

附件一 實驗模組教材清單與基本資料

目錄

一、	實驗模組教材清單	2
二、	實驗模組教材基本資料	6
	模組群 1：通道編碼.....	6
	模組群 2：陣列天線.....	8
	模組群 3：5G 系統.....	9
	模組群 4：行動寬頻網路與安全.....	11
	模組群 5：行動網路應用.....	14
	模組群 6：下世代行動網路技術與資訊安全.....	16
	模組群 7：物聯網技術.....	21
	模組群 8：寬頻射頻傳收機關鍵技術.....	27
	模組群 9：毫米波電路設計與模擬.....	29
	模組群 10：毫微米波通訊模組分析與量測.....	32
	模組群 11：5G 行動通訊天線設計	35

一、 實驗模組教材清單

※申請單位可依課程規劃需求，跨模組群挑選適用的實驗模組教材。

※亦鼓勵申請單位使用各模組群中的相關數位教材，做為教學之輔助工具。

模組群 1：通道編碼

- 1-1. Introduction to E1000 SDR (初級)
- 1-2. Hamming code (中級)
- 1-3. LDPC code (高級)
- 1-4. Polar code (高級)
- 1-5. Coded QPSK transceiver experiment (高級)

相關數位教材：編碼理論

(由「5G 無線通訊技術聯盟中心」開發，聯絡人：國立陽明交通大學 吳文榕教授/ E-mail：
wrwu@nycu.edu.tw)

模組群 2：陣列天線

- 1-1. Introduction to E1000 SDR (初級)
- (此模組群的初級教材即為模組群 1 之實驗模組教材編號 1-1)
- 2-1. Beamforming (中級)
- 2-2. AoA estimation (高級)
- 2-3. Multiuser AoA estimation and beamforming (高級)

相關數位教材：MIMO 通訊系統

(由「5G 無線通訊技術聯盟中心」開發，聯絡人：國立陽明交通大學 吳文榕教授/ E-mail：
wrwu@nycu.edu.tw)

模組群 3：5G 系統

- 1-1. Introduction to E1000 SDR (初級)
- (此模組群的初級教材即為模組群 1 之實驗模組教材編號 1-1)
- 3-1. OFDM/F-OFDM (中級)
- 3-2. Non-orthogonal multiple access (中級)
- 3-3. 5G cell search (高級)
- 3-4. 5G random access (高級)

相關數位教材：編碼理論、MIMO 通訊系統

(由「5G 無線通訊技術聯盟中心」開發，聯絡人：國立陽明交通大學 吳文榕教授/E-mail：
wrwu@nycu.edu.tw)

模組群 4：行動寬頻網路與安全

- 4-1. 開源碼小基站實驗平台之建置與量測(初級)
- 4-2. eMBB 垂直應用網路實驗(中級)
- 4-3. uRLLC 垂直應用網路實驗(中級)
- 4-4. 偽基站收集行動裝置識別與連線資訊實驗(高級)

相關數位教材：5G 邊緣計算

(由「5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心」開發，聯絡人：國立高雄大學 吳俊興教授/E-mail：
wuch@nuk.edu.tw)

模組群 5：行動網路應用

- 5-1. 5G 專網建置與量測實驗(初級)
- 5-2. mMTC 垂直應用網路實驗(中級)
- 5-3. 5G 核網中網路功能應用服務(NF/AF)開發實驗(中級)
- 5-4. 5G 專網中行動裝置與核網協同應用開發實驗(中級)
- 5-5. 5G 核網滲透測試與壓力測試實驗(高級)

相關數位教材：5G 網路切片、5G 邊緣計算

(由「5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心」開發，聯絡人：國立高雄大學 吳俊興教授/E-mail：
wuch@nuk.edu.tw)

模組群 6：下世代行動網路技術與資訊安全

- 6-1. 5G 核心網路設計實驗模組(初級)
- 6-2. 5G 終端資安數據收集與分析實驗模組(初級)
- 6-3. 5G 核心網資安異常檢測實驗模組(中級)
- 6-4. ITS 在 C-V2X 應用實驗模組(中級)
- 6-5. 5G 非 3GPP 連線資安檢測實驗模組(高級)
- 6-6. C-V2X 的 MEC 之技術與應用實驗模組(高級)
- 6-7. C-V2X 的核心-eMBMS 實驗模組(高級)
- 6-8. C-V2X 的網路優化及管理實驗模組(高級)

相關數位教材：5G 網路切片、5G 邊緣計算

(由「以 5G 和 AI 為架構之下世代物聯網聯盟中心」開發，聯絡人：國立陽明交通大學 陳志成教授/ E-mail: jcc@cs.nctu.edu.tw；國立陽明交通大學 李奇育教授/ E-mail: chiyuli@cs.nctu.edu.tw；國立陽明交通大學 陳建志教授/ E-mail: jenjee@nycu.edu.tw)

模組群 7：物聯網技術

- 7-1. LoRaWAN 通訊實驗模組(初級)
- 7-2. NB-IoT 通訊實驗模組(初級)
- 7-3. LoRaWAN GPS 衛星定位追蹤器+震動感應器實驗模組(中級)
- 7-4. NB-IoT GPS 衛星定位追蹤器+震動感應器實驗模組(中級)
- 7-5. IoTtalk 物聯網管理平台進行光感測平台應用實驗模組(中級)
- 7-6. NB-IoT 雙向控制智慧小型溫室實驗模組(高級)
- 7-7. AI 個人化風扇實驗模組(高級)

相關數位教材：長距離低功耗廣域網路技術與應用

(由「以 5G 和 AI 為架構之下世代物聯網聯盟中心」開發，聯絡人：國立清華大學 黃能富教授 / E-mail: nfhuang@cs.nthu.edu.tw<LoRaWAN 與 NB-IoT 技術與應用>；國立陽明交通大學 林勻蔚教授/ E-mail: jyneda@gmail.com<IoTtalk 物聯網管理平台>)

模組群 8：寬頻射頻傳收機關鍵技術

- 8-1. 5G 載波聚合基本觀念(初級)
- 8-2. 功率放大器非線性特性(中級)
- 8-3. 功率放大器預失真線性化技術(高級)
- 8-4. 應用於 5G MIMO/載波聚合之頻率合成器技術 (高級)

相關數位教材：MIMO 通訊系統

(由「5G 天線與射頻技術聯盟中心」開發，聯絡人：元智大學 李建育教授/ E-mail: jianyu@saturn.yzu.edu.tw)

模組群 9：毫米波電路設計與模擬

- 9-1. 毫米波被動元件分析與設計(中級)
- 9-2. 毫米波主動元件分析與設計(中級)
- 9-3. 毫米波頻率合成器分析與設計(中級)
- 9-4. 毫米波小基站射頻前端模組分析與設計(高級)

相關數位教材：微波/毫米波電路分析與設計

(由「5G 天線與射頻技術聯盟中心」開發，聯絡人：元智大學 黃建彰教授/ E-mail：
cch@saturn.yzu.edu.tw)

模組群 10：毫微米波通訊模組分析與量測

- 10-1. 5G 系統之毫微米波通訊傳收機及其組成方塊模組(中級)
 - 10-2. 毫微米波通訊傳收機模組之電氣特性參數分析與量測(中級)
 - 10-3. 毫微米波通訊傳收機模組之數位調變信號效能簡介(高級)
 - 10-4. 毫微米波通訊發射／接收機模組之數位調變信號效能分析與量測(高級)
 - 10-5. 5G 毫微米波通訊多輸入／輸出架構下之數位調變信號效能分析與模擬(高級)
- 相關數位教材：微波/毫米波電路分析與設計

(由「5G 天線與射頻技術聯盟中心」開發，聯絡人：元智大學 黃建彰教授/ E-mail：
cch@saturn.yzu.edu.tw)

