

การทดลองที่ B

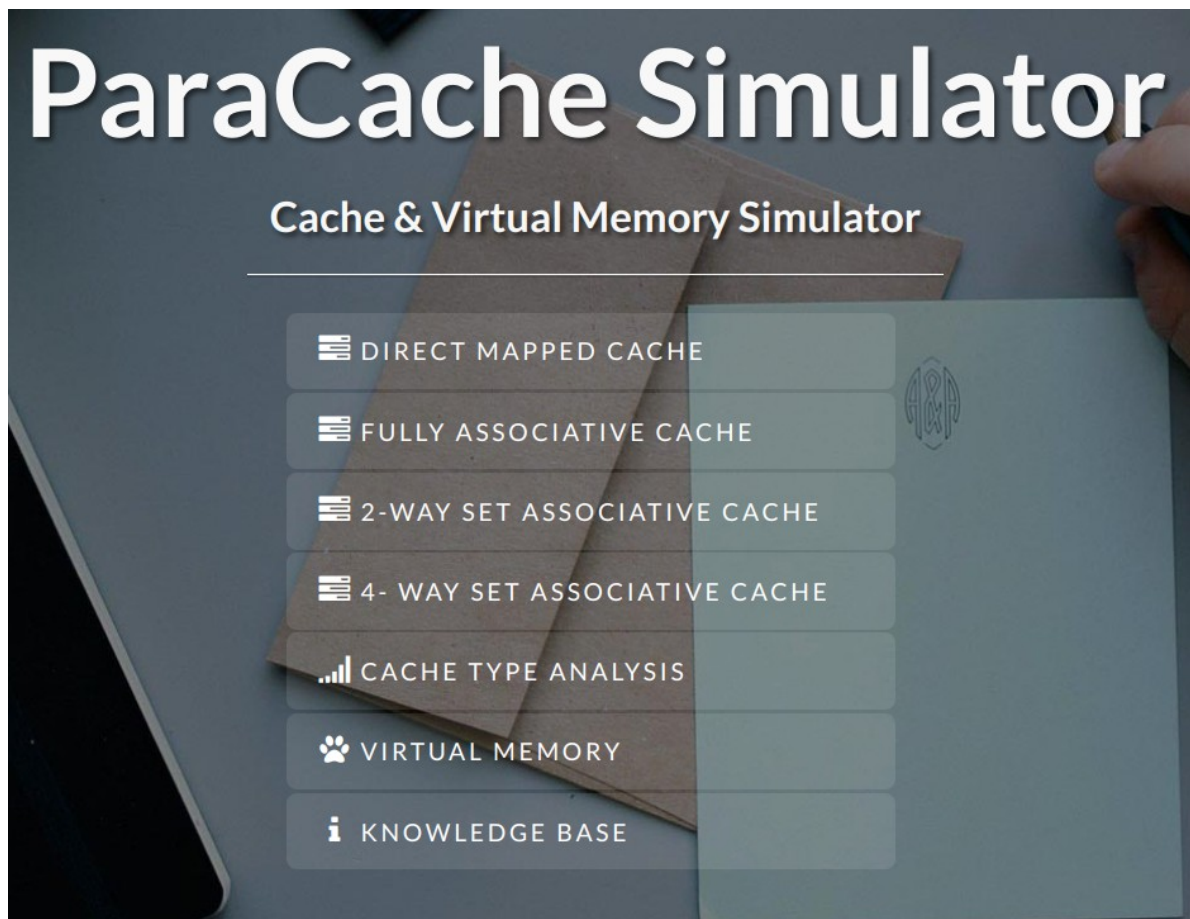
การทำงานของ Virtual Memory และ TLB

วิชา Computer Organization and Assembly Language

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใช้เว็บเบราว์เซอร์เปิดใช้งานซิมูเลเตอร์ ชื่อ Para Cache

<https://www3.ntu.edu.sg/home/smitha/ParaCache/Paracache/start.html>

เอกสารอธิบาย

<https://www3.ntu.edu.sg/home/smitha/ParaCache/Paracache/kb.pdf>

ทำการทดลอง ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. กดเมนู เลือก Virtual Memory ตั้งขนาดของระบบ ดังรูป

