

## 附件 1 課程模組基本資料

本次徵件相關課程模組之基本資料詳如本附件。請考量系所本身特色與師資能量及可獲得之外部資源(如學校本身或外校應用領域相關系所及產研界資源)，擇定 1 至 2 個課程模組實施。

模組名稱		發展聯盟
1	下世代編碼技術	5G 無線通訊技術聯盟中心
2	5G 傳輸模擬技術	
3	5G 大型陣列天線基頻	
4	5G NR 實體層技術	
5	4G/5G 行動寬頻協同網路	5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心
6	下世代 Network Slicing 模組設計	
7	5G 系統層模擬技術	
8	結合 5G 行動網路之無人載具通訊技術	以 5G 與 AI 為架構之下世代物聯網技術聯盟中心
9	物聯網軟體基地台設計與實作	
10	NB-IoT 通訊協定及應用系統	
11	Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出射頻模組	5G 天線與射頻技術聯盟中心
12	行動終端多天線設計課程模組	

### 課程模組1. 下世代編碼技術課程模組 [5G 無線通訊技術聯盟中心]

教材模組名稱	下世代編碼技術課程模組
教材模組 教學目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 本課程將介紹編碼理論與實驗。</li> <li>● 理論部分內容包括通道編碼理論簡介、線性區塊碼介紹、低密度奇偶檢查碼原理簡介與編解碼演算法以及極化碼原理與編解碼演算法等部分。</li> <li>● 實作是以 Matlab/ Simulink 為主要設計工具，將編解碼演算法先以軟體實現，並配合實體層的 4x4 MIMO 傳收機以 Zedbaord/AD9361 之軟體無線電平台上實驗。</li> </ul>
教材模組 課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：編碼理論 課程大綱：               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 編碼理論簡介</li> <li>2. 線性區塊碼介紹</li> <li>3. 低密度奇偶檢查碼簡介及編解碼演算法</li> <li>4. 極化碼簡介及編解碼演算法</li> </ol> </li> <li>● 子模組二：無線收發機之設計與實現</li> </ul>

教材模組名稱	下世代編碼技術課程模組
	課程大綱： 1. 5G 低密度奇偶檢查碼與 5G 極化碼 Matlab 實作 2. Simulink 與 Xilinx SDR 平台操作 3. 無線收發機之實現與實作
可分享教材模組內容說明	授課教材投影片 363 頁，實驗程式碼共 12 組
所需實作平台配備與經費需求預估 (以模組教學實作所需基本軟、硬體平台估算)	實作平台配備說明(每組供 2 位同學使用) ● 4 個 RF 發射端:一台 4X4 MIMO 平台 ● 4 個 RF 接收端:一台 4X4 MIMO 平台 ● 一組實驗需要 2 台 4X4 MIMO 平台 設備經費需求:每組 NT\$200,000 (每台 NT\$100,000)
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援 (含實驗示範影片)	● 示範教學實驗室及聯盟網址： <a href="http://5gwct.nctu.edu.tw/">http://5gwct.nctu.edu.tw/</a> ● 培訓工作坊 20 人/場，共 1 場 ● 種子教師培訓營 20 人/場，共 1 場
聯絡窗口	負責教師：清華大學 翁詠祿教授 E-mail: <a href="mailto:ylueng@ee.nthu.edu.tw">ylueng@ee.nthu.edu.tw</a> 聯絡電話：(03) 516-2208

## 課程模組2. 5G 傳輸模擬技術課程模組

[5G 無線通訊技術聯盟中心]

教材模組名稱	5G 傳輸模擬技術課程模組
教材模組教學目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 本課程介紹 5G 傳輸技術以及相關的模擬技術，包括理論與實驗部分，實驗是以 Matlab 模擬為主。</li> <li>● 理論部分包括 5G 傳輸技術簡介，5G 通道模型，OFDM 簡介，F-OFDM 及 W-OFDM 技術，毫米波傳輸特性等</li> <li>● 在實驗部分是以 Matlab/ Simulink 來模擬整個系統的傳輸特性，內容包括 OFDM 系統模擬，F-OFDM 系統模擬，W-OFDM 系統模擬，毫米波通道模擬，陣列天線模擬等</li> </ul>
教材模組課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：理論課程 課程大綱：                1. 5G 傳輸技術簡介                2. 5G 通道模型                3. OFDM 簡介                4. F-OFDM 及 W-OFDM             </li> <li>● 子模組二：實驗部分 課程大綱：                1. OFDM 系統模擬                2. F-OFDM 系統模擬                3. OFDM 與 F-OFDM 頻譜特性模擬                4. 陣列天線之波束成型模擬             </li> </ul>

教材模組名稱	5G 傳輸模擬技術課程模組
可分享教材模組內容說明	授課教材投影片 105 頁，實驗程式碼共 10 組
所需實作平台配備與經費需求預估 (以模組教學實作所需基本軟、硬體平台估算)	實作平台配備說明(每台供 1 位同學使用) 電腦(搭配軟體 MatLab/SimuLink)可以使用學校電腦教室或購置(每台約三萬元，含螢幕)
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援 (含實驗示範影片)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 示範教學實驗室及聯盟網址：<a href="http://5gwct.nctu.edu.tw/">http://5gwct.nctu.edu.tw/</a></li> <li>● 培訓工作坊 20 人/場，共 1 場</li> <li>● 種子教師培訓營 20 人/場，共 1 場</li> </ul>
聯絡窗口	負責教師：交通大學 吳文榕教授 E-mail: <a href="mailto:wrvu@faculty.nctu.edu.tw">wrvu@faculty.nctu.edu.tw</a> 專責助理：交通大學 陳楹瑋小姐 E-mail: <a href="mailto:yingcheng@nctu.edu.tw">yingcheng@nctu.edu.tw</a> 聯絡電話：(03) 571-2121 ext 54566

### 課程模組3. 5G 大型陣列天線基頻課程模組

[5G 無線通訊技術聯盟中心]

教材模組名稱	5G 大型陣列天線基頻課程模組
教材模組教學目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 5G 大型陣列基頻是 5G 通訊系統必備的一個模組，將可結合毫米波技術實現巨大天線陣列之傳收通訊。此課程介紹陣列信號處理理論教材，例如:波束合成器設計、方位源估測、數位預處理、混合型陣列波束合成通訊技術等，並藉由 Matlab 軟體平台開發一套完整的多用戶陣列天線波束處理通訊系統。最後，將 Matlab 開發之軟體結合至 4TX/4RX 之軟體無線電平台(4X4 MIMO 平台)，此平台主要包含基頻 FPGA、類比 DAC/ADC 與 4 天線收發之射頻模組，此實務驗證前將結合多天線陣列間增益與相位調校教材，最終完成一套可實測兩用戶具不同方位同時收發之 4TX/4RX 陣列天線通訊系統。</li> <li>● 子模組一：5G 大型陣列天線基頻理論一 教學目標：介紹大型陣列天線通道模型、數位預處理與波束合成技術，及說明混合型陣列天線架構與信號處理技術</li> <li>● 子模組二：5G 大型陣列天線基頻理論二 教學目標：介紹數位波束合成設計、DOA 方位角估測、同步技術，最後完成多用戶陣列天線通訊之理論教學與程式設計</li> <li>● 子模組三：5G 大型陣列天線基頻實驗一 教學目標：運用 4X4 MIMO 傳收機平台結合陣列天線增益與相位調校技術，實現單脈波束合成與 DOA 角度估測</li> <li>● 子模組四：5G 大型陣列天線基頻實驗二 教學目標：以子模組二之教材，運用 4X4 MIMO 傳收機平台，實現多用戶陣列天線之 DBF 波束合成與 DOA 角度估測</li> </ul>