模組群 11：5G 行動通訊天線設計

- 11-1. 天線輻射原理、重要參數與微型化技術(初級)
 - 11-2. 電磁數值方法與天線模擬技術(初級)
 - 11-3. 行動終端多天線設計與解耦合技術(中級)
 - 11-4. 毫米波傳播特性(中級)
 - 11-5. 行動終端毫米波陣列天線設計(中級)
 - 11-6. MIMO 通訊技術與 5G 行動通訊(高級)
 - 11-7. Massive MIMO 天線與系統特性(高級)
 - 11-8. 大型陣列天線波束合成技術(高級)
- 相關數位教材：微波/毫米波電路分析與設計

(由「5G 天線與射頻技術聯盟中心」開發，聯絡人：國立臺灣科技大學 廖文照教授/E-mail：
wjliao@mail.ntust.edu.tw)

二、 實驗模組教材基本資料

模組群 1：通道編碼

A. 模組群簡介

本模組群主要是針對下世代通道編碼而開發，從基本的區塊編碼到先進的 LDPC 及 5G 極化碼都有涵蓋，並配合軟體無線電平台可做及時的通訊傳輸實驗。

B. 各實驗模組教材簡介

1-1. Introduction to E1000 SDR (初級)

- 課程大綱
上課教材
 - (1) Introduction to SDR
 - (2) Introduction to E1000 SDR
- 實驗教材
實驗教材
 - (1) OFDM loop back test
 - (2) OFDM EVM test
- 可分享之教材內容
上課實驗教材 36 頁

1-2. Hamming code (中級)

- 課程大綱
上課教材
 - (1) Introduction to Hamming code
 - (2) Hamming code decoding
- 實驗教材
實驗教材
 - (1) Hamming code encoding
 - (2) Hamming code decoding
- 可分享之教材內容
上課實驗教材 55 頁

1-3. LDPC code (高級)

- 課程大綱
上課教材
 - (1) Introduction to LDPC code
 - (2) LDPC code decoding
- 實驗教材
實驗教材

- (1) LDPC code encoding
- (2) LDPC code decoding
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 180 頁，實驗教材投影片 12 頁

1-4. Polar code (高級)

- 課程大綱
上課教材
(1) Introduction to Polar code
(2) Polar code decoding
實驗教材
(1) Polar code encoding
(2) Polar code decoding
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 97 頁，實驗教材投影片 15 頁

1-5. Coded QPSK transceiver experiment (高級)

- 課程大綱
上課教材
(1) QPSK transceiver
(2) Coded QPSK transceiver
實驗教材
(1) QPSK transceiver experiment
(2) Coded QPSK transceiver experiment
- 可分享之教材內容
上課實驗教材 55 頁

相關數位教材：編碼理論

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

實作平台配備 組/使用人數	設備名稱	單價	數量	總金額	適用之實驗模組 教材編號
4x4 MIMO 平台發射端及接收端各一台/ 約供 2 名學生使用	4x4 MIMO 平台發射端及接收端各一台	NT\$125,000	2 台	NT\$125,000*2	1-1~1-5 2-1~2-3 3-1~3-4

D. 聯絡窗口

負責教師：陽明交通大學 吳文榕 教授/ E-mail：wrrwu@nycu.edu.tw

專責助理：陽明交通大學 陳楹瑋/ E-mail：yingcheng@nycu.edu.tw

聯絡電話：(03) 57131647

模組群 2：陣列天線

A. 模組群簡介

本模組群主要是針對陣列天線之訊號處理而開發，內容涵蓋 beamforming 及 AoA estimation，並介紹多使用者之 AoA estimation 及 beamforming，最後以軟體無線電平台從事實驗。

B. 各實驗模組教材簡介

1-1. Introduction to E1000 SDR (初級)

(此模組群的初級教材即為模組群 1 之實驗模組教材編號 1-1)

- 課程大綱

- 上課教材

- (1) Introduction to SDR

- (2) Introduction to E1000 SDR

- 實驗教材

- (1) OFDM loop back test

- (2) OFDM EVM test

- 可分享之教材內容

- 上課實驗教材 36 頁

2-1. Beamforming (中級)

- 課程大綱

- 上課教材

- (1) Introduction to array signal processing

- (2) Beamforming

- 實驗教材

- (1) Digital beamforming/beam patterns

- (2) Multiple-beam beamforming

- 可分享之教材內容

- 上課實驗教材 22 頁

2-2. AoA estimation (高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) AoA estimation with delay-and-sum method
- (2) AoA estimation with Capon's method
- (3) AoA estimation with MUSIC method

實驗教材

Array calibration

- (1) AoA estimation with delay-and-sum method
- (2) AoA estimation with Capon's method
- (3) AoA estimation with MUSIC method

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 21 頁，實驗教材投影片 30 頁

2-3. Multiuser AoA estimation and beamforming (高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) MUSIC method
- (2) MMSE beamformer

實驗教材

- (1) Array calibration
- (2) Multiuser AoA estimation and beamforming

- 可分享之教材內容

上課實驗教材 158 頁

相關數位教材：MIMO 通訊系統

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

請參考模組群 1。

D. 聯絡窗口

請參考模組群 1。

模組群 3：5G 系統

A. 模組群簡介

本模組群主要是針對 5G 系統相關技術而開發，從基本的調變到系統層級的模擬都有涵蓋，配合軟體無線電平台可做及時的 5G 相關實驗。

B. 各實驗模組教材簡介

1-1. Introduction to E1000 SDR (初級)

(此模組群的初級教材即為模組群 1 之實驗模組教材編號 1-1)

- 課程大綱

上課教材

(1) Introduction to SDR

(2) Introduction to E1000 SDR

實驗教材

(1) OFDM loop back test

(2) OFDM EVM test

- 可分享之教材內容

上課實驗教材 36 頁

3-1. OFDM/F-OFDM (中級)

- 課程大綱

上課教材

(1) Introduction to OFDM

(2) Introduction to filtered OFDM

實驗教材

(1) OFDM simulations

(2) Filtered OFDM simulations

- 可分享之教材內容

上課實驗教材 71 頁

3-2. Non-orthogonal multiple access (中級)

- 課程大綱

上課教材

(1) Introduction to NOMA

(2) Power-domain NOMA

實驗教材

(1) Power-domain NOMA simulations

(2) Power-domain NOMA experiments

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 48 頁，實驗教材投影片 30 頁

3-3. 5G cell search (高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) Introduction to 5G radio interface structure
- (2) Introduction to 5G transmission structure
- (3) 5G SSB detection

實驗教材

- (1) 5G SSB detection simulations
- (2) 5G SSB detection experiments
- 可分享之教材內容
- 上課實驗教材 59 頁

3-4. 5G random access (高級)

- 課程大綱
- 上課教材
- (1) Introduction to 5G radio interface structure
- (2) Introduction to 5G transmission structure
- (3) 5G PRACH preamble detection
- 實驗教材
- (1) 5G PRACH preamble detection simulations
- (2) 5G PRACH preamble detection experiments
- 可分享之教材內容
- 上課實驗教材 52 頁

相關數位教材：編碼理論、MIMO 通訊系統

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

請參考模組群 1。

D. 聯絡窗口

請參考模組群 1。

模組群 4：行動寬頻網路與安全

A. 模組群簡介

本模組群主要是針對新一代的行動寬頻網路而開發，從 5G 網路系統如何運作出發，進一步說明 5G 如何提供大頻寬、高可靠、低延遲的行動網路，並探討行動通訊網路的安全議題。

B. 各實驗模組教材簡介

4-1. 開源碼小基站實驗平台之建置與量測(初級)

- 課程大綱

- 上課教材

- (1) 5G 垂直應用系統簡介
 - (2) 接取網路：NR 及 Xn
 - (3) 核網設計：5GC 及 NG

- 實驗教材

- (1) 開源碼小基站實驗平台之建置與量測實驗

- 可分享之教材內容

- 上課教材

- (1) 5G 垂直應用系統簡介(67 頁)
 - (2) 接取網路：NR 及 Xn (54 頁)
 - (3) 核網設計：5GC 及 NG (68 頁)

