

가상화 환경에서 페이지 컬러링 동기화를 이용한 캐시 성능 향상 기법에 관한 연구¹⁾

김정훈^{0*} 김인혁* 엄영익*

*성균관대학교 정보통신공학부

myhuni20@ece.skku.ac.kr, kkojiband@ece.skku.ac.kr, yieom@ece.skku.ac.kr

A Study on Improving Cache Performance using Page Coloring Synchronization in Virtualization Environment

Junghoon Kim^{0*} Inhyuk Kim* Young Ik Eom*

*School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan Univ.

1. 서 론

페이징을 이용한 가상 메모리 환경에서는 프로세스가 사용하는 가상 주소가 임의의 물리 주소로 매핑이 되기 때문에 캐시 인덱스 충돌로 인한 캐시 미스율이 증가한다. 이를 해결하기 위해 기존의 운영체제들은 캐시 인덱스 충돌을 줄이는 페이지 컬러링 기술을 제안하였다. 하지만, 최근 IT 기술 분야에서 Green IT 환경 구축을 위해 주목받고 있는 가상화 환경에서는 페이지 컬러링 기술을 그대로 적용하기에 문제가 있다[1]. 각각의 가상 머신 즉, 게스트에서 페이징을 이용해 변환된 주소는 호스트 물리 주소가 아닌 게스트 물리 주소이다. 이 게스트 물리 주소는 호스트에서 주소 변환 과정을 다시 거치면서 실제 물리 주소인 호스트 물리 주소로 변환이 된다. 따라서 게스트 내에서 페이지 컬러링 기술을 적용하여 원하는 물리 주소로 변환을 하더라도 호스트를 거치면서 다시 주소 변환이 일어나기 때문에, 게스트에서 요청한 물리 주소가 아닌 다른 물리 주소로 매핑이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 게스트의 물리 주소와 호스트의 물리 주소의 페이지 컬러를 일치시키는 기법을 제안한다.

2. 본 론

페이지 컬러링은 물리 주소와 L2 캐시 주소 사이의 비트 패턴 차이를 이용한 소프트웨어 기술이다 [2][3][4]. 프로세스의 페이지 매핑 과정은 다음과 같다. 각 프로세스가 가지는 가상 메모리 페이지들은 페이징 과정에 의해 물리 메모리로 매핑이 된다. 이 물리 메모리 페이지들은 각각의 물리 주소에 따라 L2 캐시로 매핑이 된다. 여기서 주목할 점은 물리 메모리 페이지가 L2 캐시로 매핑이 될 때, 물리 주소와 L2 캐시 주소와의 비트 패턴 차이로 인해 캐시 컬러가 생긴다는 것이다. 페이지 컬러링은 이러한 특성을 이용하여 프로세스의 페이지들이 캐시 컬러를 골고루 가지도록 관리한다. 이를 통해 프로세스는 캐시 인덱스 충돌을 줄일 수 있다.

하지만, 가상화 환경에서는 이러한 페이지 컬러링 기술을 그대로 적용하기에 문제가 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 각각의 게스트에서 페이징을 이용해 변환된 주소는 호스트 물리 주소가 아닌 게스트 물리 주소이다. 따라서 게스트 내에서 페이지 컬러링 기술을 적용하여 페이지 컬러를 골고루 가지도록 관리하여도 호스트 물리 메모리에는 반영이 되지 않는다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 페이지 컬러링 동기화 기법을 제안한다. 먼저, 게스트 내에서는 페이지 컬러링 기술을 이용하여 원하는 물리 주소를 요청한다고 가정한다. 이와 같은 상황에서 제안한 기법은 호스트 내에서 동작하게 된다. 본 기법은 호스트 내에서 캐시 인덱스와 맞물리는 게스트 물리 페이지 넘버와 호스트 물리 페이지 넘버 하위 비트를

1) 본 과제(결과물)는 교육과학기술부지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

매칭 시켜줌으로써 페이지 컬러를 일치시켜 준다. 따라서 본 기법을 사용할 경우, 페이지 컬러가 같은 빈 페이지가 호스트 물리 메모리에 없는 경우를 제외하고는 페이지 컬러를 동기화할 수 있다.

