

# 進階嵌入式作業系統設計與實做

## (2015 年秋季 ) 課程說明

Jim Huang ( 黃敬群 ) <jserv.tw@gmail.com>

台灣國立成功大學資訊工程系

Sep 18, 2015



# 你有多懂電腦系統呢？

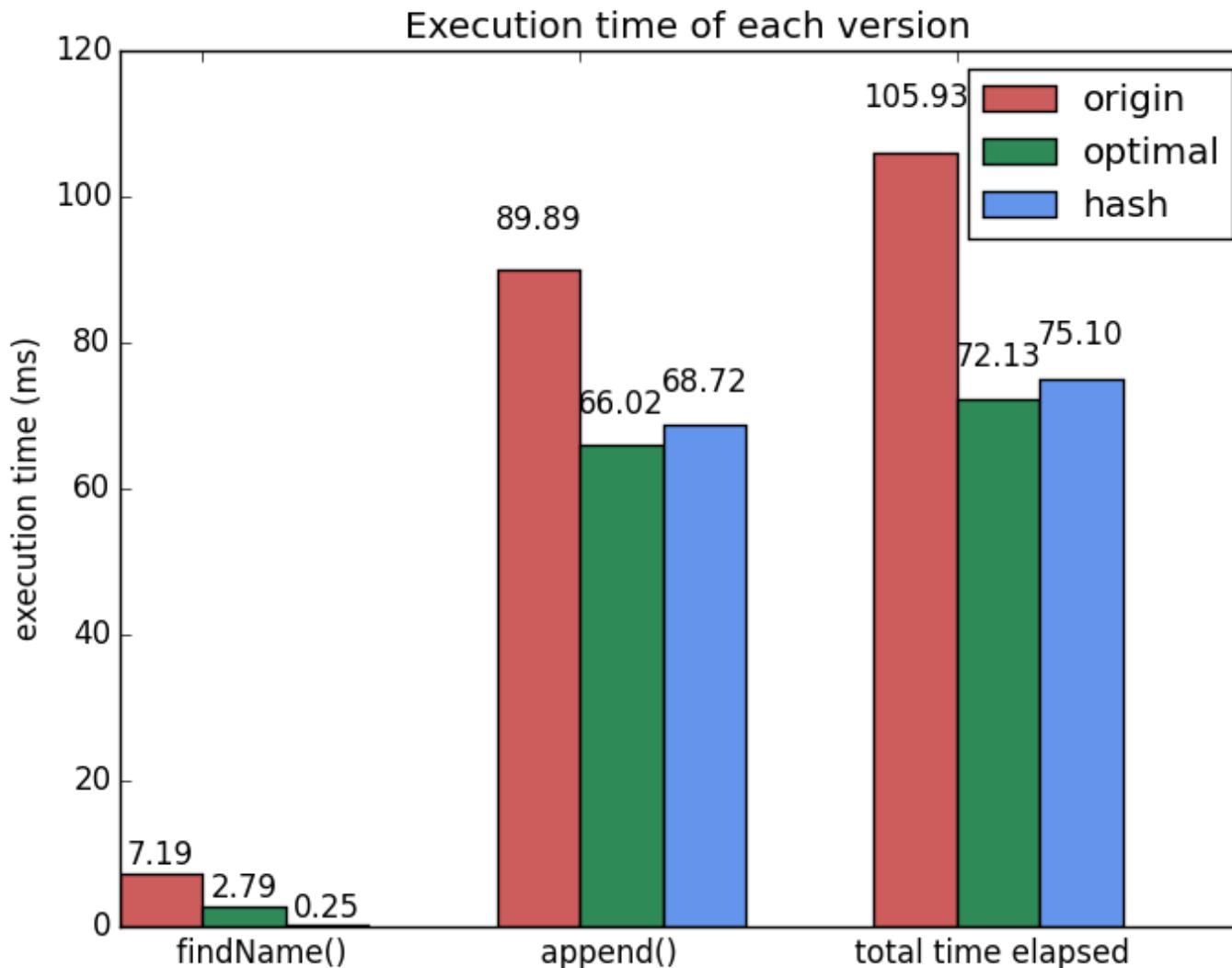
- 嘗試改善以下程式碼的效能：(不變更搜尋演算法，從減少 cache miss 開始)

```
#define MAX_LAST_NAME_SIZE 16

typedef struct __PHONE_BOOK_ENTRY {
    char LastName[MAX_LAST_NAME_SIZE];
    char FirstName[16]; char email[16];
    char phone[10]; char cell[10];
    char addr1[16]; char addr2[16];
    char city[16]; char state[2]; char zip[5];
    __PHONE_BOOK_ENTRY *pNext;
} PhoneBook;
```

```
PhoneBook *FindName(char Last[],  
                     PhoneBook *pHead) {  
    while (pHead != NULL) {  
        if (strcmp(Last, pHead->LastName) == 0)  
            return pHead;  
        pHead = pHead->pNext;  
    }  
    return NULL;  
}
```

# 電話簿搜尋程式的效能

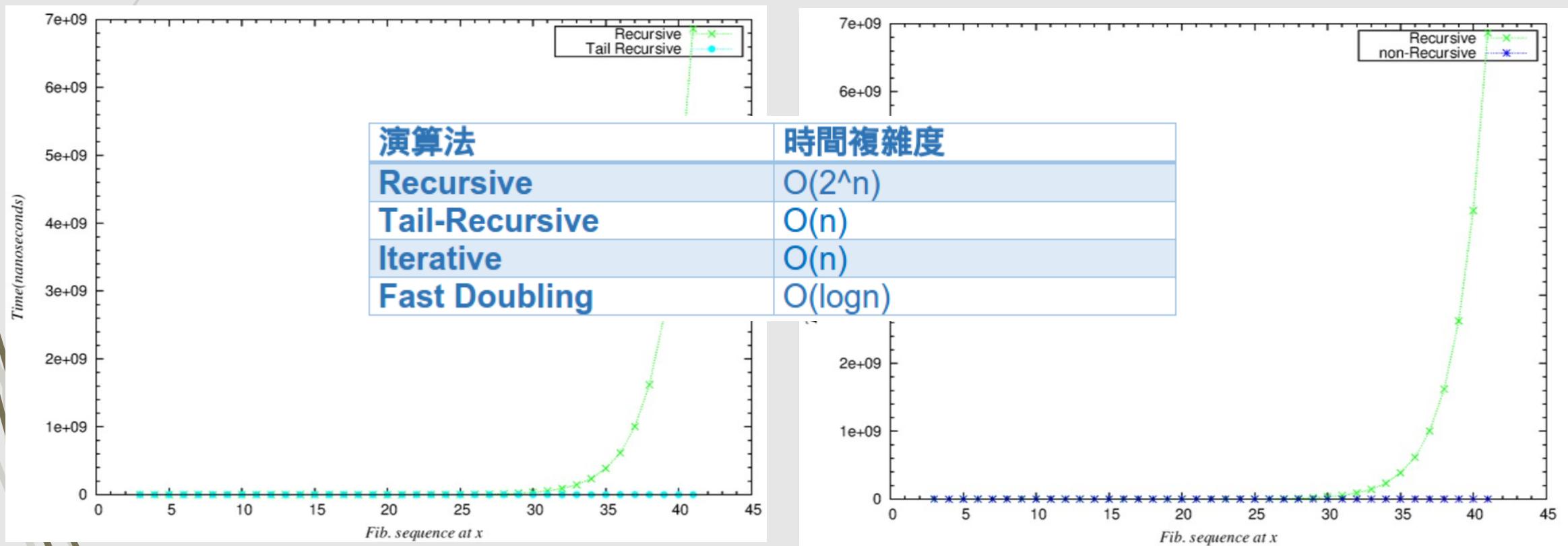


主要調整資料結構，  
以提昇 cache hit，  
倘若用二元搜尋樹，  
可有多少效能提昇？

# 你多懂遞迴呢？

- Fibonacci 數列以遞迴方式定義

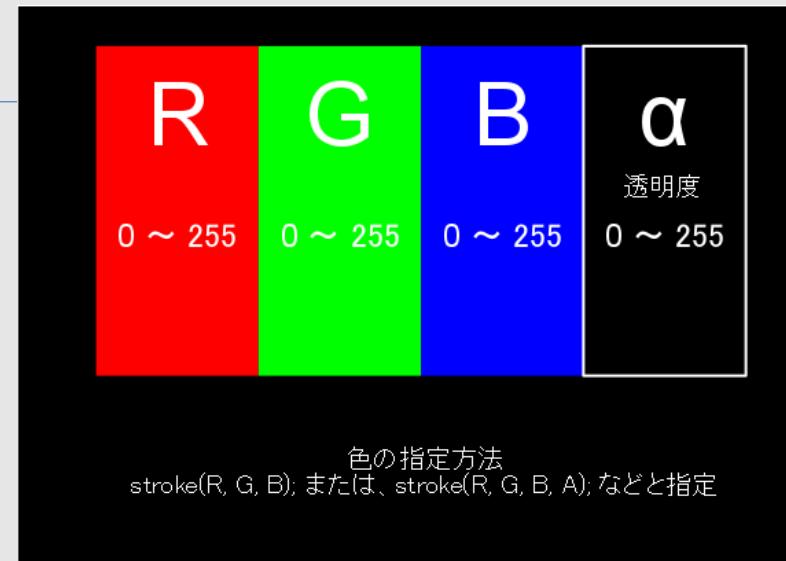
- $F_0 = 0$
- $F_1 = 1$
- $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$  ( $n \geq 2$ )



# 把全彩轉灰階的程式

- 人眼吸收綠色比其他顏色敏感，當影像變成灰階時，僅僅將紅色、綠色、藍色加總取平均是不夠的
- 常見方法為 red\*77, green\*151, blue\*28，這三個除數的總和為 256，可使除法變簡單

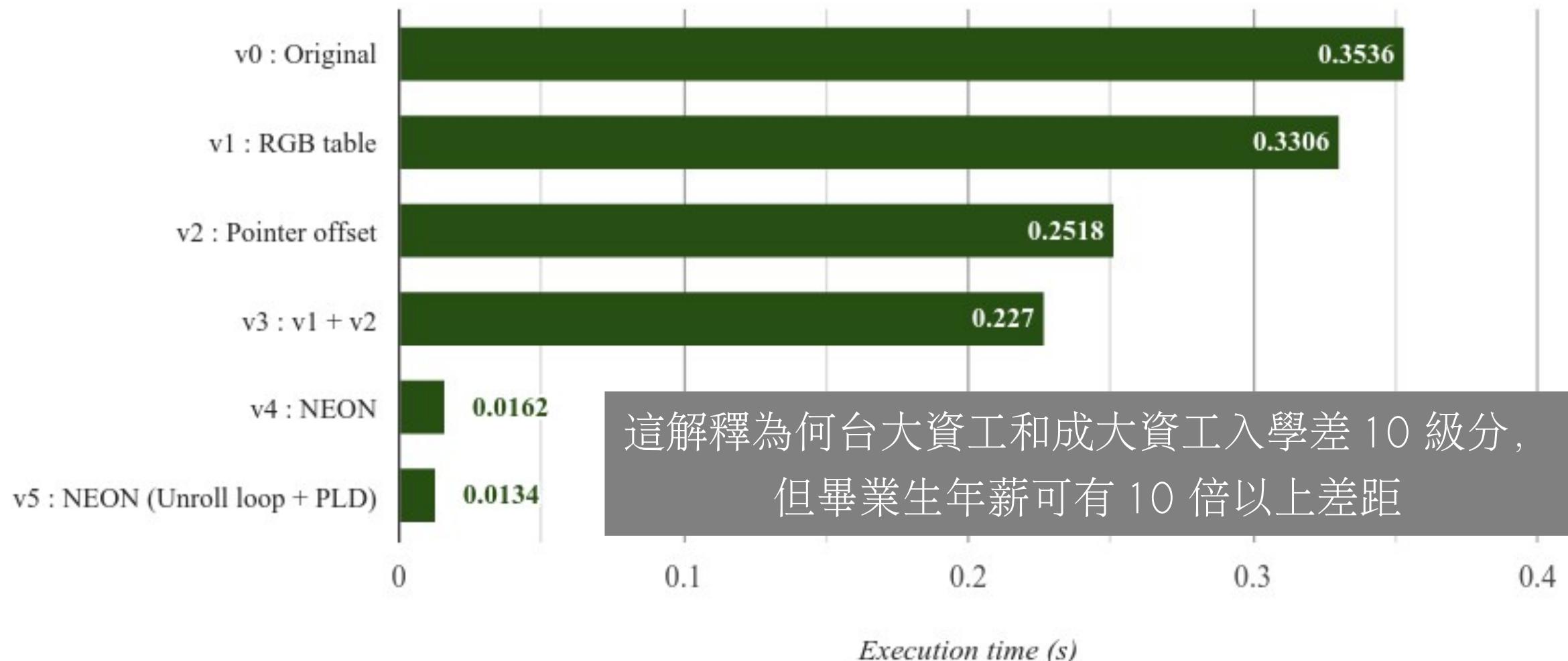
```
void rgba_to_bw(uint32_t *bitmap, int width, int height, long stride) {  
    int row, col; uint32_t pixel, r, g, b, a, bw;  
    for (row = 0; row < height; row++) {  
        for (col = 0; col < width; col++) {  
            pixel = bitmap[col + row * stride / 4];  
            a = (pixel >> 24) & 0xff; r = (pixel >> 16) & 0xff;  
            g = (pixel >> 8) & 0xff; b = pixel & 0xff;  
            bw = (uint32_t) (r * 0.299 + g * 0.587 + b * 0.114);  
            bitmap[col + row * stride / 4] = (a << 24) + (bw << 16) + (bw << 8) + (bw);  
        }  
    }  
}
```