- 實驗教材

- (1) 開源碼小基站實驗平台之建置與量測實驗(投影片 101 頁、手冊 41 頁、影片 11:24)

4-2. eMBB 垂直應用網路實驗(中級)

- 課程大綱

- 上課教材

- (1) eMBB 垂直應用網路技術
 - (2) 3GPP eMBB 標準現況
 - (3) eMBB 應用分析

- 實驗教材

- (1) eMBB 垂直應用網路實驗

- 可分享之教材內容

- 上課教材

- (1) eMBB 垂直應用網路技術(89 頁)
 - (2) 3GPP eMBB 標準現況(47 頁)
 - (3) eMBB 應用分析(35 頁)

- 實驗教材

- (1) eMBB 垂直應用網路實驗(投影片 102 頁、手冊 48 頁、影片 13:08)

4-3. uRLLC 垂直應用網路實驗(中級)

- 課程大綱

- 上課教材

- (1) uRLLC 垂直應用網路技術
 - (2) 3GPP uRLLC 標準現況
 - (3) uRLLC 應用分析

- 實驗教材

- (1) uRLLC 垂直應用網路實驗
- 可分享之教材內容
 - 上課教材
 - (1) uRLLC 垂直應用網路技術(45 頁)
 - (2) 3GPP uRLLC 標準現況(40 頁)
 - (3) uRLLC 應用分析(33 頁)
 - 實驗教材
 - (1) uRLLC 垂直應用網路實驗(投影片 53 頁、手冊 20 頁、影片 14:16)

4-4. 偽基站收集行動裝置識別與連線資訊實驗(高級)

- 課程大綱
 - 上課教材
 - (1) 5G 安全挑戰與要求
 - (2) 5G 安全技術架構 SECAM 與 SCAS 規範
 - (3) UICC 與 Generic Authentication Architecture
 - (4) 5G Lawful Interception (LI)與 Access Security
 - 實驗教材
 - (1) 偽基站收集行動裝置識別與連線資訊實驗
- 可分享之教材內容
 - 上課教材
 - (1) 5G 安全挑戰與要求(94 頁)
 - (2) 5G 安全技術架構 SECAM 與 SCAS 規範(93 頁)
 - (3) UICC 與 Generic Authentication Architecture (103 頁)
 - (4) 5G Lawful Interception (LI)與 Access Security (85 頁)
 - 實驗教材
 - (1) 偽基站收集行動裝置識別與連線資訊實驗(投影片 79 頁、手冊 38 頁、影片 11:11)

相關數位教材：5G 邊緣計算

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

實作平台 配備組/使 用人數	設備名稱	單價	數量	總金額	適用之實 驗模組教 材編號
每套實驗 設備約供 5 名學生 使用	桌上型電腦(gNB+5GC)	NT\$30,000	1 台	NT\$30,000	4-1~4-4 5-1~5-5
	桌上型電腦或筆電(UE)	NT\$30,000	1 台	NT\$30,000	4-1~4-3 5-1~5-5

	智慧型手機	NT\$15,000	2 隻	NT\$30,000	4-1, 4-4 5-1, 5-3, 5-5
	USRP B210	NT\$60,000	1 片	NT\$60,000	4-1~4-4 5-1~5-3
-	USRP B200	NT\$40,000	1 片	NT\$40,000	4-1~4-4 5-1~5-2

D. 聯絡窗口

負責教師：國立高雄大學 吳俊興教授 / E-mail：wuch@nuk.edu.tw

專責助理：國立中山大學 林儀婷 / E-mail：etinglin@atm.ee.nsysu.edu.tw

聯絡電話：(07)5252000 ext 4148

模組群 5：行動網路應用

A. 模組群簡介

本模組群針對新型態的行動通訊網路應用而開發，介紹 5G 新的以雲端服務及智慧聯網為基礎的核心系統架構，並探討如何在行動核心網路的信賴區或外部授權區開發新的核網應用服務。

B. 各實驗模組教材簡介

5-1. 5G 專網建置與量測實驗(初級)

- 課程大綱

上課教材

(1) 5G 行動通訊簡介

(2) 5G 核網暨專網技術

實驗教材

(1) 5G 專網建置與量測實驗

- 可分享之教材內容

上課教材

(1) 5G 行動通訊簡介(71 頁)

(2) 5G 核網暨專網技術(69 頁)

實驗教材

(1) 5G 專網建置與量測實驗(投影片 96 頁、手冊 49 頁、影片 12:26)

5-2. mMTC 垂直應用網路實驗(中級)

- 課程大綱

上課教材

(1) mMTC 垂直應用網路技術

(2) 3GPP mMTC 標準現況

(3) mMTC 應用分析

實驗教材

(1) mMTC 垂直應用網路實驗

- 可分享之教材內容

上課教材

(1) mMTC 垂直應用網路技術(46 頁)

(2) 3GPP mMTC 標準現況(51 頁)

(3) mMTC 應用分析(60 頁)

實驗教材

(1) mMTC 垂直應用網路實驗(投影片 91 頁、手冊 39 頁、影片 11:03)

5-3. 5G 核網中網路功能應用服務(NF/AF)開發實驗(中級)

- 課程大綱

上課教材

(1) 5G 應用與服務架構

(2) 5G Mission-Critical(MCx)和 Vertical Applications(xAPP)

實驗教材

(1) 5G 核網中網路功能應用服務(NF/AF)開發實驗

- 可分享之教材內容

上課教材

(1) 5G 應用與服務架構(56 頁)

(2) 5G Mission-Critical (MCx)和 Vertical Applications (xAPP) (76 頁)

實驗教材

(1) 5G 核網中網路功能應用服務(NF/AF)開發實驗(投影片 147 頁、手冊 88 頁、影片 15:17)

5-4. 5G 專網中行動裝置與核網協同應用開發實驗(中級)

- 課程大綱

上課教材

(1) CAPIF 與 Northbound APIs

(2) VAL 與 SEAL (Service Enabler Architecture Layer)

實驗教材

(1) 5G 核網中網路功能應用服務(NF/AF)開發實驗

- 可分享之教材內容

上課教材

(1) CAPIF 與 Northbound APIs (67 頁)

(2) VAL 與 SEAL (Service Enabler Architecture Layer)(72 頁)

實驗教材

- (1) 5G 核網中網路功能應用服務(NF/AF)開發實驗
(投影片 183 頁、手冊 86 頁、影片 12:14)

5-5. 5G 核網滲透測試與壓力測試實驗(高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 5G 安全挑戰與要求
- (2) 5G 安全技術架構 SECAM 與 SCAS 規範
- (3) Network Domain Security(NDS)

實驗教材

- (1) 5G 核網滲透測試與壓力測試實驗

- 可分享之教材內容

上課教材

- (1) 5G 安全挑戰與要求(94 頁)
- (2) 5G 安全技術架構 SECAM 與 SCAS 規範(93 頁)
- (3) Network Domain Security (NDS)(57 頁)

實驗教材

- (1) 5G 核網滲透測試與壓力測試實驗(投影片 95 頁、手冊 45 頁、影片 11:18)

相關數位教材：5G 網路切片、5G 邊緣計算

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

請參考模組群 4。

D. 聯絡窗口

請參考模組群 4。

模組群 6：下世代行動網路技術與資訊安全

A. 模組群簡介

本模組群主要是讓學生習得行動網路之相關技術，包含核心網路之設計，並讓學生了解行動網路中資安防護機制的演進與相關機制。此外，V2X 通訊技術亦為下世代通訊科技競賽的關鍵應用，本模組群亦提供相關實驗模組，讓學生習得 V2X 通訊網路的相關技術與應用。

