|  |  |
| --- | --- |
| **Lab 5** | |
| 學號: 109021115 | 姓名: 吳嘉濬 |

1. **Lab Implementation**

以下為Lab5的FSM：

一張含有 文字, 圖表, 行, 字型 的圖片

自動產生的描述

初始狀態是在IDLE state。當在IDLE state按下btnL時，訊號經過debounce和one-pulse的處理之後，成為btnL\_one訊號，被trigger剛好一個clock cycle，進入SET state。在SET state中可以設定noi(庫存)和price(單價)，按下enter鍵回到IDLE state。如果在IDLE state按下btnR，產生一個clock cycle的btnR\_one訊號，進入PAYMENT state。在PAYMENT state，我們可以設定要付的金額，其中按不同數字鍵代表著不同金額的增加或歸零，相關code如下：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 軟體, 作業系統 的圖片

自動產生的描述

可以得知當我按數字0,1,2,3,4時，對應歸零、+1、+5、+10、+50，並把上限限制在99。

按下enter鍵，會開始判斷付的金額是否夠買至少一個商品且庫存是否至少有一個，如果是的話進入BUY state，反之直接跳到CHANGE state。進入BUY state之後7-seg會顯示購買的數量以及所需花費的金額，led燈會每0.5秒變換一次，以”亮暗亮暗亮暗”的形式在3秒過後進入CHANGE state。進入CHANGE state之後7-seg會顯示購買的數量以及買家所剩的餘額，led燈全亮3秒過後回到IDLE state。

以下為Lab5的block diagram：

一張含有 文字, 筆跡, 兒童藝術, 圖畫 的圖片

自動產生的描述

這個是最簡化的block diagram，簡單說明了這個FSM的運作原理。鍵盤的輸入透過較為底層的module KeyboardCtrl\_0.v和Ps2Interface.v，再經過KeyboardDecoder，最後再進入上層的Lab5.v module，把ps2\_DATA和ps2\_CLK訊號做適當處理，讓我們可以接收來自鍵盤的input資料，並做出我們想要的行為。

以下針對細節，個別畫出對應的block diagram：

一張含有 圖畫, 寫生, 筆跡, 兒童藝術 的圖片

自動產生的描述

這是7-seg display的處理過程。我們把想要顯示的數字資料從左到右4個digit，依次存到num[15:12], num[11:8], num[7:4], num[3:0]當中，經過DFFs的處理我們可以每經過一個clock cycle切換一次顯示的digit，之後我們用寫好的table經過decoder把它轉換成能在7-seg顯示出對應數字樣貌的數值，即display。以下是對應的code：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 字型, 軟體 的圖片

自動產生的描述一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 字型 的圖片

自動產生的描述

以下是在PAYMENT state按下enter鍵之後判斷要進入哪一個state對應的電路：

一張含有 文字, 筆跡, 兒童藝術, 字型 的圖片

自動產生的描述

利用2個comparator去比較庫存是否>=1還有付的錢是否>=商品單價(即買得起>=1件商品)，之後再把它and起來，如果此signal==1'b1，next\_state=BUY；如果此signal==1’b0，next\_state=CHANGE。對應code如下：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 軟體, 字型 的圖片

自動產生的描述

補充一下這幾行code的意思。pay10、price10、back10分別是指pay、price、back在10進位下的數值，can\_bought是指可以購買的數量，bought是指實際購買的數量，這會受限於庫存是否充足，這會由第4行的code進行相關處理。

一張含有 文字, 筆跡, 圖表, 字型 的圖片

自動產生的描述

以上是”判斷某按鍵是否被按下”以及”如何得知按了哪個數字鍵”的相關電路。經過KeyboardDecoder module，我們可以得到key\_valid, key\_down, last\_change的訊號，尋找在key\_down array中index為last\_change的那一個訊號看是否為高電位且當下的key\_valid是否也是高電位，如果都是的話，這意味著最新按下的那個按鍵正在被trigger，進而採取對應的動作。以下為對應的code：