# 不同程式實做在你的手機效率大不同！

Version

*Execution time of rgbaToBw() on Raspberry Pi 2*



國立成大  
NATIONAL CHENG KUNG UNIVERSITY

## 學位證書

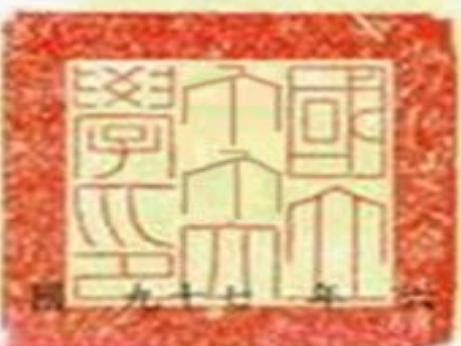
(97)成碩字第 七

學生 宅色夫同學

中華民國 104 年 6 月 日生。  
在本校 班 研究  
期滿經碩士學位考試合格依學位授予  
法之規定授予 學位  
此證



校長 賴明詔



中華民

九十七年六月日

倘若把畢業證書撕掉，投入社會工作的你，要如何向身旁的人們證明你曾在大學就讀，同時你也具備高等教育培養出的能力和視野呢？

# 認清本質





我是個連大學都念不完的中輟生，感謝成功大學電機資訊學院給我機會，讓我教導一群學歷比我高的學生。

但願學生畢業那刻，身心知識方面是富足的，不要「窮得只剩下畢業證書」



你若覺得成大資訊系的畢業生無論如何就是輸給台大資工系的畢業生，那麼你不用繼續上課，現在該做的事很簡單：

休學去準備重考

# 關於授課教師 (@jserv)

- 成功大學資訊工程系 / 兼任教師
- 交通大學資訊工程系 / 兼任教師
- 從事消費性電子產品開發十餘年  
近年投入工業控制領域
  - 台達電子 / 顧問
  - 工研院資通所 / 顧問
  - 聯發科技 / 顧問
  - 南星創業加速器 / 技術長
  - 晶心科技 / 幕僚工程師
- 多項世界級開放原始碼專案開發者
  - 新酷音輸入法
  - Android Open Source Project
  - GCC / GNU Classpath
  - LXDE
  - Kaffe
  - pcman(x)
  - Linaro, Oxlabs





「你不能教人任何事，  
你只能幫助他自己發現」

(You cannot teach a man anything; you can only help him to  
find it within himself)

-- Galileo Galilei

# 「哥教的不是知識，是 guts！」

- GUTS：與其死板傳授片面的知識，還不如讓學生有能力、有勇氣面對資訊科技產業的種種挑戰
- 目標：兼顧理論和實務、開拓視野，從做中學習、從做中肯定自己
  - 我會指出你不足之處，然後給你資源和時間去補強，就像游泳教練一樣
  - 但不要指望只在課堂看著我游泳（而事後沒練習），你就可學會！

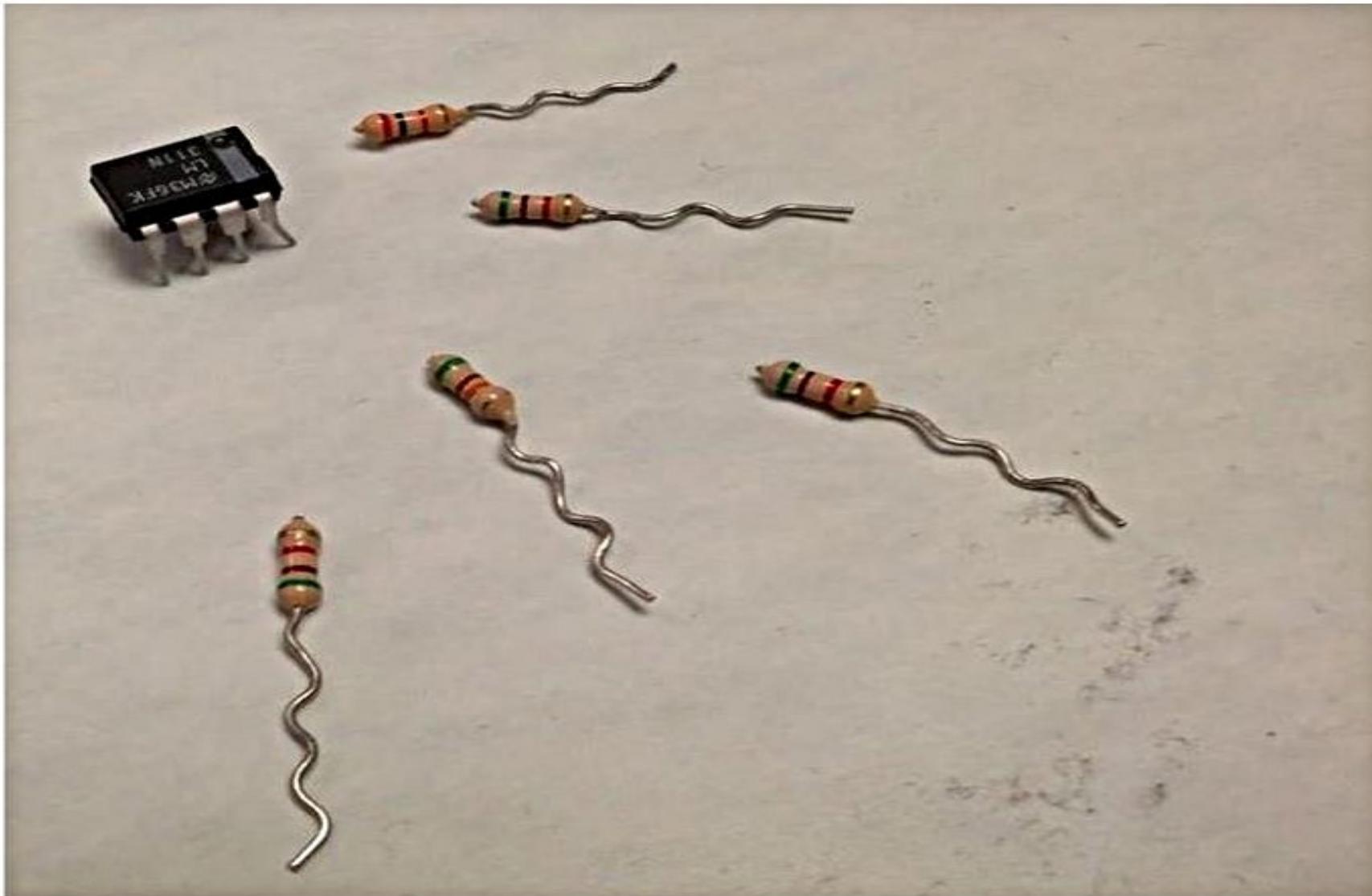
# 授課內容就是 GUTS

- GUTS = General Unix Talk Show
- 向 Unix 作業系統學習，同時銜接最新產業發展，全程採用活躍的開放原始碼技術，不用擔心學習的是「屠龍術」
- 課程也會一併引導學生在畢業後得以找到學以致用的工作職務

# 發展嵌入式裝置或作業系統有意義嗎？

- 課程要求同學「開發一套嵌入式裝置或作業系統」的動機其實是「理解開發作業系統的需求，並且實際去解決問題」
- 實務上，開發和設計系統是常態
  - 每天都在接觸的手機作業系統
  - 消費性電子產品裡頭也多內建作業系統
  - 汽車、飛機、工廠設備等等都有特製的作業系統
  - 甚至可能連核心也從頭打造

# 系統軟體的使命：賦予硬體生命



# 嵌入式系統系列課程目標

## ■ 教學計劃：

- 體驗產品設計背後的工程考量

- 做中學

## ■ 最終打造出可用的電子產品雛型或基礎建設

- 裡頭就內建客製化的作業系統！

- open source!

- 好東西不怕人家看（若有抄襲，也一併公諸於世）

- 展示自己的技能給未來的同事、老闆，甚至是投資人看

# 課程產出

## ■ 學生專業能力和視野的提昇

- 在2014年，參與課程其中9位學生獲得聯發科錄取為工程師
- 大學還沒畢業就拿到聘書，還有人生平第一次面試當天被聯發科錄取
- 在2015年，共有兩位學生到國際頂級研討會發表研究成果
- 在Linux Foundation 舉辦的全球嵌入式Linux研討會發表專題演說，全台灣第一位和第二位都是本課程的參與者

## ■ 共筆大量ARM優質技術文件，獲得高度能見度

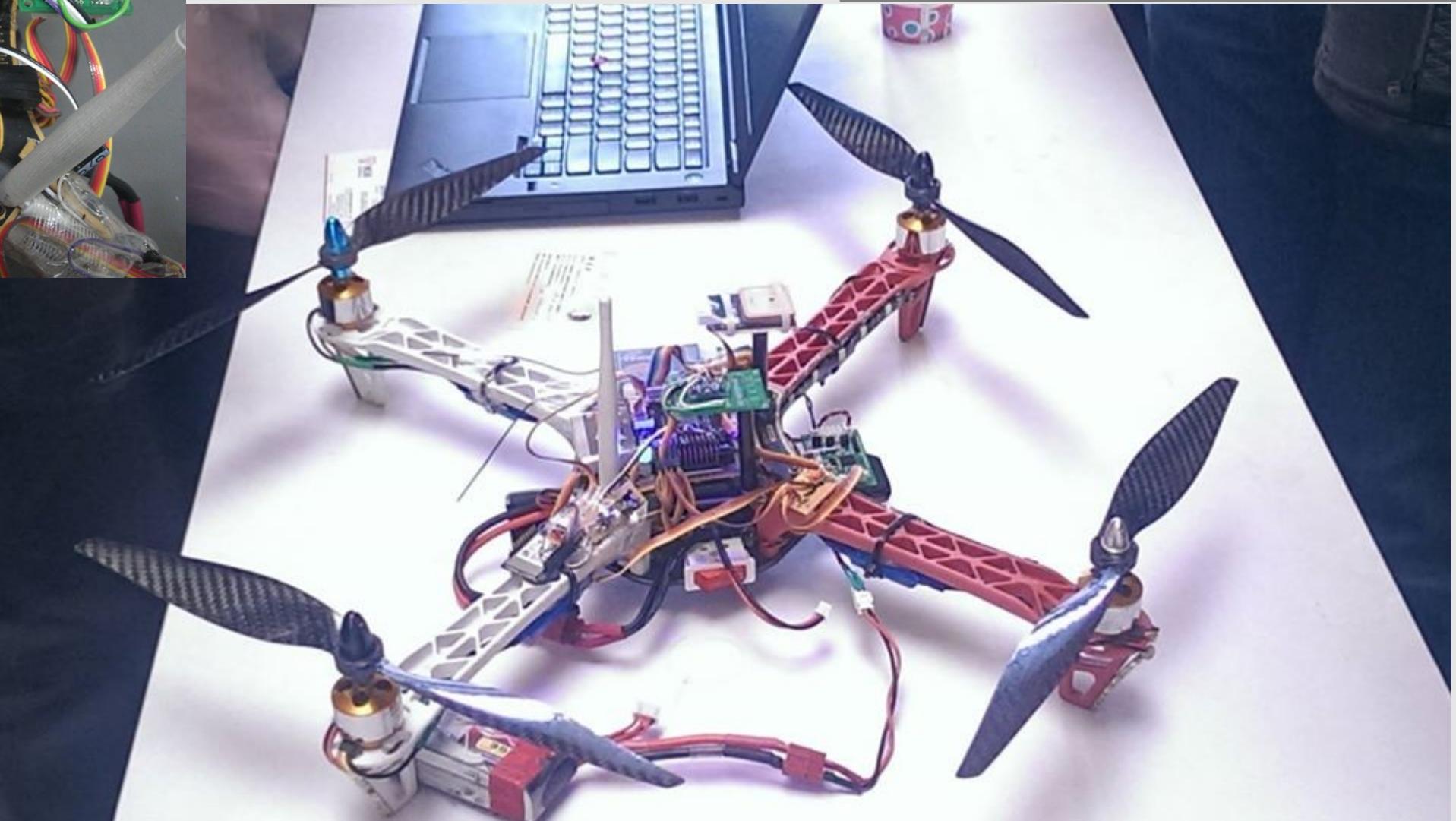
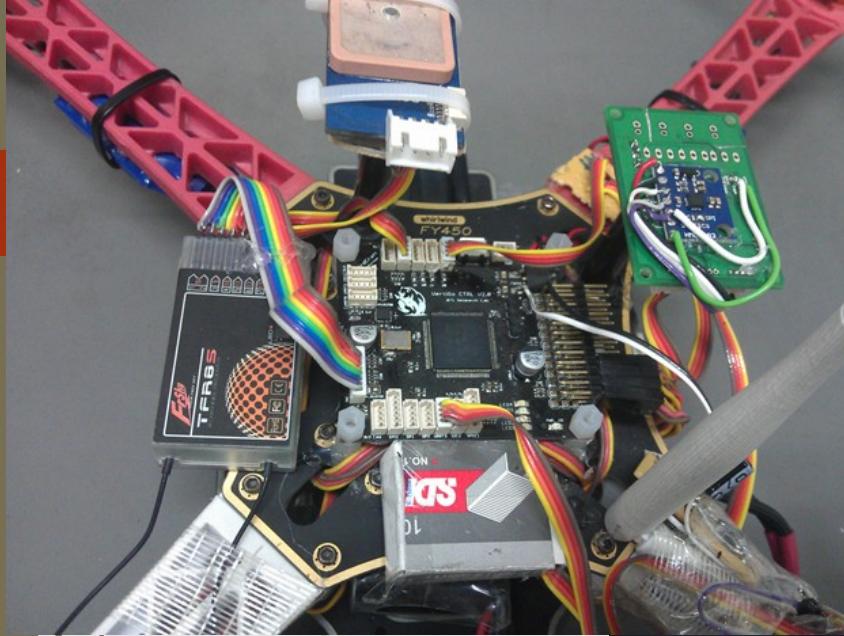
## ■ 累積超過45個完整專案並釋出原始碼

