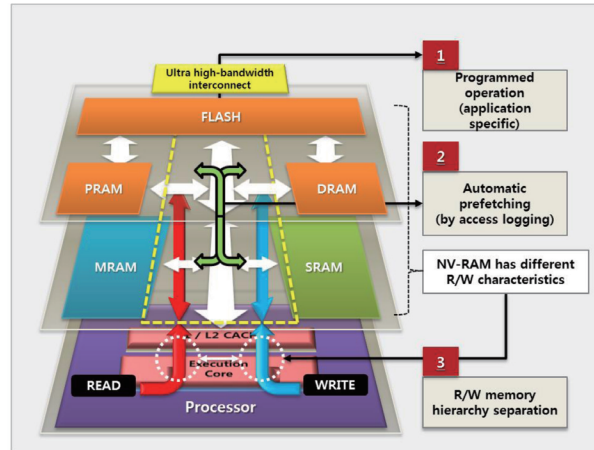
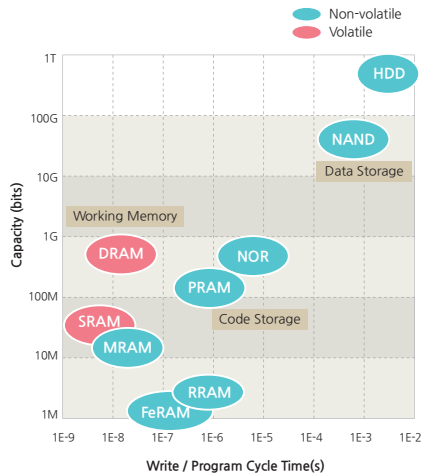


Heterogeneous(Hybrid) Memory System

Future AP Memory Sys.: Heterogeneous (Hybrid) Memory Sys. with non-volatile memory

- ▶ Developing various non-volatile memory(PRAM, MRAM, STT-RAM, RRAM, etc.): to bridging gap bet. DRAM and NAND/HDD
- ▶ Hybrid memory hierarchy with volatile (SRAM/DRAM) + non-volatile PRAM/MRAM) memory



Importance of MemCopy Operations

Power Efficiency Comparison

	Cortex-A15 vs Cortex-A7 Performance	Cortex-A7 vs Cortex-A15 Efficiency
Dhrystone	1.9x	3.3x
FDCT	2.3x	3.6x
IMDCT	3.0x	2.8x
MemCopy L1	1.9x	2.1x
MemCopy L2	1.9x	2.9x
NOP	n/a	5.7x
Do-While	n/a	2.9x
WFI	n/a	4.0x
Static Leakage	n/a	4.7

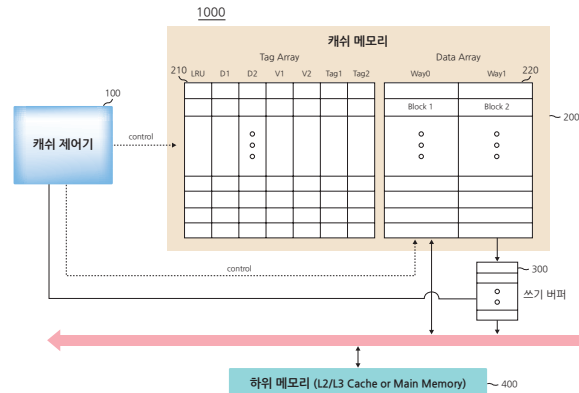
• Both processors use the same measurement approach at TT, Vnom, 85C

Source: MPSoC 2012, John Goodacre (ARM Director)

기술소개 1: Cache replacement policy

Improve CPU performance by reducing memory access latency

- ▶ Reducing write latency for concentrated burst memory access like memcpy
- ▶ Adaptive replacement policy with consideration for write-buffer status
- ▶ Can reduce almost write latency when at least one clean block is reside in each cache set during the burst write.



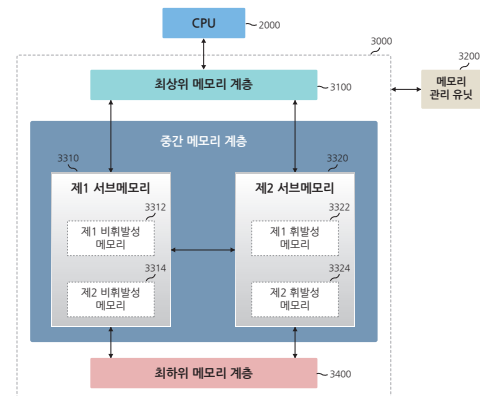
청구항1

동일한 셋(set)에 둘 이상의 블록이 존재하는 집합 연관 캐시 메모리를 제어하는 캐시 제어기에 있어서, 쓰기 버퍼에 저장된 캐시 블록의 수가 미리 정해진 임계치 이상인지를 감시하는 쓰기 버퍼 감시부, 상기 캐시 메모리의 동일한 셋(set)에 존재하는 블록 중 일부가 내용이 변경되었는지 감시하는 내용 변경 상태 감시부 및 상기 쓰기 버퍼에 저장된 캐시 블록의 수가 임계치 이상이며, 상기 동일한 셋에 블록 중 일부가 내용이 변경되지 않은 경우, 캐시 참조 실패로 인해 인출된 하위 메모리 블록과 상기 내용이 변경되지 않은 블록을 교체하는 캐시 블록 교체부를 포함하는 캐시 제어기.