教材模組名稱	5G 大型陣列天線基頻課程模組
教材模組 課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：5G 大型陣列天線基頻理論一 課程大綱：               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大型陣列天線簡易通道模型簡介</li> <li>2. 數位預處理技術(含 Digital Precoding 程式)</li> <li>3. 類比波束合成技術(含波束配對技術)</li> <li>4. 混合型(數位預處理與類比波束合成)之大型陣列天線處理技術(含 Hybrid Precoding 程式)</li> </ol> </li> <li>● 子模組二：5G 大型陣列天線基頻理論二 課程大綱：               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大型陣列天線波束合成技術(含 Beamforming 程式)</li> <li>2. 簡易方位角(DOA)估計技術(含 DOA 估計程式)</li> <li>3. 簡易多用戶數位基頻同步處理技術(含 Multiuser Synchronization 程式)</li> </ol> </li> <li>● 子模組三：5G 大型陣列天線基頻實驗一 課程大綱：               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 4X4 MIMO 傳收機簡介</li> <li>2. 運用 4X4 MIMO 傳收機平台實現單脈波波束合成與 DOA 角度估測(五大步驟)</li> </ol> </li> <li>● 子模組四：5G 大型陣列天線基頻實驗二 課程大綱：               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 運用 4X4 MIMO 傳收機平台實現多用戶陣列天線之 DBF 波束合成與 DOA 角度估測(二大步驟)</li> <li>2. Matlab/Simulink 延伸學習教材(Phase Array Toolbox 與 RF Toolbox 等五項)</li> </ol> </li> </ul>
可分享教材模組 內容說明	授課教材投影片 240 頁，實驗手冊共 4 組
所需實作平台配 備與經費需求預 估 (以模組教學實作 所需基本軟、硬 體平台估算)	實作平台配備說明(每組供 2 位同學使用) <ul style="list-style-type: none"> <li>● 4 個 RF 發射端:一套 4X4 MIMO 平台</li> <li>● 4 個 RF 接收端:一套 4X4 MIMO 平台</li> <li>● 一組實驗需要 2 套 4X4 MIMO 平台</li> </ul> 設備經費需求:每組 NT\$200,000 (每套 NT\$100,000)
聯盟/示範教學實 驗室可提供之訓 練與技術支援 (含實驗示範影片)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 示範教學實驗室及聯盟網址：<a href="http://5gwct.nctu.edu.tw">http://5gwct.nctu.edu.tw</a></li> <li>● 助教工作坊 20 人/場，共 1 場</li> <li>● 教師工作坊 20 人/場，共 1 場</li> </ul>
聯絡窗口	負責教師：元智大學 鄧俊宏教授 E-mail: <a href="mailto:jh.deng@saturn.yzu.edu.tw">jh.deng@saturn.yzu.edu.tw</a> 專責助理：元智大學 周子恩同學 E-mail: <a href="mailto:david71241qaz@gmail.com">david71241qaz@gmail.com</a> 交通大學 陳楹瑋小姐 E-mail: <a href="mailto:yingcheng@nctu.edu.tw">yingcheng@nctu.edu.tw</a> 聯絡電話：(03) 463-8800 ext 7705 (03) 571-2121 ext 54566

## 課程模組4. 5G NR 實體層技術課程模組

[5G 無線通訊技術聯盟中心]

教材模組名稱	5G NR 實體層技術課程模組
教材模組 教學目標	<p>教材模組：</p> <p>此課程介紹如何將 4G 行動通訊的正交分頻多工(OFDM)與正交分頻多工接取(OFDMA)核心技術，延伸到新發展的 5G NR 實體層技術。新技術包括 5G NR 新信號波型與非正交多工(NOMA)兩大類，兩大類技術中又各有幾項小技術，這幾項小技術的比較、優缺點、與特色為何，是本教材模組介紹的重點。教材模組分上課教材與實驗教材兩部分。</p> <p>教材特色：</p> <p>設計淺顯易懂的課程內容，主要以實際簡化的例子為主，搭配 Matlab 程式碼、Simulink model、與 SDR 平台，讓學生從例子與實驗中，了解學習 5G NR 實體層技術的精神與內涵。</p>
教材模組 課程大綱	<p>上課教材包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cyclic Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing (CP-OFDM)</li> <li>2. New Multi-Carrier Waveforms <ul style="list-style-type: none"> <li>● Universal Filter Multi-Carrier Waveform</li> <li>● Filter Bank Multi-Carrier Waveform</li> <li>● Generalized Frequency Division Multiplexing</li> </ul> </li> <li>3. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) Techniques <ul style="list-style-type: none"> <li>● Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access</li> <li>● Sparse Code Multiple Access</li> </ul> </li> </ol> <p>實驗教材包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 軟體定義無線電 SDR 簡介</li> <li>2. Zedboard 與 AD9361 簡介</li> <li>3. Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access 實驗</li> <li>4. Filter Band Multi-Carrier 實驗</li> </ol>
可分享教材模組 內容說明	上課教材投影片 138 頁，實驗教材投影片 107 頁。
所需實作平台配備與經費需求預估 (以模組教學實作所需基本軟、硬體平台估算)	<p>實作平台配備說明 (每組供 2 位同學使用)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 傳送端:一套 Zedboard 與 RF 模組(AD9361)</li> <li>● 接收端:一套 Zedboard 與 RF 模組(AD9361)</li> <li>● 一組實驗需要兩套 FPGA 板</li> </ul> <p>設備經費需求:一組 NT\$80,000 (每套 NT\$40,000)</p>
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援 (含實驗示範影片)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 示範教學實驗室及聯盟網址：<a href="http://5gwct.nctu.edu.tw/">http://5gwct.nctu.edu.tw/</a></li> <li>● 培訓工作坊 20 人/場，共 1 場</li> <li>● 種子教師培訓營 20 人/場，共 1 場</li> </ul>
聯絡窗口	負責教師：中正大學 劉宗憲教授 E-mail: <a href="mailto:comtsliu@ccu.edu.tw">comtsliu@ccu.edu.tw</a>

教材模組名稱	5G NR 實體層技術課程模組
	專責助理：交通大學 陳楹琇小姐 E-mail: <a href="mailto:yingcheng@nctu.edu.tw">yingcheng@nctu.edu.tw</a> 聯絡電話：(03) 571-2121 ext 54566

## 課程模組5. 4G/5G 行動寬頻協同網路課程模組

### [5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心]

教材模組名稱	4G/5G 行動寬頻協同網路課程模組
教材模組 教學目標	<p>本課程介紹 3GPP 標準中與 4G 及 5G 整合相關的行動網路協定與核網技術，將涵蓋各種先進的協同網路協定架構與方法，包括 Standalone (SA)與 Non-Standalone (NSA)等 5G 架構中，如何利用 Dual Connectivity (DC)及 EN-DC (E-UTRAN New-Radio - Dual Connectivity)技術來進行 4G、5G、Non-3GPP 等各式無線網路的協同運作與整合。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 學習在 Linux 上架設及修改 UE、eNB、EPC 及 5GC 開源碼，培養行動網路建置及偵錯分析的基本能力。</li> <li>● 熟悉 5G 行動寬頻網路重要的 DC 及 SBA 技術，了解 5G 行動寬頻協同網路的運作及原理。</li> <li>● 學會在 5G 仿真模擬實驗環境進行效能量測及協定分析，培養在 5G 行動寬頻網路的實務能力。</li> </ul>
教材模組 課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 課程模組：4G/5G 行動寬頻協同網路</li> </ul> <p>課程大綱：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 5G 行動網路簡介</li> <li>2. LTE-A 系統架構</li> <li>3. 5G 系統架構：NSA 與 SA</li> <li>4. Dual Connectivity (DC)技術</li> <li>5. Service-Based Architecture (SBA)技術</li> <li>6. 網路協同存取技術</li> <li>7. 開源碼行動通訊暨 5G 模擬平台</li> </ol> <p>實驗一：開源碼 srsLTE 平台建置與基本量測</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建置 srsLTE 的 srsUE、srsENB+srsEPC，讓學生學會建立 srsLTE 行動通訊網路開源碼實驗平台。</li> <li>2. 透過 srsUE 以 SDR 連接 srsENB+srsEPC 進行觀察與量測，讓學生熟悉網路的偵錯及量測工具。</li> </ol> <p>實驗二：DC 效能量測與分析</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 了解如何修改 srsLTE 開源碼以支援 DC，讓學生熟悉 3GPP 系統架構及 srsLTE 軟體結構。</li> <li>2. 調整 srsLTE 的設定及控制 DC 的傳輸比例，讓學生深入了解 DC 的運作原理及效能議題。</li> </ol> <p>實驗三：SBA 建置與協定分析</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建置支援 SBA 的 5GC 開源系統，讓學生學會建立 5GC 核網系統並了解 5G 核網架構。</li> <li>2. 設定 4G 的 UE 及 eNB 並連接 5GC，讓學生觀察 4G 與</li> </ol>