Physical Page Size (power of 2)	8
Offset Bits	2
Virtual Memory Size (power of 2)	32
TLB Entries	4
<div>Reset</div> <div>Submit</div>	

2. กด Submit แล้วสังเกตรายละเอียดดังนี้

- Virtual Memory ที่อยู่ด้านขวา Instruction Breakdown แบ่งเป็น (Virtual) Page(#) และ Offset
- Translation Lookaside Buffer (TLB) ประกอบด้วย Virtual Page# และ Physical Page# เป็นแคชชนิด Fully Associative ของ Page Table
- Page Table ประกอบด้วย Index (Virtual Page#), Valid และ Physical Page# เป็นตารางเก็บการแมพบิงระหว่าง Virtual Page# และ Physical Page# ใน RAM คอร์นั้นมีหน้าที่บริหารจัดการตาราง Page Table นี้
- Physical Memory หมายถึง RAM แบ่งเป็น Physical Page# ขนาดที่ผู้ใช้กำหนดและ Content ซึ่งอาศัยอยู่ในเพจนั้นๆ

VIRTUAL MEMORY

➔ Instruction Breakdown

PAGE	OFFSET
3 bit	2 bit

👁 Translation Lookaside Buffer

Virtual Page#	Physical Page#
0	-
1	-
2	-
3	-

Page Table			Physical Memory	
Index	Valid	PhysicalPage#	Physical Page#	Content
0	0	-	0	-
1	0	-	1	-
2	0	-		
3	0	-		
4	0	-		
5	0	-		
6	0	-		
7	0	-		

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Index ของ Page Table และ Page ของ Instruction Breakdown

Index ของ Page table มีค่าเท่ากับ 2ⁿ โดยที่ n คือจำนวน bit ของ Instruction Breakdown

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Offset ของ Instruction Breakdown Physical Memory Size และ Physical Page#

ขนาดของ physical page * = $\frac{\text{physical memory}}{2^{\text{offset bit}}}$

3. กรอกแอดเดรสที่ต้องการจะใช้คำสั่ง Load หรือ ให้โปรแกรมสุ่มหมายเลขแอดเดรสให้

- กรอก 0 ลงในหมายเลขฐานสิบหกที่มีอยู่ในกล่องข้อความด้านขวา
- กรอกหมายเลข 1 ในกล่องข้อความดังรูป

Load Instruction
LOAD(in hex)#

Gen. Random
Submit


Information
Offset = 2 bits
Instruction Length = $\log_2(32) = 5$ bits
Physical Page Rows = $8 / 2^2 = 2$ rows
Next
Fast Forward

อธิบาย information ในรูปว่า Offset, Instruction Length และ Rows สัมพันธ์กับ Page Size และ Physical Memory Size ที่กรอกก่อนหน้านี้อย่างไร

Offset คือ Input ส่วน Instruction Length = $\log_2(\text{Virtual memory})$

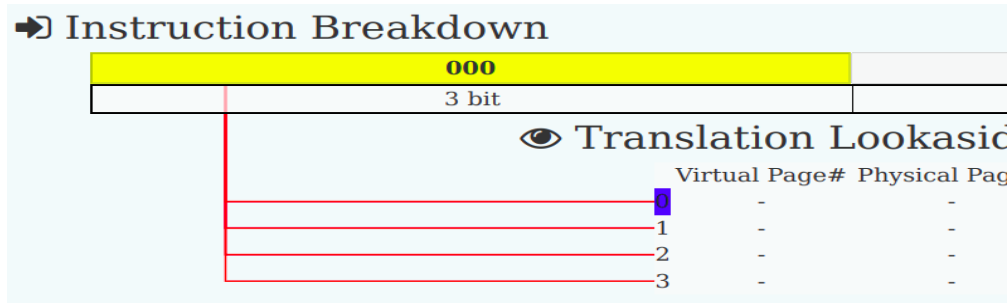
$\text{Physical Page Row} = \frac{\text{Physical page size}}{2^{\text{offset}}}$, $\text{Page Table Rows} = \frac{\text{Virtual Memory Size}}{2^{\text{offset bit}}}$

