 2023

• Corresponding Author : Seung-Man Chun

ICT R&D division, Gyeongbuk Industry Institute of IT Convergence Industry Technology (GITC)

Email : smchun@gitc.or.kr

사각지대에 놓여 있어 도난과 훼손의 대상이 되고 있다[1]. 이에 대한 방증으로, 최근 10여 년간 도난당한 문화재는 30,432점으로 집계되었으며, 그림 1은 최근 10년 동안 발생한 문화재 도난 현황을 보여준다[2]. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 비지정 문화재의 도난 점수는 27,978점으로 전체 도난당한 문화재의 약 92%를 차지하고 있다. 이는 점차 증가하는 추세를 보이고 있으며, 도난의 사각 지대에 위치한 비지정 문화재의 유실을 막기 위한 방안이 반드시 필요하다.

과거에 진행되었던 문화재를 관리하기 위한 연구 및 정책으로 문화재 훼손 및 노후화를 방지하기 위한 재난 관리와 문화재 돌봄 사업이 있었다[3-5]. 이와 같은 경우에는 자연 재해로 인한 문화재의 훼손 및 유실을 막을 수 있으나, 인력에 의한 문화재 손상에 즉각적인 대응이 어렵다는 문제가 있다. 이를 막기 위하여 최근에는 발전된 IoT(: Internet of Things) 기술과 AI(: Artificial Intelligence)를 접목한 문화재 관리 플랫폼에 관한 연구가 진행되고 있다[5]. 하지만, 허가되지 않은 인원의 침입 감지 및 도난 문화재의 실시간 추적이 어려워 문화재의 조기 회수에 어려움이 있다.

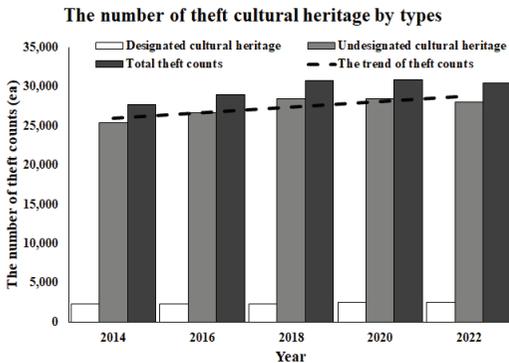


그림 1 유형별 도난 문화재 개수(점)

Fig. 1 The number of theft cultural heritage by types

낸드 플래시 메모리는 자기 디스크에 비하여 빠른 읽기 및 쓰기 지연 속도를 가지며 다른 비휘발성 메모리와 비교하여 높은 집적도를 가진다[6-10]. 이로 인하여 낸드 플래시 메모리는 다양한 시스템에 유연하게 적용될 수 있으며, 그 결과, 빠른 속도로 기존의 저장매체인 자기 디스크를 대체하고 있다. 하지만 낸드 플래시 메모리는 제한된 수명을 가지고 있고, 쓰기

연산의 지연 속도가 상대적으로 느리므로 효율적인 낸드 플래시 관리가 필수적이다. 시스템의 성능향상을 위하여 대용량 플래시 기반 저장매체는 디스크 버퍼 및 이를 관리하기 위한 정책을 통하여 시스템의 입출력을 완충하며 효과적인 저장매체의 활용을 가능케 한다.

디스크 버퍼는 메인 메모리와 유사한 방식으로 동작하며, 시스템에서 요청하는 읽기 요청에 응답하고, 쓰기 요청이 발생하게 되는 경우에 낸드 플래시 메모리 대신 쓰기 연산을 흡수하여 NAND 플래시 메모리의 제한된 수명을 최대한 활용할 수 있도록 한다. 디스크 버퍼를 관리하기 위한 대표적인 관리 정책으로 LRU(: Least Recently Used), CLOCK, FCFS(: First Come First Serve)가 있으며, 이들을 기반으로 다양한 상황에 특화된 버퍼 관리 기법이 연구되었다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 문화재 관리 시스템 및 낸드 플래시 메모리와 관련된 연구에 대하여 기술하며, 3장에서 본 논문에서 제안하는 문화재 관리 시스템에 대하여 서술한다. 4장에서 디스크 버퍼 관리 기법에 대한 성능평가를 진행하며, 마지막으로 5장에 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 실시간 문화재 관리 및 도난 추적 시스템