教材模組名稱	4G/5G 行動寬頻協同網路課程模組
	5G 網路的協同運作並分析協定。 實驗四：5G Emulator 仿真模擬實驗 1. 建置兩個小基站以模擬 EN-DC 的協同運作，讓學生熟悉 NSA 的 5G 協同網路架構。 2. 透過 srsUE 連線來觀察封包的內容及傳遞過程，讓學生熟悉 NSA 運作流程及協定。
可分享教材模組內容說明	一、授課教材投影片(課程+實驗)：1,190 頁 1. 5G 行動網路簡介 (165 頁)：可公開 2. LTE-A 系統架構 (158 頁)：可公開 3. 5G 系統架構：NSA 與 SA (93 頁)：可公開 4. Dual Connectivity (DC)技術 (70 頁)：可公開 5. Service-Based Architecture (SBA)技術 (112 頁)：可公開 6. 網路協同存取技術 (166 頁)：可公開 7. 開源碼行動通訊暨 5G 模擬平台 (86 頁)：可公開 二、實驗共 4 組 1. 實驗一：開源碼 srsLTE 平台建置與基本量測 (89 頁)：可公開 2. 實驗二：DC 效能量測與分析 (93 頁)：可公開 3. 實驗三：SBA 建置與協定分析 (79 頁)：可公開 4. 實驗四：5G Emulator 仿真模擬實驗 (79 頁)：可公開
所需實作平台配備與經費需求預估(以模組教學實作所需基本軟、硬體平台估算)	實作平台配備與經費需求(一套設備可供 5 位學生使用)： ● 一台桌上型電腦或筆電 (srsUE)：3 萬 ● 兩台桌上型電腦 (srsENB+srsEPC/Free5GC)：6 萬 ● 三片 SDR 卡：LimeSDR 三片約 4.2 萬或 USRP B210 三片約 12 萬
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援(含實驗示範影片)	● 示範教學實驗室及聯盟網址： ■ 示範教學實驗室： <a href="http://140.117.164.12/demo_lab/">http://140.117.164.12/demo_lab/</a> ■ 5G 行動網路協定與核網技術聯盟： <a href="http://140.117.164.12/mbat_cctu/">http://140.117.164.12/mbat_cctu/</a> ● 助教工作坊 10 人/場，共 2 場 ● 實驗示範教學影片 4 件，下載網址： <a href="http://140.117.164.12/mbat_cctu/%e6%95%99%e5%ad%b8%e5%bd%b1%e7%89%87/">http://140.117.164.12/mbat_cctu/%e6%95%99%e5%ad%b8%e5%bd%b1%e7%89%87/</a> ● 可分享資源與示範教學實驗室運作制度 可提供之訓練： 1. 遠端登入學習實驗環境的設定與操作。 2. 種子教師與助教可到示範教學實驗室接受訓練。 3. 舉辦種子教師及助教培訓營。 可提供之技術支援： 1. 課程規劃主持人可到種子學校進行示範教學。 2. 可派遣技術人員到種子學校進行安裝設定的指導。
聯絡窗口	負責教師：中山大學 許蒼嶺教授 E-mail: <a href="mailto:sheu@mail.ee.nsysu.edu.tw">sheu@mail.ee.nsysu.edu.tw</a> 教材編撰：高雄大學 吳俊興教授

教材模組名稱	4G/5G 行動寬頻協同網路課程模組
	專責助理：中山大學 林儀婷小姐 E-mail: <a href="mailto:etinglin@atm.ee.nsysu.edu.tw">etinglin@atm.ee.nsysu.edu.tw</a> 聯絡電話：(07)525-2000 ext 4148

## 課程模組6. 下世代 Network Slicing 模組設計課程模組 [5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心]

教材模組名稱	下世代 Network Slicing 模組設計課程模組
教材模組 教學目標	<p>網路切片是一種可以透過虛擬化技術，將各式各樣的服務整合在同個實體底層基礎設備的功能，並且具備同時執行這些服務的能力。服務與服務之間互相獨立，彼此不互相干擾，使用者或服務供應商可以藉由結合數個服務形成新的服務。其中，服務所構成的網路架構是透過網路功能虛擬化(Network Function Virtualization；NFV)實現的。網路切片服務模組具有可替換性與可攜性，在未來的 5G 架構中，具備著能快速建置與快速調配的功能。</p> <p>本課程之教學目標為培育學生具備 Pre-5G/5G 知能及網路切片實務技術，養成台灣通訊產業界所需要之人才。並透過課程培養學生以下之核心能力：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 透過課堂講授讓學生得以學得網路切片技術之相關知識</li> <li>● 透過實驗使學生擁有網路切片與服務應用相關之實務技術</li> <li>● 透過專題實作培養學生創意思考與問題解決之態度與能力</li> </ul>
教材模組 課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 課程模組：下世代 Network Slicing 模組設計</li> </ul> <p>課程大綱：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 5G 與網路切片導論</li> <li>2. SDN、NFV 與網路切片</li> <li>3. 3GPP Network Slicing Standard</li> <li>4. 網路切片資源管理與實作研究議題探討</li> <li>5. 網路切片之安全性探討</li> </ol> <p>實驗一：以 Mininet 搭配 Controller 使用 OpenFlow 模擬 SDN 網路            實驗二：在 Mininet 模擬環境下實現速率控制            實驗三：開源軟體實現 NFV 以及虛擬資源分配            實驗四：透過 Queue 設計實現保障優先度及流量管控以實現切片概念</p>
可分享教材模 組內容說明	<p>一、授課教材投影片(課程+實驗)： 898 頁</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 5G 與網路切片導論(50 頁)：可公開</li> <li>2. SDN、NFV 與網路切片(212 頁)：可公開</li> <li>3. 3GPP Network Slicing Standard (150 頁)：可公開</li> <li>4. 網路切片資源管理與實作研究議題探討(180 頁)：可公開</li> <li>5. 網路切片之安全性探討(105 頁)：可公開</li> </ol> <p>二、實驗共 4 組</p> <p>實驗一：以 Mininet 搭配 Controller 使用 OpenFlow 模擬 SDN 網路 (61 頁)：可公開</p>