4. กดปุ่ม Submit หมายเลข 0 ที่กรอก โปรดสังเกต Instruction Breakdown และเครื่องหมายสีน้ำเงินบนตำแหน่งหมายเลข 0 ของ Translation Lookaside Buffer (TLB) ดังรูป อธิบายตามความเข้าใจ

000	00															
3 bit	2 bit															
<div> Translation Lookaside Buffer</div> <table><thead><tr><th></th><th>Virtual Page#</th><th>Physical Page#</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>2</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>-</td></tr></tbody></table>			Virtual Page#	Physical Page#	0	-	-	1	-	-	2	-	-	3	-	-
	Virtual Page#	Physical Page#														
0	-	-														
1	-	-														
2	-	-														
3	-	-														

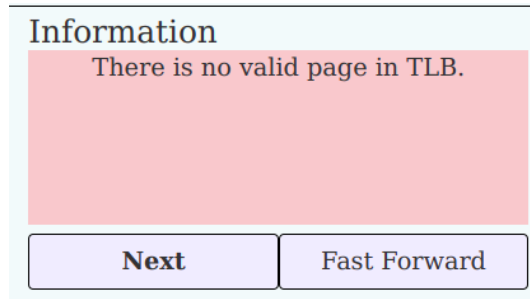
convert Hex to binary แล้วเป็น tag, index, offset สีน้ำเงินบนเลข 0 คือสีแห่งเริ่มต้นของ TLB ที่อยู่ในระดับต้น

5. กดปุ่ม Next และสังเกตพื้นที่สีเหลืองว่าเกี่ยวข้องกับหมายเลข 0 ที่ Submit ไปก่อนหน้านี้อย่างไร อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Instruction Breakdown 000 และเส้นสีแดงที่เชื่อมไปยัง TLB สัญลักษณ์ '-' หมายถึง Virtual Page#, Physical Page# หมายถึงอะไร



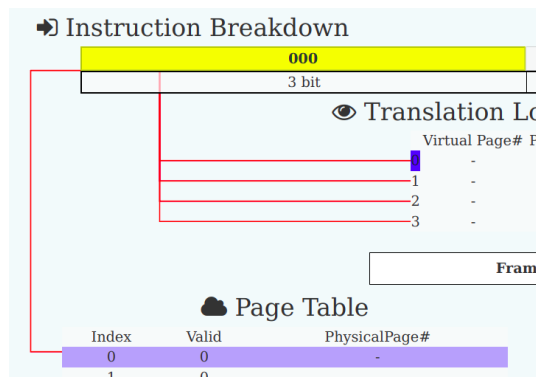
0 = 00000, โดย index ที่ request มาจาก TLB "-" คือ การดึงข้อมูลจาก TLB ดึงออกมาได้ไม่ได้อยู่ใน cache ทำให้ต้องไปดึงใน main TLB ใหม่

6. กดปุ่ม Next และสังเกตกล่องข้อความที่เปลี่ยนเป็นสีชมพู อธิบายความหมาย



ไม่มีค่า Page ใน TLB

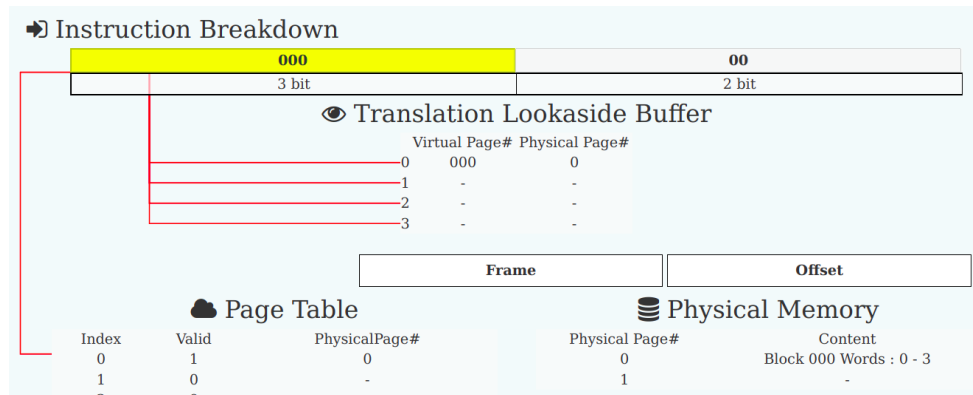
7. กดปุ่ม Next และสังเกตเส้นสีแดงที่เชื่อมไปยัง Index 0 ของ Page Table อธิบายว่าสัมพันธ์กับ TLB อย่างไร