많은 수의 비지정 문화재는 등산로, 산 중과 같이 인적이 드문 장소에 위치하거나 사찰 및 사유지와 같이 전문 관리 인력이 배치되지 않은 장소에 위치한다. 이로 인하여 비지정 문화재의 도난과 훼손은 도난자를 특정하기 어려우며, 사건의 경위를 파악하기 또한 어렵다. 따라서 문화재 관리 시스템은 도난자와 도난 시기를 특정할 수 있는 장비와의 연계가 필수적이다. 추가적으로 실시간 문화재 관리 및 도난 추적이 가능하더라도 문화재 관리자가 이를 확인하기 위해서 관제 서비스와 더불어 관리 서버 또한 필요하다. 문화재를 관리하기 위한 서버는 각종 센서로부터 수집한 대량의 데이터를 항시 수신하고, 관제 서비스의 요청에 즉각적으로 응답할 수 있어야 한다. 따라서 문화재 관리 서버는 대량의 데이터 저장과 관리가 용이한 저장매체를 선택하여 운영하는 것이 필수적이다.

2.2 낸드 플래시 메모리

자기 디스크는 시스템에서 데이터를 저장하고 보관하기 위한 매체로 오랜 기간 동안 다양한 형태의 시스템에서 널리 사용되어 왔다. 하지만, 자기 디스크는 기계적인 동작부를 반드시 포함하여야 하므로 외부 충격에 약하고, 소형화가 어려우며, 읽기 및 쓰기 지연 속도가 느리다는 단점이 있다. 이로 인하여 자기 디스크는 IoT 환경이나 고성능 컴퓨팅 환경에서 활용되기 어렵다는 문제가 있다. 반면에 낸드 플래시 메모리는 자기 디스크에 비하여 짧은 입출력 지연과 높은 집적도를 가져 대용량화에 유리하여 다양한 시스템의 저장매체로 활용되고 있다. 낸드 플래시 메모리는 페이지 단위로 읽기 및 쓰기 접근이 가능하지만, 특정 페이지에 데이터를 쓰기 위해서 반드시 해당 페이지가 비워져 있어야 한다[6]. 이로 인하여, 낸드 플래시 메모리가 데이터를 업데이트하기 위하여 새로운 영역에 쓰기 연산을 수행하거나 해당 영역을 삭제하여 빈 공간을 생성한 후, 쓰기 연산을 수행한다. 이는 제한

2.3 디스크 버퍼 관리 정책

디스크 버퍼는 대용량 플래시 기반 저장매체에 위치하며 시스템에서 발생한 입출력을 잠시 저장하거나 잦은 접근이 발생하는 데이터를 미리 적재하여 잦은 저장매체 접근으로 인한 시스템 성능 저하를 방지한다. 그림 2는 대용량 플래시 기반 저장매체 및 디스크 버퍼 구조를 보여준다. 앞서 서술한 특징으로 인하여 디스크 버퍼는 시스템에서 낸드 플래시 메모리까지 이어지는 긴 데이터 경로를 줄이고 낸드 플래시 메모리에 발생하는 직접적인 입출력을 줄여 시스템 성능 향상에 이바지한다. 하지만 디스크 버퍼 내에 시스템에서 원하는 데이터가 없는 경우에는 낸드 플래시 메모리로부터 데이터를 적재하는 과정이 추가적으로 필요하므로, 시스템의 성격에 맞는 효율적인 디스크 버퍼 관리 정책을 통하여 이와 같은 단점을 보완하여야 된다.

III. 플래시 기반 실시간 문화재 관리 시스템

본 논문은 문화재 관리 및 실시간 도난 추적을 위한 시스템 구조를 제안한다. 제안하는 시스템은 문화재 관리 장치, 문화재 관리 서버 및 관제 서비스로 구성되며, 그 구조는 그림 3과 같다. 문화재 관리 장치는 문화재 주변에 설치되어 주변 환경정보를 수집하거나 허가되지 않은 외부 인력의 침입을 감지하는 복합감지 장치와 문화재 도난 상황이 발생하는 경우에 문화재의 위치를 실시간으로 추적하는 도난추적 장치로 구성된다.