1. 5G 核心網路設計：以 3GPP 國際標準為依據介紹 1G 到 5G 行動通訊網路裡核心網路的演進，並對當下正在發展的 5G 核心網路作詳細講解。同時，會以開源 5G 核心網路為 free5GC 基礎，在實作課程中讓學員親自打造 5G 通訊網路、虛擬化核心網路及核心網路

設計。

2. 5G 資訊安全：使學生了解電信網路中資安防護機制的演進，並且介紹 5G 電信網路的架構、元件、技術和所有相關的資安防護機制，使得學生瞭解如何分析一個 5G 電信網路的資安防護程度，經由 Lab 實作，使得學生具備開發 5G 資安檢測工具的能力。
3. C-V2X 技術與應用服務：V2X 通訊技術是今日全球 5G 科技競賽的關鍵應用，各國採取各項可能措施以落實 5G 通訊產業在 V2X 的競爭優勢。瞭解當今 V2X 通訊網路的技術與應用，將成為一種關鍵能力。本模組將提供學生 V2X 通訊網路的相關技術與應用，包含其基礎知識、網路架構、國際組織、相關技術與應用服務，並同時透專題研究及實作以達到學生理論與實務兩者並重。

B. 各實驗模組教材簡介

6-1. 5G 核心網路設計實驗模組(初級)

- 課程大綱

上課教材

(1) 電信網路簡介：1G – 5G 核心網路的演進

(2) 5G 核心網路介紹

➤ 5G SBI 設計與運用

➤ 網路功能介紹

(3) 5G 開源核心網路 free5GC

➤ 開源核心網路動機

➤ free5GC 演進歷史

➤ free5GC 設計與開發

實驗教材

(1) Lab 1: free5GC 安裝及電信網路架設

(2) Lab 2: 以 Docker 虛擬化 free5GC 核心網路

(3) Lab 3: 網路功能 SBI 布署&簡易網路功能實作

- 可分享之教材內容

上課教材投影片約 600 頁，實驗教材投影片約 80 頁

6-2. 5G 終端資安數據收集與分析實驗模組(初級)

- 課程大綱

上課教材

(1) 電信網路基本知識和資安機制簡介

➤ 行動網路概論、4G 行動網路簡介

(2) 5G 行動網路簡介

(3) 5G 核心資安技術

➤ 認證和網路安全機制

實驗教材

(1) 5G 終端資安數據收集與分析實驗模組

- 可分享之教材內容

授課教材投影片 220 頁，實驗手冊 40 頁

6-3. 5G 核心網路資安異常檢測實驗模組(中級)

- 課程大綱

上課教材

(1) 電信網路基本知識和資安機制簡介

➤ 行動網路概論、4G 行動網路簡介

(2) 5G 行動網路簡介

(3) 5G 核心資安技術

➤ 認證和網路安全機制、服務化架構安全機制

實驗教材

(1) 5G 核心網路資安異常檢測實驗模組 (本實驗核心網採用 free5GC)

- 可分享之教材內容

授課教材投影片 300 頁，實驗手冊 30 頁

6-4. ITS 在 C-V2X 應用實驗模組(中級)

- 課程大綱

上課教材

(1) C-V2X ITS 應用介紹

(2) C-V2X ITS V2V & V2R 應用架構

(3) C-V2X ITS 應用協定

➤ DSRC & C-V2X

➤ IEEE 1609

➤ ITS-G5

➤ SAE J2735(SPaT, MAP)

(4) C-V2X ITS 應用場域建立

(5) C-V2X ITS 應用情境案例

實驗教材

(1) 建立智慧交通之號誌廣播情境應用實驗

- 可分享之教材內容

授課教材投影片 127 頁，實驗手冊 9 頁

6-5. 5G 非 3GPP 連線資安檢測實驗模組(高級)

- 課程大綱

上課教材

(1) 電信網路基本知識和資安機制簡介

➤ 行動網路概論、4G 行動網路簡介

(2) 5G 行動網路簡介

(3) 5G 核心資安技術

➤ 認證和網路安全機制

(4) 5G 非 3GPP 存取資安介紹

(5) VoWiFi 資安機制介紹

實驗教材

(1) 5G 非 3GPP 連線資安檢測實驗模組

- 可分享之教材內容

授課教材投影片 230 頁，實驗手冊 30 頁

6-6. C-V2X 的 MEC 之技術與應用實驗模組(高級)

- 課程大綱

上課教材

(1) C-V2X 結合 MEC 介紹

(2) C-V2X 定位技術介紹

➤ 定位情境介紹

➤ 定位技術介紹

➤ 定位方法與原理

(3) 定位應用實際案例

➤ 人員追蹤

➤ 物理訪問控制

➤ 工廠運行安全

實驗教材

(1) C-V2X 之 MEC 定位應用實作：斑馬線行人定位偵測實驗

- 可分享之教材內容

授課教材投影片 71 頁，實驗手冊 19 頁

6-7. C-V2X 的核心-eMBMS 實驗模組(高級)

- 課程大綱

上課教材

(1) Technologies of C-V2X

(2) Introduction to V2N Technology

➤ X-Cast

➤ LTEBroadcast Technology

➤ NRBroadcast Technology

(3) Applications of Mobile Broadcast

(4) ITRI's V2N E2E System

(5) Prospect for Broadcast Service

- Service Scenarios
- Requirements
- Use Cases

實驗教材

(1) 3GPP 廣播系統實作實驗

- 可分享之教材內容

授課教材投影片 106 頁，實驗手冊 31 頁

6-8. C-V2X 的網路優化及管理實驗模組(高級)

- 課程大綱

上課教材

(1) Overview

(2) Network Management

- Architecture
- Configuration Management
- Performance Management
- Fault Management

(3) Network Optimization

- Architecture
- Self-Configuration
- Self-Optimization
- Self-Healing

實驗教材

(1) 網路優化及管理系統實作實驗

- 可分享之教材內容

授課教材投影片 128 頁，實驗手冊 33 頁

相關數位教材：5G 網路切片、5G 邊緣計算

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

實作平台配備 組/使用人數	設備名稱	單價	數量	總金額	適用之實驗模組 教材編號
5G 核心網路 設計/10 人	4G 商用基地台	75,000	1 台	75,000	6-1
	低階 4G 手機	5,000	5 支	25,000	6-3
	實驗用 SIM 卡	2,000	5 張	10,000	
資訊安全/供 2	高階個人電腦(含	30,000	1 台	30,000	6-2

名學生使用	SSD)				6-3
	高階 5G 手機	20,000	1 支	2,000	6-5
	商用 SIM 卡(易付卡)	500	1 張	500	
C-V2X 技術 與應用服務/ 供 12 名學生 使用	C-V2X RSU	50,000	1 台	50,000	6-4
	C-V2X OBU	55,000	4 台	220,000	
	CSI 定位開發板 及模組系統	60,000	3 套	180,000	6-6
	eMBMS 實驗平 台租用一套(1 年)	250,000	1 套	250,000	6-7
	基站網管與模擬 器系統(實驗用) 陽春版租用一套 (半年)	100,000	1 套	100,000	6-8

D. 聯絡窗口

負責教師：陽明交通大學 陳志成教授 / E-mail：jcc@cs.nctu.edu.tw

陽明交通大學 李奇育教授 / E-mail：chiyuli@cs.nctu.edu.tw

陽明交通大學 陳建志教授 / E-mail：jenjee@nycu.edu.tw

專責助理：陽明交通大學 邱薰瑩 / E-mail：hsunyc@nctu.edu.tw

聯絡電話：(03) 571-2121 ext 55735

模組群 7：物聯網技術

A. 模組群簡介

本模組群內容主要包含物聯網關鍵傳輸技術 LPWAN 長距離低功耗無線通訊網路中最重要
的兩個技術：LoRaWAN 與 NB-IoT 技術與應用。共提供五個實驗模組、依照實驗內容的技
術含量與難易度分為初級、中級與高級模組，分別適合電腦網路與物聯網相關基礎課程，核
心課程與進階課程使用。

