

5G/高頻系統射頻前端關鍵技術 人才培育

行動通訊電路設計聯盟全程成果報告

臺灣科技大學電子系
林丁丙教授
107年1月23日

大綱

- ◆ 相關領域最新技術發展趨勢介紹
- ◆ 聯盟推動成果
(含架構、課程地圖、教材、示範教學實驗室等)
- ◆ 聯盟與產業研發之接軌
- ◆ 計畫亮點特色
- ◆ 附件

相關領域最新技術發展趨勢介紹 I

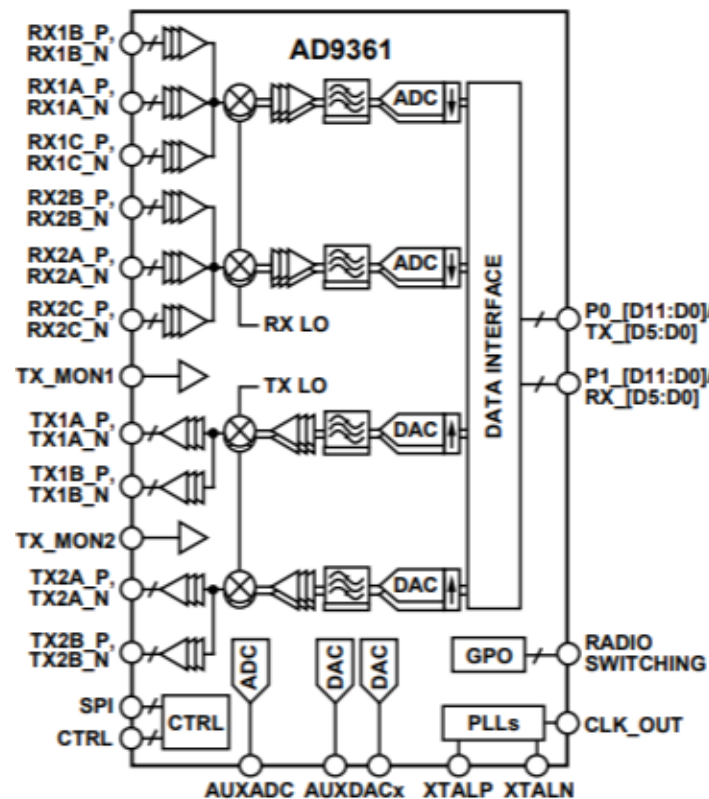
- ◆ 第五代行動通訊技術發展被視為資通訊產業轉型的契機
 - ✓ Sub-6 GHz Band的商業應用預計在2020年開始，自明年起各項試驗將會全面性發生。毫米波應用則於次三年接續發生。
 - ✓ 射頻技術為國內資通訊產業的核心→ 產業升級是再創高峰的機會，其中人才是成功的根本。
- ◆ 政府5+2產業創新中，國防科技、物聯網、智慧醫療等均須設與無線技術建立產業發展的基礎→ 智慧無線通訊技術是根本
- ◆ AI被政府視為重點產業，其產業基礎建立於有效的通訊技術
- ◆ 本計畫的核心: 以智慧型無線通訊運作為基礎的射頻基礎技術，包括智慧型天線系統、Massive MIMO系統、射頻元件技術等教材發展，培訓企業最需人才，提升產業升級。
- ◆ 推動原則: 以貼近產業技術軌道發展課程，讓學生就業即接軌產業技術發展。

相關領域最新技術發展趨勢介紹 II

- ◆ MIMO-OFDM技術已應用於802.11n/ac/ax的Wi-Fi網路，以及LTE-Advanced Pro (4.5G)網路。未來5G網路發展亦需要多天線的技術。此外，5G傳輸通道特性亦待分析
- ◆ 本教材介紹5G通訊的通道特性，包含原理和實作驗證
- ◆ 本教材基於基礎的2x2 MIMO OFDM系統，介紹OFDM收發原理及MIMO收發原理，並加以實作驗證

相關領域最新技術發展趨勢介紹 III

- ◆ 以ADI公司之熱門產品AD9361為例，其為高整合度之 2×2 MIMO寬頻射頻收發機晶片。此高度整合晶片並無法讓學生藉由量測了解每個電路方塊之基本特性。
- ◆ 本教材採用模組化設計，完成與此晶片相同射頻收發架構之模組，學生可藉由量測不同的射頻模組，學習各模組在射頻收發機中所扮演的角色及其相關特性。