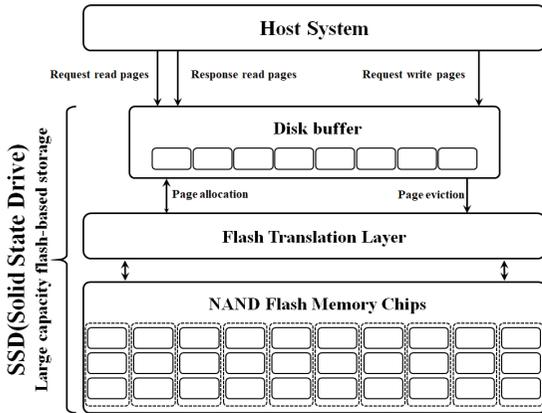


그림 2 대용량 플래시 기반 저장매체 구조도
Fig. 2 The structure of large capacity of flash-based storage

된 수명을 가지는 낸드 플래시 메모리의 수명을 빠르게 소진하는 결과를 초래하게 되며, 이로 인하여 시스템 전체의 성능이 저하되게 된다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 마모도 평준화 기법과 가비지 콜렉션 기법을 활용하는 연구가 진행되었다[11-14].

3.1 실시간 문화재 관리 및 추적 시스템

문화재 관리 시스템의 구성 요소 중, 문화재 관리 장치는 복합감지 장치와 도난추적 장치로 나뉘며, 복합감지 장치는 도난현장 촬영 및 실시간 스트리밍을 위한 RGB 카메라와 문화재 주변 환경정보를 감지하기 위한 각종 센서로 구성된다. 평상시, 복합감지 장치는 설치된 센서를 이용하여 문화재 주변의 온도, 습도 및 진동발생 여부 등을 수집하여 문화재 관리 서버로 전송한다. 침입자가 감지 범위 내로 접근하게 된다면 경고방송을 송출하여 관리 중인 문화재에 접근하고 있음을 알린다. 추가적으로 문화재 관리자에 알

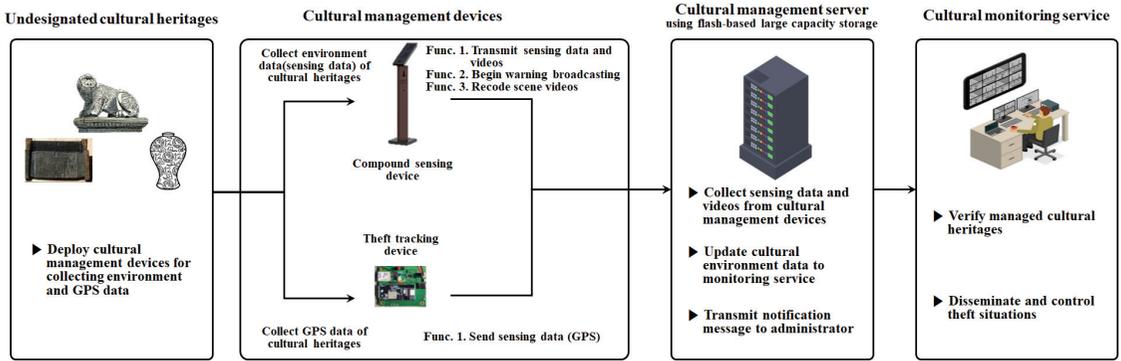


그림 3 문화재 관리 시스템 구조
 Fig. 3 The structure of the cultural heritages management system

림 메시지를 전달 및 영상 송출을 통해 상황을 인지하게 한다. 도난추적 장치는 문화재 또는 문화재 가품에 직접 부착되어 운영되며, 도난상황이 발생하는 경우에 현재 문화재의 위치정보를 실시간으로 문화재 관리 서버로 전송하여, 도난 문화재의 위치를 실시간으로 파악하여 조기 회수할 수 있도록 한다.