教材模組名稱	下世代 Network Slicing 模組設計課程模組
	實驗二：在 Mininet 模擬環境下實現速率控制 (67 頁)：可公開 實驗三：開源軟體實現 NFV 以及虛擬資源分配 (31 頁)：可公開 實驗四：透過 Queue 設計實現保障優先度及流量管控以實現切片概念 (42 頁)：可公開
所需實作平台 配備與經費需求 預估(以模組教學實作所需基本軟、硬體平台估算)	實作平台配備與經費需求： 選項一為實驗必要設備：現有個人電腦、開源軟體 選擇二為可選擇設備，若有需求可申請補助：USRP、天線、Sim card、SDN switch 1. 模擬平台(個人電腦, 與開源軟體)(一套設備可供 1 位學生使用)開源軟體(Mininet, SDN 控制器 OpenDaylight, Openstack, Iperf, OAI)為免費下載 2. 模擬平台+ USRP+SDN switch (一套設備可供 10 位學生使用) ✓ USRP B210 單價 NT\$43,900 ✓ USRP 專用天線 兩根 NT\$ 2,800 ✓ Sim card 一組 10 片 NT\$ 6,000 ✓ SDN switch 單價約 NT\$ 100,000
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援 (含實驗示範影片)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 示範教學實驗室及聯盟網址：               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 示範教學實驗室：<a href="http://140.117.164.12/demo_lab/">http://140.117.164.12/demo_lab/</a></li> <li>■ 5G 行動網路協定與核網技術聯盟：<a href="http://140.117.164.12/mbat_cctu/">http://140.117.164.12/mbat_cctu/</a></li> </ul> </li> <li>● 助教工作坊 10 人/場，共 2 場</li> <li>● 實驗示範教學影片 4 件，下載網址：<a href="http://140.117.164.12/mbat_cctu/%e6%95%99%e5%ad%b8%e5%bd%b1%e7%89%87/">http://140.117.164.12/mbat_cctu/%e6%95%99%e5%ad%b8%e5%bd%b1%e7%89%87/</a></li> <li>● 可分享資源與示範教學實驗室運作制度                可提供之訓練：               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遠端登入學習實驗環境的設定與操作。</li> <li>2. 種子教師與助教可到示範教學實驗室接受訓練。</li> <li>3. 舉辦種子教師及助教培訓營。</li> </ol>               可提供之技術支援：               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 課程規劃主持人可到種子學校進行示範教學。</li> <li>2. 可派遣技術人員到種子學校進行安裝設定的指導。。</li> </ol> </li> </ul>
聯絡窗口	負責教師：中山大學 許蒼嶺教授 E-mail: <a href="mailto:sheu@mail.ee.nsysu.edu.tw">sheu@mail.ee.nsysu.edu.tw</a> 教材編撰：中山大學 李宗南教授 專責助理：中山大學 林儀婷小姐 E-mail: <a href="mailto:etinglin@atm.ee.nsysu.edu.tw">etinglin@atm.ee.nsysu.edu.tw</a> 聯絡電話：(07)525-2000 ext 4148

## 課程模組7. 5G 系統層模擬技術課程模組 [5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心]

教材模組名稱	5G 系統層模擬技術課程模組
教材模組 教學目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 讓修課學生學習 5G 通訊領域暨系統層模擬技術的最新理論、技術、實作經驗</li> <li>● 了解業界的開發經驗及最新國際 5G 通訊標準與系統評估的發展現</li> </ul>

教材模組名稱	5G 系統層模擬技術課程模組
	<p>況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 引導學生動手調整系統層模擬器並分析結果，以期能培養對於通訊系統新設計的效能評比能力</li> </ul>
教材模組 課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 課程模組：5G 系統層模擬技術 課程大綱： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 3GPP LTE 及 5G New Radio Access Network 簡介與標準制定過程</li> <li>2. 系統層模擬器架構</li> <li>3. 5G 通道模型(Large-Scale Fading &amp; Small-Scale Fading)</li> <li>4. RI、PMI、CQI 估算與 Adaptive MCS</li> <li>5. 通道狀態相依排程演算法與 HARQ</li> <li>6. 實體層萃取、鏈結層效應與 Effective SINR</li> <li>7. 效能評比準則及校準程序</li> </ol> <p>實驗一：WiSE 系統層模擬器安裝與測試 讓學生安裝模擬器平台，了解如何使用 WiSE 系統層模擬器，並可自行調整參數，觀察模擬器執行的結果。</p> <p>實驗二：網路拓樸 Topology GUI 及 Serving cell assignment 的觀察與分析 讓學生使用 WiSE 模擬器的圖形化使用者介面(GUI)，實際呈現網路拓樸並觀察使用者設備(UE)所選取服務基地台的分布狀況，並利用 GUI 解釋各項數據。</p> <p>實驗三：通道模型、子載波信號干擾雜訊比及實體層萃取的觀察與分析 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 讓學生了解何謂 effective SINR，並透過實驗去了解、熟悉 effective SINR 的計算方式。</li> <li>2. 觀察重傳機制與通道狀況的估測回報，調整參數來驗證系統效能的變化。</li> </ol> </p> <p>實驗四：與國際規格文件進行 normalized user throughput 及 spectrum efficiency 校準 讓學生體驗與國際標準文件的校準過程，產生校準報表，與其他國際公司結果比較效能數據與分析相關的效能指標。</p> </li> </ul>
可分享教材模組 內容說明	<p>一、授課教材投影片(課程+實驗)：331 頁</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 3GPP LTE 及 5G New Radio Access Network 簡介與標準制定過程(29 頁)：經授權後使用</li> <li>2. 系統層及模擬器架構(11 頁)：經授權後使用</li> <li>3. 5G 通道模型(Large-Scale Fading &amp; Small-Scale Fading)( 110 頁)：經授權後使用</li> <li>4. RI、PMI、CQI 估算與 Adaptive MCS (37 頁)：經授權後使用</li> <li>5. 通道狀態相依排成演算法與 HARQ(29 頁)：經授權後使用</li> <li>6. 實體層萃取、鏈結層效應與 Effective SINR(29 頁)：經授權後使用</li> <li>7. 效能評比準則及校準程序(26 頁)：經授權後使用</li> <li>8. 實驗課投影片：實驗一 22 頁，實驗二 15 頁，實驗三 10 頁，</li> </ol>

教材模組名稱	5G 系統層模擬技術課程模組
	<p>實驗四 13 頁，以上總共 60 頁，經授權後使用</p> <p>二、實驗共 4 組</p> <p>實驗一：WiSE 系統層模擬器安裝與測試</p> <p>實驗二：網路拓模 Topology GUI 及 Serving cell assignment 的觀察與分析</p> <p>實驗三：通道模型、子載波信號干擾雜訊比及實體層萃取的觀察與分析</p> <p>實驗四：與國際規格文件進行 normalized user throughput 及 spectrum efficiency 校準</p>
<p>所需實作平台配備與經費需求預估</p> <p>(以模組教學實作所需基本軟、硬體平台估算)</p>	<p>實作平台配備與經費需求(一套設備可供 10 位學生使用)：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● WiSE 系統層級模擬器：一年授權費用 9 萬 5 千元(含 1 位老師授課及學生 10 位使用)</li> <li>● 桌上型電腦 1 台：執行模擬器平台，3 萬元</li> </ul>
<p>聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援(含實驗示範影片)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 示範教學實驗室及聯盟網址： <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 示範教學實驗室：<a href="http://140.117.164.12/demo_lab/">http://140.117.164.12/demo_lab/</a></li> <li>■ 5G 行動網路協定與核網技術聯盟：<a href="http://140.117.164.12/mbat_cctu/">http://140.117.164.12/mbat_cctu/</a></li> </ul> </li> <li>● 助教工作坊 10 人/場，共 2 場</li> <li>● 實驗示範教學影片 4 件，下載網址：<a href="http://140.117.164.12/mbat_cctu/%e6%95%99%e5%ad%b8%e5%bd%b1%e7%89%87-4/">http://140.117.164.12/mbat_cctu/%e6%95%99%e5%ad%b8%e5%bd%b1%e7%89%87-4/</a></li> <li>● 可分享資源與示範教學實驗室運作制度</li> </ul> <p>可提供之訓練：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實體學習實驗環境的設定與操作。</li> <li>2. 種子教師與助教可到示範教學實驗室接受訓練。</li> <li>3. 舉辦種子教師及助教培訓營。</li> </ol> <p>可提供之技術支援：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 課程規劃主持人可到種子學校進行示範教學。</li> <li>2. 可派遣技術人員到種子學校進行安裝設定的指導。</li> </ol>
<p>聯絡窗口</p>	<p>負責教師：中山大學 許蒼嶺教授 E-mail:<a href="mailto:sheu@mail.ee.nsysu.edu.tw">sheu@mail.ee.nsysu.edu.tw</a></p> <p>教材編撰：中正大學 潘仁義教授</p> <p>專責助理：中山大學 林儀婷小姐 E-mail:<a href="mailto:etinglin@atm.ee.nsysu.edu.tw">etinglin@atm.ee.nsysu.edu.tw</a></p> <p>聯絡電話：(07)525-2000 ext 4148</p>

