



**國立臺北科技大學**

**資訊工程系碩士班**

**碩士學位論文**

**改善 FruityMesh 藍牙低功耗網狀網路傳輸**

**效能的設計與實作**

**Design and Implementation of Performance**

**Enhancements in FruityMesh Based Bluetooth Low**

**Energy Mesh Networks**

**研究生：陳柏勳**

**指導教授：吳和庭博士**

**中華民國一百一十四年七月**



**國立臺北科技大學**

**資訊工程系碩士班**

**碩士學位論文**

**改善 FruityMesh 藍牙低功耗網狀網路傳輸**

**效能的設計與實作**

**Design and Implementation of Performance**

**Enhancements in FruityMesh Based Bluetooth Low**

**Energy Mesh Networks**

**研究生：陳柏勳**

**指導教授：吳和庭博士**

**中華民國一百一十四年七月**

## 「學位論文口試委員會審定書」掃描檔

審定書填寫方式以系所規定為準，但檢附在電子論文內的掃描檔須具備以下條件：

1. 含指導教授、口試委員及系所主管的完整簽名。
2. 口試委員人數正確，碩士口試委員至少 3 人、博士口試委員至少 5 人。
3. 若此頁有論文題目，題目應和書背、封面、書名頁、摘要頁的題目相符。
4. 此頁有無浮水印皆可。

# 摘要

關鍵詞：藍牙低功耗、物聯網、FruityMesh、BLE Mesh、網路拓撲、傳輸壅塞、重傳率、封包傳遞成功率

藍牙低功耗 (Bluetooth Low Energy, BLE) 有省電及低成本的特性，使得藍牙技術在物聯網 (Internet of Things, IoT) 中占據重要的角色。在物聯網的應用中，大量使用無線感測網路 (Wireless Sensor Networks, WSN)，會在環境中分布建立許多的節點，而節點不只有當作感知器測量環境的數據，常常還要當作中繼節點，負責轉傳發送端與目的端之間的封包。最終，將所有量測的數據匯集到 Sink 節點，以監控所有的節點數據，將數據儲存後，進行分析後並做出適當的處理，也可以透過分析數據預測環境的變化，並提前做出適當的處理。本論文針對 FruityMesh 網路建立流程進行改善，讓 Sink 節點在網路建立完成後成為整個網狀網路的根節點，並且確保 Sink 節點斷線後重新連線時，仍然是根節點的角色。如此一來，所有非 Sink 節點在傳送封包至 Sink 節點時，只需要往父親節點傳輸封包即可，有效的減少節點發送及轉發的次數。此外，本論文也透過調整 BLE 相關參數，緩解大量封包匯聚至根節點所造成傳輸壅塞的問題，進一步提升了整體 Mesh 網路的封包傳遞成功率 (Packet Delivery Ratio, PDR)、降低了封包傳輸延遲及重傳率，進而改善網路效能。

# Abstract

Keyword: Bluetooth Low Energy, Internet of Things, FruityMesh, BLE Mesh, Network Topology, Transmission Congestion, Retransmission Rate, Packet Delivery Ratio

Bluetooth Low Energy (BLE) is characterized by its low power consumption and cost-effectiveness, making it a key technology in the development of the Internet of Things (IoT). In IoT applications, Wireless Sensor Networks (WSNs) are widely used, where numerous sensor nodes are distributed throughout the environment. These nodes not only collect environmental data but often function as relay nodes, responsible for forwarding packets between the source and destination. Ultimately, all collected data is aggregated at the Sink node, which serves as a central point for monitoring, storage, and analysis. This enables the system to make informed decisions and even predict environmental changes based on the analyzed data. This thesis proposes an enhancement to the FruityMesh network formation process, ensuring that the Sink node becomes the root node of the mesh network once the network is established. Furthermore, it guarantees that the Sink node retains its root node role even after disconnection and reconnection. With this configuration, non-Sink nodes can transmit packets toward the Sink node by simply forwarding them to their parent node, effectively reducing the number of transmissions and retransmissions required. Additionally, by tuning specific BLE parameters, the proposed method alleviates network congestion caused by high packet traffic toward the root node. The experimental results show that the proposed improvements increase the Packet Delivery Ratio (PDR), reduce transmission delay and retransmission rates, and ultimately enhance overall network performance.