聯盟推動成果

中心組織成員

◆ 計畫主持人：林丁丙 教授（臺科大電子系）

◆ 協同主持人：黃建彰 教授（元智通訊系）

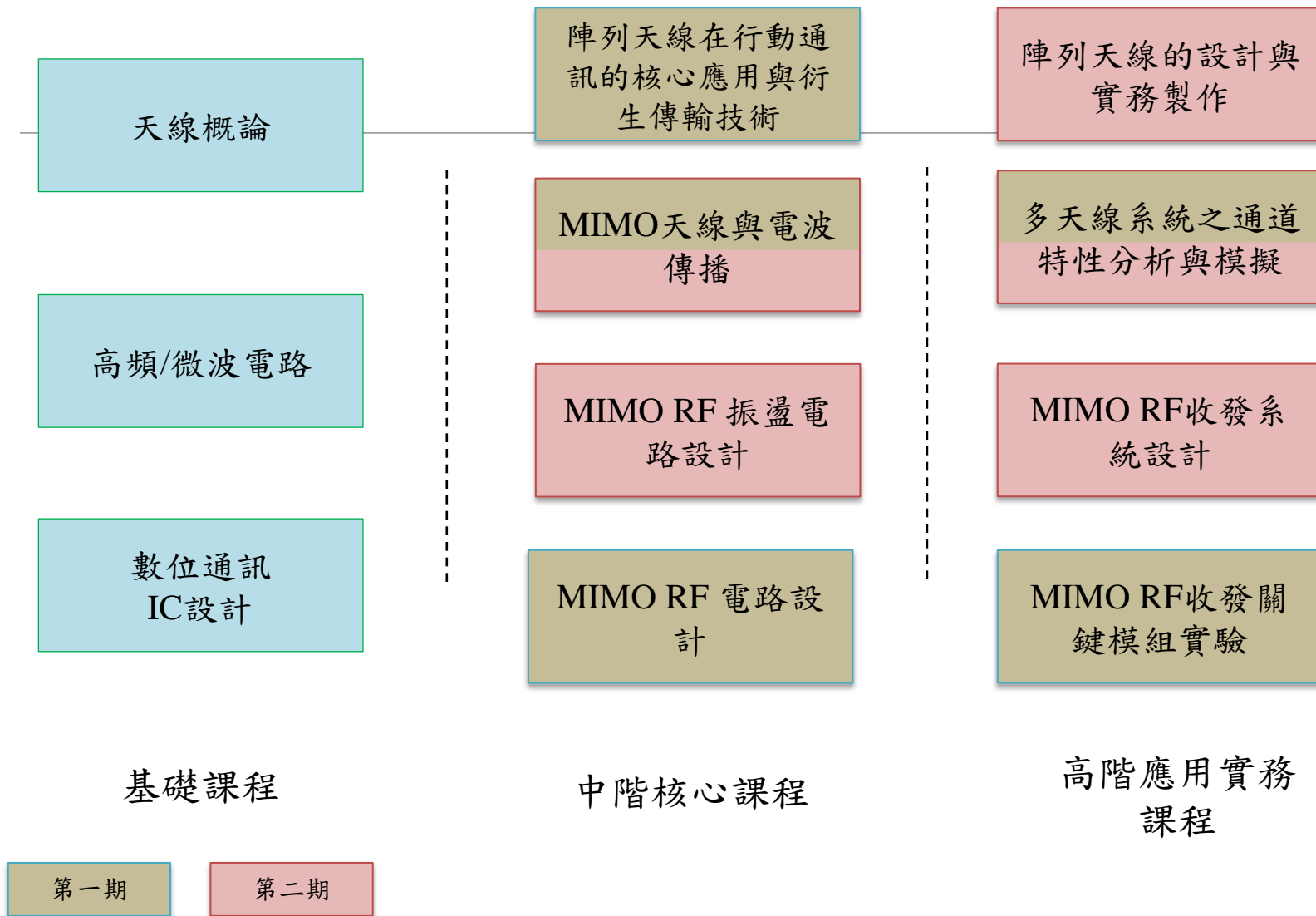
◆ 教材編撰團隊：

- ✓ 「大型陣列天線設計」：臺灣大學電信所周錫增教授、亞東技術學院段世中教授、臺灣科技大學林丁丙教授；業界：中山科學研究院侯元昌助理研究員、NSI-MI Technologies林建維應用專員。
- ✓ 「無線傳輸通道特性、模擬與量測」：臺北科技大學電子系林信標教授、臺灣科技大學廖文照教授、東華大學鄭獻勳教授；業界：工業技術研究院曾銘健經理、經緯衛星科技股份有限公司莊嶸騰經理
- ✓ 「下世代射頻傳收模組設計」：元智大學通訊系李建育助理教授、元智大學黃建彰教授、臺北科技大學王紳副教授、高雄第一科技大學彭康峻副教授；業界：捷通科技股份有限公司藍文鈞總經理。

◆ 指導委員會：

吳宗霖教授(臺大)、楊成發教授(臺灣科大)、張盛富教授(中正)、唐震寰教授(交大)、林根煌教授(中山)、邱煥凱(中央)；產業界人士包括湯嘉倫技術長(耀登科技公司)、丁邦安組長(工研院資通所新興無線應用技術組)、郭李瑞研發部經理(譚裕實業公司)等。

課程地圖



教材

- ◆ 三個分項領域，分別為「大型陣列天線設計」、「下世代射頻傳收模組設計」與「無線傳輸通道特性、模擬與量測」等。
- ◆ 採模組化編撰，各課程模組可透過不同組合，應用於多個課程。
- ◆ 透過不同學校的橫向整合，結合學校和產業人士的經驗，共同編撰符合國內產業針對行動通訊電路設計需求的教材。

教材一：大型陣列天線設計

第一期(模組一)

陣列天線在行動通訊的核心應用與衍生傳輸技術

執行期間：105.5.1~105.10.31

1. 行動通訊概論與細胞規劃
2. 通訊傳播通道概論、估計與量測
3. MIMO的基本原理及應用(含Massive MIMO)

第二期(模組二)

陣列天線的設計與實務製作

執行期間：105.11.1~107.1.31

1. 陣列天線基本原理(含分析與合成)
