

附件一 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	5G NR 實體層技術	5G 無線通訊技術聯盟中心
2	5G 基頻傳收機實作	
3	5G 通訊系統設計	
4	5G 系統層模擬技術	5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心
5	5G 垂直應用網路	
6	行動邊緣計算	
7	5G 核心網路設計與實作	以 5G 和 AI 為架構之下世代物聯網聯盟中心
8	物聯網 AI 系統實作	
9	5G 毫米波天線設計	5G 天線與射頻技術聯盟中心
10	寬頻收發關鍵技術	

課程模組1. 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>
課程大綱	<p>上課教材包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cyclic Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing

教材模組名稱	5G NR 實體層技術課程模組
	<p>(CPOFDM)</p> <p>2. New Multi-Carrier Waveforms</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Universal Filter Multi-Carrier Waveform ● Filter Bank Multi-Carrier Waveform ● Generalized Frequency Division Multiplexing <p>3. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) Techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access ● Sparse Code Multiple Access <p>實驗教材包括：</p> <p>1. 軟體定義無線電 SDR 簡介</p> <p>2. Zedboard 與 AD9361 簡介</p> <p>3. Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access 實驗</p> <p>4. 4. Filter Band Multi-Carrier 實驗</p>
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"> ● 傳送端:一套 Zedboard 與 RF 模組(AD9361) ● 接收端:一套 Zedboard 與 RF 模組(AD9361) ● 一組實驗需要兩套 Zedboard 與 RF 模組(AD9361) <p>設備經費需求：一組 NT\$84,000 (每套 NT\$42,000)</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)	<p>示範教學實驗室及聯盟網址：http://5gwct.nctu.edu.tw/</p> <p>種子教師培訓工作坊：20 人/場，共 2 場。</p>
聯絡窗口	<p>負責教師：中正大學 劉宗憲 教授 / E-mail：comtsliu@ccu.edu.tw</p> <p>專責助理：中正大學 林筱婷 小姐 / E-mail：astlst@ccu.edu.tw</p> <p>聯絡電話：(05) 2629-411 ext 23203</p>

課程模組2. 5G 基頻傳收機實作課程模組

[5G 無線通訊技術聯盟中心]

教材模組名稱	5G 基頻傳收機實作課程模組
教學目標	5G 基頻傳收機模組為較進階的技術，教材模組分上課教材與實驗教材兩部分。在教材模組部分，以漸進、由簡入繁的方式，介紹傳

教材模組名稱	5G 基頻傳收機實作課程模組
	與收的基本概念、基頻傳收機的架構、角度與 CORDIC 技術、以至應用到 5G 傳收機使用的預編碼技術。實驗教材部分則搭配 Matlab 程式碼與軟體無線電平台，讓學生從例子與實驗中，體會 5G 基頻傳收機設計的特色與精神。
課程大綱	<p>上課教材包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Part I： Fundamentals for the Baseband Transceiver ● Part II： CORDIC Rotation and Its Application ● Part III： Precoding Techniques <ul style="list-style-type: none"> ➢ Precoding Fundamentals ➢ Compressed Beamforming Weight Precoding ➢ Codebook Based Precoding ● Part IV： Angle of Arrival Estimation <ul style="list-style-type: none"> ➢ Methods for Angle of Arrival Estimation ➢ Antenna Calibration <p>實驗教材包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Part I：軟體定義無線電 SDR 簡介 ● Part II： E1000 SDR 簡介 ● Part III： Angle of Arrival Estimation 實驗 ● Part IV： Codebook Based Precoding 實驗
可分享教材模組內容說明	上課教材投影片 130 頁，實驗教材投影片 111 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"> ● 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 <p>設備經費需求：每組 NT\$200,000 (每台 NT\$100,000)</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)	<p>示範教學實驗室及聯盟網址：http://5gwct.nctu.edu.tw/</p> <p>種子教師培訓工作坊：20 人/場，共 2 場。</p>
聯絡窗口	<p>負責教師：中正大學 劉宗憲 教授 / E-mail：comtsliu@ccu.edu.tw</p> <p>專責助理：中正大學 林筱婷 小姐 / E-mail：astlst@ccu.edu.tw</p> <p>聯絡電話：(05) 2629-411 ext 23203</p>

課程模組3. 5G 通訊系統設計課程模組

[5G 無線通訊技術聯盟中心]