# 致謝

所有對於研究提供協助之人或機構，作者都可在誌謝中表達感謝之意。



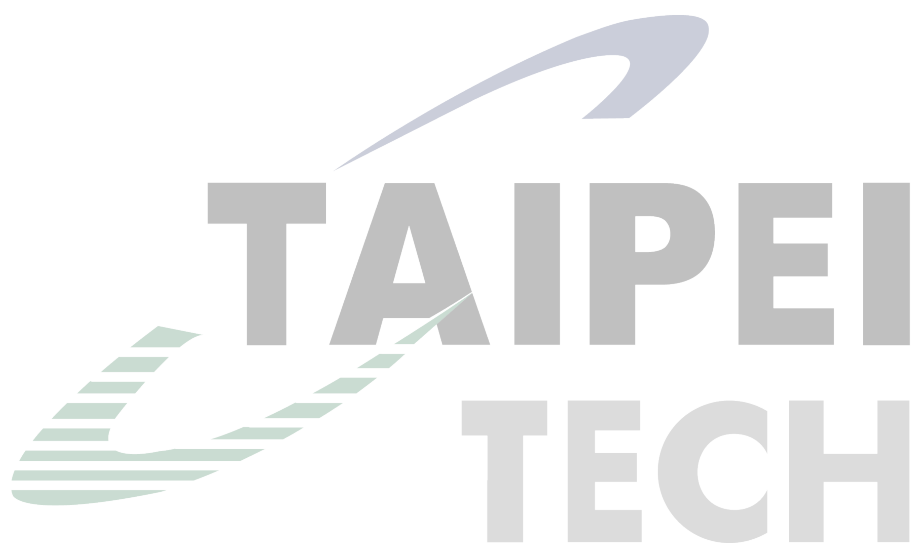
# 目錄

摘要 . . . . .	i
Abstract . . . . .	ii
致謝 . . . . .	iii
目錄 . . . . .	iv
第一章 緒論（大標） . . . . .	1
1.1 研究動機與背景（小標） . . . . .	1
1.1.1 研究背景（小小標） . . . . .	2
第二章 若標題太長，則可以分成兩行排列的形式撰寫 . . . . .	5
2.1 名詞定義（小標） . . . . .	5
2.2 模型說明（小標） . . . . .	5



# 圖目錄

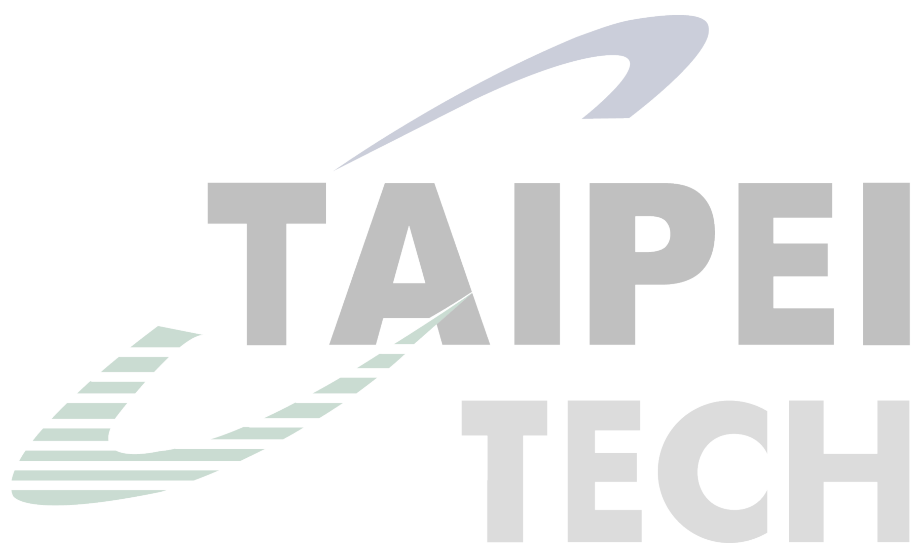
1.1	IoT 市場規模評估 [1]	1
1.2	Cool train station	3
1.3	Cool train station	3
1.4	Cool train station	4
2.1	Cool train station	5





# 表目錄

1.1	表格範例標題 . . . . .	2
1.2	表格範例標題 . . . . .	4
2.1	表格範例標題 . . . . .	5



# 第一章 緒論（大標）

## 1.1 研究動機與背景（小標）

科技的快速進步，讓人們的生活更加便利，物聯網 (IoT) 的應用已經與日常生活密不可分，包含了醫療及工業的應用，無所不在，[1] 根據日商環球訊息有限公司 (GII) 調查，物聯網 (IoT) 市場規模預計從 2024 年到 2029 年，將從 1.17 兆美元增加至 2.37 兆美元，年均複合成長率 (CAGR) 為 15.12%，如 (圖 1.1) 所示。



圖 1.1 IoT 市場規模評估 [1]

2010 年 6 月藍芽技術聯盟 (Bluetooth Special Interest Group) 提出了低功耗藍芽 (Bluetooth Low Energy, BLE)，BLE 省電及低成本的特性，使得藍芽技術在物聯網 (IoT) 的應用種佔據了不可或缺的角色，例如：目前市面上的無線設備包括藍芽耳機、藍芽鍵盤及藍芽滑鼠。物聯網 (IoT) 的應用中，大量使用無線感測網路 (Wireless Sensor Networks, WSN)，會在環境之中分布許多的節點，而節點不只有當作感知器測量環境的數據，常常還要當作中繼節點，轉傳發送端與目的端的封包，最終將所有量測的數據匯集到終端節點，以監控所有的節點數據，將數據儲存後，進行分析後並做出適當的處理，也可以透過分析數據預測環境的變化，並提前做出適當的處理。