3.2 대용량 플래시 기반 저장매체 활용 서버

문화재 관리 시스템은 도난상황의 빠른 인지와 실시간 위치추적 기능을 통하여 도난방지 및 조기 회수에 그 목적이 있다. 빠른 반응속도와 상황인지를 위하여 본 논문에서 제안하는 시스템은 자기 디스크에 비하여 빠른 속도를 가지며, 물리적 충격으로부터 안전한 대용량 플래시 기반 저장매체를 저장소로 이용한다. 플래시 기반 저장매체는 충분히 매력적인 저장 매체이지만, 제한된 수명을 가져 이를 방지하기 위한 방안이 필요하다.

대용량 플래시 기반 저장매체는 디스크 버퍼를 포함하고 있으며, 이는 시스템에서 발생하는 입출력을 잠시 보관하거나, 참조율이 높은 데이터를 미리 적재하는 역할을 수행한다. 디스크 버퍼는 메인 메모리와 유사한 형태로 운영되며, 호스트 시스템에서 저장매체의 특정 페이지를 읽으자 하는 경우에, 디스크 버퍼 내에 해당 페이지가 위치하는지 확인한다. 해당 페이지가 존재하는 경우에 호스트 시스템은 디스크 버퍼에서 페이지를 읽어가며, 그렇지 않은 경우에는 디스

크 버퍼에 해당 페이지를 할당한다. 디스크 버퍼에 새로운 페이지를 할당할 수 있는 공간이 있으면 빈 공간에 해당 페이지를 할당하며, 그렇지 않은 경우에는 페이지를 할당하기 위하여 희생 페이지를 선택한다. 디스크 버퍼 관리 정책별로 희생 페이지를 선택하는 기준은 각기 다르며, 이로 인하여 환경에 따른 성능 차이가 발생하게 된다. 희생 페이지에 쓰기 연산이 발생한 경우에는 해당 페이지를 저장매체에 저장하여 변경 사항을 반영하며, 읽기 페이지인 경우에는 디스크 버퍼에서 제거하여 빈 공간을 확보한다. 이후, 시스템에서 요구하는 페이지를 디스크 버퍼에 할당하고, 호스트 시스템에서는 해당 페이지를 읽어간다. 호스트 시스템에서 특정 페이지를 쓰으자 하는 경우 또한 이와 동일하게 운용되지만 페이지 할당이 완료된 후에 디스크 버퍼에 해당 페이지를 갱신한다는 차이점이 있다.

IV. 실험 및 성능평가

본 절에서는 제안하는 시스템에 적합한 디스크 버퍼 관리 정책을 비교 분석하기 위하여 다양한 입출력 패턴을 가지는 워크로드를 활용하여 디스크 버퍼 관리 정책별 성능평가를 진행하였으며, 표 1은 성능평가에 사용된 워크로드의 특성을 보여준다. 성능평가를 위하여 DiskSim¹⁾을 토대로 개발된 트레이스 기반 시

1) <http://www.pdl.cmu.edu/DiskSim>

물레이터를 이용하였다. 이에 덧붙여 본 논문에서는 각 디스크 버퍼의 성능평가 및 비교 분석을 위하여 디스크 버퍼의 적중 횟수와 플래시 기반 저장매체에 발생한 쓰기 연산 횟수를 성능평가 지표로 선정하였다.

그림 4는 주요 디스크 버퍼 관리 정책인 LRU, CLOCK과 FCFS의 디스크 버퍼 적중 횟수를 보여준다. 저장매체에 발생하는 읽기/쓰기 연산 횟수의 증가는 시스템의 응답속도를 저해하며, 제한된 수명을 가진 플래시 기반 저장매체를 충분히 활용할 수 없게 되는 원인이 된다. 디스크 버퍼를 활용하는 시스템은 플래시 기반 저장매체에 발생하는 직접적인 읽기/쓰기 횟수를 줄이게 되어, 시스템의 성능 향상뿐만 아니라 저장매체를 충분히 활용할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 디스크 버퍼의 적중 횟수는 플래시 기반 저장매체를 활용하는 시스템에서 주요한 성능평가 지표라 할 수 있다. 실험 결과, 다양한 환경에서 LRU 정책이 CLOCK와 FCFS에 비하여 평균 21.2% 높은 적중 횟수를 보여준다.