教材模組名稱	5G 通訊系統設計課程模組
教學目標	<p>本課程旨在使用工研院所開發的系統層級模擬軟體 WiSE 以從事 5G 通訊系統設計，主要的目的是讓熟悉實體層演算法的同學能評估各種演算法與參數設定對系統層級效能的影響，進而能對 5G 通訊系統做效能最佳化。</p>
課程大綱	<p>課程大綱：</p> <p>I. Introduction to 5G</p> <p>II. Introduction to WiSE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Introduction 2. 5G SCM channel model 3. Scheduler and HARQ 4. Codebook and CSI feedback 5. EESM and MIESM <p>III. Experiments with WiSE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Deployment of basestations 2. UE mobile speeds 3. Antenna configurations 4. Calculation of mutual information
可分享教材模組內容說明	上課講義 128 頁，實驗講義 30 頁
<p>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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 個人電腦 (至多補助 2 台) 2. WiSE 軟體授權 「WiSE 軟體授權：10 人以下:95,000；11-20 人:135,000；21-30 人:175,000；31-40 人:215,000」
<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)</p>	<p>示範教學實驗室及聯盟網址：http://5gwct.nctu.edu.tw/ 種子教師培訓工作坊：20 人/場，共 2 場。</p>
聯絡窗口	<p>負責教師：陽明交通大學吳文榕教授 / E-mail：wrrwu@faculty.nctu.edu.tw 專責助理：陳楹瑋 / E-mail：yingcheng@nycu.edu.tw 聯絡電話：03-571-2121 ext 54566</p>

課程模組4. 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
教學目標	<ul style="list-style-type: none"> ● 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。 ● 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況。 ● 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。
課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> ● 課程模組：5G 系統層模擬技術 <p>課程大綱：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 3GPP LTE 及 5G New Radio Access Network 簡介與標準制定過程。 2. 系統層模擬器架構。 3. 5G 通道模型(Large-Scale Fading & Small-Scale Fading)。 4. RI、PMI、CQI 估算與 Adaptive MCS。 5. 通道狀態相依排程演算法與 HARQ。 6. 實體層萃取、鏈結層效應與 Effective SINR。 7. 效能評比準則及校準程序。 <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</p> <ol style="list-style-type: none"> 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。 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。

教材模組名稱	5G 系統層模擬技術課程模組
	<p>實驗四：與國際規格文件進行 normalized user throughput 及 spectrum efficiency 校準</p> <p>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>
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"> 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。 2. 系統層及模擬器架構(11 頁)：經授權後使用。 3. 5G 通道模型(Large-Scale Fading & Small-Scale Fading)(110 頁)：經授權後使用。 4. RI、PMI、CQI 估算與 Adaptive MCS (37 頁)：經授權後使用。 5. 通道狀態相依排程演算法與 HARQ(29 頁)：經授權後使用。 6. 實體層萃取、鏈結層效應與 Effective SINR(29 頁)：經授權後使用。 7. 效能評比準則及校準程序(26 頁)：經授權後使用。 8. 實驗課投影片：實驗一 22 頁，實驗二 15 頁，實驗三 10 頁，實驗四 13 頁，以上總共 60 頁，經授權後使用。 <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：網路拓樸 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>
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>實作平台配備與經費需求 (一套設備可供 10 位學生使用)：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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) 「WiSE 軟體授權：10 人以下:95,000；11-20 人:135,000；21-30 人:175,000；31-40 人:215,000」 ● 桌上型電腦 1 台：執行模擬器平台，3 萬元
聯盟/示範教學實驗	<ul style="list-style-type: none"> ● 示範教學實驗室及聯盟網址：

教材模組名稱	5G 系統層模擬技術課程模組
室可提供之訓練與技術支援 (含實驗示範影片)	1. 示範教學實驗室： http://140.117.164.12/demo_lab/ 2. 5G 行動網路協定與核網技術聯盟： http://140.117.164.12/mbat_cctu/ <ul style="list-style-type: none"> ● 種子教師培訓工作坊：10 人/場，共 2 場。 ● 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"> 1. 實體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： <ol style="list-style-type: none"> 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：中正大學 潘仁義教授 / E-mail: jypan@ccu.edu.tw 專責助理：中正大學 劉君泰 / E-mail: chuntailiu@gmail.com 聯絡電話：05-2720411 ext 33511 or 23539