除了物聯網關鍵傳輸技術 LPWAN 中之兩個技術外，我們更提供使用 IoTalk 物聯網管理平
台結合 AI 技術進行 AI 物聯網應用設計與開發之相關模組，藉由導入輸入輸出模組化(I/O
modules)與 ML_device (machine learning device)的概念以快速實現 AI 物聯網應用之設計與
實作，讓學員們透過動手實作以體會物聯網應用的設計與開發，與降低物聯網應用開發的心
力與時程，並開發出智慧物聯網應用，其中包含的實驗項目如下：

1. 連接 Arduino / Raspberry Pi / ESP8266 到 IoTalk
2. 多種 Sensor 連接到 IoTalk
3. 智慧開關製作
4. IoTalk 資料連結到 AI 模組
5. AI 個人化風扇開發

B. 各實驗模組教材簡介

7-1. LoRaWAN 通訊實驗模組(初級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 聯發科 Linkit 7697 物聯網平台與 LoRaWAN 通訊模組硬體與功能介紹
- (2) IoT 裝置取得環境資料
 - 環境資料取得方法
- (3) MQTT 與 Postman 介紹
 - 資料傳輸介紹
 - 資料接收方法
 - 利用 LoRaWAN 通訊模組將資料傳回伺服器

實驗教材

- (1) MCU 結合通訊模組之 IoT 資料傳輸實作：蒐集環境變數傳輸至伺服器端應用
- 可分享之教材內容
Linkit 7697 物聯網平台與 LoRaWAN 通訊模組功能介紹約 40 頁

7-2. NB-IoT 通訊實驗模組(初級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) NB-IoT 技術介紹
 - NB-IoT 無線通信技術特性
 - NB-IoT 技術應用
- (2) NB-IoT 通訊模組
 - NB-IoT 模組元件介紹
 - NB-IoT 模組應用環境及支援特性
 - NB-IoT 通訊指令之 AT Command 介紹
- (3) TCP/UDP 傳輸協定
- (4) NB-IoT 通訊實驗架構
 - NB-IoT 模組傳輸到雲端伺服器流程

實驗教材

- (1) NB-IoT 傳輸模組實習
- 可分享之教材內容
NB-IoT 實驗教材約 40 頁

7-3. LoRaWAN GPS 衛星定位追蹤器+震動感應器實驗模組(中級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 系統架構

- (2) 物聯網校園數據分析服務平台介紹
- (3) 藍芽指令介紹
- (4) 基於 LoRaWAN 技術之創新校園應用
 - GPS 軌跡紀錄(GPS 衛星定位追蹤器)
 - ✓ 校狗追蹤管理 App
 - ✓ 自行車追蹤管理系統
 - 洗衣機管理 App(震動感應器)
 - 乾洗手機使用管理系統
 - 宿舍浴室使用管理系統
 - 田園資料感測

實驗教材

- (1) LoRaWAN 穿戴式感應器與校園創新應用

- 可分享之教材內容

LoRaWAN 穿戴式感應器傳輸實習教材約 50 頁

7-4. NB-IoT GPS 衛星定位追蹤器+震動感應器實驗模組(中級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 系統架構
- (2) 物聯網校園數據分析服務平台介紹
- (3) 藍芽指令介紹
- (4) 基於 NB-IoT 技術之創新校園應用
 - GPS 軌跡紀錄(GPS 衛星定位追蹤器)
 - ✓ 校狗追蹤管理 App
 - ✓ 自行車追蹤管理系統
 - 洗衣機管理 App(震動感應器)
 - 宿舍浴室使用管理系統

實驗教材

- (1) NB-IoT 穿戴式感應器與校園創新應用

- 可分享之教材內容

NB-IoT 穿戴式感應器與校園創新應用教材投影片約 65 頁

7-5. IoTtalk 物聯網管理平台進行光感測平台應用實驗模組(中級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) IoTtalk 系統介紹
- (2) 物聯網物件定義與管理介紹

- (3) Input/Output device feature 介紹
- (4) Device Model 介紹
- (5) Input data normalization / Output device scaling 介紹
- (6) Joint function / Mapping function 介紹

實驗教材

- (1) 連接 Arduino / Raspberry Pi / ESP8266 到 IoTtalk
- (2) 多種 Sensor 連接到 IoTtalk
- (3) 智慧開關製作
- 可分享之教材內容
 - (1) IoTtalk 系統介紹投影片約 60 頁
 - (2) IoTtalk 物聯網管理平台進行光感測平台應用實驗模組投影片約 60 頁

7-6. NB-IoT 雙向控制智慧小型溫室實驗模組(高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) NB-IoT 小溫室組件原理與構造
 - 電源供應模組
 - 繼電器
 - 土壤溼度感應器
 - 光線感測器
 - 溫溼度感測器
 - 馬達
- (2) 智慧農業物聯網平台介紹及使用教學
- (3) NB-IoT 雙向控制小溫室組裝教學
- (4) NB-IoT 雙向控制小溫室使用教學

實驗教材

- (1) NB-IoT 雙向控制智慧溫室實習教材內容
- 可分享之教材內容
 - NB-IoT 雙向控制智慧溫室實習教材投影片 83 頁

7-7. AI 個人化風扇實驗模組(高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) IoTtalk 系統介紹
 - 物聯網物件定義與管理介紹
 - Input/Output device feature 介紹
 - Device Model 介紹
 - Input data normalization / Output device scaling 介紹

➤ Joint function / Mapping function 介紹

- (2) AI 演算法介紹
- (3) AI 套件介紹 / ML_device 介紹
- (4) AI 物聯網應用開發

實驗教材

- (1) AI 個人化風扇開發
- 可分享之教材內容
- (1) IoTalk 系統介紹投影片約 60 頁
 - (2) AI 物聯網應用開發實驗模組投影片

相關數位教材：長距離低功耗廣域網路技術與應用

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

實作平台配備 組/使用人數	設備名稱	單價	數量	總金額	適用之實驗模 組教材編號
LoRaWAN 通 訊實驗模組/ 供 2 名學生使 用	LoRaWAN 通訊模組	6,000	1 個	6,000	7-1
	LoRaWAN 程式燒錄器	3,000	1 個	3,000	
	LinkIn 7697 開發板	1,000	1 個	1,000	
	感應器套件	3,500	1 組	3,500	
LoRaWAN 戶 外基地台 (全校建置一 台覆蓋校園)	LoRaWAN 戶外基地 台	100,000	1 套	100,000	7-1 7-3
LoRaWAN 室 內基地台 (校園可建置 數台覆蓋死角 範圍或教室內 範圍)	LoRaWAN 室內基地 台	20,000	1 套	20,000	7-1 7-3
NB-IoT 通訊 實驗模組/供 2 名學生使用	NB-IoT 通訊模組	6,000	1 個	6,000	7-2
	NB-IoT 程式燒錄器	3,000	1 個	3,000	
LoRaWAN GPS 衛星定 位追蹤器+震 動感應器實驗 模組/供 2 名	LoRaWAN 微型震動 感應器(GPS 衛星定位 + LoRaWAN 通訊 + BLE 藍芽通訊 +3 軸 加速器)	4,500	1 個	4,500	7-3