기술소개 2: Hybrid memory architecture

Improving hybrid memory performance

- ▶ Loading data based on the access characteristics (read miss data to non-volatile and write miss data to volatile memory) (Claim 1)
- ▶ Loading all data into volatile memory and selectively replace to non-volatile memory for the data loaded from read miss set during the burst write.



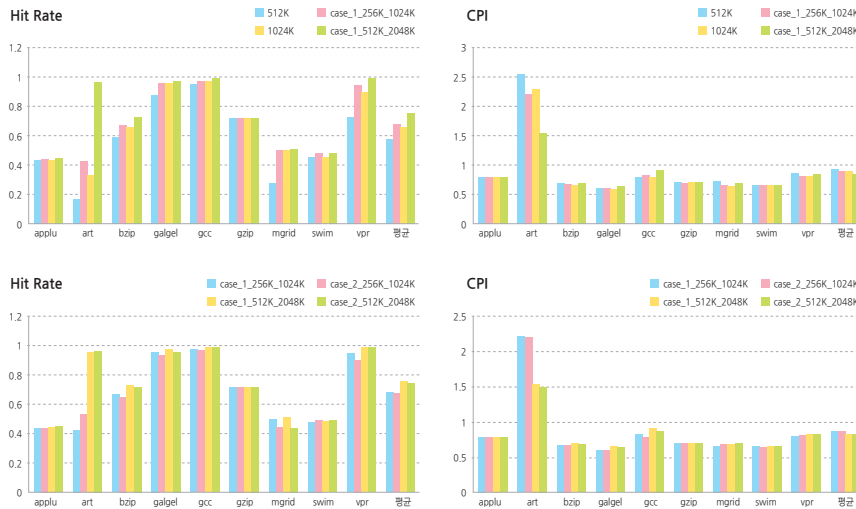
청구항1

복수의 메모리 계층을 포함하는 메모리 시스템에 있어서, 휘발성 메모리로 구성된 제 1 메모리 계층, 비휘발성 메모리로 구성된 제 3 메모리 계층 및 상기 제 1 메모리 계층 및 제 3 메모리 계층 사이에 배치되고, 상기 제 1 메모리 계층에서 발생한 메모리 참조 실패에 응답하여 읽기 참조 실패가 발생한 데이터 및 쓰기 참조 실패가 발생한 데이터가 각각 상기 제 3 메모리 계층으로부터 로딩되는 제 1 서브 메모리와 제 2 서브 메모리를 포함하는 제 2 메모리 계층을 포함하되, 상기 제 1 서브 메모리 또는 제 2 서브 메모리에 로딩된 데이터는 상기 제 1 메모리 계층으로 로딩되는 메모리 시스템.

Performance Improvement of Memory System

With Patent 2, performance improvement can be achieved

- ▶ Almost same or better performance with case 1 (for Claim 1) and case 2 (for Claim 6) than 2 times bigger area SRAM



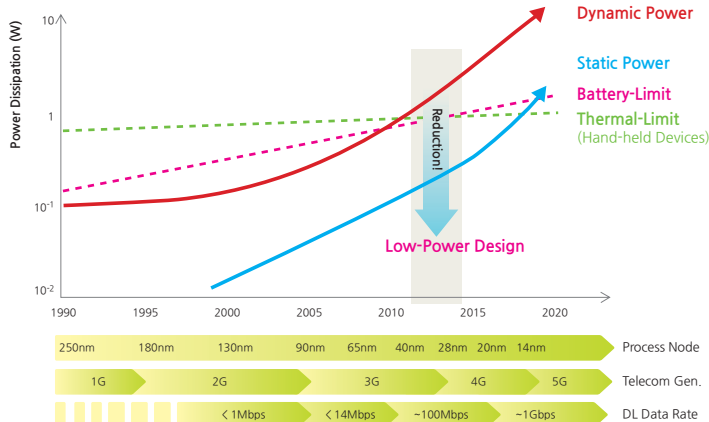
Static (Leakage) Power & Thermal Issues

Static (Leakage) power and thermal issues becomes serious

- ▶ Memory system (Especially L2/L3, DRAM): One of main sources of static power consumption
- ▶ Dynamic power for access DRAM: One of main sources of thermal issue

Why Energy-Efficiency Important?