คือ TLB Miss เกิดขึ้น เพราะเราดึงออกมาจาก page ใน Instruction Breakdown

ไปหาค่า page Table ที่ Index 0

8. กดปุ่ม Next เพื่อดำเนินการต่อ โปรดสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแถวหมายเลข 0 ใน TLB ใน Page Table และ Physical Memory



อธิบายบิต Valid และ Physical Page# และ Content ว่าเหตุใดจึงเปลี่ยนเป็นรูปนี้

ที่ index 0 Valid เปลี่ยนเป็น 1 เนื่องจากข้อมูลถูกโหลดมาเก็บใน index 000

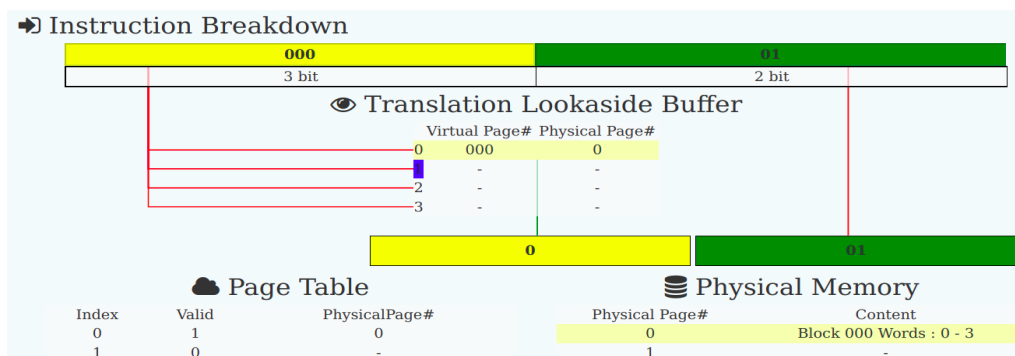
และ physical Page# เปลี่ยนเป็น 0 , (Content อยู่ใน) Block 000 Words : 0-3

9. เลื่อนหน้าต่างลงไปด้านล่าง โปรดสังเกตข้อมูล Statistics ดังรูป อธิบายข้อมูลที่ได้ว่าคำนวณอย่างไร

Statistics	
Hit Rate :	0%
Miss Rate :	100%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	

จำนวนครั้งที่ TLB hit $\times 100$, จำนวนครั้งที่ TLB miss $\times 100$ เช่น : Hit rate = $\frac{0}{1} \times 100 = 0\%$ Miss rate = $\frac{1}{1} \times 100 = 100\%$

10. กดปุ่ม Submit หมายเลขแอดเดรส 1 ถัดไป แล้วจึงกดปุ่ม Fast Forward เพื่อเร่งการทำงานของคำสั่งให้รวดเร็วขึ้น โปรดสังเกตการเปลี่ยนแปลงใน Instruction Breakdown, TLB, Page Table, Physical Memory, Information และ Statistics ดังนี้



Information

Valid page is found in the TLB.
Frame and Offset is updated.