學生使用	雲端智慧校園 LPWAN 物聯網數據收集與分析平台(包含 API) 供全班使用	30,000	1 組帳號密碼一年	30,000	
NB-IoT GPS 衛星定位追蹤器+震動感應器實驗模組/ 供 2 名學生使用	NB-IoT 震動感應器平台(GPS 衛星定位 + NB-IoT 通訊 + BLE 藍芽通訊 + 3 軸加速器 + 電信公司 SIM card(含一年流量使用費))	6,000	1 個	6,000	7-4
	雲端智慧校園 LPWAN 物聯網數據收集與分析平台(包含 API) 供全班使用	30,000	1 組帳號密碼一年	3,000	
NB-IoT 雙向 控制智慧小型溫室實驗模組/ 供 4 名學生使用	NB-IoT 雙向控制智慧小型溫室(包含空氣溫溼度感應器/光感應器/土壤溼度感應器/排風扇/燈光排/滴灌馬達/控制繼電器等) 不包含 NB-IoT 通訊模組	20,000	1 組	20,000	7-6
	雲端智慧校園 LPWAN 物聯網數據收集與分析平台(包含 API) 供全班使用	30,000	1 組帳號密碼一年	30,000	
IoTtalk 物聯網管理平台/ 供 1 名學生使用	AI 伺服器(共用)	80,000	1 台	80,000	7-5
	筆記型電腦	24,000	1 台	24,000	7-7
	NodeMCU (ESP8266)	100	2 組	200	
	微控制板 Arduino	3,000	2 組	6,000	
	微控制板 Raspberry Pi	3,000	2 組	6,000	
	零件材料包	1,000	2 組	2,000	

D. 聯絡窗口

(1) LoRaWAN 與 NB-IoT 技術與應用

負責教師：國立清華大學 黃能富教授 / E-mail：nfhuang@cs.nthu.edu.tw

專責助理：國立清華大學 劉紫瑩 / E-mail：lze48@hotmail.com

聯絡電話：(03) 5715131 ext 31200

(2) IoTtalk 物聯網管理平台

負責教師：國立陽明交通大學 林勻蔚教授 / E-mail：jyneda@gmail.com

專責助理：國立陽明交通大學 高嘉臨 / E-mail：dks221502908@gmail.com

聯絡電話：(03) 5712121 ext 57763

模組群 8：寬頻射頻傳收機關鍵技術

A. 模組群簡介

本模組群係從系統層面瞭解下世代行動寬頻通訊系統為何採用具有載波聚合功能之收發機技術來提高峰值數據傳輸速率和增加頻譜資源使用效率。

本模組群期望讓學生瞭解在 MIMO/載波聚合架構下之多路射頻收發機與本地振盪之同步技術，以及在 MIMO/載波聚合架構中功率放大器高線性度之要求，並學習如何利用預失真技術與數位信號處理達到射頻特性之補償並提高其功率附加效率。

本模組群透過所安排之實驗課程讓學生將所學習之理論知識與實作互相連結。

本模組群各模組間的關聯性以 5G 載波聚合的效能以及所需的關鍵技術為主軸，依次介紹這些關鍵技術後再整體說明 5G 載波聚合系統的效能。

B. 各實驗模組教材簡介

8-1. 5G 載波聚合基本觀念(初級)

- 課程大綱

- 上課教材

- (1) 5G 載波聚合技術簡介
- (2) 載波聚合標準制定現況與規格
- (3) 載波聚合接收機分析與設計
- (4) 載波聚合發射機分析與設計
- (5) 實例介紹軟體定義無線電發展平台

- 實驗教材

- (1) 實驗單元一：射頻載波聚合開關模組實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 125 頁，實驗教材投影片 16 頁

8-2. 功率放大器非線性特性(中級)

- 課程大綱

- 上課教材

- (1) 非線性數學模型
- (2) 增益壓縮
- (3) 交互調變失真

- (4) 三階截斷點
- (5) 多音交互調變比例
- (6) 鄰近通道功率比例
- (7) 雙頻與複頻交互調變失真關係
- (8) AM/AM 與 AM/PM 之轉換關係

實驗教材

- (1) 實驗單元二：功率放大器預失真線性化實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 58 頁

8-3. 功率放大器預失真線性化技術(高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 載波聚合功率放大器設計考量
- (2) 回授式線性化技術
- (3) 前饋式線性化技術
- (4) 射頻/中頻預失真線性化技術
- (5) 數位預失真線性化技術
- (6) 實例解析

實驗教材

- (1) 實驗單元二：功率放大器預失真線性化實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 35 頁，實驗教材投影片 33 頁

8-4. 應用於 5G MIMO/載波聚合之頻率合成器技術(高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) MIMO/載波聚合頻率合成器架構
- (2) 寬頻振盪器架構
- (3) 頻率合成器穩定度
- (4) 頻率合成器相位雜訊分析
- (5) 頻率合成器穩定時間分析

實驗教材

- (1) 實驗單元三：應用於 MIMO/載波聚合之頻率合成器實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 77 頁，實驗教材投影片 69 頁(23 頁、22 頁與 24 頁)

相關數位教材：MIMO 通訊系統

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

實作平台配備組/使用人數	設備名稱	單價	數量	總金額	適用之實驗模組教材編號
實作平台配備 4 組/使用人數 12 人	載波聚合以及數位預失真之實作平台	NT\$75,000	4 台	NT\$300,000	8-1~8-4
	微波電路模擬軟體軟體租用	專案維護合約費 NT\$200,000 (需租用 4 年，專案維護合約費 20 萬元，在維護期間的 4 年期內，學校可有 10 套 license 使用權；學生則上網登錄可免費使用，登錄網站： https://connectlp.keysight.com/StudentLicense 。)	不限	- (註)	

註：必須搭配租用微波電路模擬軟體軟體。因學生上網登錄可免費使用，故經費需求預估為零。

D. 聯絡窗口

負責教師：元智大學 李建育 教授 / E-mail：jianyu@saturn.yzu.edu.tw

專責助理：元智大學 鄭善峰 同學 / E-mail：s1104806@mail.yzu.edu.tw

聯絡電話：03-4638800 ext 7011 分機 909

模組群 9：毫米波電路設計與模擬

A. 模組群簡介

「毫米波電路設計與模擬」模組分為四大部份，第一個部分為毫米波被動元件分析與設計，了解毫米波被動元件高損耗等物理機制及其相關知識，第二個部分是毫米波主動元件分析與設計，學習毫米波頻段主動元件增益與功率的限制，第三部分則是毫米波頻率合成分析與設計，讓學生了解毫米波信號源不論是射頻信號信號品質或輸出功率皆難以與低頻形況相比擬，而第四部份則是統合前三單元內容，以毫米波小基站射頻前端模組為例介紹 5G 系統毫米波傳接機實際應用之特性、架構、規劃與設計方法。授課教師可針對學生背景、程度、應用需求不同選用合適的課程單元。

本課程發展內容旨在培訓相關專業人員，具體目標為：(1)從系統層面瞭解 5G 行動寬頻通訊系統為何提升操作頻段至毫米波來增加傳輸頻寬以及增加系統容量。(2)瞭解毫米波主被

動元件與頻率合成器之特性、架構與設計方法。(3)瞭解毫米波小基站射頻射頻前端模組之特性、架構、規劃與設計方法。

本模組群各模組間的關聯性以毫米波頻段物理特性為主軸，依次介紹在此高頻段的元件與電路與低頻微波的基本差異，後再說明於 5G 系統之實際應用。

B. 各實驗模組教材簡介

9-1. 毫米波被動元件分析與設計(中級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 5G 系統毫米波通訊與射頻傳接機簡介
- (2) 傳輸線毫米波傳輸特性分析
- (3) 電阻、電容、電感毫米波特性和分析
- (4) 毫米波共振器分析與設計
- (5) 毫米波濾波器分析與設計
- (6) 毫米波功率分配器及耦合器分析與設計

實驗教材

- (1) 實驗單元一：毫米波帶通濾波器實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 89 頁，實驗教材投影片 15 頁

9-2. 毫米波主動元件分析與設計(中級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) CMOS FET 元件毫米波特性和分析
- (2) GaAs HEMT 元件毫米波特性和分析
- (3) SiGe HBT 元件毫米波特性和分析
- (4) 毫米波放大器分析與設計
- (5) 毫米波混頻器分析與設計
- (6) 毫米波積體電路設計概論

實驗教材

- (1) 實驗單元二：毫米波放大器實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 45 頁，實驗教材投影片 18 頁

