

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

超寬頻人體區域網路之無線電通道量測與模型建立 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-009-051-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：國立交通大學電信工程學系(所)

計畫主持人：唐震寰

計畫參與人員：學士級-專任助理人員：梁麗君
碩士班研究生-兼任助理人員：陳耿賢
碩士班研究生-兼任助理人員：陳昌喆；
博士班研究生-兼任助理人員：薛文崇

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 99 年 10 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☐ 成果報告
☒ 期中進度報告

超寬頻人體區域網路之無線電通道量測與模型建立
(UWB Radio Channel Measurements and Modeling for Body-Area Networks)

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：98-2221-E-009-051

執行期間：98 年 8 月 1 日至 99 年 7 月 31 日

計畫主持人：唐震寰教授

計畫參與人員：薛文崇、陳耿賢、陳昌喆

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☒ 一年 ☐ 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學電信工程研究所

中 華 民 國 9 9 年 1 0 月 2 8 日

計畫編號：98-2221-E-009-051

超寬頻人體區域網路之無線電通道量測 與模型建立 研究報告

計畫主持人：唐震寰教授

執行單位：國立交通大學電信工程研究所

目 錄

章 節	主 題	頁 次
第一章	計畫簡介	1
1.1	計畫背景及目的	1
1.2	人體區域網路的發展	2
第二章	超寬頻天線	5
2.1	超寬頻天線分析	5
2.2	超寬頻天線的設計與測試	9
第三章	BAN 通道量測與分析	26
3.1	BAN 通道量測規劃	26
3.2	BAN 通道路徑損耗模型	27
3.3	DSA 路徑損耗分析	29
3.4	PICA 路徑損耗分析	32
3.5	路徑損耗模型之參數	36
3.6	遮蔽效應	38
3.7	改變人體姿勢之影響	41
3.8	行進中對通道之影響	43
3.9	功率延遲分布的分析	45
3.10	散射體有效影響範圍探討	67
第四章	結論	71
4.1	人體區域網路通道之特點	71
4.2	計畫效益與未來發展	72
	參考資料	73

圖 表 目 錄

圖表編號	主 題	頁 次
圖 1	BWCS 及其應用	2
圖 2	PICA 結構圖	7
圖 3	DSA 結構圖	8
圖 4	紡織天線結構與反射特性圖	8
圖 5	DRA 天線結構圖	9
圖 6	DSA(左)與 PICA(右)天線實體圖	9
圖 7	饋入線與反射板不同距離下，DSA 之反射特性	10
圖 8	DSA 天線於自由空間與佩帶於人體的反射特性比較	11
圖 9	PICA 天線於自由空間與佩帶於人體的反射特性比較	12
圖 10	DSA 天線之方位定義	13
圖 11	DSA 天線之 xy 平面場型模擬與量測結果比較	14
圖 12	DSA 天線之 yz 平面場型模擬與量測結果比較	15
圖 13	DSA 天線之 xz 平面場型在自由空間與佩帶於水桶的比較	16
圖 14	DSA 天線之 yz 平面場型在自由空間與佩帶於水桶的比較	17
圖 15	PICA 天線之方位定義	19
圖 16	PICA 天線之 xy 平面場型模擬與量測結果比較	21
圖 17	PICA 天線之 yz 平面場型模擬與量測結果比較	22
圖 18	PICA 天線之 xz 平面場型在自由空間與佩帶於水桶的比較	23
圖 19	PICA 天線之 yz 平面場型在自由空間與佩帶於水桶的比較	25
圖 20	發射與接收天線佩帶位置示意圖(上)與實際測試佩帶圖 (下).....	27
圖 21	使用 DSA 天線，在電波暗室中不同平面的量測結果比較	30
圖 22	使用 DSA 天線，在辦公室中不同平面的量測結果比較	31