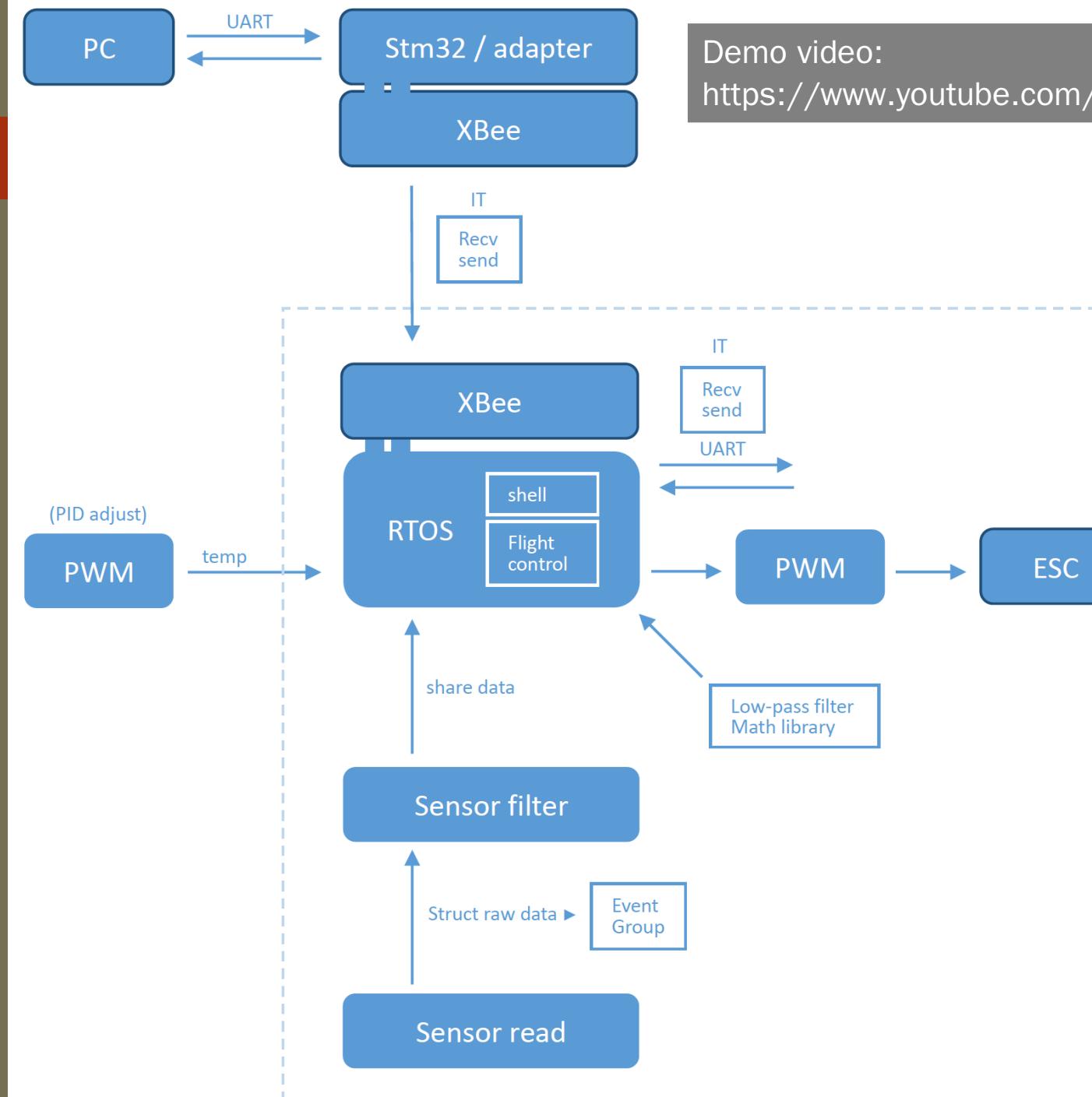
## ■ 學生在COSCUP(台灣最大的開放原始碼研討會，上千人)和SITCON(學生計算機年會)發表專題演說和成果



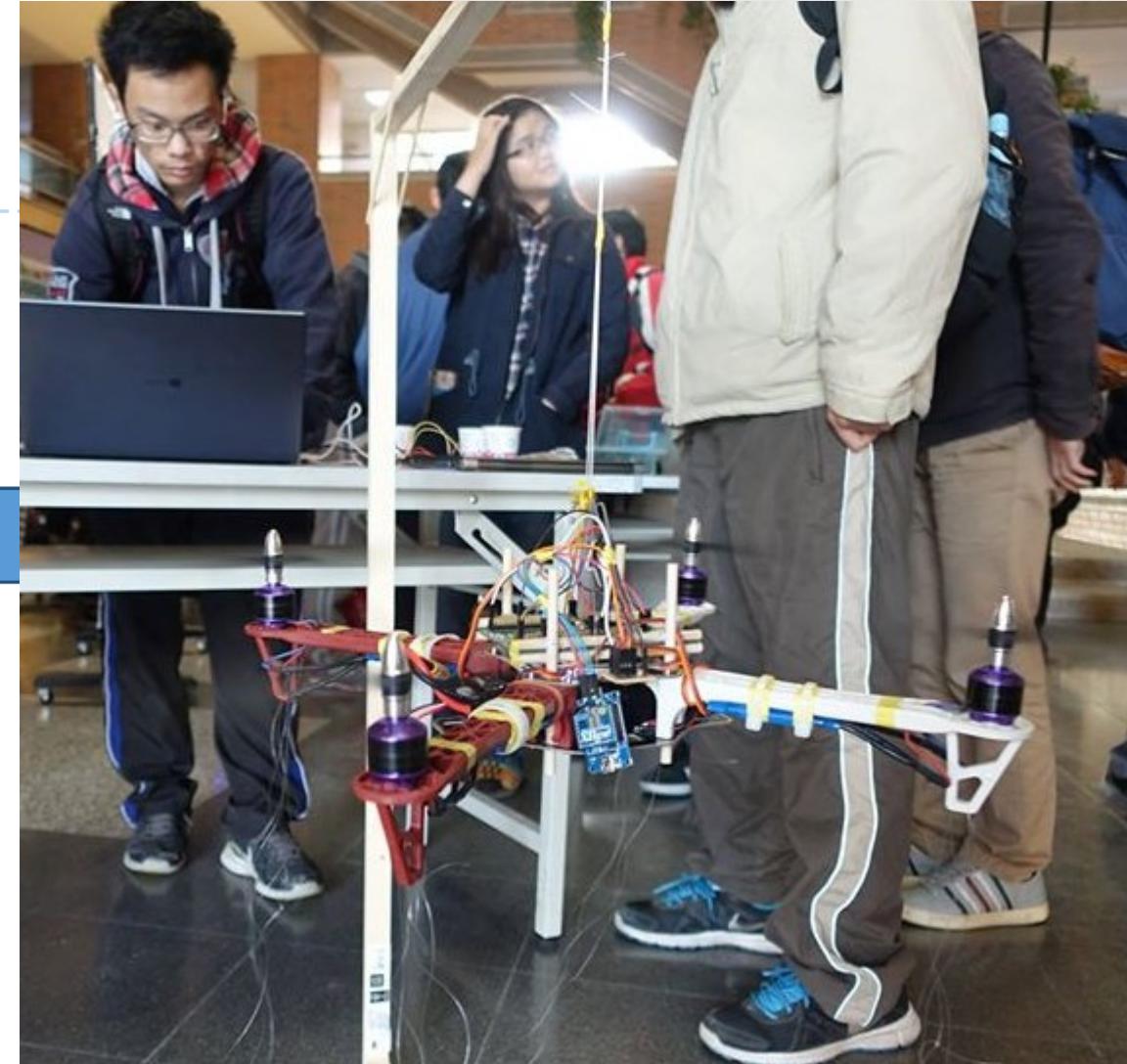
從作業系統核心、圖形系統、訊號處理系統都是由成大資訊系學生 100% 自行開發的電吉他調音器