NextFast Forward

Statistics

Hit Rate : 50%

Miss Rate : 50%

List of Previous Instructions :

- 0 [Miss]
- 1 [TLB Hit]

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

$$\text{Hit Rate} = \frac{1}{2} \times 100 = 50\% \quad \text{Miss rate} = \frac{1}{2} \times 100 = 50\%$$

11. กรอก แอดเดรสหมายเลข 4 และ 5 ตามรูป แล้วจึงกดปุ่ม Submit

Load Instruction

LOAD(in hex)# 4

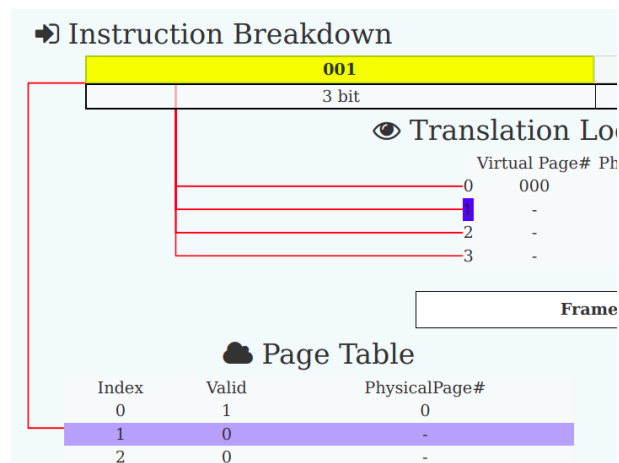
5

Gen. RandomSubmit

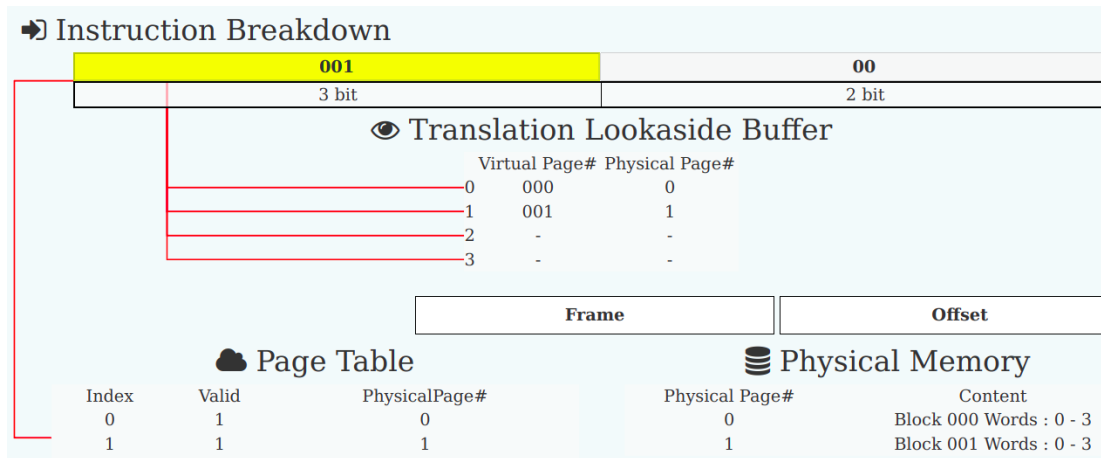
สังเกตเลขฐานสองของ Instruction Breakdown และ TLB ดังรูป

001	00
3 bit	2 bit
Translation Lookaside Buffer	
Virtual Page#	Physical Page#
0	000
1	-
2	-
3	-

กด Next เพื่อดำเนินการต่อจนสังเกตเห็นเส้นสีแดงเชื่อมระหว่าง TLB & Page Table



12. กด Next เพื่อดำเนินการต่อ โปรดสังเกตการเปลี่ยนใน TLB, Page Table และ Physical Memory ที่ตำแหน่ง Physical Page# หมายเลข 1 รวมถึงคอลัมน์ Content



เลื่อนหน้าต่างเพื่ออ่านค่าสถิติล่าสุด

Statistics	
Hit Rate :	33%
Miss Rate :	67%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	
• 1 [TLB Hit]	
• 4 [Miss]	

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่าคำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{1}{3} \times 100 = 33\%$$

$$\text{Miss rate} = \frac{2}{3} \times 100 = 67\%$$

13. กดปุ่ม Submit หมายเลข 5 แล้วกดปุ่ม Fast Forward จนได้สถิติดังนี้ จงอธิบายว่าหมายเลข 5 จึงเป็น TLB Hit

