



基於噴泉編碼的光通訊影像傳輸系統

學生：吳秉叡、翁英訓

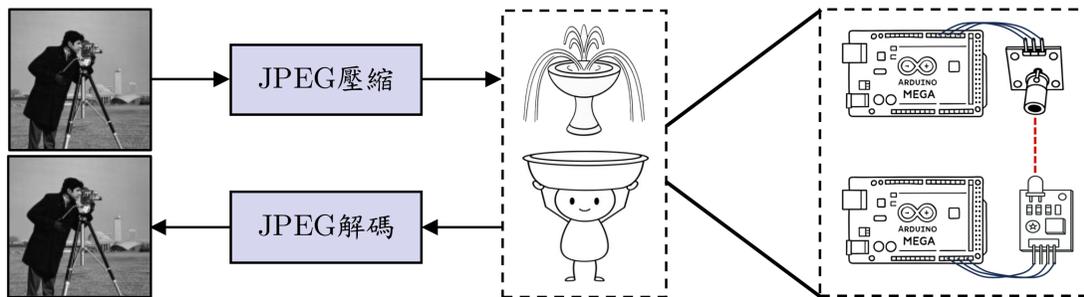
指導教授：翁健家教授

bitlab

最佳訊息傳輸實驗室

摘要

可見光通訊具備大頻寬、高安全性與節能等優點，但也極易因遮蔽而中斷通訊、導致封包遺失。本專題利用兩片低成本的 Arduino 開發板，打造出完整的光通訊影像傳輸系統。其中包含實作 JPEG 影像壓縮、引入噴泉編碼以應對封包遺失、利用曼徹斯特線路碼的訊號特性，使接收端能於高速傳輸定位訊號，以及將資料封包化並插入同步位元與錯誤更正碼來正確還原完整封包資訊。最終本專題成功在室內搭建相距 60 cm、傳輸速率 2.5kbps 的單向光傳輸影像系統，並測出平台理論傳輸速度可達 12.5kbps。



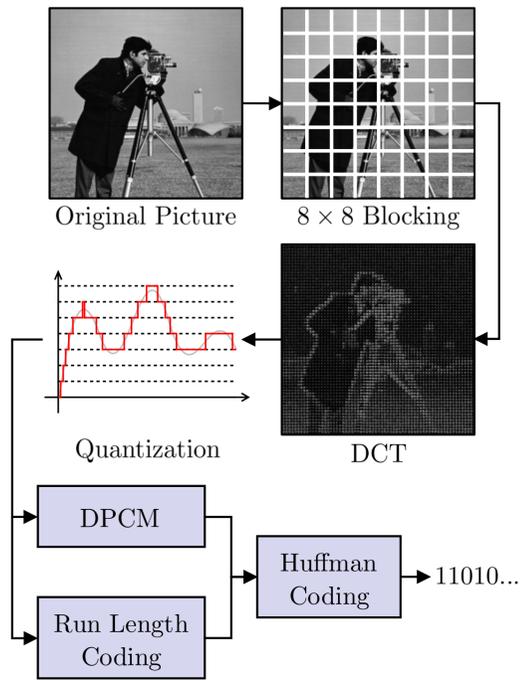
圖一：系統架構圖

關鍵挑戰

- 未經壓縮的圖檔巨大，在低速的系統中難以實現即時傳輸。
- 光訊號易受物體遮蔽，造成通訊中斷、封包遺失。
- U-NRZ 編碼方式不包含時脈資訊，會使接收、傳送兩端時脈不同步，造成位元誤判。