플래시 기반 저장매체는 제한된 수명을 가지고 있으며, 이는 소거 연산의 발생과 관련이 있다. 이에 덧붙여 플래시 기반 저장매체에서 데이터를 갱신할 때, 다른 위치에 해당 데이터를 기록하거나, 기존 데이터 영역을 삭제하고 그 위치에 갱신하고자 하는 데이터를 기록하게 된다. 따라서 플래시 기반 저장매체에 발생하는 쓰기 연산 횟수는 저장매체의 수명과 관련된 중요한 성능평가 지표가 된다. 그림 5는 각 디스크 정

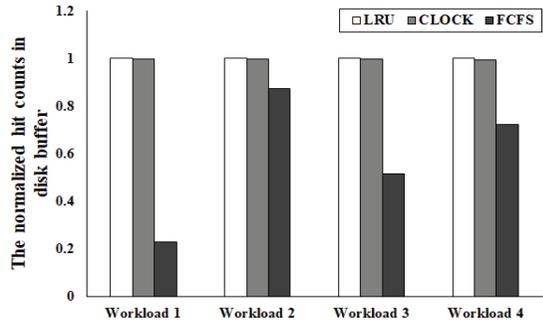


그림 4 워크로드별 디스크 버퍼 적중 횟수
Fig. 4 The normalized hit counts in disk buffer by workloads

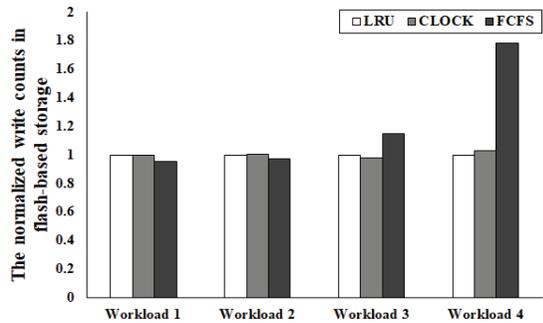


그림 5 워크로드별 플래시 기반 저장소 쓰기 횟수
Fig. 5 The normalized write counts in flash-based storage

표 1 실험에 사용된 워크로드 특성

Table 1. The characteristics of workloads used in experiments

	Workload read counts	Workload write counts	Read/write ratio
Workload1	1,278,390	2,181,870	37 / 63
Workload2	0	8,997,978	0 / 100
Workload3	30,553,477	5,561,702	85 / 15
Workload4	3,810,800	13,882,741	22 / 78

책별로 플래시 기반 저장매체에 발생하는 쓰기 연산 횟수를 비교한 결과이다. 본 논문에서 비교한 환경에서 비교 대상에 비하여 LRU는 평균적으로 10.7% 감소된 플래시 기반 저장매체 쓰기 횟수를 보였다.

V. 결론 및 향후개선 방향

본 논문에서는 플래시 기반 저장매체를 활용하는 비지정 문화재의 관리와 실시간 도난 추적을 위한 시스템을 제안함과 동시에 해당 시스템의 성능 향상을 위한 디스크 버퍼 관리 기법을 분석하였다. 다양한 형태의 환경에서는 LRU 기법이 CLOCK 및 FCFS와 비교하여 평균적으로 21.2% 높은 디스크 버퍼 적중 횟수와 10.7% 적은 저장소 쓰기 횟수를 보였다. 이를 통하여 문화재 관리 시스템을 구성하기 위하여 LRU 계열의 디스크 버퍼 관리 정책이 유리함을 확인할 수 있다. 추후 연구에서 제안하는 시스템에 최적화된 디스크 버퍼 설계로 플래시 기반 저장매체를 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 제시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 문화재청 및 국립문화재연구소의 2021년도 '문화유산 스마트 보존·활용 기술 개발' 사업으로 수행되었음. (과제명: 나홀로 문화재 도난 방지를 위한 지능형 도난 경보 및 실시간 도난 추적 기술 개발, 과제번호: 2021A01D05-003, 기여율: 100%)