# 從無到有打造 四軸飛行器

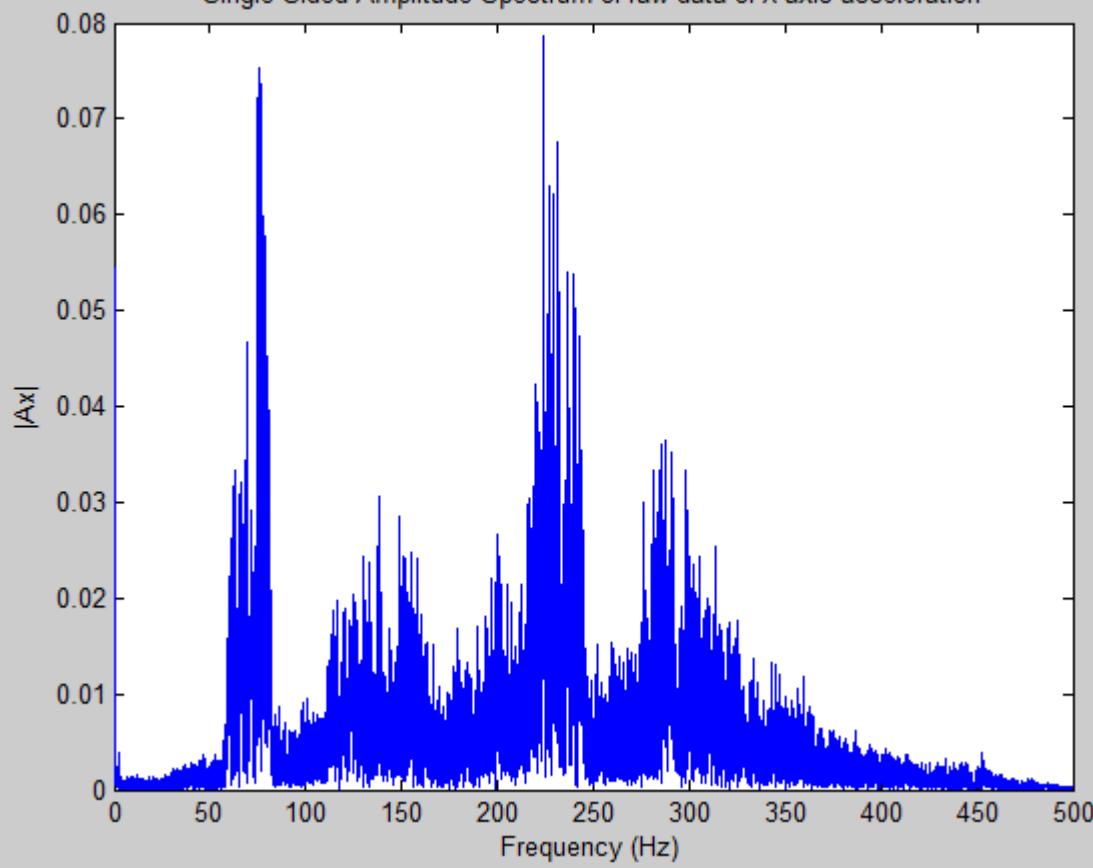




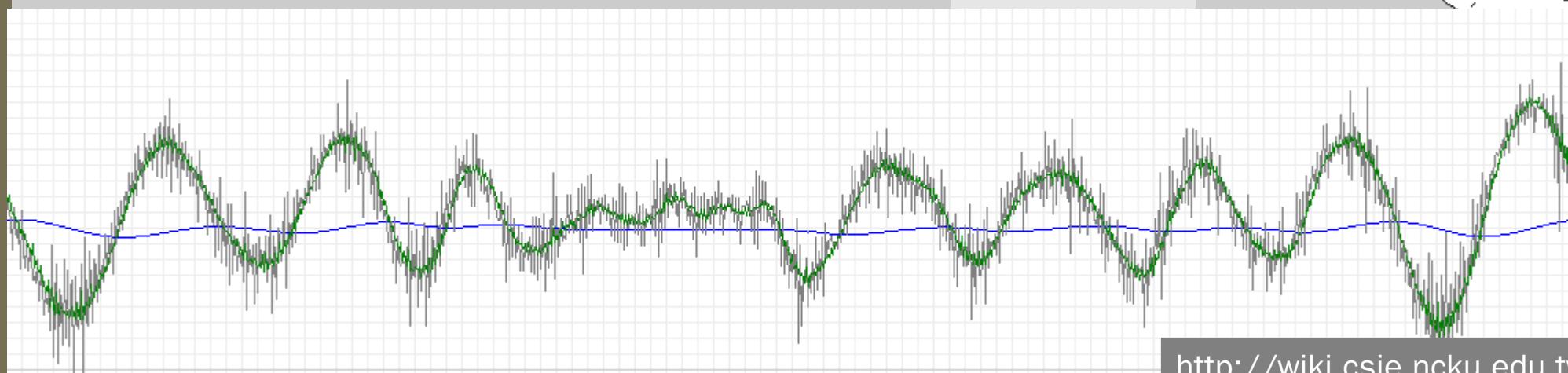
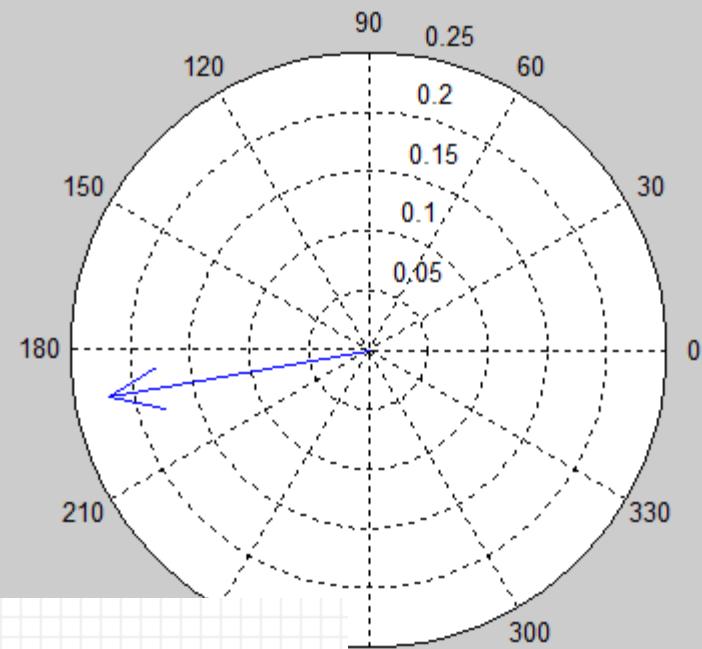
Demo video:  
<https://www.youtube.com/watch?v=hmJVLKOy7DA>



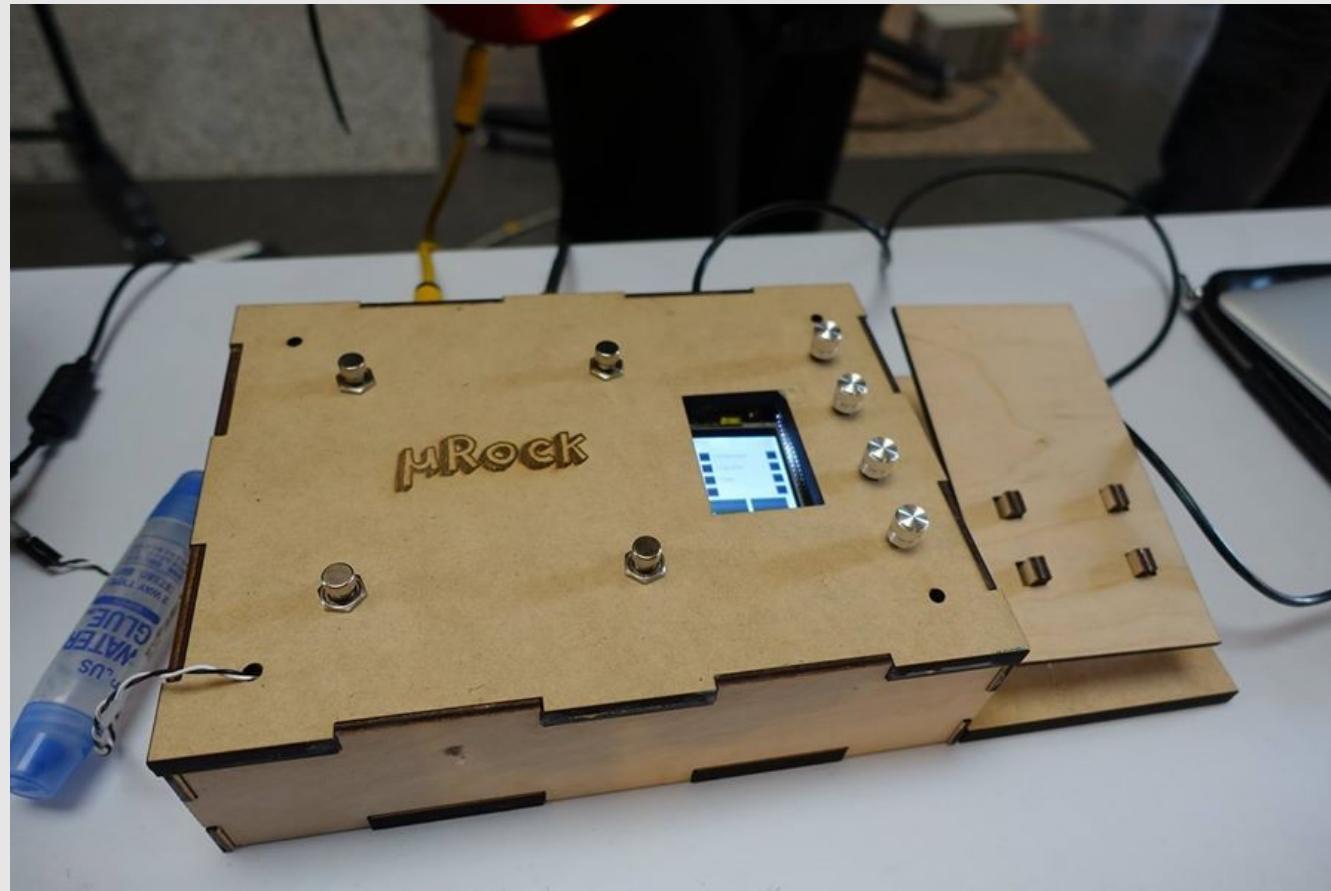
Single-Sided Amplitude Spectrum of raw data of X axis acceleration