- More and more energy-hungry in mobile devices.
- Thermal-constraints are harsher than battery-limitation in hand-held devices.



Source: IDEC Seminar 2012. 8, K. Lee (Samsung Modem Team)

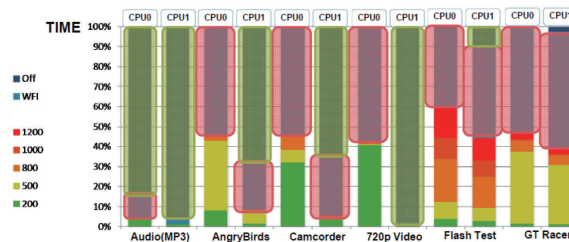
Retention Cost and Conservative Shutdown

In Standby (WFI): ~ 30% of time

- ▶ OS decide whether shutdown or not based on the cost function
- ▶ Long breakeven time due to Save/restore cost ⇨ conservative power management

Opportunity For Retention

- CPUs running a modern OS rarely behave like this
- Decision on when to shutdown is left to OS
 - Save/restore energy cost may have long breakeven time
 - Leads to conservative power management



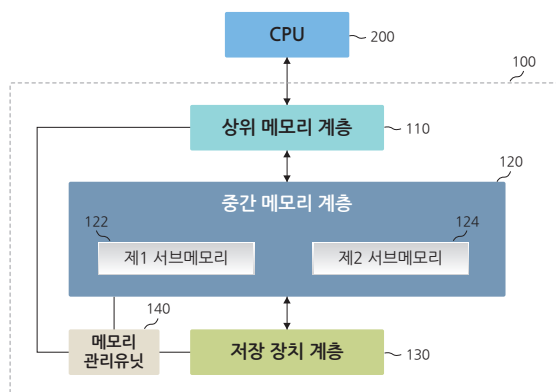
- Observed ~30% of time in standby (WFI)

Source: Coolchips 2013, 2013. 4
James Myer (ARM Silicon R&D)

기술소개 3

Early saving of dirty data to non-volatile memory

- ▶ Reduce save/restore overhead by saving dirty data that have low possibility to be referenced to non-volatile memory in advance
- ▶ Help OS to be more aggressive to reduce leakage power consumption by go to shutdown state more easily

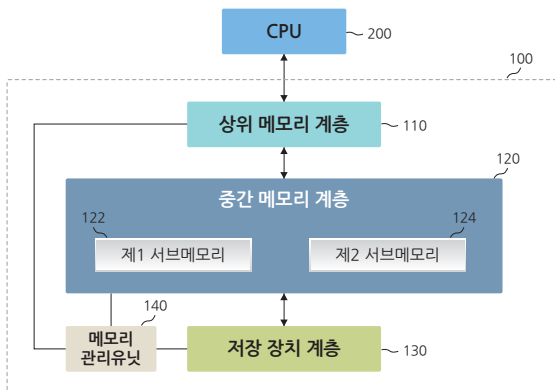


복수의 계층의 메모리를 포함하는 메모리 시스템에 있어서, 상위 메모리 계층, 저장 장치 계층, 상기 상위 메모리 계층 및 저장 장치 계층 사이에 배치되고, 비휘발성 메모리로 이루어진 제 1 서버 메모리와 휘발성 메모리로 이루어진 제 2 서버 메모리를 병렬구조로 포함하는 중간 메모리 계층 및 상기 상위 메모리 계층, 중간 메모리 계층 및 저장 장치 계층의 동작을 제어하는 메모리 관리 유닛을 포함하고, 상기 중간 메모리 계층 및 저장 장치 계층은 상기 상위 메모리 계층에 의하여 참조되는 것이고, 상기 메모리 관리 유닛은 상기 메모리 시스템을 포함하는 사용자 단말의 일반 모드 동작시에 상기 제 2 서버 메모리에 저장된 데이터들 중 소정의 조건에 해당하는 데이터를 상기 제 1 서버 메모리에 미리 저장시키는 메모리 시스템.