References

- [1] H. Ryu, "Strengthening the Legal Foundation for Preservation and Management of Cultural Properties Not Yet Designated - with the Examples of Cultural Heritages in Inje-gun, Gangwon-do," *J. of Korean Historical-forklife*, no. 56, 2019, pp. 53-76.
- [2] Cultural Heritage Administration, "The current status of cultural heritage theft and retrieval in 2022," *Report*, 2023.
- [3] B. Han, "Improvement of cultural heritage disaster management - The Case of Sungnyemun's Collapse in Fire -," *J. of the korea Contents Association*, vol. 8, no. 10, 2008, pp. 189-197.
- [4] C. Byeon, "Achievements and Problems of Cultural Prophylactic Preservation Project for Sustainable Preservation and Management of Local Cultural Heritage," *J. of Region & Culture*, vol. 4, no. 2, 2017, pp. 79-104.
- [5] J. Choi, M. Kim, and Y. Yoon, "A Study on the Intelligent Platform for Cultural Property Management," *J. of the Society of Cultural Heritage Disaster Prevention*, vol. 6, no. 1, 2021, pp. 13-20.
- [6] T. Zhao, and Y. Lee, "Join Query Performance Optimization Based on Convergence Indexing Method," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 109-116.
- [7] H. Kim, M. Song, and Y. Kang, "Large Storage Performance and Optimization Study using block write," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, 2021, pp. 1145-1152.
- [8] T. Chung, D. Park, S. Park, D. Lee, S. Lee, and H. Song, "A survey of flash translation layer," *J. of Systems Architecture*, vol. 55, no. 5-6, 2009, pp. 332-343.
- [9] S. Kim and J. Kwak, "Garbage collection technique using erasure interval for nand flash memory-based storage systems," *Int. J. of Applied Engineering Research*, vol. 11, no. 7, 2016, pp. 5188 - 5194.
- [10] J. Paik, E. Cho, R. Jin, and T. Chung, "Selective-delay garbage collection mechanism for read operations in multichannel flash-based storage devices," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 64, no. 1, 2018, pp. 118 - 126.
- [11] D. Kim, "A Survey of the Index Schemes based on Flash Memory," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1529-1534.
- [12] J. Moon and J. Oh, "Design of the Virtual SD Memory Card System on the Embedded Linux," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 1, 2014, pp. 77-82.
- [13] D. Kim, "Performance Evaluation of Fixed-Grid File Index on NAND Flash Memory," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 2, 2015, pp. 275-282.
- [14] Y. Chang, J. Hsieh, and T. Kuo, "Improving flash wear-leveling by proactively moving static data," *IEEE Trans. Computers*, vol. 59, no. 1, 2009, pp. 53 - 65.

저자 소개

최준형(Jun-Hyeong Choi)



2014년 국가평생교육진흥원 졸업
(공학사)

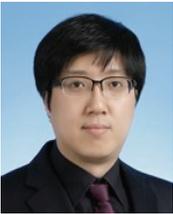
2016년 영남대학교 일반대학원
컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2021년 영남대학교 일반대학원
컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2021년 ~ 현재 (재)경북IT융합산업기술원 ICT연
구본부 AI클라우드센터 선임연구원

※ 관심분야 : IoT 융합 시스템, 임베디드 시스템

황상호(Sang-Ho Hwang)



2009년 영남대학교 컴퓨터공학과
졸업(공학사)

2013년 영남대학교 일반대학원
컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2017년 영남대학교 일반대학원
컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2017 ~ 2019년 대구경북과학기술원 지능형로봇
연구부 연구원

2019 ~ 현재 (재)경북IT융합산업기술원 ICT연
구본부 AI클라우드센터 선임연구원

※ 관심분야 : 임베디드 시스템, 유무선 통신

천승만(Seung-Man Chun)



2010년 경북대학교 대학원 전자
공학부 졸업(공학석사)

2015년 경북대학교 대학원 전자
공학부 졸업(공학박사)

2016년 ~ 현재 (재)경북IT융합산
업기술원 ICT연구본부/AI클라우
드센터 센터장

※ 관심분야 : 인공지능, 빅데이터, 제조AI, IoT 융
합 시스템, 클라우드 데이터 서비스