## 課程模組8. 結合 5G 行動網路之無人戴具通訊技術 [以 5G 與 AI 為架構之下世代物聯網技術聯盟中心]

教材模組名稱	結合 5G 行動網路之無人戴具通訊技術
<p>教材模組教學目標</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 此課程將以滯空無人戴具裝載無線基地台之空中基地台(Aerial Base Station, ABS)為研究對象的一系列課程。課程內容主要教授以理論與實務並重的空對地通道特性與通訊技術應用於無人</li> </ul>

教材模組名稱	結合 5G 行動網路之無人載具通訊技術
	<p>機的相關課程。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：無人載具通訊技術模組 教學目標：採用 GNU Radio Companion 實驗環境建置與 Pluto SDR 建置 OFDM 通訊系統實驗</li> <li>● 子模組二：無人載具飛控系統 教學目標：以商售無人載具結合 Python 語言和 Socket 網路通訊技術，開發關鍵無人載具飛控系統實驗</li> </ul>
教材模組課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：無人載具通訊技術模組 課程大綱： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 簡介軟體無線電與 GNU Radio</li> <li>2. GNU Radio Companion 實驗環境建置與 FM 收音機實驗</li> <li>3. 無人載具應用與空對地通道特性探討</li> <li>4. OFDM 傳輸技術簡介</li> <li>5. 使用 Pluto SDR 建置 OFDM 通訊系統實驗</li> </ol> </li> <li>● 子模組二：無人載具飛控系統 課程大綱： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無人載具介紹</li> <li>2. 系統架構</li> <li>3. 運動原理</li> <li>4. 政府法規限制</li> <li>5. 飛行控制方式</li> <li>6. 自動駕駛系統</li> <li>7. Tello 無人機與 Python</li> <li>8. Tello 無線通訊方法</li> <li>9. Tello 飛行控制實現</li> </ol> </li> </ul>
可分享教材模組內容說明	授課教材投影片 240 頁，實驗手冊共 80 頁
所需實作平台配備與經費需求預估(以模組教學實作所需基本軟、硬體平台作估算)	<p>※設備費項目應符合耐用年限二年以上且金額為新臺幣一萬元以上 ※單價一萬元以下之設備，應編列至業務費。</p> <p>實作平台配備說明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：無人載具通訊技術模組 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 無人載具傳送端：USRP B210，43,900 元 / 1 台，15 人輪流使用</li> <li>■ 地面接收端：ADALM-PLUTO，5,500 元 / 1 台，1 人 1 台</li> </ul> </li> <li>● 無人載具飛控實驗設備： <p>無人載具：Tello EDU，5,600 元 / 1 台，1 人 1 台</p> </li> </ul>
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援(含可提供之實驗示範影片)	直接接洽聯絡窗口

<b>教材模組名稱</b>	<b>結合 5G 行動網路之無人戴具通訊技術</b>
聯絡窗口	負責教師：交通大學 王蒞君教授 E-mail: <a href="mailto:lichun@g2.nctu.edu.tw">lichun@g2.nctu.edu.tw</a> 專責助理：交通大學 曾紫玲小姐 E-mail: <a href="mailto:tzuling@nctu.edu.tw">tzuling@nctu.edu.tw</a> 聯絡電話：(03) 571-2121 ext 54599

## 課程模組9. 物聯網軟體基地台設計與實作 [以 5G 與 AI 為架構之下世代物聯網技術聯盟中心]

<b>教材模組名稱</b>	<b>物聯網軟體基地台設計與實作</b>
教材模組 教學目標	本課程以開放式軟體定義基地台來進行教學，教學內容包含： 3GPP LTE 和物聯網實體層處理流程、了解軟體定義實體層執行緒控制流程、設計演算法於軟體定義實體層，學員在完成課程學習後，具備熟悉 3GPP LTE 實際運作流程，以及使用軟體定義基地台平台進行研究與開發的能力。
教材模組 課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3GPP LTE 實體層運作流程概論               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 開放式軟體基地台安裝</li> <li>2. 軟體定義實體層之模擬平台</li> </ol> </li> <li>● 3GPP LTE 實體層下行通道運作講解               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 多樣性傳輸模式(TM2)之實作</li> <li>2. 空間多工傳輸模式(TM3/4)實作</li> </ol> </li> <li>● 3GPP LTE 實體層上行通道運作講解               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 隨機存取可靠度強化實作</li> <li>2. 時序同步機至強化實作</li> <li>3. 功率控制機制強化實作</li> </ol> </li> <li>● 無線電通道效應               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無線電通道效應模組建置</li> <li>2. 移動通訊之通道估測演算法開發</li> </ol> </li> <li>● 物聯網運作流程               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 多使用者模擬器實現</li> <li>2. 巨量使用者隨機存取網路演算法開發</li> </ol> </li> </ul>
可分享教材模組 內容說明	授課教材投影片 240 頁，實驗手冊共 7 組
所需實作平台配備與經費需求預估(以模組教學實作所需基本軟、硬體平台作估算)	實作平台配備說明(2 人 1 組) <ul style="list-style-type: none"> <li>● 高階個人電腦(含 SSD)：一台</li> <li>● USRP 射頻卡板 miniB200：一張</li> <li>● 低階 4G 手機：一隻</li> <li>● 實驗用空白 SIM 卡：一張</li> </ul> 設備經費需求:一組 NT\$64,000
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援(含可提供之實驗示範影片)	請直接接洽聯絡窗口

教材模組名稱	物聯網軟體基地台設計與實作
聯絡窗口	負責教師：交通大學 許騰尹教授 E-mail: <a href="mailto:tyhsu@cs.nctu.edu.tw">tyhsu@cs.nctu.edu.tw</a> 專責助理：交通大學 葉邵穎博士 E-mail: <a href="mailto:syyeh0127@nctu.edu.tw">syyeh0127@nctu.edu.tw</a> 聯絡電話：(03) 571-2121 ext 54478

## 課程模組10. NB-IoT 通訊協議與應用系統實驗課程模組

[以 5G 與 AI 為架構之下世代物聯網技術聯盟中心]

教材模組名稱	NB-IoT 通訊協議與應用系統實驗課程模組
教材模組 教學目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 課程模組整體教學目標： 訓練與培育智慧聯網與智慧校園應用開發人才，經由建置 NB-IoT 穿戴式感應器+NB-IoT 環境感應器集中器(sensor hub)，以及開發智慧校園創新應用軟體 APP，讓同學學習 NB-IoT 長距離低功耗網路基礎知識以及累積智慧校園創新應用 APP 開發經驗，協助建置具創新服務應用的智慧校園。</li> <li>● 教學目標： 以 NB-IoT 核心技術為基礎，物聯網概論為輔助，透過小型智慧溫室來使用 NB-IoT 通訊模組進行雙向控制的實驗，讓學生熟悉 NB-IoT 的運作原理。最後帶領學生開發 NB-IoT 校園創新應用 (NB-IoT 穿戴式感應器+NB-IoT 環境感應器集中器 sensor hub)，以及開發智慧校園創新應用軟體 APP。</li> </ul>
教材模組 課程大綱	<p>課程大綱：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. EC-GSM 通訊技術,</li> <li>2. LTE-M 通訊技術,</li> <li>3. NB-IoT 通訊技術</li> <li>4. NB-IoT 產業應用</li> <li>5. NB-IoT 智慧校園創新應用 <ul style="list-style-type: none"> <li>• LinkIt 7697 物聯網平台開發版 (Arduino 環境下)</li> <li>• NB-IoT 通訊模組 (包含 SIM 卡), 傳輸數據到雲端</li> <li>• NB-IoT 雙向控制系統</li> <li>• NB-IoT 穿戴式感應器 (GPS, NB-IoT, 藍芽, 三軸加速</li> </ul> </li> </ol>