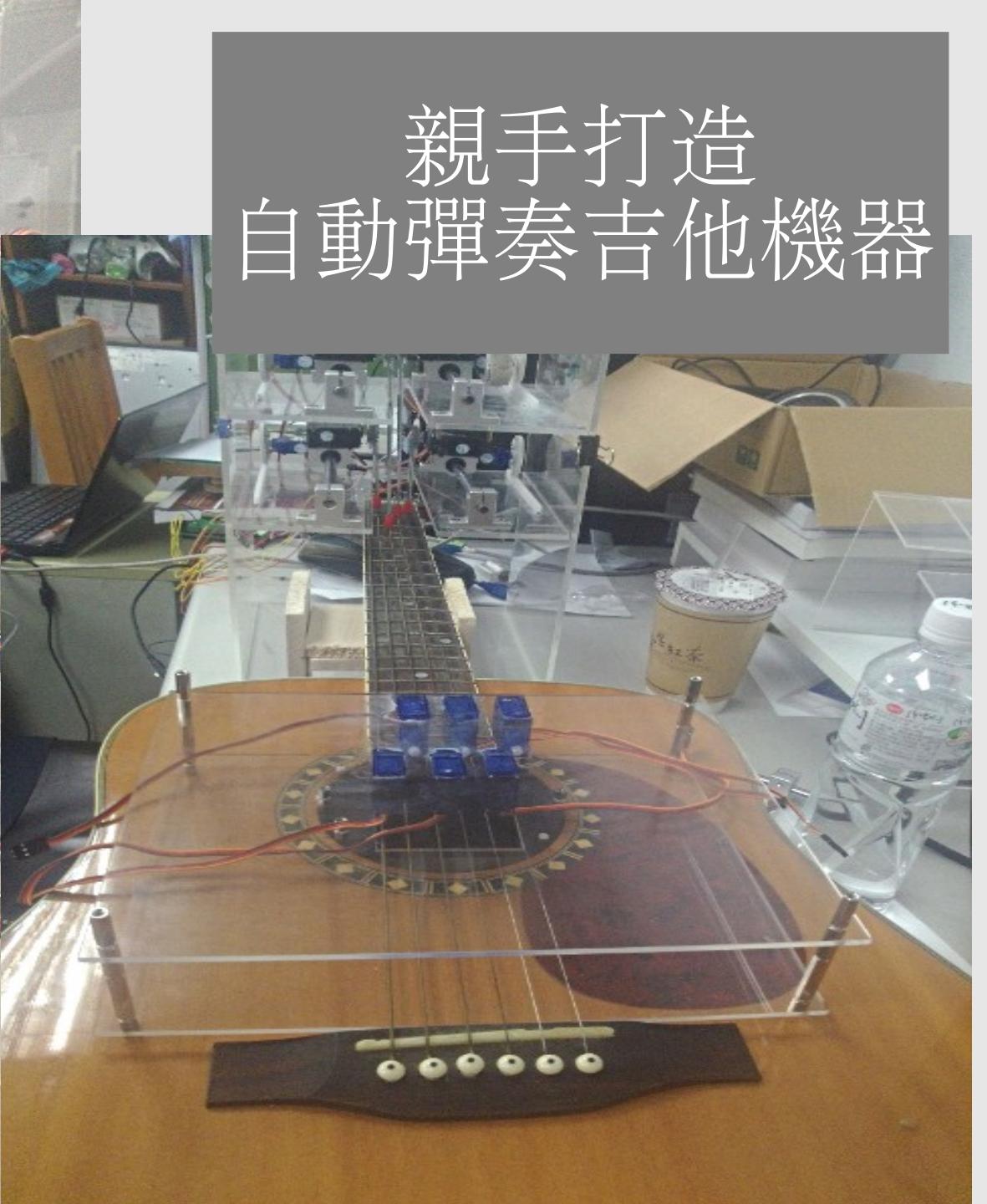
數學和物理很重要，  
一起深入學習



# 自製電吉他效果器並 體驗 ARM 效能改善



# 親手打造 自動彈奏吉他機器

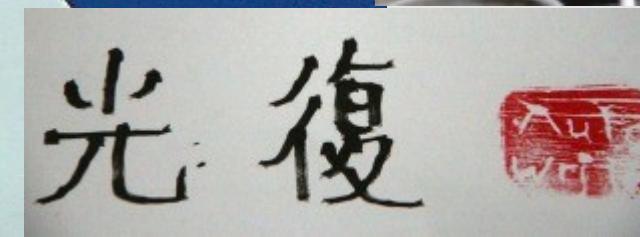
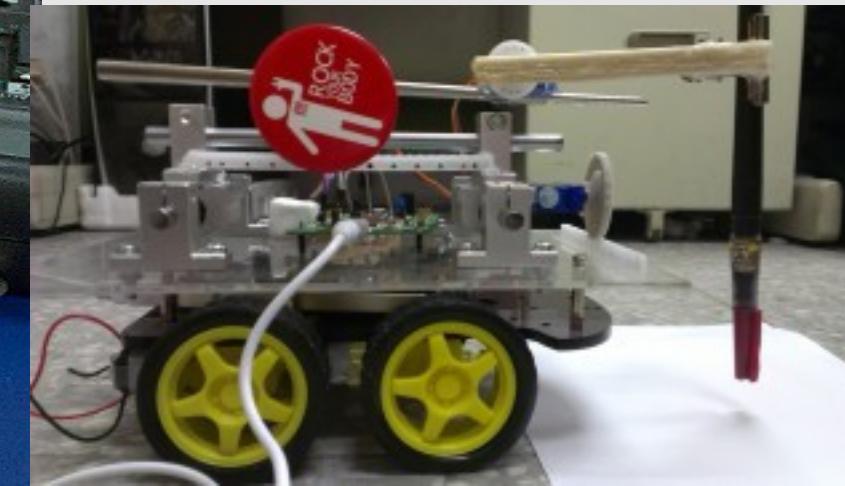
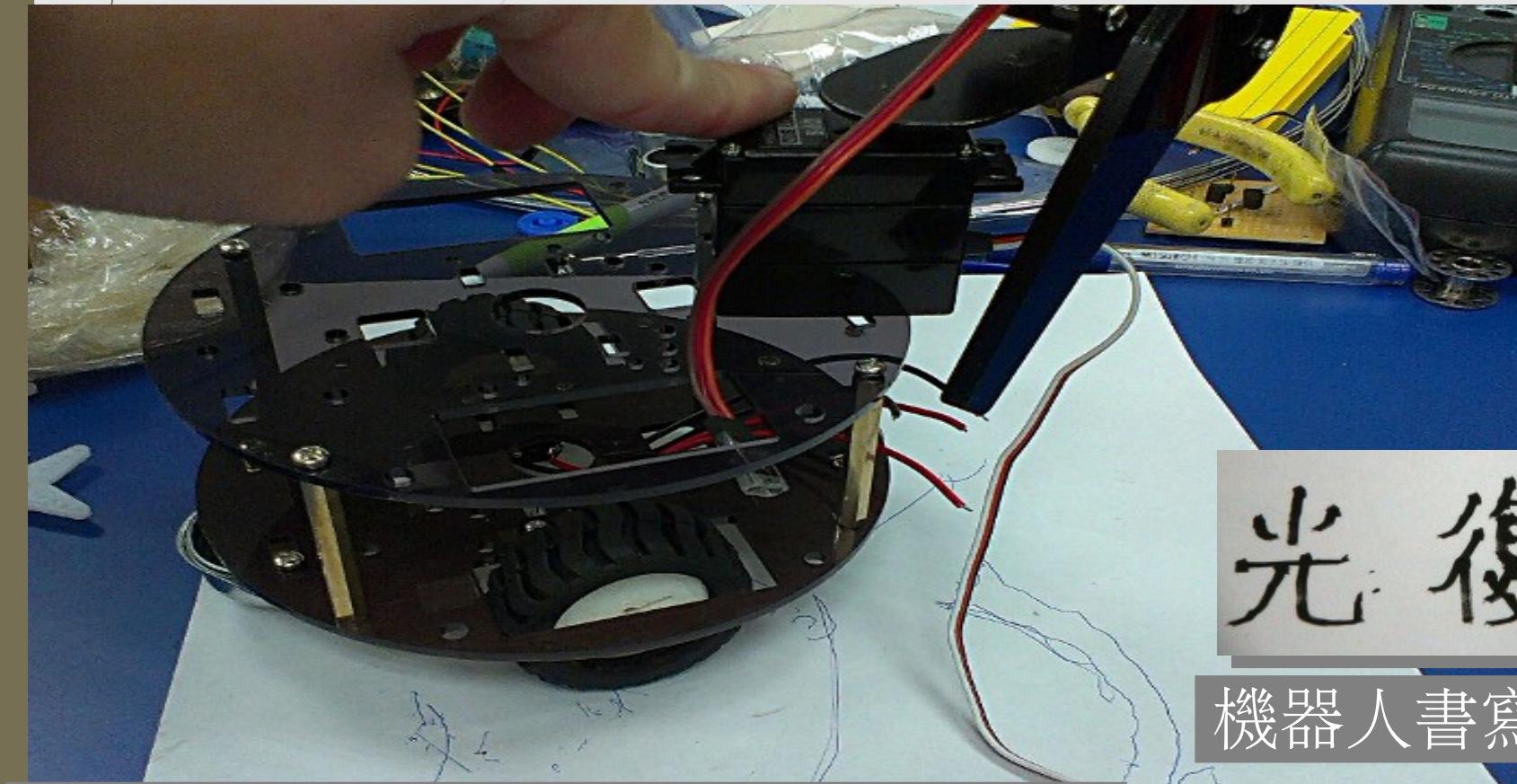


Demo video:

<http://www.youtube.com/watch?v=tk7hJ3-j62Q>

<http://wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/team2013-8>

# 開發自動寫書法機器人

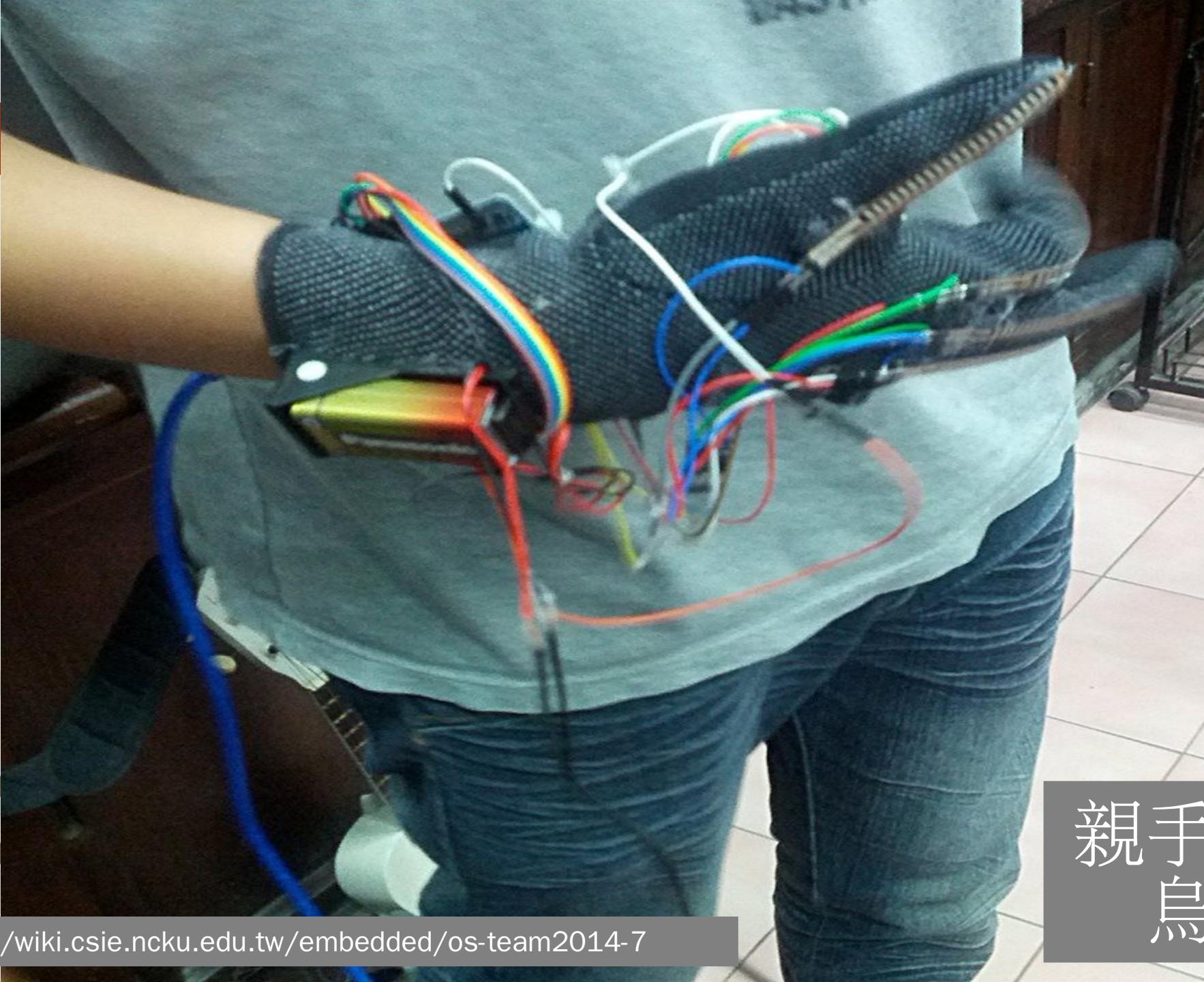


機器人書寫的成果

Demo video:

<https://www.facebook.com/photo.php?v=613934675322288>

<http://wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/team2013-11>



親手打造空氣  
烏克麗麗



# 開發 自動排列骨牌 的機器

Demo video:  
<https://www.youtube.com/watch?v=SWEcdNvyvD0>

<http://wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/team2014-6>



# 學生成果在 Google 搜尋名列前茅

FreeRTOS - Market leading RTOS (Real Time Operating ...

[www.freertos.org/](http://www.freertos.org/) ▾ 翻譯這個網頁

RTOS - FreeRTOS is a truly free professional grade RTOS for microcontrollers that supports 35 MCU architectures and become a market leader. A Portable ...

Download - Supported MCUs - Quick Start - RTOS Tutorial

FreeRTOS - 歡迎使用成大資訊工程系所Wiki 系統！

[wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/freertos](http://wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/freertos) ▾

FreeRTOS是一個相對較小的系統。最小化的FreeRTOS核心僅包括3個 (.c) 文件和少數標頭檔，總共不到9000行程式碼，還包括了註解和空行。一個典型的編譯後 ( ...

FreeRTOS - Wikipedia, the free encyclopedia

[en.wikipedia.org/wiki/FreeRTOS](http://en.wikipedia.org/wiki/FreeRTOS) ▾ 翻譯這個網頁

FreeRTOS is a popular real-time kernel for embedded devices, that has been ported to 35 microcontrollers. It is distributed under the GPL with an opti

Microkernel - Wikipedia, the free encyclopedia

[en.wikipedia.org/wiki/Microkernel](http://en.wikipedia.org/wiki/Microkernel) ▾ 翻譯這個網頁

In computer science, a **microkernel** (also known as  $\mu$ -kernel) is the near-minimum amount of software that can provide the mechanisms needed to implement an ...

Exokernel - L4 microkernel family - Category:Microkernels

F9 microkernel - 歡迎使用成大資訊工程系所Wiki 系統！

[wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/f9-kernel](http://wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/f9-kernel) ▾

在計算科學領域中，**microkernel**( $\mu$ -kernel)指的就是集合一些精簡的軟體，而這些軟體可以提供實作作業系統的機制，例如：地址空間(Address Space, AS)管理、執行 ...

uClinux™ -- Embedded Linux Microcontroller Project ...

[www.uclinux.org/](http://www.uclinux.org/) ▾ 翻譯這個網頁

Home page for uClinux, the Linux/Microcontroller Project, and Linux without MMU project.

Description - uClinux: Ports! - Getting Started - uCsimm

uClinux - 歡迎使用成大資訊工程系所Wiki 系統！

[wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/uclinux](http://wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/uclinux) ▾

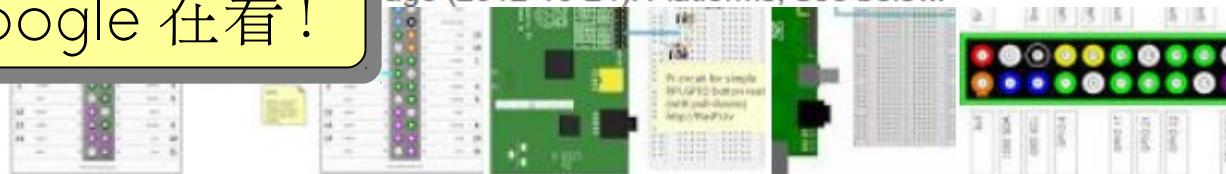
在uClinux中沒有MMU機制，所以沒辦法實作虛擬記憶體( virtual memory )，故也不支援 swap和分頁(paging)的機制，. 所以必須在硬體啟動時，就把所有的 ...

$\mu$ Clinux - Wikipedia, the free encyclopedia

[en.wikipedia.org/wiki/MCLinux](http://en.wikipedia.org/wiki/MCLinux) ▾ 翻譯這個網頁

Working state, Current, Source model, Open source · Latest release, uClinux 3.4.0-uc0 / ago (2012-10-24). Platforms, See below.

人在做， Google 在看！



更多符合「gpio」的圖片

General-purpose Input/Output (GPIO) - 歡迎使用成大資訊 ...

[wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/GPIO](http://wiki.csie.ncku.edu.tw/embedded/GPIO) ▾

Input mode：我們可以利用 GPIO的input data register(GPIOx\_IDR) 或是memory中提供給目標設備的数据 register (當設成alternate function的時候)去接收data。

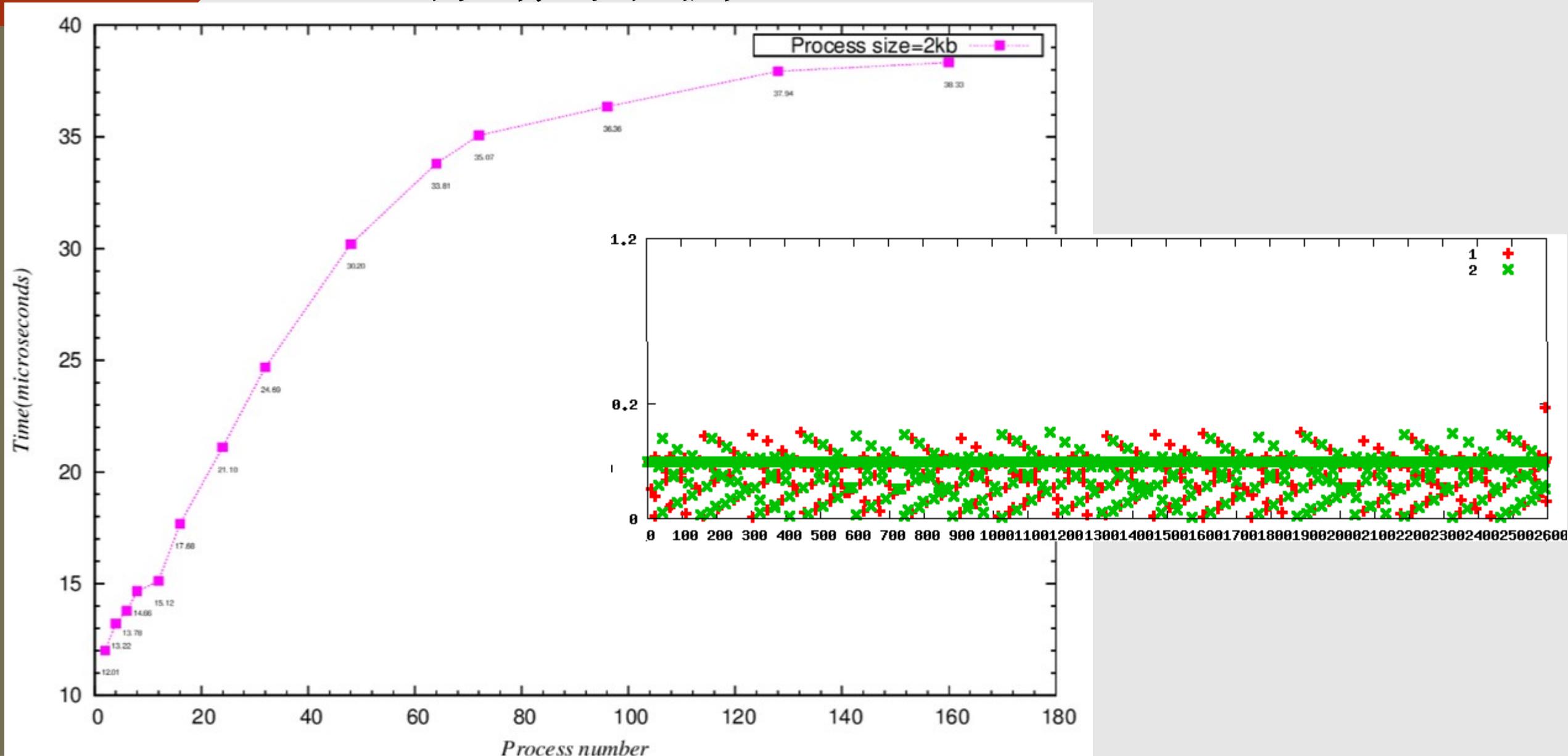
台灣資訊科技產業裡  
頭資深工程師罕見的  
經歷：  
在 Linux Foundation  
舉辦的研討會演說！  
(廖健富同學)



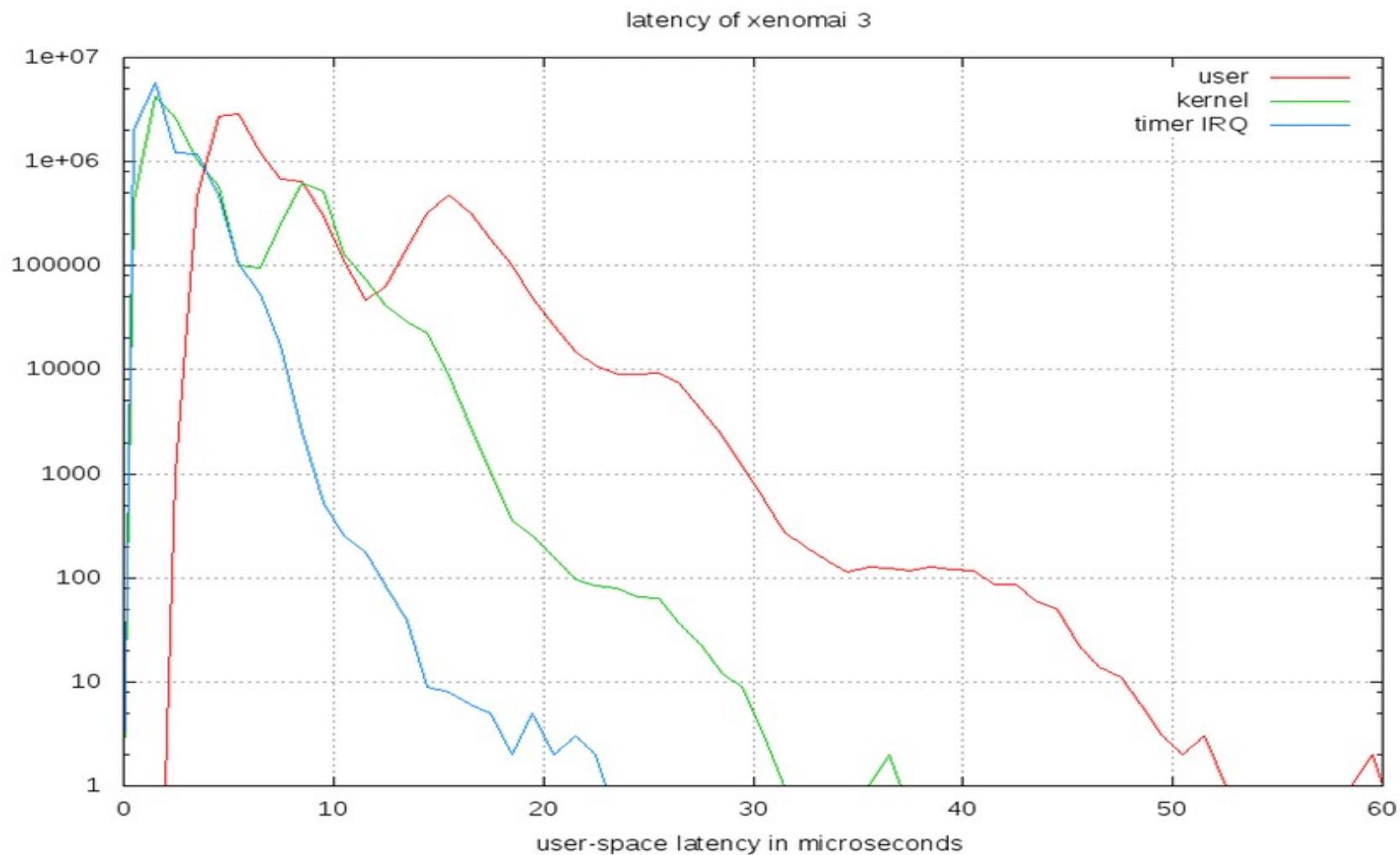
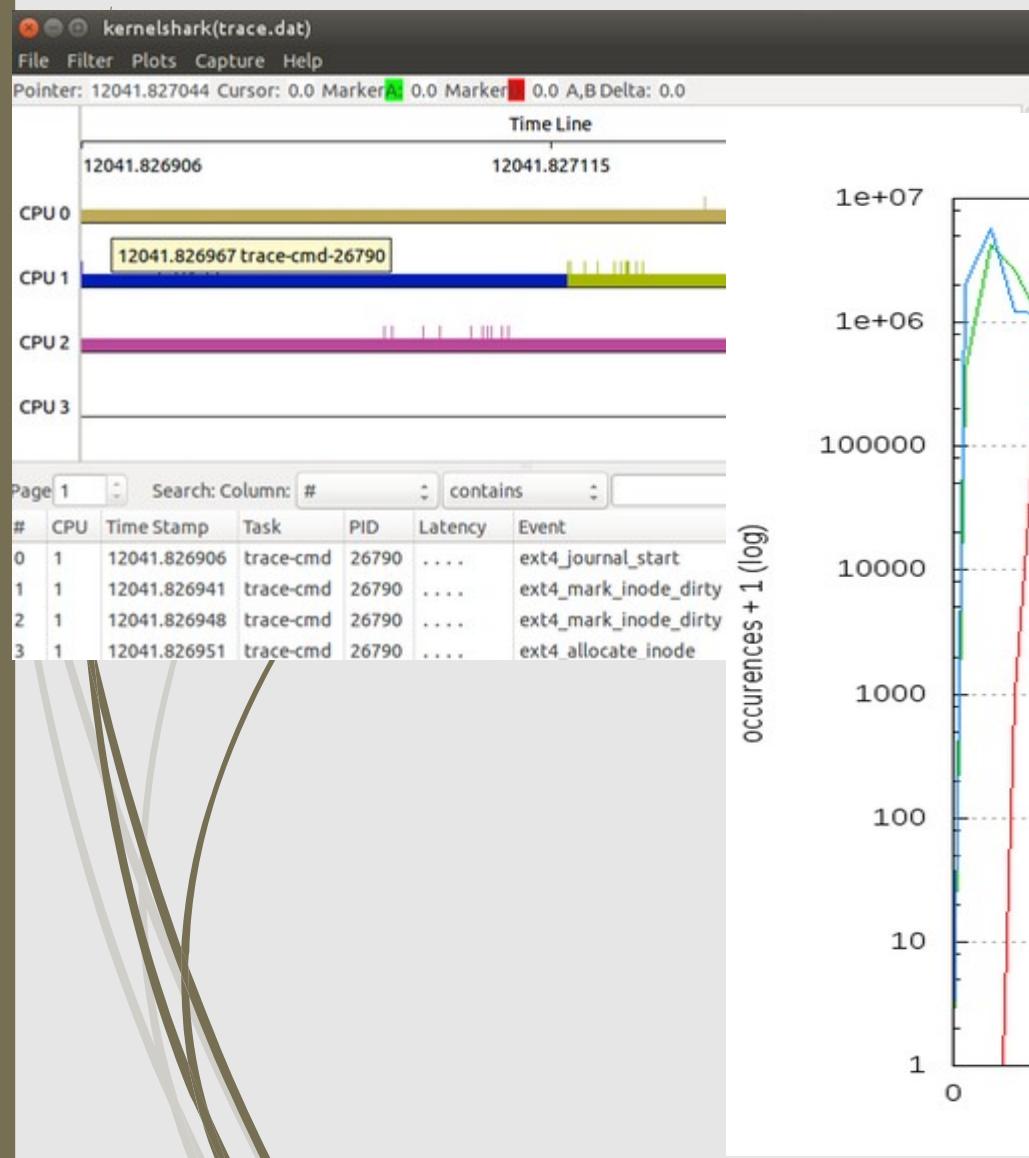
# 2015 年學生的成果

- 開放原始碼貢獻：QEMU, u-boot, RT-Thread, Xvisor, re2
  - 真的是「Google 在看」
- FreeRTOS 的 ARMv7-A MMU 支援
- rtenv+:100% 學生自製的即時多工作業系統
- Linux/ARM 效能分析
- Xenomai 3 效能分析和原理探討
- Xvisor + ARMv8