我們也可以利用last\_change的值在lookup table中找到對應的key\_num，得知我們按了哪個數字鍵。以下為對應的code：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 字型, 設計 的圖片

自動產生的描述 一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 字型 的圖片

自動產生的描述

1. **Questions and Discussions**
2. Regarding Note 2, we only need to handle the first key press and ignore the subsequent ones. How can this be achieved? How can you prevent continuous detection of a positive signal when a key is pressed and held down? E.g., in the SET state, pressing and holding '2' will add 5 dollars only once.

我參考sample code並在我的module中定義wire [127:0] key\_decode = 1 << last\_change;，利用key\_decode去represent哪個按鍵剛被press/release，如此，我在所有判斷按鍵是否被按下的if statement中額外加上”key\_down-key\_decode==0”的判斷條件(也就是key\_down==key\_decode)，即可確保在同一時間只有一個按鍵能有反應，因為如果在同一時間有超過兩個按鍵被按住，key\_down就不會等於key\_decode了。

在KeyboardDecoder.v的FSM中有以下code：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 字型 的圖片

自動產生的描述

如果不去理會valid的值，無條件讓state<=WAIT\_FOR\_SIGNAL的話，如此一來，即使是長按按鍵不放，下一個clock cycle也會進入WAIT\_FOR\_SIGNAL state，因此只會接收到按一次按鍵的資訊。下方為修正後的code：

一張含有 文字, 字型, 螢幕擷取畫面, 數字 的圖片

自動產生的描述

1. Regarding Question A, what can we do if we ignore Note 2? In this case, when a key is pressed first, another key can still become active (e.g., pressing two keys simultaneously.) You can explain your thoughts or use part of the code to illustrate.

如果忽略Note 2的要求，我們可以在同個時間點讓不止一個被同時按下的按鍵一起被偵測到(利用key\_down array可以做相對應的判斷)，這樣的話，我們可以像sample一樣定義當按著shift鍵的同時按數字鍵以及沒有按shift鍵時按數字鍵時，產生不同的display效果。至於如何達到先按的按鍵不放時，後按的按鍵也可以有效果，方法很簡單，利用last\_change的值可以幫助我們得知最近一次press/release的按鍵是哪個，進而做出對應的操作。

1. **Problem Encountered**

一開始在實作”判斷按鍵是否有被按下”的功能時，我使用以下code：

一張含有 螢幕擷取畫面, 文字, 多媒體軟體, 軟體 的圖片

自動產生的描述

第一行的if statement在判斷數字按鍵是否有被按下(以及是否只有單一按鍵同時被按下)。結果實際用鍵盤測試時發現我按數字鍵時沒有產生任何變化，7-seg上沒有顯示我press的key number。但因為我當時是參照助教給的sample，還蠻肯定出錯的地方應該不在這裡，所以我認真重新trace一遍助教的sample code和我的code的差異處，才發現在KeyboardDecoder.v中，press或是release一個按鍵會使key\_valid signal被trigger剛好一個clock cycle，而key\_valid所使用的clock frequency和FSM’s clock frequency是一致的。而在我起初的design當中，兩者的clock frequency並不一致，我的FSM的clock frequency遠低於key\_valid signal的clock frequency，導致當key\_valid被trigger一個clock cycle時，我的FSM不一定會遭遇posedge，所以無法把key\_valid==1’b1的資訊update到FSM當中，進而影響到上方if statement的判斷。以下兩張圖的clock frequency必須一致：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 軟體 的圖片

自動產生的描述一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 字型, 軟體 的圖片

自動產生的描述

1. **Suggestions**

每次在寫report時，遇到最棘手的問題就是如何畫好block diagram，雖然最近有提供之前lab2, lab3的report範本，但還是希望可以在課堂上教學如何畫block diagram，不然每次都不確定自己是否畫得夠清楚或是畫得太細微。