課程模組5. 5G 垂直應用網路課程模組

[5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心]

教材模組名稱	5G 垂直應用網路課程模組
教學目標	本課程介紹 3GPP R15、R16 的 5GS 行動寬頻網路系統，以及即將完成的 R17 中，如何支援 eMBB、URLLC、mMTC 等各種新興垂直應用及相關的行動網路技術與最新標準。課程基礎包括垂直應用網路概念、5G 系統架構、行動網路協定，以及三大垂直應用情境相關的網路系統技術。課程目標包括培養學生以下能力： <ol style="list-style-type: none"> 1. 布建及測試 5G 垂直應用網路系統之能力。 2. 在 Linux 上建置及修改 5G 暨垂直應用網路開源碼系統的能力。 3. 熟稔並能收集分析 5G 垂直應用系統運作過程中的訊令及封包之能力。 4. 了解 5G 網路系統如何支援垂直應用並能進行整合應用及量測之能力。
課程大綱	<ul style="list-style-type: none"> ● 課程模組：5G 垂直應用網路 課程大綱： <ol style="list-style-type: none"> 1. 5G 垂直應用系統簡介。 2. 5G 行動網路技術。 3. eMBB 垂直應用網路技術。

教材模組名稱	5G 垂直應用網路課程模組
	<p>4. URLLC 垂直應用網路技術。</p> <p>5. mMTC 垂直應用網路技術。</p> <p>6. 3GPP 垂直應用標準現況。</p> <p>7. 5G 垂直應用分析。</p> <p>實驗一：開源碼小基站實驗平台之建置與量測</p> <p>1. 建置開源碼小基站及小核網系統。</p> <p>2. 建置及設定 UE 行動裝置並安裝應用程式以熟悉連線量測工具。</p> <p>實驗二：eMBB 垂直應用網路實驗</p> <p>1. 建置行動寬頻暨 MBMS 服務應用網路。</p> <p>2. 調整網路架構及參數來分析及量測其對網路傳輸效能的影響。</p> <p>實驗三：URLLC 垂直應用網路實驗</p> <p>1. 建置以 MR-DC 支援 uRLLC 的垂直應用網路。</p> <p>2. 調整應用及網路參數來分析及量測冗餘傳輸對網路可靠度及時延的影響。</p> <p>實驗四：mMTC 垂直應用網路實驗</p> <p>1. 在 Raspberry Pi 4 上連結 SDR 建置低耗能的 mMTC UE 應用系統。</p> <p>2. 調整訊號及網路參數來分析及量測其對系統及網路效能影響。</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)：976 頁</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 5G 垂直應用系統簡介(67 頁)：可公開 2. 5G 行動網路技術(120 頁)：可公開 3. eMBB 垂直應用網路技術(89 頁)：可公開 4. URLLC 垂直應用網路技術(45 頁)：可公開 5. mMTC 垂直應用網路技術(46 頁)：可公開 6. 3GPP 垂直應用標準現況(136 頁)：可公開 7. 5G 垂直應用分析(126 頁)：可公開 <p>二、實驗共 4 組：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗一：開源碼小基站實驗平台之建置與量測(101 頁)：可公開 2. 實驗二：eMBB 垂直應用網路實驗(102 頁)：可公開 3. 實驗三：URLLC 垂直應用網路實驗(53 頁)：可公開 4. 實驗四：mMTC 垂直應用網路實驗(91 頁)：可公開

教材模組名稱	5G 垂直應用網路課程模組
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)	實作平台配備與經費需求 (一套設備可供 5 位學生使用): <ul style="list-style-type: none"> ● 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: 1 台 USRP B210 含天線 45,000 元、2 台 USRP B200 每台含天線 30,000 元, 共 105,000 元
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"> ● 示範教學實驗室及聯盟網址: <ol style="list-style-type: none"> 1. 示範教學實驗室: http://140.117.164.12/demo_lab/ 2. 5G 行動網路協定與核網技術聯盟: http://140.117.164.12/mbat_cctu/ ● 種子教師培訓工作坊: 10 人/場, 共 2 場。 ● 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"> 1. 實體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: <ol style="list-style-type: none"> 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: 高雄大學吳俊興教授 / E-mail: wuch@nuk.edu.tw 專責助理: 胡詠翔 / E-mail: m1105514@mail.nuk.edu.tw 聯絡電話: 0958-619033