2. 陣列天線的數值模擬技術
3. 天線量測技術與量測方法
4. 天線設計之實作與實驗 (實驗模組)

教材二：無線傳輸通道特性、模擬與量測

<p style="text-align: center;">第一期 執行期間：105.5.1~105.10.31</p>	<p style="text-align: center;">第二期 執行期間：105.11.1~107.1.31</p>
<p>I. MIMO天線與電波傳播 多天線系統分集效能 天線分集與多天線系統 多重路徑傳播環境</p> <p>II. 多天線系統之通道特性分析與模擬 1. MIMO OFDM 原理與相關訊號處理技術 MIMO OFDM 技術介紹 OFDM之同步技術 OFDM之通道估測技術</p> <p>2. USRP 實驗平台介紹與實作 USRP實驗平台介紹 以USRP實現調變與解調變 實驗一：以USRP實現OFDM之收發</p>	<p>I. MIMO天線與電波傳播 分集天線設計與實作 天線分集增益量測系統操作實驗 天線分集增益評估實驗 分集天線設計與實作</p> <p>II. 多天線系統之通道特性分析與模擬 1. 多天線系統之傳輸機制 實驗二：以USRP實現2x2 SFBC OFDM信號之收發 實驗三：以USRP實現2x2 Spatial Multiplexing OFDM信號之收發</p> <p>2. 多天線系統之通道與效能分析 MIMO 通道特性與模型 實驗四：以USRP實現MIMO OFDM信號於MIMO通道之量測與效能評估</p>

教材三：下世代射頻傳收模組設計

第一期

執行期間：105.5.1~105.10.31

● MIMO RF 收發系統設計

1. 5G技術/MIMO系統簡介(模組A_T)
2. 發射機架構(模組B_T)
3. MIMO/OFDM接收系統簡介(模組

A_R)

2. SISO接收機分析與設計(模組B_R)
3. MIMO接收機分析與設計(模組C_R)

● MIMO RF 振盪電路設計

1. 微波振盪器(模組A_S)
2. 微波振盪器實驗(模組B_S)