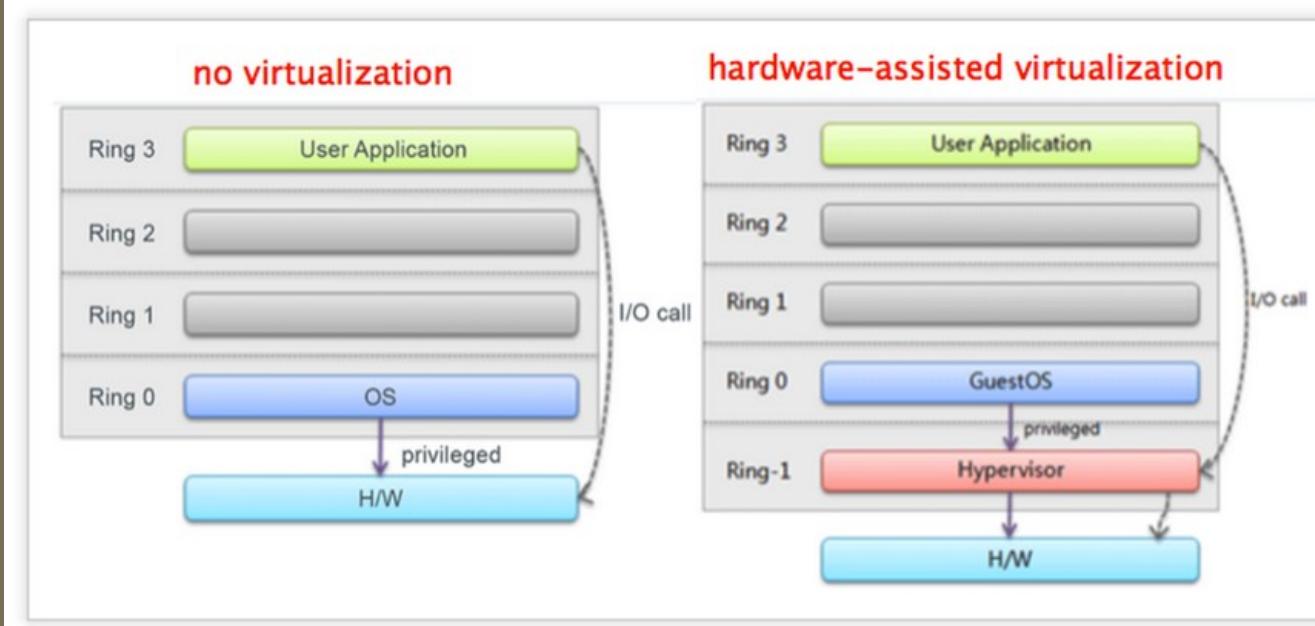
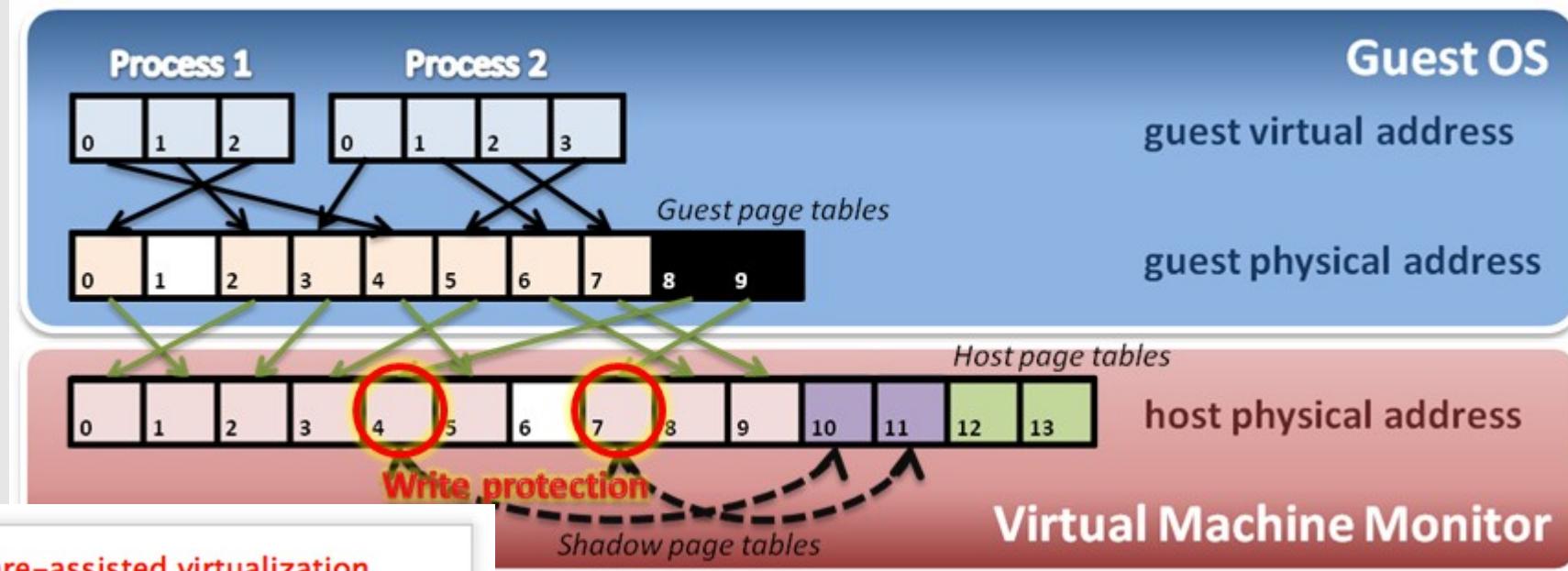
# Linux 效能分析



# Linux 效能改善

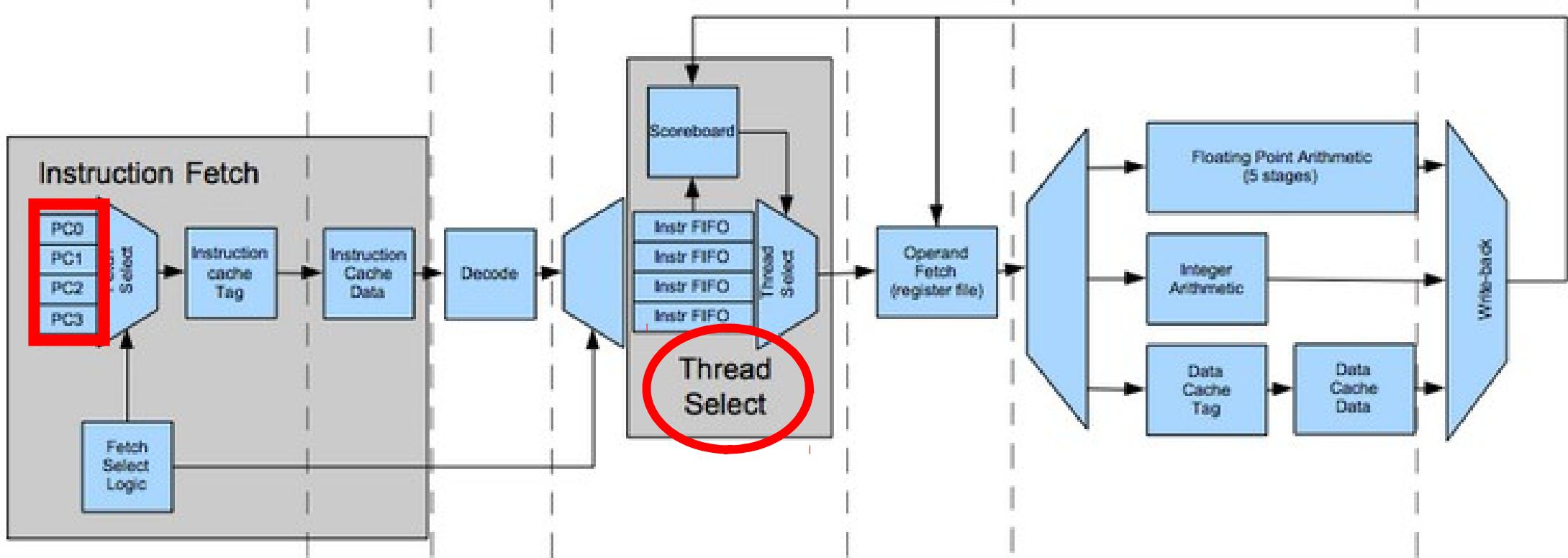


# 輕量級虛擬化解決方案



- 充分在 ARMv8 Foundation Model 模擬和驗證
- 翻譯設計文件和報告
- 貢獻自動測試機制

學生自幹GPGPU，並獲得NVIDIA邀請  
到2015年台灣GPU技術研討會發表開發成果





看了同學們的作品後，你還想問「開發作業系統有什麼意義」這問題嗎？

- 四軸飛行器得同時處理馬達轉速轉向、平衡感測、用演算法修正飛行姿態、遙控訊號、影像運算，還有保存影像資料等繁複的操作
  - multi-tasking, synchronization, I/O, file system
- 彈奏吉他的機器人對時間要求非常苛刻，否則不只是「慢半拍」，還會無法正確地進行和弦刷法
  - realtime, latency
- 自動寫書法的機器人需要高效能的資料處理，否則無法自外界擷取大量的書法資料
  - throughput, networking

# 開發產品，屢屢面對作業系統的議題

- 本學期課程目標就是指出嵌入式系統中，若干關鍵的作業系統設計議題，並且帶著同學著手處理
- 不要說「怎麼可能？」，上學期修課的同學不就證明**雙手萬能**的道理了嗎？現在我們則深入箇中的設計議題，並以軟體思維去解構系統
  - 讓你重新理解作業系統的基本觀念
  - 同時也強調計算機組織與結構的概念
  - 甚至還會複習數學觀念和工程方法

## 捫心自問

□若 Google Inc. 和 Apple Inc. 的工程師跟你一樣懵懵懂懂，得過且過地面對工程挑戰，他們做出來的手機，你敢每天放在身邊使用嗎？

# 你甚至可能因為寫作業而登上媒體！

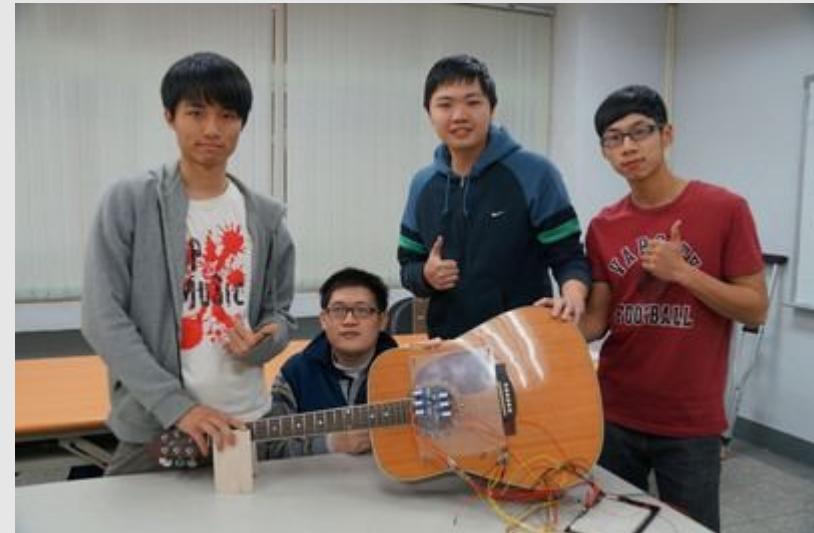
Yahoo!奇摩首頁 > 新聞首頁 > 文教 > 教育 > 所有相關新聞

## 吉他自動演奏機 成大研發有成

**CNA 中央通訊社** 中央社 – 2014年1月3日下午5:10

(中央社記者張榮祥台南3日電) 有人喜歡吉他卻不會彈，只能買把吉他乾過癮。成大吉他自動演奏機可讓吉他迷解癮，只要外掛在吉他上，就能彈出樂曲。

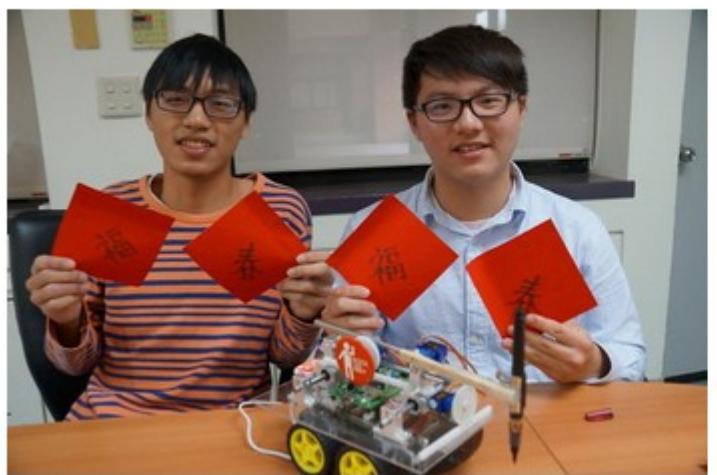
吉他自動演奏機簡稱 Guitar Bot，由成功大學電機所碩一蕭兆原、資訊所碩一詹博丞、林家宏及資訊系大二許友綸等4名學生共同研發，這是他們修習課程時，準備在期末提出的成果報告。