教材模組名稱	NB-IoT 通訊協議與應用系統實驗課程模組									
	<p>器, 溫溼度感應器)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• NB-IoT 環境感應器 (NB-IoT, 土壤感應器 (溫度, 濕度, 電導度))</li> <li>• NB-IoT 智慧校園創新應用設計開發</li> </ul> <p>實驗一：物聯網平台 Linkit 7697 介紹. 感測器平台的基礎認識, 軟體安裝以及韌體更新等等前置作業。</p> <p>實驗二：NB-IoT 通訊模組介紹. 熟習使用 NB-IoT 通訊模組將傳送數據至雲端平台接收顯示數據。</p> <p>實驗三：NB-IoT 雙向控制系統實習. 透過小型智慧溫室來使用 NB-IoT 通訊模組進行雙向控制實驗。包含空氣溫溼度感應器, 土壤溫溼度感應器, 風扇, 照光, 滴灌澆水系統. 將智慧溫室的感應器數據透過 NB-IoT 模組傳送到雲端平台, 經過分析數據後再透過 NB-IoT 適時進行開啟風扇, 燈光, 以及滴灌澆水馬達, 讓溫室環境適合植物成長</p> <p>實驗四：NB-IoT 穿戴式感應器 (GPS, NB-IoT, 藍芽, 三軸加速器, 溫溼度感應器) 實習與數據收集分析</p> <p>實驗五: NB-IoT 環境感應器集中器 sensor hub (NB-IoT, 土壤感應器 (溫度/濕度/電導度)) 實習與數據收集分析</p> <p>實驗六: NB-IoT 智慧校園創新應用軟體 APP 開發。帶領學生開發 NB-IoT 校園創新應用 (NB-IoT 穿戴式感應器+ NB-IoT 環境感應器集中器 sensor hub), 以及開發智慧校園創新應用軟體 APP。(已建置之雲端智慧校園創新應用數據平台可提供多種 API 給 APP 呼叫使用)。例如：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 各類球場 (籃球場/網球場/羽球場/桌球場等等) 使用管理系統。</li> <li>● 宿舍洗衣機/烘乾機/浴室使用管理系統。</li> <li>● 校園電梯使用數據分析與管理系統。</li> <li>● 校園人員(師生/老人/小孩) 以及寵物 (校狗) 追蹤管理系統。</li> <li>● 校園環境 (溫溼度/光照度/風速/風向等等) 管理系統。</li> <li>● 校園交通 (單車/摩托車/汽車/校園巴士) 追蹤管理系統。</li> <li>● 校園安全管理系統等等。</li> </ul>									
可分享教材模組內容說明	課程講義投影片約 120 頁, 實習講義與適用說明手冊約 200 頁									
所需實作平台配備與經費需求預估(以模組教學實作所需基本軟、	<p>※設備項目應符合耐用年限二年以上且金額為新臺幣一萬元以上</p> <p>※編號 01-04 單價為一萬元以下, 應編列至業務費。</p> <table border="1" data-bbox="475 1977 1431 2027"> <thead> <tr> <th data-bbox="475 1977 579 2027">編號</th> <th data-bbox="579 1977 855 2027">實驗套件</th> <th data-bbox="855 1977 954 2027">單位</th> <th data-bbox="954 1977 1086 2027">單價</th> <th data-bbox="1086 1977 1431 2027">備註</th> </tr> </thead> </table>					編號	實驗套件	單位	單價	備註
編號	實驗套件	單位	單價	備註						

教材模組名稱	NB-IoT 通訊協議與應用系統實驗課程模組				
硬體平台作估算)	01	LinkIt 7697 開發板	片	600	(可供 2 人使用)
	02	感應器套件 (約十種感應器)	套	2,000	(可供 2 人使用)
	03	NB-IoT 通訊模組	片	3,500	(可供 2 人使用) 包含電信公司 SIM card 及一年流量使用費
	04	NB-IoT 通訊模組程式燒錄器	台	3,000	可供 2-4 人使用 (將程式燒錄於 NB-IoT 通訊模組中)
	05	雙向控制智慧小型溫室	套	12,000	(可供 4 人使用) 包含空氣溫溼度感應器/土壤溫溼度感應器/風扇/燈光排/滴灌馬達/控制繼電器等。 不包含 NB-IoT 通訊模組
	06	NB-IoT 穿戴式感應器	組	45,000	可供 20 人使用 (一組 10 個 NB-IoT 穿戴式感應器，可依照校園創新應用 APP 功能(如人員路徑追蹤管理系統，校園設施使用管理系統) 需求機動分配並建置於校園中，收集相關種類創新應用的數據)  NB-IoT 穿戴式感應器規格: GPS 衛星定位 + NB-IoT 通訊 + BLE 藍芽通訊 + 3 軸加速器 + 溫溼度感應器 + 電信公司 SIM card (含一年流量使用費)



教材模組名稱	NB-IoT 通訊協議與應用系統實驗課程模組				
	07	NB-IoT 環境感應器集中器 (sensor hub)	組	40,000	可供 20 人使用 (一組 2 個感應器集中器 sensor hub, 可依照校園創新應用 APP 功能(如校園溫溼度等等管理系統) 需求機動分配並建置於校園中, 收集環境相關種類創新應用的數據)  NB-IoT 環境感應器集中器規格: NB-IoT 通訊 + 太陽能板 + 土壤溫溼度與電導度感應器+ 電信公司 SIM card (含一年流量使用費)
	08	雲端智慧校園 LPWAN 物聯網數據收集與分析平台 (包含 API)	套	30,000	可供 200 人使用, 平台每年服務使用費
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援(含可提供之實驗示範影片)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 課程教學磨課師影片 (約 2.5 小時) 置放於中華開放教育平台 (<a href="http://www.openedu.tw">www.openedu.tw</a>) 與學聯網磨課師平台 (<a href="http://www.sharecourse.net">www.sharecourse.net</a>)</li> <li>2. 提供智慧校園 LPWAN 創新應用數據收集與分析平台 APIs, 並提供同學設計創新應用網頁或是 APP 呼叫使用</li> <li>3. 課程助教培訓 (預計於清華大學舉辦)</li> </ol>				
聯絡窗口	專責助理: 清華大學 劉紫瑩小姐 聯絡方式: lze48@hotmail.com / (03) 5715131 ext 33564				

### 課程模組11. Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出射頻模組 [5G 天線與射頻技術聯盟中心]

教材模組名稱	Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出射頻模組
教材模組教學目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 課程模組整體教學目標： 本課程模組係著眼於微波／毫米波電路與模組在 5G 系統的應用，以模組化課程作基本學理介紹、設計工具使用與實作量測訓練，適合電機、電子、通訊等相關領域大三以上學生修習。本課程利用電腦模擬進行毫米波電路與射頻系統教學，並以低成本商用 IC 組成毫米波射頻模組，讓學生實地觀察系統運作，一般學校皆可負擔，若校方有精密的毫米波頻譜儀與網路分析儀，學生可更深入學習進階量測技術。課程內容首先介紹無線通訊傳收架構與基本特性參數，並引入阻抗匹配與反射等高頻特性觀念；接著以電路方塊及表現參數方式逐一了解無線傳收</li> </ul>