第二期

執行期間：105.11.1~107.1.31

● MIMO RF 電路設計

1. 功率放大器電路設計(模組C_T)
2. 寬頻/高線性度電路設計(模組D_T)
3. 低雜訊放大器原理(模組D_R)
4. 降頻混波器原理(模組F_R)
5. 正交解調器原理(模組H_R)
6. 頻率合成器(模組C_S)
7. 寬頻頻率合成器(模組E_S)

● MIMO RF 收發關鍵模組實驗

1. 整合前端頻率選擇濾波器之低雜訊放大模組實驗(模組E_R)
2. 降頻混波模組實驗(模組G_S)
3. 正交解調器模組實驗(模組I_R)
4. 頻率合成器實驗(模組D_S)
5. 寬頻頻率合成器實驗(模組F_S)

示範教學實驗室

- ◆ 以模組化的方式建構子系統平台 → 各課程模組可以Plug-in的方式進行實驗

- ◆ 軟硬體設施兼具：
 - ✓ → 軟體可以模擬系統參數與射頻模組之間的參數傳遞
 - ✓ → 硬體可以以課程模組之硬體方塊進行取代，以驗證各參數的特性及以系統面的特性分析。
 - ✓ → 內含：智慧型天線系統、Massive MIMO天線系統、細胞規劃/系統特性規劃
- ◆ 原則：
 - ✓ → 夥伴學校之資源豐富：各校均有天線量測場(北台灣完整者) → 符合學校發展特性與經費的經濟性。
 - ✓ → 軟硬體設施強調國產性(自製性)、移動性、及各校可配合性。
 - ✓ → 軟硬體設施的相互支援，以夥伴學校為主，強調聚焦的人才培育，符合尖端技術發展的人才需求。
- ◆ 示範實驗室的設置地點：台大電信所，可有效整合各校的支援。 → 區域地理的中心

展示的雛形與系統

硬體: 智慧型天線系統、多波束天線系統及Massive MIMO的天線系統之功能實驗

➤ 天線雛形:

- 4x8單極化微帶陣列天線(兩套)
- 6x6 (72 埠)雙極化陣列天線

➤ 智慧天線系統:

- 六套具備智慧型控制功能的陣列天線
- 實體系統操作展示

➤ MIMO實驗系統

- 4x4 MIMO的展示與教學功能
- 實體系統展示
- MIMO環境模擬波束電路

➤ 天線量測實驗室: 直接量測遠場的天線場形, 亦可以直接由Base-band訊號饋入。

- ✓ 現階段以Sub-6 GHz為主 → 未來衍生到毫米波
- ✓ 儘量植入前期研究計畫的成果, 作為教育用途以降低成本
- ✓ 以可攜式的系統架構為基礎, 強化移動性

軟體:

- 通道模擬軟體: 直接計算SINR、Capacity, etc.
- 射頻電路系統整合軟體

各校均可以以遠端連結的方式, 進入系統使用

聯盟與產業研發之接軌

- ◆ 大型陣列天線為第五代行動通訊及國防科技的核心技術。→ 課程教材符合產業升級與擴張的立即人才需求，其中
 - ✓ 智慧型天線系統
 - ✓ Massive MIMO
 - ✓ 通道估測與細胞布建