課程模組6. 行動邊緣計算課程模組

[5G 行動網路協定與核網技術聯盟中心]

教材模組名稱	行動邊緣計算課程模組
教學目標	<p>本課程介紹在 4G/5G 系統架構中, 邊緣計算的架構、行動網路協定與核網技術以及相關的邊緣計算應用。除了介紹邊緣計算與各項物聯網應用類型的關係, 也包括雲端運算、霧端運算以及邊緣計算在新世代行動網路應用的特質與差異。</p> <p>課程將涵蓋各種邊緣計算的協定、架構與方法, 包括:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ETSI 所定義的 Multi-Access Edge Computing (MEC) 技術標準。 2. 佈建行動邊緣計算伺服器與架構。 3. 行動邊緣計算 MEC use cases。 4. 網路資源在 MEC 的分配策略 (如 Service migration 與及 MEC off-loading)。

教材模組名稱	行動邊緣計算課程模組
	5. 在無線接取網路上進行分散式計算架構。 6. 在網路功能虛擬化 (NFV)環境下的行動邊緣計算架構與技術。 7. 邊緣計算之應用與資安議題。
課程大綱	<p>● 課程模組：行動邊緣計算</p> <p>課程大綱：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 行動邊緣計算與 4G/5G 網路架構。 2. 邊緣計算架構與標準: ETSI MEC。 3. 行動邊緣計算之應用 (Use Cases)。 4. 行動邊緣計算服務情景 (Service Scenarios)。 5. 雲端無線接取網路與邊緣計算。 6. 邊緣計算與網路功能虛擬化：功能與架構。 7. 邊緣計算之應用與資安議題。 <p>實驗一：開源碼 LTE 實驗平台與網頁伺服器之建置</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建置開源碼小基站及核心網路系統。 2. 設定 UE 行動裝置並安裝應用程式。 <p>實驗二：邊緣計算實作環境建置—雲端伺服器及邊緣計算伺服器</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 在 Linux 平台架設雲端伺服器 (Cloud Server) 與邊緣伺服器 (Edge Server)。 2. UE 連接 Cloud Server 與 Edge Server 的基本觀察與量測。 <p>實驗三：VoD Streaming 資料串流實驗</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 使用 MEC 平台實作多媒體影音串流的 Service Migration。 2. 使用 UE 與網頁伺服器測試影音串流的特性。 <p>實驗四：AR / VR 邊緣計算實驗 (Off-Loading)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 使用 MEC 平台實作 AR/VR 應用。 2. 結合影像處理技術進行 AR 視訊處理。
可分享教材模組內容說明	<p>一、授課教材投影片(課程+實驗)：715 頁</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 行動邊緣計算與 4G/5G 網路架構 (110 頁)：經授權後使用 2. 邊緣計算架構與標準: ETSI MEC (110 頁)：經授權後使用 3. 行動邊緣計算之應用 (Use Cases) (45 頁)：經授權後使用 4. 行動邊緣計算服務情景 (Service Scenarios) (45 頁)：經授權後使用

教材模組名稱	行動邊緣計算課程模組
	<p>5. 雲端無線存取網路與邊緣計算 (60 頁)：經授權後使用</p> <p>6. 邊緣計算與網路功能虛擬化：功能與架構 (90 頁)：經授權後使用</p> <p>7. 邊緣計算之應用與資安議題 (55 頁)：經授權後使用</p> <p>二、實驗共 4 組：</p> <p>1. 實驗一：開源碼 LTE 實驗平台與網頁伺服器之建置 (50 頁)：經授權後使用</p> <p>2. 實驗二：邊緣計算實作環境建置—雲端伺服器及邊緣計算伺服器 (50 頁)：經授權後使用</p> <p>3. 實驗三：VoD Streaming 資料串流實驗 (50 頁)：經授權後使用</p> <p>4. 實驗四：AR / VR 邊緣計算實驗 (Off-Loading) (50 頁)：經授權後使用</p>
<p>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>	<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"> ● 三台筆電或準系統(功用：UE/小基站/EPC；含 Dongle)：9 萬 ● 兩台桌上型電腦(功用：網頁伺服器/雲端伺服器)：6 萬 ● 兩片 SDR 卡：USRP B210 兩片約 9 萬
<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"> ● 示範教學實驗室及聯盟網址： <ol style="list-style-type: none"> 1. 示範教學實驗室：http://140.117.164.12/demo_lab/ 2. 5G 行動網路協定與核網技術聯盟： http://140.117.164.12/mbat_cctu/ ● 種子教師培訓工作坊：10 人/場，共 2 場。 ● 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"> 1. 實體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： <ol style="list-style-type: none"> 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。
<p>聯絡窗口</p>	<p>負責教師：高雄科技大學 萬欽德教授/E-mail：cdwann@nkust.edu.tw 專責助理：林鴻章 /E-mail：F109110105@nkust.edu.tw 聯絡電話：0970370020</p>