Statistics	
Hit Rate :	50%
Miss Rate :	50%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	
• 1 [TLB Hit]	
• 4 [Miss]	
• 5 [TLB Hit]	

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{2}{4} \times 100 = 50\%$$

$$\text{Miss rate} = \frac{2}{4} \times 100 = 50\%$$

14. กรอกรหัสเลข 8 และ 9 ดังรูป แล้วกด Submit

Load Instruction

LOAD(in hex)#

8

9

Gen. Random

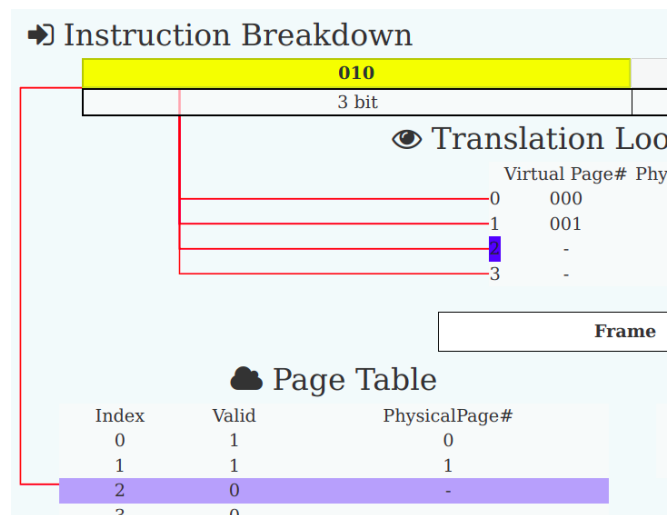
Submit

อธิบายเลขฐานสองที่ได้ตามรูปนี้

010	00										
3 bit	2 bit										
<div> <div>Translation Lookaside Buffer</div> <table> <tr> <th>Virtual Page#</th><th>Physical Page#</th></tr> <tr> <td>0</td><td>000</td></tr> <tr> <td>1</td><td>001</td></tr> <tr> <td>2</td><td>-</td></tr> <tr> <td>3</td><td>-</td></tr> </table> </div>		Virtual Page#	Physical Page#	0	000	1	001	2	-	3	-
Virtual Page#	Physical Page#										
0	000										
1	001										
2	-										
3	-										

8 = 01000₂ แบ่งเป็น 010 (Page) 00 (offset)

15. กด Next เพื่อดำเนินการต่อ



โปรดสังเกตการเปลี่ยนใน TLB, Page Table และ Physical Memory ที่ตำแหน่ง Physical Page# หมายเลข 0 รวมถึงหมายเลข Block ใน Content

Page Table			Physical Memory	
Index	Valid	PhysicalPage#	Physical Page#	Content
0	1	0	0	Block 010 Words : 0 - 3
1	1	1	1	Block 001 Words : 0 - 3
2	1	0		

Statistics	
Hit Rate :	40%
Miss Rate :	60%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	
• 1 [TLB Hit]	
• 4 [Miss]	
• 5 [TLB Hit]	
• 8 [Miss]	

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{2}{5} \times 100 = 40\%$$

$$\text{Miss rate} = \frac{3}{5} \times 100 = 60\%$$

16. กด Submit แอดเดรสหมายเลข 9 และปุ่ม Fast Forward

Load Instruction
LOAD(in hex)#

List of next 10 Instructions

Gen. Random Submit

เลื่อนหน้าต่างลงไปด้านล่าง โปรดสังเกตข้อมูล Statistics ดังรูป

Statistics	
Hit Rate :	50%
Miss Rate :	50%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	
• 1 [TLB Hit]	
• 4 [Miss]	
• 5 [TLB Hit]	
• 8 [Miss]	
• 9 [TLB Hit]	

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

โปรดสังเกตหมายเลข Virtual Page# ใน TLB, Page Table และ Block 010 ใน Physical Memory