→ 提供產業具系統規劃能力人才，產業升級的推動者。

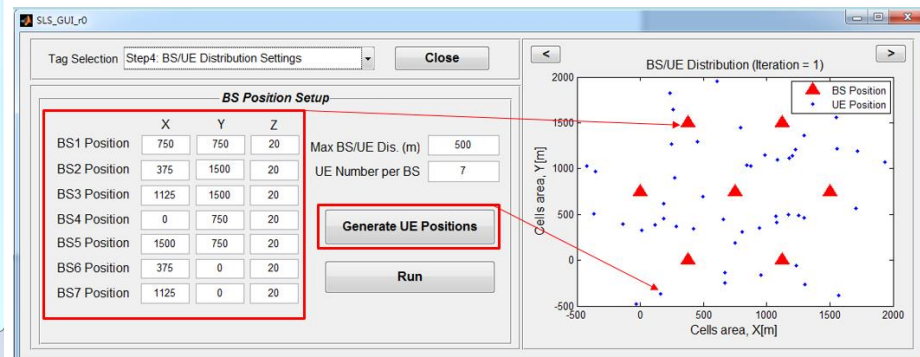
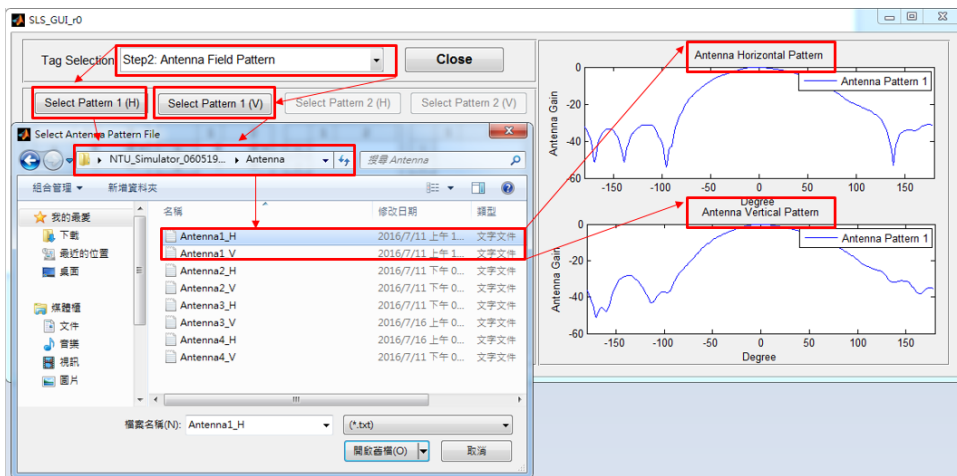
國內產業的核心: 基地站系統、Small Cell AP、下世代的手持裝置，均是此為發展核心
- ◆ 無線通道特性、模擬與量測是所有無線通訊技術的基礎。本課程教材適用於業界研發、測試領域，包含:
 - ◆ -通道量測及天線傳播特性→MIMO-OTA測試產業、無人機空對地傳輸通道分析
 - ✓ -分集天線設計→大型和小型基站、無線AP
 - ✓ -MIMO-OFDM 收發→4G/5G通訊晶片基頻部分
 - ◆ 本計畫所開發之 2×2 MIMO射頻接收模組教材，學生所學習到相關知識可應用於：
 - ✓ 4G LTE小型基站功率放大器模組設計與實現
 - ✓ 4G LTE小型基地台射頻收發模組設計與實現
 - ✓ Sub 6 GHz之第五代行動通訊系統之Massive MIMO射頻收發模組設計與實現

計畫亮點特色 I → 契合產業思維與需求

- ◆ **產學課程橋接與試教** → 編撰教材教師直接至業界提供課程試教，檢驗教材符合產業需求，建構產學合作新模式，總計辦理8場，共計149業界人次參與。
- ◆ **引進業界師資人數：**
 - ✓ 邀請業師編撰教材。
 - ✓ 邀請業界師資到校授課，共計7場次。
 - ✓ 舉辦13場推廣活動，邀請業界講師共計24人次。
- ◆ **種子教師課程推廣：**共邀請19人次種子教師協助推廣教材，並於所屬學校開授「微波量測與實驗、高頻量測技術、天線原理與設計...」等試教課程，共計開設19門課，修課人次543人。
- ◆ **教材下載統計(105.8.1~106.11.20)：**共計51人申請，此人數不含計畫團隊成員)。
- ◆ **植入國內自行發展的軟硬體技術，作為教材實驗工具** → **省錢、省事、深耕**
 - ✓ 引進工研院科專發展的細胞估測軟體進行網路布建之教學。
 - ✓ 導入科技部計畫的成果(智慧型天線系統)作為教學專題製作的平台。
 - ✓ 導入國內產業的天線系統，整合智慧型天線系統，建構Massive MIMO實驗平台。

計畫亮點特色 II → 契合產業思維與需求

- ◆ 中心化的軟體平台，解決夥伴學校的資源瓶頸；以移動式的實驗平台，發揮設備綜效。
- ◆ 本團隊於台大示範教學實驗室實際使用工研院研發之「細胞規劃與通道模擬軟體」，並製作詳細步驟之操作操作手冊SOP。此SOP提供電子產品製造業以及學術界評估其研發的天線其場型資料套用到實際場域之效能模擬(SINR和吞吐量)。此SOP目的亦介紹低成本的行動網路效能模擬工具，適合於電信業的網路佈建先期模擬。



