

實驗內容

1. PWM 輸出範例程式 ([mbed-os-snippet-PwmOut_ex_3](#))

操作步驟與助教演示的完全相同，也沒有什麼特別需要修改的地方，在此不贅述；惟需注意所使用的線跟 LED 功能是否正常。如果用開發板上的 LED 可以正常運作，但換成 PWM OUT 時 LED 不會亮，連邏輯分析儀都看不到波形，那很有可能是線或 LED 或兩者的問題。

2. 柔和閃爍 LED (Soft-blinking LED)

考慮到時間以及我目前的能力，我決定實作比範例更進階一些的「柔和閃爍 LED (Soft-blinking LED)」¹。這跟呼吸燈的效果相同，即讓 LED 的亮度有漸強漸弱的循環。

- 確認可以用 PWM 調整 LED 亮度

當 PWM 中的 period 夠短，LED 對人體而言就會是恆亮的狀態，此時改變 duty cycle 就可以達到使 LED 亮度降低的效果。我嘗試了幾個 period，發現大概設在 10 ms 以下即可符合要求。

- 連續調整 LED 亮度

PWM 的 period 跟改變 duty cycle 的 period 並不相同；duty cycle 必須要設定 delay。我最初的想法是讓 duty cycle 自己有一個跑比較慢的 timer，但我不知道這是否是能做到的事情；稍微查了一下以後，我依然不太確定要怎麼做。後來我想到可以用前一次實驗用到的 `wait_us`，此方法確實可以成功達到 delay 的效果。不過改變 duty cycle 的值也困擾了我一段時間，我原本想用 `led.write(dc)`、`dc=i/100` (`i=0:1:100`) 來做，但一直沒有成功。最後我綜合[1]和[2]的做法，一樣是 `led.write(dc)`，但 `dc<0` 時 `dc=dc+0.01`；`dc>1` 時 `dc=dc-0.01`。詳細程式碼請參考 [GitHub](#) 內的檔案 `main.cpp`。¹

實驗結果

PWM 輸出範例程式的部分，因為還是跟助教演示的完全相同，在此就不再重複。柔和閃爍 LED 的部分，實際效果請參考 [GitHub](#) 內的影片 `Soft-Blinking LED.mp4`。邏輯分析儀觀察到的 PWM 輸出波形則如圖 1；由該圖可以看出開發板所輸出的 PWM 波形的 duty cycle 一直在改變，與預期相符。

¹ 由於其他部分跟 PWM 輸出範例程式完全相同，故在 GitHub 上我只有上傳唯一有修改的檔案 `main.cpp`。

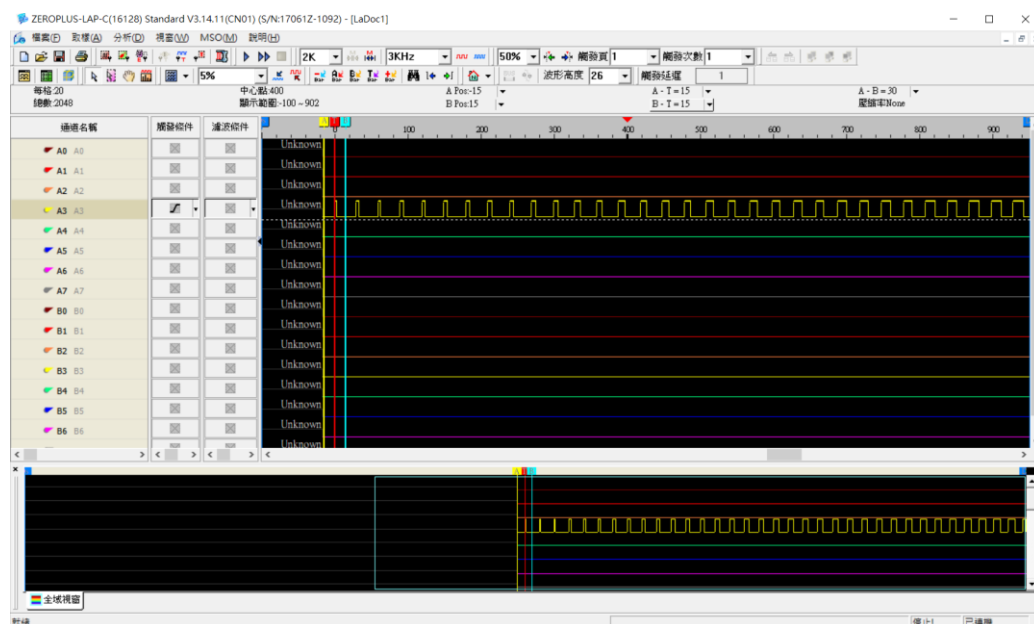


圖 1 使用邏輯分析儀觀察到的波形

討論

1. Mbed os 的 printf 是簡化過的，沒辦法印出 float。
2. 不確定為什麼 $dc=i/100$ 的結果不符合預期，我猜測可能跟除法運算有關。不過最後使用加法的做法比前述做法簡單很多，值得採用。
3. 比較完整的做法應該是[3]，可以分別設定亮度上升、維持最高、下降、維持最低的 delay time。
4. Timer 控制的部分還需要再研究。

參考資料

- [1] Pulse-Width Modulation (PWM)
<http://wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/PWM>
- [2] Mbed OS output PWM signal
<https://www.programmersought.com/article/843043068/>
- [3] Pulse Width Modulation (PWM) for LED Dimming
https://www.silabs.com/community/blog.entry.html/2015/07/17/chapter_5_part_4---WneD