

클라우드 플랫폼을 위한 광스위치 기반 계층적 메모리 풀링 시스템

윤지욱*, 박찬호, 김법중, 이준기
한국전자통신연구원

*younjw@etri.re.kr

Optical Switch-Based Hierarchical Memory Pooling System for Cloud Platforms

Youn Jiwook, Park Chanhoh, Kim Bupjoong, Lee Joonki
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문에서는 메모리 풀을 네트워크 수준까지 확장하여 계층적으로 운영하는 광스위치 기반 계층적 메모리 풀링 시스템을 구축하고 이를 실험적으로 검증하였다. 컴퓨팅 노드는 새롭게 정의된 ODF(Optical Disaggregation Frame)을 통해 데이터 복사 없이 메모리 풀에 직접 접근할 수 있었다. 컴퓨팅 노드에서 계층적 메모리 풀로부터 데이터를 읽어오는 경우, 왕복 지연시간 측정결과 상위 계층에서의 지연시간은 하위 계층과 비교하여 41.6% 이상의 지연감소 효과를 보였다.

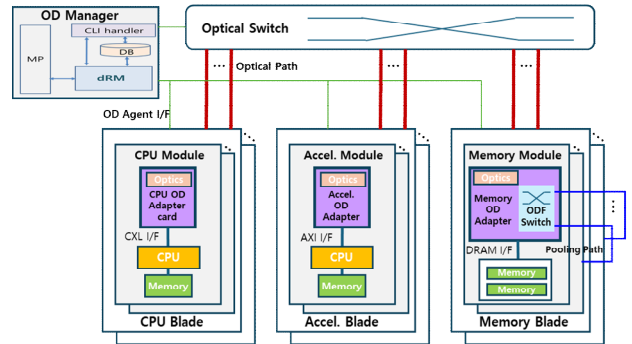
I. 서 론

5G와 인공지능을 활용한 다양한 신규 서비스 등장에 따른 비대칭 트래픽의 증가는 클라우드 플랫폼에서의 자원 활용도를 급격하게 감소시키고 있다. 이를 극복하기 위해서 클라우드 플랫폼 구조는 스토리지 풀링에서 메모리 풀링으로 발전해가고 있다. 특히, CXL(Compute Express Link)은 낮은 지연시간으로 메모리 풀링/공유 기능과 캐쉬 일관성을 함께 제공하여 차세대 인터커넥트 기술로 주목받고 있다[1, 2]. 본 논문에서는 상용 광 회선 스위치와 새롭게 정의된 ODF를 사용하여 CXL을 투명하게 수용하는 네트워크 수준의 계층적 메모리 풀링 시스템을 구현하였다.

II. 시스템 개념도 및 측정 결과

그림 1은 본 논문에서 제안한 광스위치 기반 계층적 메모리 풀링 시스템의 개념도를 보여준다. 컴퓨팅 노드, 가속기 노드 및 메모리 노드는 광스위치와 100Gb/s 광링크를 통해 상호 연결된다. OD Manager는 우선순위 기반 스케줄러를 통해 컴퓨팅 노드의 요청을 처리하고 메모리 풀의 가용성을 기반으로 광경로와 계층적 메모리 풀 연결 경로를 설정한다. CPU/Memory-OD Adapter는 상용 FPGA로 구현되어 CXL과 ODF 간 변환 기능을 수행한다. 계층적 메모리 풀은 별도의 하드웨어로 구현된 다수의 메모리 노드들로 구성되며, 메모리 풀내 모든 메모리 모듈들은 ODF 스위치와 100Gb/s 링크를 통해 상호 연결된다. 계층적 메모리 풀링 검증을 위해 컴퓨팅 노드에서 메모리 풀로 다른 우선순위를 갖는 64 바이트 읽기 프레임 전송 후 왕복 지연시간을 측정하였다. 우선순위별로 213/365 클럭(710/1,065ns@300MHz)이 측정되어 41.6%의 성능차이를 보였다. 실험결과로부터 네트워크 수준으로 확장한 메모리 풀을 계층적 메모리로

사용할 수 있음을 검증하였다. FPGA 로직 최적화와 OD Adapter를 전용 ASIC으로 구현하여 성능을 향상시킬 경우 용량 최적화 DRAM 용도로도 활용 가능할 것으로 예측된다.



[그림 1] 계층적 메모리 풀링 시스템 개념도

사사

본 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019-0-00002, 광 클라우드 네트워킹 핵심기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] Z. Zhang, et al., "Unlocking the Potential of CXL for Disaggregated Memory in Cloud-Native Databases," in Proceedings of SIGMOD'25, June 2025, pp. 1-15.
- [2] J. Wang, et al., "Survey of Disaggregated Memory: Cross-layer Technique Insights for Next-Generation Datacenters," arXiv preprint arXiv:2503.20275, 2025.