附件

- ◆ 全程(104~106年)主要KPI達成情形
- ◆ 全程活動辦理情形
- ◆ 課程推廣情形

全程主要KPI達成情形(1)

績效指標項目	105年達成值	106年達成值	全程統計	效益說明
製作教材件數	3	(延續教材增加新模組)	3	行動通訊電路設計聯盟中心編撰三門課程教材：「大型陣列天線設計」、「下世代射頻傳收模組設計」與「無線傳輸通道特性、模擬與量測」。
製作手冊件數	3	(延續手冊增加新實驗模組)	3	「下世代射頻傳收模組設計」，完成6個實驗的實作手冊。 「無線傳輸通道特性、模擬與量測」，完成6個實驗的實作手冊。 「大型陣列天線設計」完成1個實驗的實作手冊。
開設課程課次/ 修課人數	7課次 /225人 次	25課次 /906人 次	32課次 /1130人 次	積極推廣聯盟中心所發展之課程與各項教學資源，增加行動通訊電路設計人才培育的質與量。 評估課程在各分項計畫團隊與學程推廣學校執行情形，即時修正執行方式，提升計畫執行效益。
跨校教學團隊 數/參與教師人 數	7校10位 教師	7校10位教 師(延續)	7校10位 教師	行動通訊電路設計聯盟中心教學研究團隊為臺灣大學、亞東技術學院、臺北科技大學、元智大學、高雄第一科技大學、臺灣科技大學、東華大學；參與教師人數為10人。

全程主要KPI達成情形(2)

績效指標項目	105年達成值	106年達成值	全程統計	效益說明
形成實驗室數	0	1	1	支援各夥伴學校的課程模組開發與教學、建立系統面的課程實驗模組的特性教學、可以整合原低階、中階與高階課程的各課程模組，為台灣產業的產業轉型升級提供必要的人才培育。
完成實驗教材/教具數		(延續增加新實驗模組)	13個實驗/1套教具	「下世代射頻傳收模組設計」完成6個實驗。 「無線傳輸通道特性、模擬與量測」完成6個實驗。 「大型陣列天線設計」完成1個實驗及1套“天線設計實作教材1x8”教具。
促成合作研究件數/廠商參與教材編撰	4廠商參與教材編撰	4廠商持續參與教材編撰；並新增2廠商	6家廠商	ROHDE & SCHWARZ Taiwan Ltd、中山科學研究院、NSI-MI Technologies參與「大型陣列天線設計」課程、捷通科技股份有限公司參與「下世代射頻傳收模組設計」課程、經緯衛星科技股份有限公司、工業技術研究院參與「無線傳輸通道特性、模擬與量測」課程。協助課程模組開發及推廣與提供業界工程師訓練需求並對課程內容提出意見。

全程主要KPI達成情形(3)



績效指標項目	105年達成值	106年達成值	全程統計	效益說明
引進業界師資人數/ 產業界成員參與教材 試教人次	10人 次	15人次	25人 次	邀請經緯航太2、中科院2、羅德史瓦茲3、安系思科技2、NIS1、SGS1、國家儀器4、工研院3、碩訊科技2、譚裕實業1、是德科技1、正文科技1、微波科技2等業界成員擔任推廣活動講員。
業界師資教學時數	6小時	12小時	18小 時	邀請業界SGS射頻部門廖兆祥博士至台北科大、愛文西門科技公司李健榮總監至元智課堂授課。
產業人員培訓及教材 試教場次/參與人次	2場次 /51人 次	6場次 /98人 次	8場 次 /149 人次	行動通訊電路設計聯盟中心進行業界授課，主動與業界接洽，由編撰教材教師直接前往業界提供短期訓練課程，所備教材符合業界學需求，建構產學合作新模式。
培育種子教師人數/開 課課次/授課學生人次	9人/9 門/242 人次	10人/10 門/301 人次	19人 /543人 次	由課程編撰團隊主動邀請種子教師協助推廣教材並於所屬學校開授試教課程。105年邀請9位老師，106年邀請10位老師參與。
設立網站數	1	0	1	為中心訊息公告與交流、教材資源彙整與管理、教學與推廣成效的統計與彙整、以及推廣活動報名的整合資訊平台。

全程主要KPI達成情形(4)