圖表編號	主 題	頁 次
圖 23	使用 DSA 天線，在走廊中不同平面的量測結果比較	31
圖 24	使用 DSA 天線，在所有量測區的路徑損耗量測結果比較	32
圖 25	使用 PICA 天線，在電波暗室中不同平面的量測結果比較	33
圖 26	使用 PICA 天線，在辦公室一個量測區中不同平面的量測結果比較	34
圖 27	使用 PICA 天線，在走廊一個量測區中不同平面的量測結果比較	34
圖 28	使用 PICA 天線，在所有量測區的路徑損耗量測結果比較	35
圖 29	在所有量測區，DSA 與 PICA 路徑損耗量測結果比較	36
圖 30	一般無線電系統的通道遮蔽效應示意圖	38
圖 31	BAN 之遮蔽效應量測	38
圖 32	DSA 天線在電波暗室不同平面量測值與平均值的差異	39
圖 33	測試者手臂與身體的夾角示意圖	41
圖 34	測試者的手臂角度對通道的影響	42
圖 35	PICA 天線在電波暗室中靜止與行進間路徑損耗的比較	44
圖 36	DSA 天線在電波暗室、辦公室與走廊功率延遲分布比較 .	47
圖 37	PICA 天線在電波暗室與辦公室功率延遲分布比較	50
圖 38	PICA 天線在電波暗室與辦公室 LOS 與 NLOS 功率延遲分布比較	52
圖 39	DSA 天線在電波暗室中的功率延遲分布	54
圖 40	PICA 天線在電波暗室中的功率延遲分布	56
圖 41	PICA 天線在辦公室中的功率延遲分布	58
圖 42	PICA 天線在電波暗室與辦公室中的平均功率延遲分布	62
圖 43	PICA 天線在電波暗室(a)(b)與辦公室中(c)(d)的衰減速率 ..	64
圖 44	DSA 天線在電波暗室(a)(b)與辦公室中(c)(d)的衰減速率 ...	67

圖表編號	主 題	頁 次
圖 45	人體不同間距對路徑損耗的影響(DSA).....	69
圖 46	人體不同間距對路徑損耗的影響(PICA)	70
表 1	IEEE 802.15.6 中的窄頻技術提案.....	4
表 2	IEEE 802.15.6 中的 UWB 技術提案	5
表 3	DSA 與 PICA 兩種天線路徑損耗模型之參數	36
表 4	國際上發表之路徑損耗模型參數比較	37
表 5	遮蔽效應之標準差	40
表 6	平均過量延遲與方均根延遲擴散	59

摘要

以人體為中心的無線電通訊系統 (Body-Centric Wireless Communication Systems, BWCS) 是下世代無線電通訊的發展重點之一，在 BWCS 中通訊元件佩帶於身上的情況稱為 on-body 系統，而其元件之間的通訊稱為無線電人體區域網路 (Wireless Body Area Networks, WBAN or BAN)。on-body 系統可與生理監測器或可攜式的電子設備整合做相關資訊的傳遞。另外，超寬頻 (UWB) 低功率與高傳輸速率的特點，成為 BAN 中最重要通訊技術。on-body 的通訊系統在設計之前，必須先建立 BAN 的通道模型，因此 BAN 的通道研究已成為近幾年熱門的研究題目。由於 BAN 中天線貼近人體，人體對天線的特性與無線電通道產生重大的影響，使得傳播通道變得複雜，目前國際上的研究尚不多見。本計畫以一年的時間，進行 UWB 在 BAN 的研究，內容包括 UWB 天線設計製作與 BAN 無線電通道之量測與模型建構。

