4.2.1

1.

“pagetable” is the beginning address of the page table.

PTE

PTE is obtained by pointing to the address of the PTE desired and dereferencing it.

Code:

pte_t *entry_ptr = &pagetable[i];

pte_t entry = *entry_ptr;

PA

PA is obtained by the function **PTE2PA()**.

Code:

PTE2PA(entry);

VA

Suppose the root page table is level 2.

The leftmost 12 bits represent page offset.

Here we use 3-level page table, and each level page table is index by 9 bits.

We shift the index of the PTE left (12+9*level) bit.

Then we use the shifted index to do “or” operation with the VA obtained from the previous level traversal to obtain the VA of this level.

We pass the VA to the next level traversal.

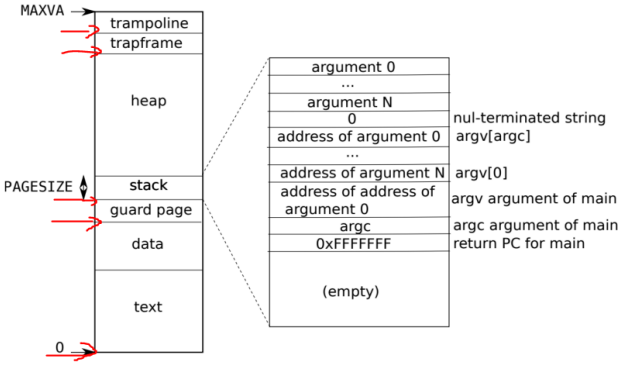
Code:

uint64 new_va = va|(((uint64)i) << (12+9*level));

2.

總共有 5 個 mapping，其中 3 個沒有 U bit，按照 VA 順序對應到的就是 guard page/trapframe/trampoline，剩下 2 個有 U bit，按照 VA 順序對應到的是 text/stack

Figure 1: The virtual memory layout



3.

(a)

傳統 page table 會為每個 process 建立一個 page table，如果系統裡有很多 process，則會花費很多記憶體在這些 page table。

Inverted page table 則是對每個 frame 建立一個 mapping 到某個 process 的 page，因此整個系統只會有一個 inverted page table，可以減少記憶體的使用。

(b)

傳統 page table 的 translation 是做查表的動作，時間是固定的，Inverted page table 會花較多時間在 translation 上，每次做 translation 要 seach 整個 table，因為不知道這個 page 落在哪個 frame 上。

4.3

1.

Step 5 會改變 page table，因為把 disk 中的 page 搬回記憶體中，因此 VA 對應到的 PTE 紀錄的 PA 要改成此 page 在記憶體中的 PA，V bit 設成 1，S bit 設成 0。

2.

Step 1

CPU issue 一個 VA，MMU 去查 page table

Step 2

MMU 發現是 page fault，trap 到 OS

Step 3

OS 發現此 page fault 的原因是此 page 被 swap 到 disk

```
if(*pte&PTE_S)
```

Step 4

OS allocate 一個 free frame 給此 page，並把此 page 寫回此 free frame

```
void *pa = kalloc();
memset(pa, 0, PGSIZE);
```

```
uint blockno = (uint)PTE2BLOCKNO(*pte);

//swap the page to RAM
begin_op();
read_page_from_disk(ROOTDEV, pa, blockno);
bfree_page(ROOTDEV, blockno);
end_op();
```

Step 5

OS 修改此 PTE

```
uint64 mask = 0b1111111111000000000000000000000000000000000000000000001111111111;
*pte = (*pte&mask)|PA2PTE((uint64)pa);
*pte = (*pte ^ PTE_S) | PTE_V;
```

Step 6

CPU 重新 issue 此 VA