□ 重點不是開發什麼產品，而是如何開發，而且保持熱情堅持下去

# 好東西不怕人看， 勇敢接受外界挑戰

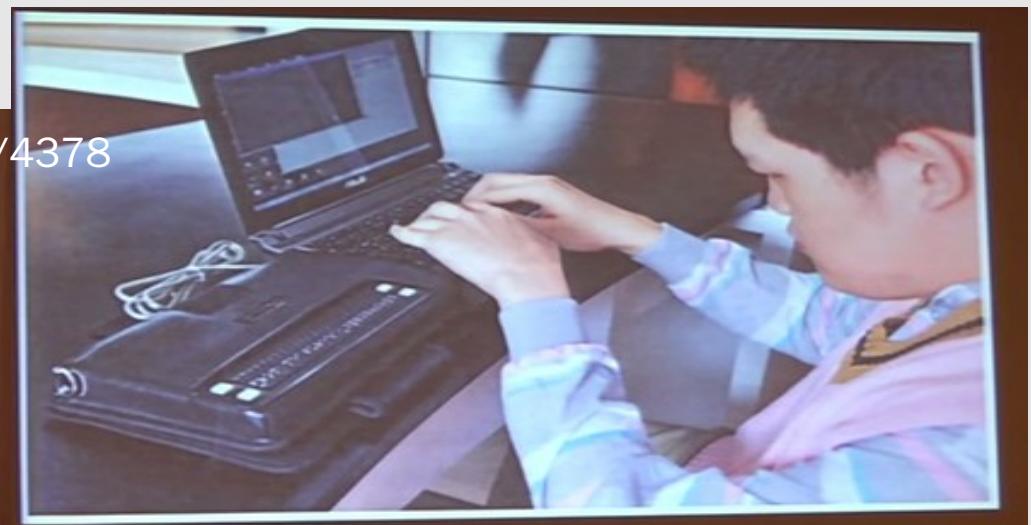
新年到 成大學生讓機器人寫春聯



新年到 成大學生讓機器人寫春聯  
(中央社訊息服務20140123 15:50:46)新年到了，家家戶戶都要貼春聯，成功大學電機系2名學生蕭傳鈞和鄭煒翰請來機器人代勞，一筆一劃寫下「春」到「福」到，喜氣洋洋

- 若你身邊的親友都開始關注你的學習成果時，難道不會想要持續精進下去嗎？
- 工程就是要解決真正的問題，用作品打動人心！

<http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20140722/437865/1/>



詹博丞是成功大學資訊工程所學生，他曾就讀於音樂資優班，但國中三年級時發生車禍，導致罹患點狀軟骨錯生症，因此不良於行，而且產生聽力、視力障礙。但他仍不放棄學習程式設計，並毅然地在兩年前參與新酷音輸入法的開發，並主導數位點字樂譜的設計，希望可以幫助視障朋友閱讀樂譜。由於視力有障礙，加上盲人點字閱讀機的限制，他撰寫程式時，是將所有程式碼背在腦海中進行開發、除錯，也由於聽力障礙，和他說話必須靠在耳邊。在演講中他提到，開發的過程中遇到最大的困難是交接程式碼，因為交接時必須閱讀（以點字方式）其他人的程式碼，最重要是放下成見，用別人的角度去思考。



雖然我不會教書，但我可以陪同學連續奮戰 20 小時以上



一起看日出也行，我可是正宗的竹科工程師啊（茶）



累得只剩下程式碼！撐住，老師陪你們

# Learn to Fail, or Fail to Learn

- 作一個 CPU 、編譯器、作業系統並沒什麼了不起（當然，具體而微那種），但學生若能**親眼看到自己親身實作出這樣貌似遙不可及的項目**，難道不會對投身於資訊科技，更有信心嗎？有如此基礎，才能進一步改善科技水平
- 本學期，我們一同打造**真正能用**的資訊系統，並且解決實際的問題
  - 作不到的話，恐怕連皮毛都學不到

# 我心動了，但沒基礎怎麼辦？

- 只要你願意花時間，就算沒修過作業系統或計算機組織與結構一類的科目也沒關係，課堂中會有重點提示
- 只要資訊系、電機系、工程科學系、機械系、航太系或相關科系的大二以上（含），學過 C 語言即可
  - 去年還有物理系和經濟系的學生修課，依舊表現不俗，所以千萬別擔心
  - 不懂就（重新）學，不要裝懂，千萬別說謊

# 我的承諾

- 只要你在這門課有充分付出，絕對不會讓你失望
  - 學期分數、工作機會
  - 我是為了尋覓工作夥伴而來，不是來打分數的
- 只要你願意學，我就花時間教
- 儘管課程作業有一定難度，但你只要開口，我陪你一起作、一同討論
- 我的講師費全數捐出給同學買硬體、買參考書目
- 若你在這門課表現不錯，拿著作品一定可找到中上的資訊科技相關工程職務
  - 每學期都有學生錄取聯發科技 / 晨星半導體公司的工程職務

# 適用對象與假設

- 對於資訊領域有熱情、並有堅持到底的學習精神
- 樂於助人，願意分享所學知識
  - 在打群架的年代，隔壁的同學就是夥伴！
- 願意花時間寫作業
- 自主學習課程所需的前備知識以及課程參考資料
- 願意花時間教會身邊的同學

# 不建議選修的學生族群

- 覺得自己無論怎麼努力，仍比隨便一位台大資工系畢業生還差的人
- 覺得光靠著拿著成功大學的畢業證書，就能在資訊科技產業有尊嚴地享有優渥生活者
- 覺得每週看著游泳教練或鋼琴教師，但自己不動手，卻又妄想能學到什麼技能的人
- 看到簡報第 6 頁就退縮的同學



「不要花太多時間追逐看起來很實用的專業。世界變化太快，這類專業多半存活幾年就會被取代。你還是要能從本質上了解現象與知識的關聯，才不會被每天冒出來的新詞迷惑。良好的基礎科學訓練仍然是把實務專業做好的基礎。」

蔡志浩博士

# 課程規劃

- 三大主軸
  - ARM 組織和結構
  - 作業系統界面和設計
  - 系統效能、可靠度和安全議題
- 搭配使用 GNU/Linux 豐富的開發工具
- 引導同學拋開第二手資料，而是直接自源頭擷取知識並重整

# 具體而微地說明最新技術

- 預計涵蓋 ARM Cortex-A/R 的架構與指令集 (ARMv7 / ARMv8) , 不會一次提供大量參資料，而是先給予小到能用單一頁面展現的系統實例，要求學生參閱相關資料並補充強化
- 探討軟硬體原理和背後的數學 / 物理概念

# 學以致用<sup>®</sup>

- 課堂模擬產業生態和規格
- 銜接產業界的發展水平
- 採用業界標準的開發工具與流程
- 100% 應用活躍的開放原始碼軟體
- 提供資訊科技工作諮詢和模擬面試

# 時間地點

- Sep 18, 2015 - Jan 8, 2015
- 每週五
  - 09:10-12:00 (課程)
  - 13:30-18:00 (實習 / 解惑)
- 每週一 19:00 補課 (舊系館一樓 203 教室)
- 成功大學資訊工程系新系館 65203 教室

# 評分方式

- 考試：20% (期初「資格考」 + 模擬面試)
  - 第二週有總分 300 分的考試，範圍涵蓋所有電腦科學的基礎科目
- 作業：40% (針對資訊產業需技能，所濃縮的訓練)
- 學生自我評量：40%
- 加分：
  - 課堂問答：最多加到總分 20 分

# 注意須知

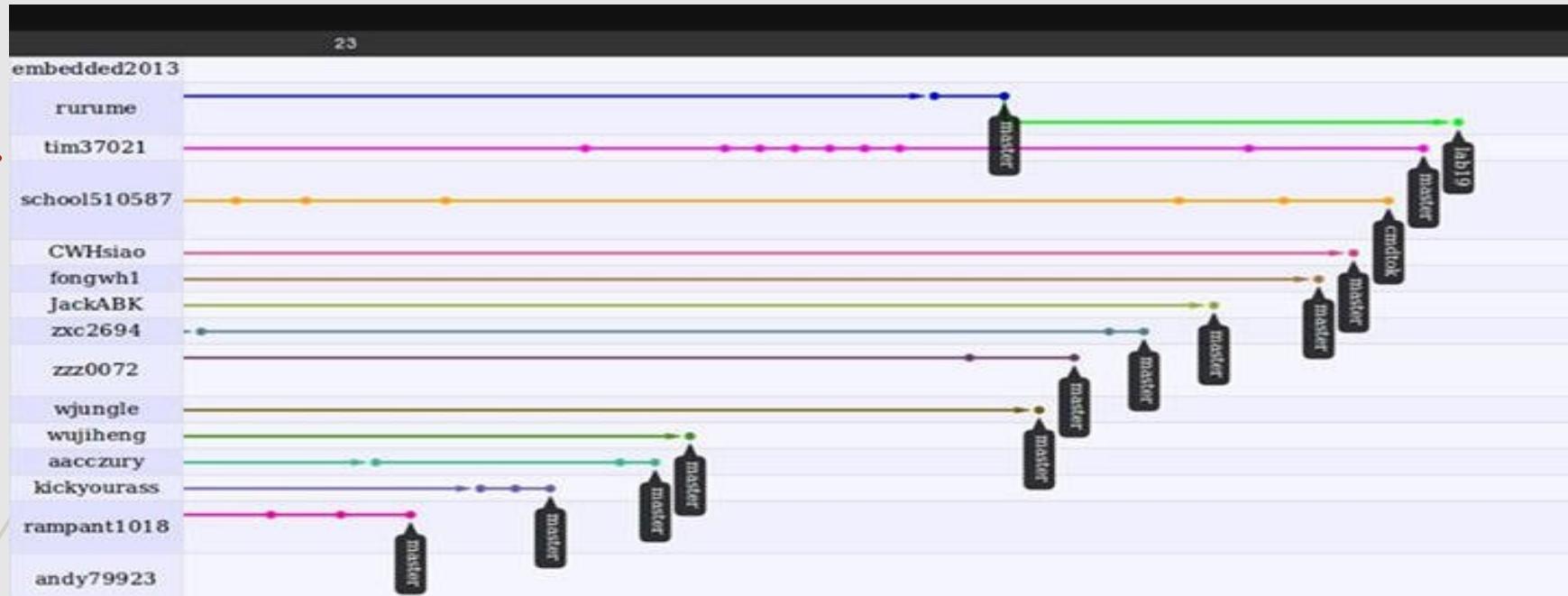
- 不點名
- 課程進行大量用到網路和客製化開發環境，建議攜帶筆記型電腦
- 考試採筆試和一對一口試，可重複應考(考到滿意為止)
- 歡迎旁聽，但請一同參與實習與進行作業繳交
- 每週都有實習課／作業
  - 在隔週六(含)之前需完成作業
  - 如果連續二份作業寫不完的話，就不用來了(視同作業項目零分)
- 期末有專題和口頭報告(Final project)
  - 修課同學可獲得開發板與相關硬體之補助

# 課程資料

- 不需要購買教科書，所有課程資料都放在網路上
  - 作業或考試表現優異的同學，可獲贈參考書籍
- wiki: <http://wiki.csie.ncku.edu.tw/>
  - 請先參閱「進階嵌入式系統開發與實作 (2014 Fall)」和「嵌入式作業系統設計與實作 (Spring 2015)」
- 討論區：<https://www.facebook.com/groups/ncku.embedded2015/>

# 「黃金 30 天」假說

- 每學期開始的前 30 天，學生的課業壓力相對小，這時應強化基本訓練
  - 軟體開發流程和素養
  - 熟悉開發工具
  - 每週都有 coding 作業
  - 「柿子不能只挑軟的吃」
  - 之後會讓同學準備期中報告和期末專題



要求學生使用 open source 開發工具，連同作業都提交到 GitHub 上，接受教師和同學的 code review

課程作業協作平台：

<https://github.com/embedded2015/>



每學期都有善心人士和廠商捐贈硬體和設備，希望學生珍惜這些愛心，創造更多成果出來

Dear Jim,

包裹內附著下面這套裝置，請查收。  
STM32F429-Discovery x 1

感謝Jim過去的付出，心想，我也得盡一點棉薄之力，  
贊助一下器材幫助Jim作育英才。

給最熱血的宅男

感謝你你持續投入高等教育  
真希望我能晚生個幾年，這樣  
就有機會成為學生。也許確  
實如你所說，我也有機會。

不知不覺已成中年人。

在黑石裡，能活久的也許就是撥  
點薪水來捐捐硬體，獲得  
一些的參與感。

by 黑默關注的 guy

我希望這個課程讓學生的人生有更多更好的選擇，來日有能力時，再提拔後進

# 本學期參考專題提案

- 將 RTOS 應用於無人飛行器（四軸、定翼機、機械鳥）
- 基於 ARM 架構的快速開機 (snapshot boot)
- 電吉他調音器、自制高級音響
- 延展前幾個學期的 RTOS，改善整體效能和功能
- 改善 Android Open Source Project 底層效能

# 期末成果發表會

- 2016 年 1 月中旬，將公開舉辦發表會，讓同學們的成果有對外交流的機會
- 邀請來自 Intel 、聯發科技、工研院、台達電子、鴻海科技，和若干新創公司等單位的代表給予評比
  - 現在就有機會遇見未來的雇主和同事
- 一同創造回憶



## 我對高等教育的期望：

要讓臺灣的孩子留在臺灣，不是把通往中國的路變得更簡便，而是改變臺灣的產業結構，開創出自己的活水，給臺灣孩子留在臺灣的機會。