9-3. 毫米波頻率合成器分析與設計(高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 毫米波電壓控制振盪器分析與設計

- (2) 毫米波頻率除法器分析與設計
- (3) 毫米波倍頻器分析與設計
- (4) 毫米波頻率合成器系統分析與設計
- (5) 毫米波頻率合成器測試技術

實驗教材

- (1) 實驗單元三：毫米波頻率合成器實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 77 頁，實驗教材投影片 23 頁

9-4. 毫米波小基站射頻前端模組分析與設計(高級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 毫米波小基站天線與射頻模組整合架構
- (2) 毫米波小基站射頻接收模組架構與分析
- (3) 毫米波小基站射頻發射模組架構與分析
- (4) 毫米波小基站射頻前端模組案例簡介

實驗教材

- (1) 實驗單元四：毫米波小基站射頻前端實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 36 頁，實驗教材投影片 52 頁

相關數位教材：微波/毫米波電路分析與設計

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

實作平台配備組/使用人數	設備名稱	單價	數量	總金額	適用之實驗模組教材編號
實作平台配備 4 組/使用人數 12 人	微波電路模擬軟體軟體租用	專案維護合約費 NT\$200,000 (需租用 4 年，專案維護合約費 20 萬元，在維護期間的 4 年期內，學校可有 10 套 license 使用權；學生則上網登錄可免費使用，登錄網站： https://connectlp.keysight.com/StudentLicense 。)	不限	- (註)	9-1~ 9-4

註：必須搭配租用微波電路模擬軟體軟體。因學生上網登錄可免費使用，故經費需求預估為零。

D. 聯絡窗口

負責教師：元智大學 黃建彰 教授 / E-mail：cch@saturn.yzu.edu.tw

專責助理：元智大學 劉品賢 同學 / E-mail：s1104816@mail.yzu.edu.tw

聯絡電話：03-4638800 ext 7011 分機 911

模組群 10：毫微米波通訊模組分析與量測

A. 模組群簡介

「毫微米波通訊模組分析與量測」模組群分為五大部份，第一個部分為毫微米波通訊傳收機及其組成方塊模組，瞭解傳統微波頻段行動通訊如何提升操作頻段至毫米波，接著介紹以商用 IC 組成之毫微米波通訊系統之各組成方塊，包括射頻開關，濾波器、低雜訊放大器、功率放大器、升／降頻混頻器、IQ 調變／解調器倍頻器與頻率合成器等；第二個部分是毫微米波通訊傳收機模組之電氣特性參數分析與量測，讓學生了解毫微米波射頻模組基本電氣特性參數及其模擬與量測方法；第三部分為毫微米波通訊傳收機模組之數位調變信號效能簡介，係快速複習一些數位通訊與調變技術基本的知識與效能指標定義；第四部份則是毫微米波通訊發射／接收機模組之數位調變信號效能分析與量測，針對毫微米波通訊接收機的構成模組諸如 IQ 解調器、降頻混頻器、低雜訊放大器與濾波器等進行數位調變信號效能分析與量測，指標參數包含數位調變信號劣化程度與最大耐受輸入功率等，推展至接收子系統整體效能分析與量測時，指標參數則為特定誤碼率下之接收靈敏度、鄰近波道選擇度與最大耐受輸入功率等，同時比較微波與毫米波電路模組效能差異；而第五部份為毫微米波通訊多輸入／輸出架構下之數位調變信號效能分析與量測，毫微米波通訊多輸入／輸出架構之射頻傳接機在編碼情況下之數位調變信號可進行吞吐量（Throughput）、多重衰減（Multi-path fading）及特定天線角度干擾（Interference）防制的分析與量測。授課教師可針對學生背景、程度、應用需求不同選用合適的課程單元。

本模組群各實驗模組教材間的關聯性以毫微米波通訊模組為主軸，依次介紹在這些模組教材與其組成之射頻系統在電氣特性與數位調變信號下之模擬與量測技術，最後說明在 5G 多輸入／輸出架構下之效能分析。

B. 各實驗模組教材簡介

10-1. 5G 系統之毫微米波通訊傳收機及其組成方塊模組(中級)

- 課程大綱

上課教材

- (1) 微波／毫米波天線與電波傳播特性
- (2) 微波／毫米波通訊多輸入輸出運作
- (3) 微波／毫米波通訊射頻傳接機架構
- (4) 毫微米波通訊各模組介紹

實驗教材

- (1) 實驗單元一：毫微米波通訊模組基本操作

- 可分享之教材內容
上課教材投影片 66 頁，實驗教材投影片 51 頁

10-2. 毫微米波通訊傳收機模組之電氣特性參數分析與量測(中級)

- 課程大綱
上課教材
 - (1) 毫微米波電氣特性簡介
 - (2) 毫微米波量測儀器簡介
 - (3) 毫微米波模組電氣特性參數定義與量測
 - (4) 毫微米波通訊模組整合之分析與量測實驗教材
 - (1) 實驗單元二：毫微米波通訊傳收機模組之雜訊指數模擬分析實驗
 - (2) 實驗單元三：毫微米波通訊傳收機模組之三階截斷點模擬分析實驗
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 33 頁，實驗教材投影片 40 頁

10-3. 毫微米波通訊傳收機模組之數位調變信號效能簡介(高級)

- 課程大綱
上課教材
 - (1) 數位無線通訊架構
 - (2) 脈波整形
 - (3) 線性／非線性數位調變
 - (4) 毫微米波通訊模組之數位調變信號效能指標
 - (5) 毫微米波通訊模組教學平台軟體操作／顯示架構實驗教材
 - (1) 實驗單元四：毫微米波通訊模組數位調變信號迴路傳輸實驗
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 29 頁，實驗教材投影片 30 頁

10-4. 毫微米波通訊發射／接收模組之數位調變信號效能分析與量測(高級)

- 課程大綱
上課教材
 - (1) 毫微米波接收機架構
 - (2) 毫微米波發射機架構
 - (3) 毫微米波發射／接收模組之數位調變信號效能分析
 - (4) 毫微米波發射／接收模組之數位調變信號效能量測實驗教材
 - (1) 實驗單元五：毫微米波通訊模組數位調變信號無線傳輸實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 28 頁，實驗教材投影片 20 頁

10-5. 5G 毫微米波通訊多輸入／輸出架構下之數位調變信號效能分析與模擬(高級)

- 課程大綱

上課教材

(1) 5G NR 實體層簡介

(2) 毫微米波通訊多輸入／輸出架構之通道特性

(3) 毫微米波通訊多輸入／輸出架構之硬體失真分析

(4) 毫微米波通訊多輸入／輸出架構之資訊吞吐量分析

(5) 5G 毫微米波通訊多輸入／輸出天線陣列波束成型系統

實驗教材

(1) 實驗單元六：毫微米波通訊傳收機模組之數位調變信號模擬分析實驗

- 可分享之教材內容

上課教材投影片 67 頁，實驗教材投影片 20 頁

相關數位教材：微波/毫米波電路分析與設計

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

實作平台配備組/使用人數	設備名稱	單價	數量	總金額	適用之實驗模組教材編號
實作平台配備 4 組/使用人數 12 人	Sub-6GHz/mmW 多輸入輸出射頻傳收實作平台	NT\$75,000	4 台	NT\$300,000	10-1~10-5
	微波電路模擬軟體軟體租用	專案維護合約費 NT\$200,000 (需租用 4 年，專案維護合約費 20 萬元，在維護期間的 4 年期內，學校可有 10 套 license 使用權；學生則上網登錄可免費使用，登錄網站： https://connectlp.keysight.com/StudentLicense 。)	不限	- (註)	