課程模組7. 5G 核心網路設計與實作課程模組

[以 5G 和 AI 為架構之下世代物聯網聯盟中心]

教材模組名稱	5G 核心網路設計與實作課程模組
教學目標	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。
課程大綱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電信網路簡介：1G – 5G 核心網路的演進。 2. 5G 核心網路介紹。 3. 5G 開源核心網路 free5GC。
可分享教材模組內容說明	<ol style="list-style-type: none"> 1. free5GC 安裝及電信網路架設。 2. 以 Docker 虛擬化 free5GC 核心網路。 3. 網路功能 SBI 布署&簡易網路功能實作。
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： <ol style="list-style-type: none"> 1. 4G 商用基地台：75,000 元 (10 人共用一台，因 5G 基地台非常昂貴且不易取得，教材實作上建議使用 4G 基地台來介接 5G 核心網路) 2. 4G 商用手機：5,000 元 (3 人共用一支，配合 4G 基地台使用 4G 手機) 3. 可燒錄資料 SIM 卡：2,000 元 (3 人共用一支) 4. SIM 卡讀寫燒錄機：250 元 (10 人共用一台)
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)	提供種子教師培訓工作坊，共 2 場。
聯絡窗口	負責教師：陽明交通大學 陳志成教授 / E-mail：jcc@nycu.edu.tw 專責助理：陳小翠 / E-mail：htchen@cs.nctu.edu.tw 聯絡電話：03-5731912

課程模組8. 物聯網 AI 系統實作課程模組

[以 5G 和 AI 為架構之下世代物聯網聯盟中心]

教材模組名稱	物聯網 AI 系統實作課程模組
教學目標	本課程以 AI 技術結合 IoTalk 物聯網管理平台來進行教學，教學內容包含：物聯網感知層、網路層、網路層、應用層、AI 演算法、

教材模組名稱	物聯網 AI 系統實作課程模組
	IoTtalk 系統介紹、物聯網物件定義與管理介紹、AI 物聯網應用開發實務，學員在完成課程學習後，具備熟悉 AI 演算法、AI 套件、Python/Javascript 前後台整合應用開發、以及將 AI 技術結合進物聯網應用之能力。
課程大綱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 物聯網簡介與應用。 2. 從網際網路到物聯網。 3. 物聯網感知層、網路層、網路層。 4. 物聯網應用層 / AI 應用介紹。 5. IoTtalk 系統介紹。 6. 物聯網物件定義與管理介紹。 7. Input/Output device feature 介紹。 8. Device Model 介紹。 9. Input data normalization / Output device scaling 介紹。 10. Joint function / Mapping function 介紹。 11. AI 演算法介紹。 12. AI 套件介紹 / ML_device 介紹。 13. AI 物聯網應用開發。
可分享教材模組內容說明	<p>本教材模組將使用 IoTtalk 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，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：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 連接 Arduino / Raspberry Pi / ESP8266 到 IoTtalk 2. 多種 Sensor 連接到 IoTtalk 3. 智慧開關製作 4. IoTtalk 資料連結到 AI 模組 5. AI 個人化風扇開發
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>以一班 10 人來評估：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. AI 伺服器：80,000 元，需要 1 台共 80,000 元 2. 筆記型電腦/桌上型電腦(需含無線網卡)：24,000 元，需要 10 台(至多補助 2 台)，或可補助無線網卡。 3. 微控制板 Arduino：3000 元，需要 20 組共 60,000 元 4. 微控制板 Raspberry Pi：3000 元，需要 20 組共 60,000 元 5. 零件材料包：1000 元，需要 20 組共 20,000 元 6. NodeMCU (ESP8266):：100 元，需要 20 組共 2,000 元
聯盟/示範教學實驗	1. 提供種子教師培訓工作坊，共 2 場。