Instruction Breakdown

010	01
3 bit	2 bit

Translation Lookaside Buffer

	Virtual Page#	Physical Page#
0	000	0
1	001	1
2	010	0
	-	-

Frame	Offset
-------	--------

Page Table

Index	Valid	PhysicalPage#
0	1	0
1	1	1
2	1	0

Physical Memory

Physical Page#	Content
0	Block 010 Words : 0 - 3
1	Block 001 Words : 0 - 3

นักศึกษาควรจะได้ผลการทดลองใน Cache Table ตรงกับรูปนี้ จงวิเคราะห์ว่าซีโมเลเตอร์ทำงานถูกต้องตามหลักการหรือไม่ เพราะเหตุใด

ไว้ เพราะ Physical memory มีขนาดเล็กกว่า ขนาดของ TLB จึงถูกนับว่าแทนค่าเดิม
ของ 000 ที่ Physical Page #0 แทนที่ของส่วนอื่น ถูกต้อง

กิจกรรมท้ายการทดลอง

1. ตั้งขนาดของ Physical Memory Size เท่ากับ 8 ดังรูป แล้วเปรียบเทียบกับหมายเลขแอดเดรสเดิม คือ 0, 1, 4, 5, 8, 9

Physical Page Size (power of 2)	16
Offset Bits	2
Virtual Memory Size (power of 2)	32
TLB Entries	4

2. ตั้งขนาดของ TLB Entries เท่ากับ 2 ดังรูป แล้วเปรียบเทียบกับหมายเลขแอดเดรสเดิม คือ 0, 1, 4, 5, 8, 9

Physical Page Size (power of 2)	8
Offset Bits	2
Virtual Memory Size (power of 2)	32
TLB Entries	2

3. ตั้งขนาดของ Virtual Memory Size เท่ากับ 16 ดังรูป แล้วเปรียบเทียบกับหมายเลขแอดเดรสเดิม คือ 0, 1, 4, 5, 8, 9

Physical Page Size (power of 2)	8
Offset Bits	2
Virtual Memory Size (power of 2)	16
TLB Entries	4

4. ศึกษาขนาดของ Offset โดยตั้งเท่ากับ 1 ดังรูป แล้วเปรียบเทียบกับหมายเลขแอดเดรสเดิม คือ 0, 1, 4, 5, 8,

Physical Page Size (power of 2)	8
Offset Bits	1
Virtual Memory Size (power of 2)	32
TLB Entries	4

5. ค้นคว้าเพิ่มเติมเรื่อง Virtual Memory ว่าซีมูเลเตอร์ขาดองค์ประกอบและมีความสำคัญอย่างไร
6. เหตุใดการเปลี่ยนเทคโนโลยีของอุปกรณ์เก็บรักษาข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นโซลิดสเตตไดรฟ์ จึงทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้น

Physical Page Size (power of 2)

Offset Bits

Virtual Memory Size (power of 2)

TLB Entries

Physical Page Size (power of 2)

Offset Bits

Virtual Memory Size (power of 2)

TLB Entries

👁 Translation Lookaside Buffer

	Virtual Page#	Physical Page#
0	00	0
1	01	1
2	10	0
3	-	-

👁 Translation Lookaside Buffer

	Virtual Page#	Physical Page#
0	000	0
1	001	1
2	010	2
3	-	-

☁ Page Table

Index	Valid	PhysicalPage#
0	1	0
1	1	1
2	1	0
3	0	-

☁ Page Table

Index	Valid	PhysicalPage#
0	1	0
1	1	1
2	1	2
3	0	-
4	0	-
5	0	-
6	0	-
7	0	-

📀 Physical Memory

Physical Page#	Content
0	Block 10 Words : 0 - 3
1	Block 01 Words : 0 - 3

📀 Physical Memory

Physical Page#	Content
0	Block 000 Words : 0 - 3
1	Block 001 Words : 0 - 3
2	Block 010 Words : 0 - 3
3	-

∴ ទំនាក់ទំនង - តាម Physical Page ១ ៤ TLB ត្រូវបាន
- Physical Page Size ត្រូវបានកំណត់ 4