註：必須搭配租用微波電路模擬軟體軟體。因學生上網登錄可免費使用，故經費需求預估為零。

D. 聯絡窗口

負責教師：元智大學 黃建彰 教授 / E-mail：cch@saturn.yzu.edu.tw

專責助理：元智大學 劉品賢 同學 / E-mail：s1104816@mail.yzu.edu.tw

聯絡電話：03-4638800 ext 7011 分機 911

模組群 11：5G 行動通訊天線設計

A. 模組群簡介

本模組群係結合 109 至 111 年所開發的「行動終端多天線設計」、「5G 毫米波天線設計」、與「5G 基地台天線與高階 MIMO 技術」三個課程模組的教材內容，組織一個從天線基礎、陣列天線原理出發，逐步導入與 5G 行動通訊相關的手機多天線設計，基地台支援高階 MIMO 的大型陣列天線等主題的模組群。可用於開設適合大四與研究所學生，以應用為導向的天線設計專精課程。該模組群的技術內容聚焦於 5G 行動通訊導入的天線相關新興技術，例如多天線解耦合、毫米波天線設計、Massive MIMO 大型天線陣列、與陣列天線適應性場型合成等天線技術。由於模組群的設計是以 5G 行動通訊實行的天線技術為主軸，各實驗模組教材間雖有不同主題，例如手機端天線與基地台端天線，但可相互呼應，協助學生獲取貼近實務應用的天線設計經驗，便利與產業接軌。

B. 各實驗模組教材簡介

11-1. 天線輻射原理、重要參數與微型化技術(初級)

- 課程大綱：本模組介紹共振型天線單元如何產生輻射，天線尺寸與共振頻率的關係，並以光學與聲學相關的日常生活經驗闡述天線集合結構與輻射能量分布特性的關聯。

上課教材

- (1) 自然共振現象
- (2) 天線輻射現象
- (3) 天線重要參數
- (4) 天線縮小化技巧

實驗教材

- (1) 以 Rectenna 觀察指向性天線與全向性天線的輻射特性。
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 48 頁，實驗教材投影片 10 頁

11-2. 電磁數值方法與天線模擬技術(初級)

- 課程大綱：本模組介紹商用電磁模擬軟體的核心:數值方法，及其處理天線共振、電磁輻射、近場電磁場分布轉換遠場輻射場型等電磁問題的原理。

上課教材

- (1) 電磁數值方法原理
- (2) 電磁數值方法種類與特性
- (3) 電磁數值方法於天線及傳播問題之應用自然共振現象
- (4) Excitation、Meshing and Absorbing boundaries

實驗教材

- (1) HFSS 電磁模擬軟體操作教學：導波管例
 - (2) HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：偶極天線例
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 80 頁，實驗教材投影片 80 頁

11-3. 行動終端多天線設計與解耦合技術(中級)

- 課程大綱：本模組介紹多天線系統與 MIMO 等先進無線通訊技術的關係，多天線系統效能評估指標。針對行動裝置上，緊湊式的多天線布建環境，說明如何化解輻射耦合與傳導電流耦合，提升相鄰天線間的隔離度。

上課教材

- (1) 行動終端之多天線需求與通訊性能提升原理
- (2) 多天線系統效能評估參數
- (3) 天線輻射耦合機制與解耦合技巧
- (4) 天線傳導耦合機制與解耦合技巧

實驗教材

- (1) HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：以極化分集漸少天線輻射耦合
 - (2) HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：以接地面突出結構減少天線傳導耦合
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 32 頁，實驗教材投影片 32 頁

11-4. 毫米波傳播特性(中級)

- 課程大綱：本模組從 5G 行動通訊應用與系統架構開始說明，並介紹 Sub 6 GHz 微波與 24 GHz 以上毫米波在空間傳播的基本差異，及其所造成的不同天線傳輸需求，以及毫米波傳播特性對接取點網路布建所造成的影響。

上課教材

- (1) 5G 行動通訊系統應用
- (2) 5G 行動通訊系統架構
- (3) 5G 行動通訊系統的傳輸需求
- (4) 5G 頻段訊號傳播特性與通道模型

實驗教材

- (1) 毫米波頻段高指向天線模擬實驗
- 可分享之教材內容

上課教材投影片 33 頁，實驗教材投影片 29 頁

11-5. 行動終端毫米波陣列天線設計(中級)

- 課程大綱：本模組說明陣列天線技術以較大的天線孔徑達到增益提升的學理基礎，並介紹適用於 5G 通訊裝置的陣列天線形式及其波束特性。天線特性可重置技術：可重置天線是因應 5G 終端對天線使用頻段與場型特性的多樣化需求的有效對治手段之一，本單元就針對行動終端環境與動態改變天線輻射區域的天線設計實例，介紹特性可重置與多天線解耦合等技術。

上課教材

- (1) 5G 行動終端天線需求
- (2) 行動終端 5G 毫米波天線設計挑戰
- (3) 行動終端 5G 毫米波多天線設計
- (4) 整合 LTE 與毫米波的行動終端天線設計

實驗教材

- (1) 毫米波頻段陣列天線模擬實驗
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 61 頁，實驗教材投影片 28 頁

11-6. MIMO 通訊技術與 5G 行動通訊(高級)

- 課程大綱：本模組回顧 MIMO 技術特性及其提升通訊頻寬的學理基礎，進而說明何以 Massive MIMO 可以用更高的資料傳輸率容納更多使用者，並強化通聯系統的穩定度。

上課教材

- (1) 多輸入多輸出 MIMO 技術
- (2) 波束成型原理
- (3) 5G 行動通訊技術
- (4) 5G 毫米波通道特性評估

實驗教材

- (1) 子陣列天線設計模擬實驗
 - (2) 波束極值零點合成實驗
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 52 頁，實驗教材投影片 67 頁

11-7. Massive MIMO 天線與系統特性(高級)

- 課程大綱：本模組說明 Massive MIMO 技術施行與大型天線陣列的關聯性，解釋關鍵天線設計規格與 MIMO 效能的連動關係，以及設計時常面臨的規格取舍情境。

上課教材

- (1) Massive MIMO 原理與操作

- (2) 5G 毫米波大型陣列天線系統
- (3) 5G 毫米波波束掃描天線
- (4) 5G Massive MIMO 基地台天線設計

實驗教材

- (1) 射頻子陣列天線系統模擬實驗
- (2) 陣列天線波束掃描實驗
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 56 頁，實驗教材投影片 48 頁

11-8. 大型陣列天線波束合成技術(高級)

- 課程大綱：本模組說明介紹大型陣列天線在天線單元布局、主被動電路架構、基頻訊號處理流程等系統觀點出發的規格需要。

上課教材

- (1) 陣列天線與波束成型原理
- (2) 陣列因子與陣列天線場型
- (3) 陣列天線場型合成
- (4) 平面陣列波束成型
- (5) 適應性場型合成

實驗教材

- (1) 相移器饋入網路設計實驗
- (2) 大型陣列天線波束合成實驗
- 可分享之教材內容
上課教材投影片 50 頁，實驗教材投影片 66 頁

相關數位教材：微波/毫米波電路分析與設計

YouTube 網址：https://www.youtube.com/channel/UCjvy2yZI6c_e7v91Y3e52Vg/playlists

C. 模組群所需實作平台配備與經費需求預估

實作平台配備組/使用人數	設備名稱	單價	數量	總金額	適用之實驗模組教材編號
電磁數值模擬實驗電腦 15 台/約供 30 名學生使用	模擬用電腦	NT\$30,000	15 台	NT\$ 【30,000】 * 【15】 = 450,000	11-1~11-8
	HFSS 模擬軟體	NT\$100,000	1 式	NT\$ 【100,000】 * 【1】 = 100,000	
	MATLAB 模擬軟體	-	-	一般為校級授權軟體	

D. 聯絡窗口

負責教師：國立臺灣科技大學 廖文照教授 / E-mail : [wjiao@mail.ntust.edu.tw](mailto:wjliao@mail.ntust.edu.tw)

專責助理：國立臺灣科技大學 劉賀云 / E-mail : hyliu@mail.ntut.edu.tw

聯絡電話：(02) 27303240