기술소개 3-1

Early saving and save all data to non-volatile memory for turn-off volatile memory to control thermal issues

- ▶ With reduced save/restore overhead, easily turn-off volatile memory by saving all remaining dirty data to non-volatile memory ⇒ simple, easy mechanism to control thermal issues



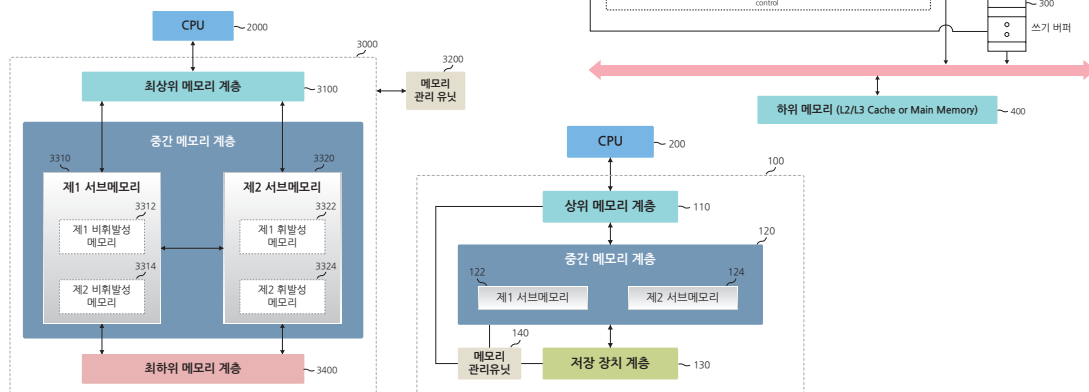
청구항10

제 1 항에 있어서, 상기 메모리 관리 유닛은, 상기 사용자 단말의 온도가 임계값을 초과하면 상기 제 2 서브 메모리에 저장된 잔여 데이터를 상기 제 1 서브 메모리에 저장시킨 후 상기 제 2 서브 메모리의 구동을 중지시키는 메모리 시스템.

침해 입증 방법: directed S/W testing

Easily detectable with directed S/W Testing

- ▶ Use S/W program written for pre-determined cache miss pattern and observe the memory states to check the operation of the memory system especially loading and storing operation



Product Differentiation Points

Vertical Integration

• Apple's design paradigm

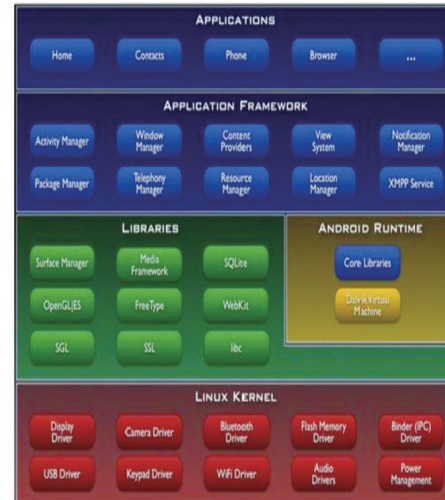
- From silicon to application
 - Apple's Own AP
 - Apple's Own OS
- Product-level differentiation
 - Better performance
 - Energy efficiency

→ Android smartphones use the same design paradigm

Changes of Paradigm

• Closed platform → Open platform (Android)

- Hard to make product different
- Market requires "Unique Selling Point"



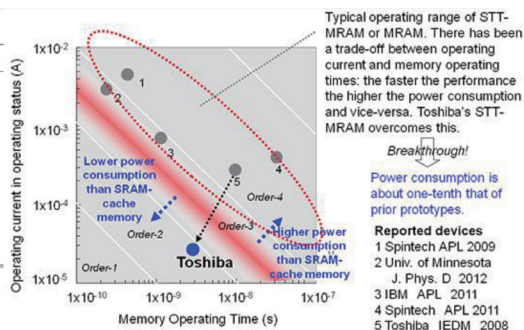
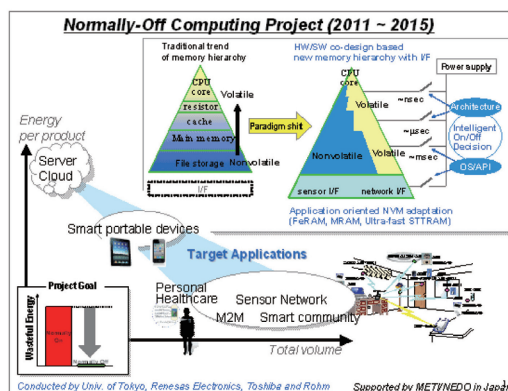
Source: IDEC Seminar 2012. 11, J. Woo (OMAP MM Architect. TI)

Mobile AP Patents for market players

Opportunity for the new framework of memory hierarchy

- ▶ New memory system architecture with non-volatile memory
- ▶ Can extend the patent portfolio and devise new patents for memory device or SSD itself for new memory hierarchy architecture
- ▶ Secure new memory hierarchy patents to build a basic strength for future Logic (e.g. AP) business

Source: ASSCC 2012. Panel Discussion Material)



Low power device memory system architecture with non-volatile memory (normally-off computing) – U of Tokyo, Toshiba, Renesas, etc.

Source: <http://www.engadget.com/2012/12/10/toshiba-goes-perpendicular-to-solve-mram-power-issues/>