藍芽網狀網路 (Bluetooth Mesh) 架構的實現，讓 BLE 更具有可靠性 (Reliability) 及擴展性 (Scalability)，可以允許多個 BLE 相互連接並形成網狀結構，讓封包可以在多個裝置或節點之間進行傳輸，讓傳輸距離不會受到單一裝置的傳輸範圍限制，解決了節點之間裝置連接數量的限制以及傳輸距離不足的問題，在物聯網 (IoT) 的應用，例如: 智慧建築、智慧工業、智慧城市、智慧家庭.. 等等，BLE 都已經扮演重要也不可或缺的角色。

### 1.1.1 研究背景 (小小標)

### 表 1.1 表格範例標題

#### 1.1.1.1 研究動機 (小小標)

動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機  
動機動機動機動機動機動機動機動機。



圖 1.2 Cool train station



圖 1.3 Cool train station

表 1.2 表格範例標題

Protocol	$P$	$CS_1$	$CS_2$	$RG$
MSSMul	$O(1), O(1), N/A$	$O(n-t), O(n), O(1)$	$O(n-t), O(n), N/A$	$O(1), O(n), O(n)$
MSSAdd	$O(1), O(1), N/A$	$O(n-t), O(n), O(1)$	$N/A, N/A, N/A$	$O(1), O(n), O(n)$
SC	$O(1), O(1), N/A$	$O(n-t), O(n), O(1)$	$O(n-t), O(n), N/A$	$O(1), O(n), O(n)$
MSSMul	$O(1), O(1), N/A$	$O(n-t), O(n), O(1)$	$O(n-t), O(n), N/A$	$O(1), O(n), O(n)$
MSSAdd	$O(1), O(1), N/A$	$O(n-t), O(n), O(1)$	$N/A, N/A, N/A$	$O(1), O(n), O(n)$
SC	$O(1), O(1), N/A$	$O(n-t), O(n), O(1)$	$O(n-t), O(n), N/A$	$O(1), O(n), O(n)$

動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機。

動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機。動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機。

動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機。動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機。動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機。

動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機。動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機。動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機。動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機，動機動機動機動機動機動機動機動機動機動機。

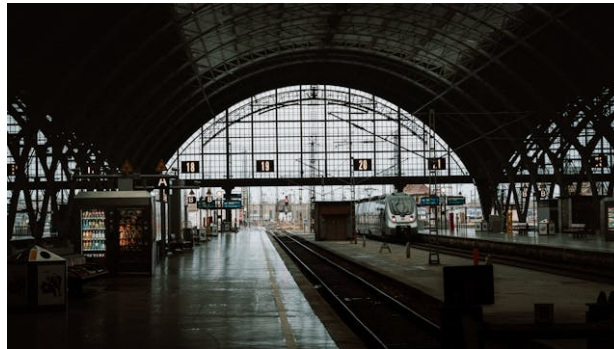


圖 1.4 Cool train station



## 第二章 若標題太長，則可以分成兩行排列的形式 撰寫

### 2.1 名詞定義（小標）

定義定義定義定義定義定義 [2]，定義定義定義定義，定義定義定義定義定義定義定義定義定義定義，定義定義。

表 2.1 表格範例標題

Protocol	$P$	$CS_1$	$CS_2$	$RG$
MSSMul	$O(1), O(1), N/A$	$O(n-t), O(n), O(1)$	$O(n-t), O(n), N/A$	$O(1), O(n), O(n)$
SC	$O(1), O(1), N/A$	$O(n-t), O(n), O(1)$	$O(n-t), O(n), N/A$	$O(1), O(n), O(n)$

### 2.2 模型說明（小標）

說明說明說明說明，說明說明說明說明說明說明說明說明說明說明說明說明說明說明，說明說明說明說明說明說明說明說明說明。

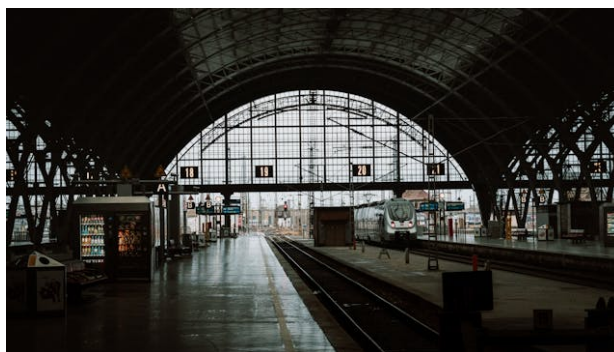


圖 2.1 Cool train station

## 參考文獻

- [1] Mordor Intelligence. *Internet of Things (IoT) - Market Share Analysis, Industry Trends & Statistics, Growth Forecasts 2024–2029*. Accessed: 2025-06-04. Jan. 2024. URL: <https://www.gii.tw/report/moi1403099-internet-things-iot-market-share-analysis-industry.html>.
- [2] 溫淇淼. “基於 FruityMesh 之藍牙低功耗網狀網路傳輸機制的設計以改善 QoS”. PhD thesis. 台北市, 2024, p. 41. URL: <https://hdl.handle.net/11296/7u74xv>.

