

# Object-Level Energy Profiler in Hybrid Main Memory System

Taeuk Kim and Youngjae Kim

Department of Computer Science Engineering, Sogang University, Korea

E-mail: taeugi323@sogang.ac.kr, youkim@sogang.ac.kr

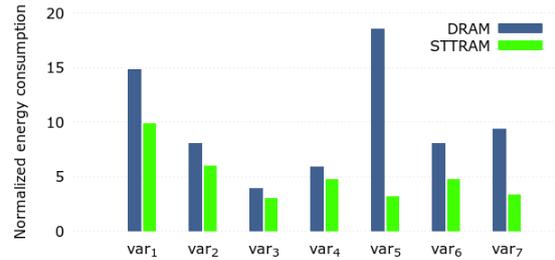
DRAM 에 비해 지연 시간은 길지만 전력 및 에너지 소비가 적고 지속성을 가지는 Non-Volatile Memory (NVM) 기술이 발전함에 따라 DRAM 과 함께 메인 메모리에 배치되는 Hybrid Main Memory System (HMMS) 환경 및 그 위에서 어플리케이션의 메모리 오브젝트들을 적절한 메모리 모듈에 할당하여 성능 손해를 최소화하며 전력 및 에너지 소비를 줄이는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 오브젝트 레벨 메모리 접근 패턴 분석이 중요하게 되었고, 최신의 연구에서는 오브젝트 레벨의 프로파일링을 통하여 프로그램이 메모리 오브젝트에 접근하는 패턴을 세밀하게 분석하였다[1]. 하지만 HMMS 에서의 오브젝트 배치를 통하여 메모리 레벨의 에너지 소비량을 줄이기 위해서는 오브젝트가 어떤 메모리 모듈에 배치될 때 어느 정도의 에너지를 소비해야 되는지에 대한 정보를 프로파일링 할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 특정 NVM 디바이스의 작동 방식을 파악해야 하고, 이를 토대로 소비 에너지를 예측할 수 있는 모델을 디자인해야 한다. 본 연구는 Spin-Transfer Torque RAM (STTRAM) [2] 의 특성을 고려한 에너지 예측값을 모델링 하였다. 또한, [1]을 통해 얻을 수 있는 오브젝트의 크기 ( $V$ ), 읽기/쓰기를 통한 총 접근 용량( $AV$ ), 수명시간( $L$ ) 외에도 페이지 내 쓰인 캐시 라인 수( $NC$ ) 등의 정보를 추가적으로 프로파일링 하였다. 그 후 [2]에 언급된 DRAM, STTRAM 의 메모리 연산의 비트 당 정규화된 에너지 값들( $dE_{OP}$ ,  $sE_{OP}$ )을 참조하여 [그림 1]의 수식을 통해  $i$  번째 오브젝트의 DRAM 및 STTRAM 에서 소비할 에너지의 예측값( $dE_i$ ,  $sE_i$ )을 [그림 2]와 같이 도출하였다.

$$dE_i = dE_{AP} * AV_i + dE_{RW} * AV_i + dE_{REF} * V_i * L_i$$

$$sE_i = sE_{AP} * AV_i + sE_{RBA} * AV_i + sE_{WB} * NC_i * clV$$

where  $AP$  : activate + precharge,  $RW$  : r/w,  $REF$  : refresh,  
 $RBA$  : row buffer access,  $WB$  : write back

[그림 1] 소비 에너지 예측 모델



[그림 2] 오브젝트 별 에너지 소비량

**References** [1] Xu Ji, Chao Wang, Nosayba El-Sayed, Xiaosong Ma, Youngjae Kim, Sudharshan S. Vazhkudai, Wei Xue, and Daniel Sanchez. 2017. Understanding object-level memory access patterns across the spectrum. In Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC '17). [2] E. Kultursay, M. Kandemir, A. Sivasubramaniam and O. Mutlu, "Evaluating STT-RAM as an energy-efficient main memory alternative," 2013 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS' 13)