教材模組名稱	Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出射頻模組
	<p>機各個組成模塊，如濾波器、放大器、混頻器、倍頻器與頻率合成器等，特別以電腦模擬強調毫米波電路的精密度要求；再以系統效能考量，反推各電路之規格要求，並用調變信號作多輸入輸出無線傳輸功能與規格確認；最後討論多輸入輸出射頻模組與天線陣列之整合設計與製程技術要求，以達到 5G 系統毫米波與多輸入輸出特色教學的要求。各子模組內容介紹如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：Sub-6GHz/mmW 共構之射頻傳收機架構 教學目標：本子模組介紹 Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出射頻傳收機基本架構，特別強調利用現成且低成本之元件、模組與發展系統，如何規劃建構出 5G 系統所需的射頻平台，並界定各電路模組所需的規格要求。</li> <li>● 子模組二：射頻傳收機電路模組分析、設計與量測 教學目標：本子模組針對無線傳收機各個組成模塊，如濾波器、放大器、混頻器、倍頻器與頻率合成器之基本功能與特性參數作初步介紹，並以濾波器與放大器為例，以電腦模擬方式作電路設計練習，同時對所發展之 Sub-6GHz/mmW 共構之射頻傳收機作實際量測。</li> <li>● 子模組三：多輸入輸出射頻傳收機系統效能分析與評估 教學目標：利用電腦軟體將所發展之 Sub-6GHz/mmW 共構之射頻傳收機各組成方塊整合作系統效能分析模擬，系統效能參數包括發射功率、輸出信號頻譜、鄰近波道洩漏功率比、接收靈敏度、接收頻率選擇度等，各電路方塊之規格參數以該商用元件規格書所載為主，若有不足再作電路特性參數量測，由模擬結果可學習哪些電路方塊規格參數對系統效能有決定性的影響。</li> <li>● 子模組四：多輸入輸出射頻模組與天線陣列之整合技術 教學目標：介紹 5G 系統多輸入輸出射頻模組與天線陣列如何應用先進封裝／印刷電路板製程技術作整合，同時提出高度整合下須面對的電源完整性（Power Integrity, PI）、信號完整性（Signal Integrity, SI）、電磁干擾（Electromagnetic Interference, EMI）與散熱問題。</li> </ul>
教材模組課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：Sub-6GHz/mmW 共構之射頻傳收機架構 課程大綱： <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 基本無線傳收機組成方塊</li> <li>➢ 軟體定義無線電發展平台</li> <li>➢ Sub-6GHz/mmW 共構之頻率規劃與元組件選擇</li> <li>➢ 各電路方塊之規格界定與系統效能估算</li> </ul>           實驗單元一：Sub-6GHz/mmW 射頻傳收機迴路測試            實驗單元二：Sub-6GHz/mmW 單路射頻傳輸／接收測試         </li> <li>● 子模組二：射頻傳收機電路模組分析、設計與量測 課程大綱： <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 濾波器基本觀念與規格參數介紹</li> <li>➢ 耦合線濾波器設計</li> </ul> </li> </ul>

教材模組名稱	Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出射頻模組
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 放大器基本觀念與規格參數介紹</li> <li>➤ 小信號放大器設計</li> <li>➤ 混頻器基本觀念與規格參數介紹</li> <li>➤ 倍頻器基本觀念與規格參數介紹</li> <li>➤ 頻率合成器基本觀念與規格參數介紹</li> </ul> <p>實驗單元三：以微波電路模擬軟體進行耦合線濾波器分析與設計</p> <p>實驗單元四：以微波電路模擬軟體進行小信號放大器分析與設計</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組三：多輸入輸出射頻傳收機系統效能分析與評估</li> </ul> <p>課程大綱：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sub-6GHz/mmW 共構之射頻發射機系統效能分析</li> <li>➤ Sub-6GHz/mmW 共構之射頻接收機系統效能分析</li> <li>➤ Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出天線系統分析</li> <li>➤ Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出傳收機系統效能分析</li> </ul> <p>實驗單元五：以微波電路模擬軟體進行多輸入輸出天線系統模擬</p> <p>實驗單元六：以微波電路模擬軟體進行多輸入輸出傳收機系統模擬</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組四：多輸入輸出射頻模組與天線陣列之整合技術</li> </ul> <p>課程大綱：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 半導體封裝與印刷電路板整合技術概觀</li> <li>➤ 應用封裝與印刷電路板製程於天線陣列設計</li> <li>➤ 應用封裝與印刷電路板製程於天線陣列與射頻模組整合</li> <li>➤ 天線陣列／射頻電路模組高度整合下之電源完整性、信號完整性、電磁干擾以及散熱問題</li> </ul> <p>實驗單元七：以微波電路模擬軟體之電磁分析功能建構於封裝／印刷電路板製程技術之天線陣列系統</p>
<p>可分享教材模組內容說明</p>	<p>授課教材投影片 200 頁，實驗手冊共 7 組 85 頁</p> <p>單元一：Sub-6GHz/mmW 共構之射頻傳收機架構（40 頁）</p> <p>單元二：射頻傳收機電路模組分析、設計與量測（80 頁）</p> <p>單元三：多輸入輸出射頻傳收機系統效能分析與評估（40 頁）</p> <p>單元四：多輸入輸出射頻模組與天線陣列之整合技術（40 頁）</p> <p>實驗手冊共 7 組</p> <p>實驗一：Sub-6GHz/mmW 射頻傳收機迴路測試（10 頁）</p> <p>實驗二：Sub-6GHz/mmW 單路射頻傳輸／接收測試（10 頁）</p> <p>實驗三：以微波電路模擬軟體進行耦合線濾波器分析與設計（15 頁）</p> <p>實驗四：以微波電路模擬軟體進行小信號放大器分析與設計（20 頁）</p> <p>實驗五：以微波電路模擬軟體進行多輸入輸出天線系統模擬（15 頁）</p> <p>實驗六：以微波電路模擬軟體進行多輸入輸出傳收機系統模擬（15 頁）</p> <p>實驗七：以微波電路模擬軟體進行電磁模擬分析建構於封裝／印</p>

教材模組名稱	Sub-6GHz/mmW 共構之多輸入輸出射頻模組
	刷電路板製程技術之天線陣列系統 (20 頁)
所需實作平台配備與經費需求預估(以模組教學實作所需基本軟、硬體平台作估算)	<p>實作平台配備說明： 利用現成且低成本之元件、模組與發展系統，建構 Sub-6GHz/mmW 多輸入輸出射頻傳收實作平台，一套 Sub-6GHz/mmW 多輸入輸出射頻傳收實作平台約 NT\$75,000，四套合計 30 萬元。</p> <p>微波電路模擬軟體軟體租用，2 套使用權，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，學校提供學生名單，廠商免費支援上課所需增加的套數 license。</p> <p>實驗方式係由 3 位同學為一組進行，操作 Sub-6GHz/mmW 射頻傳收平台與微波電路模擬軟體軟體。</p>
聯盟/示範教學實驗室可提供之訓練與技術支援(含可提供之實驗示範影片)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 示範教學實驗室及聯盟網址： <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 示範教學實驗室：<a href="http://mobilerf.ntust.edu.tw/demonstration-teaching-laboratory">http://mobilerf.ntust.edu.tw/demonstration-teaching-laboratory</a></li> <li>■ 行動通訊電路設計聯盟：<a href="http://mobilerf.ntust.edu.tw/">http://mobilerf.ntust.edu.tw/</a></li> </ul> </li> <li>● 助教工作坊 20 人/場，共 1 場</li> <li>● 教師工作坊 20 人/場，共 1 場</li> <li>● 實驗示範教學影片 2 件，預計完成日期 2020/2/28。</li> <li>● 可分享資源與示範教學實驗室運作制度</li> </ul> <p>可提供之訓練：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遠端登入學習實驗環境的設定與操作。</li> <li>2. 種子教師與助教可到示範教學實驗室接受訓練。</li> </ol> <p>可提供之技術支援：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 課程規劃主持人可到種子學校進行示範教學。</li> <li>2. 可派遣技術人員到種子學校進行安裝設定的指導。</li> </ol>
聯絡窗口	<p>負責教師：黃建彰 教授 專責助理：程冠潛 同學 聯絡方式：03-4638800 # 7011 # 911，Email： <a href="mailto:kcc52wayne@gmail.com">kcc52wayne@gmail.com</a></p>