績效指標項目	105年達成值	106年達成值	全程統計	效益說明
辦理技術說明會或推廣活動場次/參與人次	2場次 /261人次	4場次 /345人次	6場次 /606人次	邀請產業界指標性的專家來進行介紹，一以借重產業經驗來落實技術發展的應用，二以產業觀點來激發學生學習的熱忱，使學生理解未來的潛力發展。
辦理教學研習活動場次/參與人次	0	3場次 /235人次	3場次 /235人次	增進學員對於天線量測Theta/Phi量測系統、智慧型天線/MIMO實驗平台、細胞規劃與通道模擬軟體操作及多個通訊系統的RFI干擾分析等知識之瞭解。
培育種子教師活動場數/參與人次	1場次 /65人次	3場次 /144人次	4場次 /209人次	藉由師資培訓活動，鼓勵相關之教師瞭解「大型陣列天線設計」、「下世代射頻傳收模組設計」與「無線傳輸通道特性、模擬與量測」教材內容，投入人才培育、技術革新與服務創新。
培育教學助理人數	9人次	12人次	21人次	透過較為完整的實驗平台結合各校現有的射頻儀器來進行較為完整的實驗教學，讓學生得以習得實務的技能，提升學生實作的能力，符合產業技術發展的需求，縮短大學課堂理論教學與產業實務人才需求之落差，讓學生的學習與產業順利接軌。

全程活動辦理情形 I

第一期計畫執行期間(105.5.1~105.10.31)，辦理以下活動：

日期	活動名稱	地點	參與人數	參與對象
105/09/01	無線通訊技術於航太工業之應用講座	台北科技大學綜合科館 第一演講廳	80人(含業界30人)	國內外大專院校師生與業界相關人才
105/09/12	大型陣列天線之發展基礎與應用	台大博理館101演講廳	181人(含業界38人)	
105/09/19	下世代射頻收發機設計實務	國立高雄第一科技大學 電通系	65人(含業界5人)	

全程活動辦理情形 II

第二期計畫執行期間(105.11.1~107.1.31)，辦理以下活動：

日期	活動名稱	地點	參與人數	參與對象
106/5/5	示範教學實驗室-軟體平台教育訓練	臺灣大學博理館101演講廳 & 電機二館130室	57人(含業界7人)	國內外大專院校師生與業界相關人才
106/6/1	NI 5G通訊研討會與軟體定義無線電實機操作課程	集思北科大會議中心	52人(含業界3人)	
106/7/28	示範教學實驗室-硬體平台教育訓練	臺灣大學博理館101演講廳 & 電機二館551室	75人(含業界16人)	
106/8/21~25	電磁引領教育研討會(協辦)	元智大學	92人(含業界1人)	
106/10/2	大型陣列天線之實務應用	台大博理館	211人(含業界63人)	
106/10/27	無線傳輸通道特性、模擬與量測	台北科技大學科研大樓 B425室	90人(含業界4人)	
106/11/3	下世代射頻收發機設計實務	元智大學7館10樓 R71006室	37人(含業界9人)	
106/11/27	大型陣列天線之產學研技術聯結	元智大學7館10樓 R71006室	45人(含業界13人)	
106/12/11	示範教學實驗室-天線量測系統與技術訓練課程	臺灣大學電機二館225室	12人	
106/12/22	5G系統射頻前端關鍵技術人才培育(教材聯合成果發表會)	臺灣大學博理館101演講廳	53人(含業界4人)	

課程推廣情形



教材團隊開課情形

開課資料	第一期	第二期	第二期
教材名稱	105-1開課數/修課人數	105-2開課數/修課人數	106-1開課數/修課人數
大型陣列天線設計	3/90	4/138	4/97
無線傳輸通道特性、模擬與量測	2/59	3/161	3/166
下世代射頻傳收模組設計	3/76	5/128	6/216
合計	8門/225人	12門/427人	13門/479人
總計	33門/1131人次		

種子教師開課情形

開課資料	第一期	第二期	第二期
教材名稱	105-1開課數/修課人數	105-2開課數/修課人數	106-1開課數/修課人數
大型陣列天線設計	3/84	2/22	1/30
無線傳輸通道特性、模擬與量測	3/100	2/81	1/93
下世代射頻傳收模組設計	3/58	3/47	1/28
合計	9門/242人	7門/150人	3門/151人
總計	19門/543人次		