JPEG 壓縮

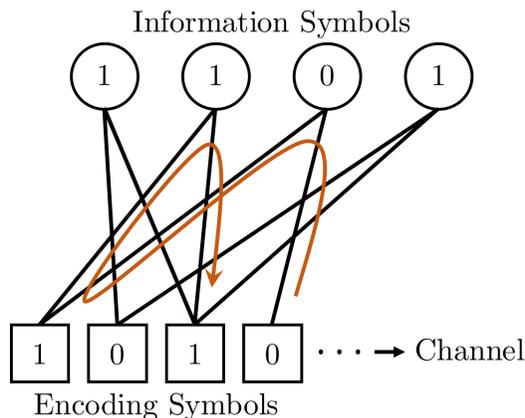
透過離散餘弦轉換與純量量化，捨棄圖片中的高頻資訊、降低資料量，隨後用差分編碼、RLC、霍夫曼編碼進行無損資料壓縮。



圖二：JPEG 壓縮過程

Luby Transform Codes

- 編碼：傳送端持續隨機挑選訊息符元進行 XOR 運算，產生源源不絕的編碼符元。
- 解碼：接收端不需依序收到所有符元，只需累積略多於原始數量的編碼符元 (如同舉著水桶在噴泉旁接水)，即可透過訊息傳遞演算法高機率還原所有資料，有效對抗封包遺失。

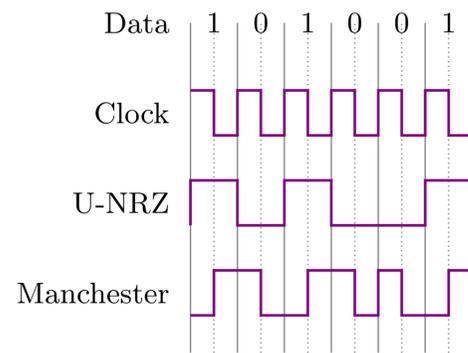


圖三：訊息傳遞演算法解碼過程示意圖

光訊號調變與同步

本系統採用曼徹斯特編碼調變光訊號，其特色如下：

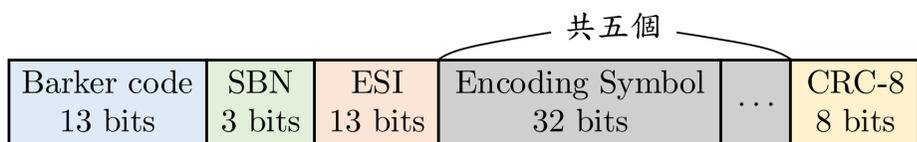
- 自同步：每個位元時間內皆有電位轉換，讓接收端能持續重置時脈，相較 U-NRZ 編碼，有效避免計時器誤差累積。
- 中斷恢復：利用特殊訊號排列 (如電位的高-低-低-高對應到位元 '10')，在中斷結束後迅速完成相位校正。



圖四：U-NRZ、曼徹斯特調變方式比較，高電位為雷射燈亮起，低電位則反之。

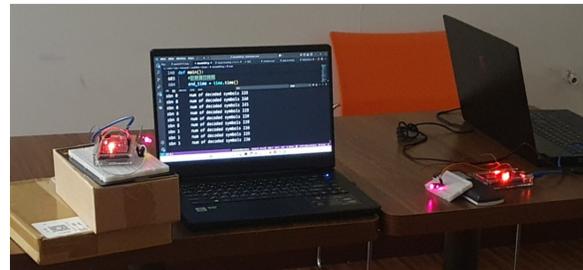
資料的封包化

按 RFC5053 標準進行 LT 編碼：將原始訊息拆成多組訊源區塊後獨立編碼，並利用編碼符元編號 (ESI) 產生 LT 編碼所需的連線資訊。在封包起頭亦加上 Barker Code 便於接收端從接收訊號定位封包位置，最後加入 CRC 碼進行錯誤偵測，排除不完整的封包。



圖五：封包結構圖

實作成果



圖六：系統實作圖，左方為接收端 (光電二極體)，右方為傳送端 (雷射模組)，螢幕上為 LT 解碼進度。

未來研究方向

- 採用 JPEG 2000 壓縮技術進行階層式影像資料傳輸，可於傳輸過程循序解碼。
- 使用響應速度更快的光電二極體，並考慮使用高速單晶片系統進行整合，以突破目前硬體的速率瓶頸。