본 논문에서는 페이지 컬러링 동기화 기법을 적용하여 페이지 컬러링이 일어난 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하여 평가하고자 한다. 평가는 Dell Precision 340 머신을 기준으로 한다. 이 경우 머신은 4KB 페이지 크기, 512KB 8-way set associative L2 캐시, 64B 캐시 라인 크기를 가지게 된다. 즉, 128개의 페이지가 캐시에 존재할 수 있고 16개의 캐시 컬러가 생긴다. 다음으로 한 프로세스의 128개의 페이지를 평가 대상으로 한다. 이 페이지들에 대해 워드 단위(4B) 순차적으로 1번, 역순으로 1번 접근을 1회 접근이라 정하고 총 2회 반복 접근한다. 실험군은 16개의 페이지 컬러에 대해 골고루 페이지 컬러링이 일어난 경우와 그렇지 않은 경우로 정한다. 그리고 캐시 교체 정책은 LRU 기법을 사용한다.

표 1은 각각의 경우에 대해 캐시 미스 횟수를 나타낸다. 강제 미스(compulsory miss)는 처음 비어있는 캐시 블록에 접근할 때의 미스를 의미하고, 충돌 미스(conflict miss)는 동일 셋에 블록들이 꽂았을 때의 미스를 의미한다. 표 2는 표 1에서 구한 결과를 통하여 캐시 미스율을 구한 것이다. 표 2에서 페이지 컬러링을 적용하였을 경우, 총 미스율이 가장 낮으므로 캐시의 성능이 향상된다는 것을 알 수 있다. 또한 페이지 컬러링을 적용하였을 경우, 충돌 미스율이 0임을 알 수 있다. 이는 128개의 페이지가 모두 캐시에 존재한다는 것을 의미하고, 만약 프로세스가 이 페이지들에 대해 지역성(locality)을 가지고 계속 수행한다면 총 미스율은 점점 낮아질 것이다.

표 1 각 경우에 따른 캐시 미스 횟수

페이지 컬러링	컬러의 수	강제 미스	충돌 미스	합계
○	16	2^{13}	0	2^{13}
×	12	3×2^{11}	4×2^{11}	7×2^{11}
×	8	2^{12}	4×2^{12}	5×2^{12}

※ 페이지 컬러링이 일어나지 않은 경우, 페이지 매핑이 예측 불가능하므로 12개, 8개 컬러의 경우로 매핑 된다고 가정함.

표 2 각 경우에 따른 캐시 미스율

페이지 컬러링	컬러의 수	충돌 미스율	총 미스율
○	16	0	1.5625
×	12	1.5625	2.734375
×	8	3.125	3.90625

$$\text{※ 캐시미스율}(\%) = \frac{\text{미스횟수}}{\text{캐시접근횟수}} \times 100$$

3. 결 론

본 연구에서는 가상화 환경에서 캐시 성능 향상을 위한 페이지 컬러링 동기화 기법을 제안하였다. 평가 결과와 같이 제안한 페이지 컬러링 동기화 기법을 적용할 경우, 가상 머신에서 페이지 컬러링이 가능해지므로 캐시 미스율을 크게 줄일 수 있다. 향후에는 본 논문에서 제안한 기법을 실제 가상 머신에 구현하여 본 논문의 결과와 비교·분석해 볼 계획이다.

참고 문헌

- [1] 김진미, 안창원, 정영우, 박종근, 고광원, 변일수, 우영춘, “차세대 컴퓨팅을 위한 가상화 기술,” ETRI 전자통신동향분석, 제23권 제4호, pp.102-114, 2008.
- [2] R. E. Kessler and M. D. Hill, “Page placement algorithms for large real-indexed caches,” ACM Trans. on Computer Systems, 10(4): 338-359, 1992.
- [3] T. H. Romer, D. Lee, B. N. Bershad, and J. B. Chen, “Dynamic page mapping policies for cache conflict resolution on standard hardware,” In First USENIX Symp. on Operating Systems Design and Implementation (OSDI), pages 255-266, Monterey, CA, 1994.
- [4] J. Lin, Q. Lu, X. Ding, Z. Zhang, X. Zhang, and P. Sadayappan, “Gaining insights into multicore cache partitioning: Bridging the gap between simulation and real systems,” In Int’l Symp. on High Performance Computer Architecture (HPCA), pages 367-378, Salt Lake, UT, 2008.