教材模組名稱	物聯網 AI 系統實作課程模組
室可提供之訓練與技術支援 (含實驗示範影片)	2. 課程相關投影片及影片： https://drive.google.com/drive/folders/1dMbhh6BuYhaTy-uDsvf9pVKjqe85sv0k?usp=sharing
聯絡窗口	負責教師：陽明交通大學 林勻蔚教授 / E-mail：jyneda@gmail.com 專責助理：高嘉臨 / E-mail：dks221502908@gmail.com 聯絡電話：03-5712121# 57763

課程模組9. 5G 毫米波天線設計課程模組

[5G 天線與射頻技術聯盟中心]

教材模組名稱	5G 毫米波天線設計課程模組
教學目標	<ul style="list-style-type: none"> ● 以模組化的架構建構 5G 無線通訊實行的關鍵技術之一：毫米波天線的設計、製作與驗測。開發產業應用發展所需要的課程模組，該課程技術內涵可應用於行動通訊、物聯網、車聯網、無線生醫、國防科技等產業。 ● 以天線設計的實際流程為主軸，讓學生循序漸進的瞭解毫米波天線特性，熟悉基礎的天線形式與架構、嘗試進行天線設計與模擬驗證、進而導入實作與實測驗證。而透過課程內容規劃，也可讓學生理解毫米波天線與傳統定義的行動裝置天線間的區別，與達成支援 5G 毫米波電磁傳播所需要的天線特性。 ● 導入產業的實務經驗，各模組課程除了由課程內容發展的教授提供理論部分的教授，也希望由產業講師擔任相當部份的授課工作，使教學活動能夠兼顧學理發展與實務經驗的傳承。 ● 補足現有天線產業人才對於毫米波天線開發的有限經驗，藉由課程內容的引導可以由淺入深，建立毫米波天線設計的能量與經驗，培養產業急需的人才。
課程大綱	<p>子模組一課程：高指向性天線形式介紹</p> <p>本單元回顧指向性天線技術及天線增益提升的學理基礎，進而說明高指向天線可以用較高的增益克服毫米波頻段顯著的傳播損失，強化無線通訊通道的品質。</p> <p>子模組一實驗單元：毫米波頻段漏波天線模擬實驗</p> <p>本項實驗使用商用電磁模擬軟體，就毫米波頻段的漏波天線進行設計與電磁模擬驗證。該單元設計的週期性漏波天線利用週期性結構達成行波效果，可兼顧頻寬與指向性。</p> <p>子模組二課程：行動終端毫米波陣列天線設計</p>

教材模組名稱	5G 毫米波天線設計課程模組
	<p>本單元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。</p> <p>子模組二實驗單元：毫米波頻段陣列天線模擬實驗</p> <p>本項實驗使用商用電磁模擬軟體，就典型的陣列天線形式，如微帶天線陣列與八木天線陣列進行設計與電磁模擬驗證。可模擬天線陣列波束成型效果，觀察改變單元天線饋入相位所造成之波束偏轉效果。</p> <p>子模組三課程：毫米波傳播特性</p> <p>本單元從 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。</p> <p>子模組三實驗單元：毫米波頻段高指向天線製作實驗</p> <p>考量毫米波頻段陣列天線製作精度要求極高，本項實驗將以單一高指向性八木天線為製作標的，透過電路板蝕刻設備製備先前實驗單元所設計的天線，並量測天線匹配特性。</p> <p>子模組四課程：波束切換陣列天線</p> <p>毫米波天線因高增益效能需求，單一波束的涵蓋變小，為了達到大範圍涵蓋，是以多採取波束切換形式，本單元說明波束成形陣列天線理論，以及與製程整合的陣列天線設計。</p> <p>子模組四實驗單元：毫米波頻段高指向天線場型量測實驗</p> <p>本項實驗使用臺科大或示範教學實驗室建置的電波暗室，量測先前實驗單元所製作的天線的場型特性，並比較量測結果與模擬的差異，分析誤差來源。</p>
可分享教材模組內容說明	<p>本課程“5G 終端天線設計與射頻”共含四個課程單元與四個實驗單元，提供課堂課程投影片與 word 電子檔之實作教材，以利教材推廣。</p> <p>授課教材投影片 258 頁，實驗手冊共 4 組(102 頁)。</p> <p>單元一：高指向性天線形式介紹(108 頁)。</p> <p>單元二：行動終端毫米波陣列天線設計(61 頁)。</p>