第一章 計畫簡介

1.1. 計畫背景及目的

無線通訊的系統與技術蓬勃發展，近年來由 2 G、3 G、3.5 G 已邁向到未來的 LTE，各項創新技術不斷的被開發。目前無線通訊的發展趨勢，除了傳統的基本要求-通訊容量、通訊價格與通訊品質外，傳輸資料的內容多樣化，應用的普遍化也是現在與未來的發展重點。而應用場所也從都會(WWAN, WMAN)到室內(WLAN)，以至於個人(WPAN)及人體區域網路(Wireless Body Area Network, WBAN 或 BAN)。近幾年來，由於上述通訊與微電子技術進步的成果，以人體為中心的通訊系統 (Body-Centric Wireless Communication Systems, BWCS)之技術[1]應運而生，為此 IET(The Institution of Engineering and Technology)於 2007 年，在英國倫敦舉辦第一屆的 Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications IET Seminar，聚集 BWCS 領域主要的領導學者發表論文[1~3]，共同推動 BWCS 的研究發展。BWCS 的發展目標，是希望未來使用者能以身上的無線通訊元件，可以隨時隨地進行通訊、查詢資訊與控制遠端電子設備等等，另一方面，使用者的位置與生理狀況等等資訊，也可以隨時隨地被偵測，科幻式的生活即將成為現實。

BWCS 可以連結環繞人體的元件，如各式感測器、生理監測器或是可攜式的電子設備等等，BWCS 可以透過身上的個人通訊中心(Personal Communication Center)，與外界通訊。若依通訊元件在人體的位置，還可以將 BWCS 區分為 off-body(身上與身外通訊元件間之通訊)、on-body(身上通訊元件之間的通訊)以及 in-body(植入體內之感測元件與體外元件之通訊)三類[4]，如圖 1 所示。BWCS 潛在的應用包括個人醫療照護、智慧家庭、個人娛樂與識別系統等。另外有些非商業應用，比如太空探測與軍事等，實際上已經實現。以圖 1 為例，使用者可以利用腰間佩帶的行動電話與基地台進行通訊(off-body)，同時行動電話也可以和身上佩帶的元件通訊(on-body)，內容可以包括音訊、視訊與感測訊號等等；而手腕可以佩帶人機介面元件，使用者可以輸入資料與指令，與遠端做雙向的溝通。因此藉由 BWCS 的通訊，在醫療應用上，未來可以遠端即時監測病人或是特殊環境的工作人員的生理狀態，比如消防隊員或是戰士等等；也可以將晶片植入人體的血管或器官，感測生理資訊，並以外部的天線與之通訊(in-body)，讀出人體的生理狀態，若此技術成熟，民眾就不須要忍受侵入式檢查的風險與痛苦，也可以節省龐大的醫療資源。在娛樂應用上，使用者可以脫離傳統硬體(電視或螢幕等)的束縛，得到音訊與視訊的即時服務。