## 課程模組12. 行動終端多天線設計課程模組 [5G 天線與射頻技術聯盟中心]

教材模組名稱	行動終端多天線設計課程模組
教材模組教學目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 課程模組整體教學目標： 本課程模組的標的為具有基本電機電子訓練背景的大三學生為目標，透過模組化的實作課程單元，以電磁模擬軟體為媒介，快速熟悉天線輻射機制，天線阻抗匹配原理，進而導入先進無</li> </ul>

教材模組名稱	行動終端多天線設計課程模組
	<p>線通訊規格所需要的多天線系統，了解緊湊式配置的多天線系統所需要的天線設計需求，包含多頻段操作與各式天線解耦合技術。本模組內容配置可用於如天線導論等大學部課程，建立學生對天線原理與行動裝置天線需求的認識；亦可搭配研究所階段的天線與微波電路相關課程，講授多天線設計技巧、天線解耦合技術，以及與 5G 等先進無線通訊標準的關聯。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：天線輻射原理、重要參數與微型化技術 教學目標：本子模組適合修習過電磁學，但無天線基礎之大學生，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。</li> <li>● 子模組二：電磁數值方法與天線模擬技術 教學目標：讓學生了解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。並以實作單元教授電磁模擬軟體使用與天線設計演練。</li> <li>● 子模組三：行動裝置小型化天線設計 教學目標：介紹常見的行動裝置小型化天線型式與無線通訊的天線需求規格，分析其達到物理尺寸縮小、電氣長度不變的技巧，如何達到多頻操作、寬頻操作、指向性提升等性能。並比較不同型式天線的應用特性與優缺點。</li> <li>● 子模組四：行動終端多天線設計與解耦合技術 教學目標：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。</li> <li>● 子模組五：天線製作與基礎量測方法 教學目標：介紹典型的天線量測系統，包括遠場與近場的量測方式，本課程亦介紹各種天線相關參數及其量測方式，讓學生了結天線的特性驗證、及與通訊系統整合時的介面關係。</li> </ul>
教材模組課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 子模組一：天線輻射原理、重要參數與微型化技術 課程大綱： <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 自然共振現象</li> <li>➢ 天線輻射現象</li> <li>➢ 天線重要參數</li> <li>➢ 天線縮小化技巧</li> </ul>           實驗單元一:以 Rectenna 觀察指向性天線與全向性天線的輻射特性。 </li> <li>● 子模組二：電磁數值方法與天線模擬技術 課程大綱： <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 電磁數值方法原理</li> <li>➢ 電磁數值方法種類與特性</li> <li>➢ 電磁數值方法於天線及傳播問題之應用</li> </ul> </li> </ul>

教材模組名稱	行動終端多天線設計課程模組
	<p>➢ Excitation、Meshing and Absorbing boundaries            實驗單元二:HFSS 電磁模擬軟體操作教學：導波管例。            實驗單元三:HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：偶極天線例。</p> <p>● 子模組三：行動裝置小型化天線設計            課程大綱：            ➢ 常見無線通訊應用之天線需求            ➢ 常見行動裝置小型化天線型式介紹            ➢ 天線微型化技巧與設計之注意事項            ➢ 微型天線性能限制與利用裝置平台提升天線性能技巧            實驗單元四:HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：單極天線及其變形。            實驗單元五:HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：微帶天線及其多模態、多極化設計。</p> <p>● 子模組四：行動終端多天線設計與解耦合技術            課程大綱：            ➢ 行動終端之多天線需求與通訊性能提升原理            ➢ 多天線系統效能評估參數            ➢ 天線輻射耦合機制與解耦合技巧            ➢ 天線傳導耦合機制與解耦合技巧            實驗單元六: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。            實驗單元七: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。</p> <p>● 子模組五：天線製作與基礎量測方法            課程大綱：            ➢ 行動終端之多天線需求與通訊性能提升原理            ➢ 多天線系統效能評估參數            ➢ 天線輻射耦合機制與解耦合技巧            ➢ 天線傳導耦合機制與解耦合技巧            實驗單元八:以 PCB 板製作小型化行動裝置雙天線系統。            實驗單元九:以網路分析儀量測實作天線輸入阻抗與耦合係數</p>
可分享教材模組內容說明	<p>授課教材投影片 242 頁，實驗手冊共 9 組(212 頁)            單元一：天線輻射原理、重要參數與微型化技術(48 頁)            單元二：電磁數值方法與天線模擬技術(80 頁)            單元三：行動裝置小型化天線設計(26 頁)            單元四：行動終端多天線設計與解耦合技術(32 頁)            單元五：天線製作與基礎量測方法(56 頁)            實驗一：以 Rectenna 觀察指向性與全向性天線的輻射特性(10 頁)            實驗二：HFSS 電磁模擬軟體操作教學：導波管例(36 頁)            實驗三：HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：偶極天線例(44 頁)            實驗四：HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：單極天線及其變形(32 頁)            實驗五：HFSS 電磁模擬軟體天線設計教學：微帶天線及其多模</p>

教材模組名稱	行動終端多天線設計課程模組
	態、多極化設計(26 頁頁) 實驗六：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 22 頁) 實驗七：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(10 頁) 實驗八：以 PCB 板製作小型化行動裝置雙天線系統(10 頁) 實驗九：以網路分析儀量測實作天線輸入阻抗與耦合係數(24 頁)
所需實作平台配 備與經費需求預 估(以模組教學實 作所需基本軟、 硬體平台作估算)	實作平台配備說明(每組供 3 位同學使用): 以電磁數值模擬軟體在電腦上模擬天線的設計，實驗方式係由 2~3 位同學為一組進行行動終端天線設計與效能驗證。實作平台為 Ansys HFSS 模擬軟體。 設備經費需求：整體軟體以 Ansys 軟體租用，每年約 10 萬元。另 15 台電腦可以使用學校電腦教室或購置(每台約三萬元，含螢幕)
聯盟/示範教學實 驗室可提供之訓 練與技術支援(含 可提供之實驗示 範影片)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 示範教學實驗室及聯盟網址：             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 示範教學實驗室：<a href="http://mobilerf.ntust.edu.tw/demonstration-teaching-laboratory">http://mobilerf.ntust.edu.tw/demonstration-teaching-laboratory</a></li> <li>■ 行動通訊電路設計聯盟：<a href="http://mobilerf.ntust.edu.tw/">http://mobilerf.ntust.edu.tw/</a></li> </ul> </li> <li>● 助教工作坊 20 人/場，共 1 場</li> <li>● 教師工作坊 20 人/場，共 1 場</li> <li>● 實驗示範教學影片 2 件，預計完成日期 2020/3/28。</li> <li>● 可分享資源與示範教學實驗室運作制度</li> </ul> 可提供之訓練： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遠端登入學習實驗環境的設定與操作。</li> <li>2. 種子教師與助教可到示範教學實驗室接受訓練。</li> </ol> 可提供之技術支援： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 課程規劃主持人可到種子學校進行示範教學。</li> <li>2. 可派遣技術人員到種子學校進行安裝設定的指導。</li> </ol>
聯絡窗口	負責教師：廖文照 教授 專責助理：張菀芸 同學 聯絡方式：02-27303240，Email： <a href="mailto:wjliao@mail.ntust.edu.tw">wjliao@mail.ntust.edu.tw</a>