教材模組名稱	5G 毫米波天線設計課程模組
	單元三：毫米波傳播特性(33 頁)。 單元四：波束切換陣列天線(56 頁)。 實驗一：毫米波頻段漏波天線模擬實驗(29 頁)。 實驗二：毫米波頻段天線陣列模擬實作(28 頁)。 實驗三：毫米波頻段高指向天線製作實驗(27 頁)。 實驗四：毫米波頻段高指向天線場型量測實驗(18 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)	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。 軟體經費需求：整體軟體以 Ansys 軟體租用，每年約 10~20 萬元。 電磁模擬用電腦可使用學校現有電腦教室。
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"> ● 示範教學實驗室及聯盟網址： <ol style="list-style-type: none"> 1. 示範教學實驗室： http://mobilerf.ntust.edu.tw/demonstrationteaching-laboratory 2. 行動通訊電路設計聯盟：http://mobilerf.ntust.edu.tw/ ● 種子教師培訓工作坊：20 人/場，共 2 場。 ● 實驗示範教學影片。 ● 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"> 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。 ● 可提供之技術支援： <ol style="list-style-type: none"> 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：臺灣科技大學 廖文照教授 / E-mail：wjliao@mail.ntust.edu.tw 專責助理：宋德賢 / E-mail：eason123231456@gmail.com 聯絡電話：0900046293

課程模組10. 寬頻收發關鍵技術課程模組

[5G 天線與射頻技術聯盟中心]

教材模組名稱	寬頻收發關鍵技術課程模組
教學目標	<ul style="list-style-type: none"> ● 使同學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

教材模組名稱	寬頻收發關鍵技術課程模組
	<p>源使用效率。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 使同學瞭解在 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。 ● 使同學瞭解在 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。 ● 使同學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。
課程大綱	<p>「寬頻射頻傳收機關鍵技術」課程分為三大部份，第一個部分為具有載波聚合功能之射頻收發機架構，第二個部分是載波聚合功率放大器線性化技術，而第三部分則為載波聚合頻率合成器，茲分述如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 5G 載波聚合基本觀念 <ol style="list-style-type: none"> (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 2. 功率放大器非線性特性 <ol style="list-style-type: none"> (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 3. 功率放大器預失真線性化技術 <ol style="list-style-type: none"> (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 4. 應用於 5G MIMO/載波聚合之頻率合成器技術 <ol style="list-style-type: none"> (1) MIMO/載波聚合頻率合成器架構 (2) 寬頻振盪器架構 (3) 頻率合成器穩定度分析

教材模組名稱	寬頻收發關鍵技術課程模組
	(4) 頻率合成器相位雜訊分析 (5) 頻率合成器穩定時間分析
可分享教材模組內容說明	<p>“寬頻射頻傳收機關鍵技術”教材模組共含四個課程單元與三個實驗單元:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 課程單元： <ol style="list-style-type: none"> 1. 5G 載波聚合基本觀念 2. 功率放大器非線性特性 3. 功率放大器預失真線性化技術 4. 應用於 5G MIMO/載波聚合之頻率合成器技術 ● 實驗單元： <ol style="list-style-type: none"> 1. 射頻載波聚合開關模組實驗 2. 功率放大器預失真線性化實驗 3. 應用於 MIMO/載波聚合之頻率合成器實驗
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)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用現成且低成本之元件、模組與發展系統，建構載波聚合以及數位預失真之實作平台，相關實作平台約 NT75,000，四套合計 30 萬元。 2. 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。 3. 實驗方式係由 3 位同學為一組進行，操作實驗平台與微波電路模擬軟體。
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)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 聯盟網址：http://5grf.ntust.edu.tw/ 2. 種子教師培訓工作坊：20 人/場，共 2 場。 3. 實驗示範教學影片 3 件。
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：蔡桓宇 / E-mail： s1094803@mail.yzu.edu.tw 聯絡電話：03-4638800 Ext.70909