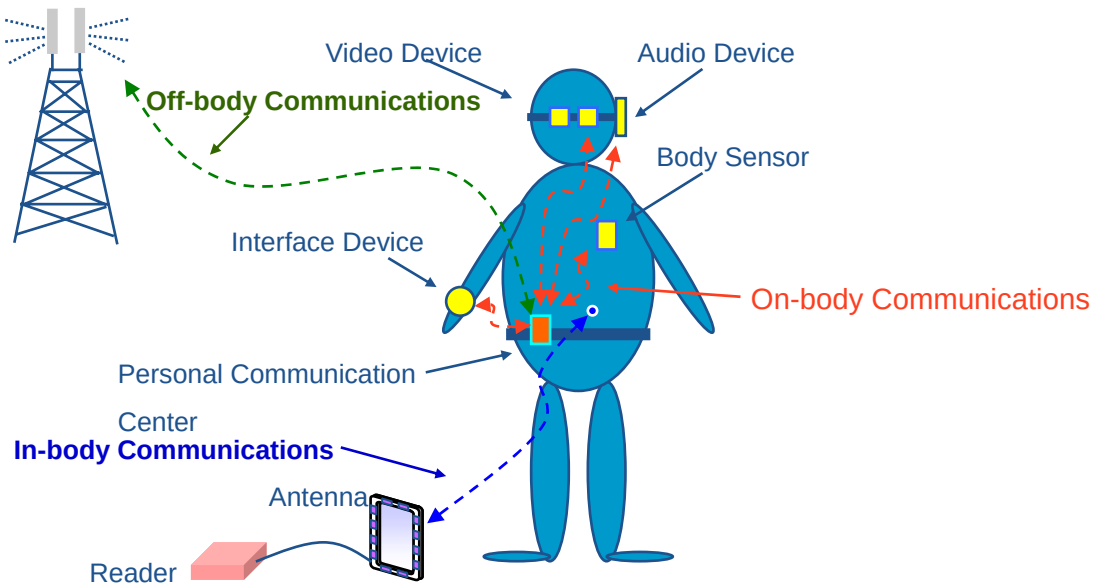


圖 1. BWCS 及其應用

由於 off-body 相關的研究已經很多[4]，in-body 需要植入人體，不適合於電信工程系所進行，因此本計畫專注在 on-body 的研究範圍。另外，若以無線網路技術區分，BWCS 在實際應用上涵蓋 WPAN、BAN 以及無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSNs)，WPAN 技術較成熟，WSN 屬於感測技術領域，所以本計畫僅針對 BAN 做研究。

在使用頻率的選擇上，由於 BAN 的元件需要長期佩帶在身上，在眾多通訊技術中，超寬頻(UWB)具有低功率與高傳輸速率的優點，最適合 BAN 的應用情境，因此本計畫選擇使用 UWB 進行 BAN 的通道研究。

基於以上的分析，本計畫的主題為探討 BWCS on-body 系統中的 UWB BAN 無線電通道量測與模型建立，因為在進行 BAN 通訊系統的設計之前，必須先建立 BAN 的通道模型。因此，本計畫的目的為進行 BAN 的通道研究，內容包括 UWB 天線之製作與測試、通道量測與通道模型分析等研究。

1.2. 人體區域網路的發展

在 BAN 標準的制定上，IEEE 於 2007 年 11 月成立 802.15.6 工作小組，目標為發展一套 BAN 的通訊標準，未來應用包括醫療及非醫療(消費電子、個人娛樂及其他)。標準的內容將包括範圍在 3 公尺以內 on-body 及 in-body 通訊。目前各個主要廠商與單位在實體層的提案中[5]，在使用頻率上可以分為窄頻(Narrowband)與 UWB 兩大陣營，基本的提案內容如表 1 與 2 所列。窄頻技術提案的頻段與調變技術比較分歧，尚待整合，其中若是提案中選

擇 MICS (Medical Implant Communication Service) 及 WMTS(Wireless Medical Telemetry Service)兩種頻段，表示該提案為醫療應用，其中 MICS 是屬於 in-body 通訊。窄頻技術的優點是在某些應用有較好的傳輸效果，但因頻寬較窄，其傳輸速率難以達到 10 Mbps 以上的速率。相對而言，UWB 的提案比較一致，IR UWB 應會成為主流。在頻段的選擇上，UWB 的定義是頻寬大於 500 MHz 或是大於中心頻率的 20%，都可以稱為 UWB，由於美國 FCC 在 2002 年核准了 3.1 ~10.6 GHz 做為 UWB 的使用(不需執照)，因此表 2 中各個單位選擇的頻段皆落於此一範圍。從表中可以看出，各家選擇的頻段並不一致，雖然頻段越寬理論上傳輸速率越快，然而卻也會衍生其他缺點，以 BAN 而言，訊號沿著身體表面傳輸時，較高的頻率會有較大的路徑損耗，因此頻段的選擇仍應視應用的特性來決定，不一定全頻段的 UWB 就是最佳的選擇。UWB 的提案乃修改自 IEEE 802.15.4a[6]而來。如前所述，UWB 的優點主要有低消耗功率以及高傳輸速率等等，其相關的應用研究已有多多年，之前的 IEEE 標準將 UWB 區分為高傳輸速率以及低傳輸速率，前者的相關標準為 IEEE 802.15.3a，後者的相關標準為 IEEE 802.15.4a，但即使 IEEE 802.15.6 的 UWB 提案，乃修改自低傳輸速率的 IEEE 802.15.4a，其傳輸速率仍舊高於窄頻技術。如前所述，UWB 應用於 BAN 有其突出的優點，因此本計畫選擇 UWB 做 BAN 的通道研究。

表 1. IEEE 802.15.6 中的窄頻技術提案

Company	Modulation	Data rate	Frequency band* (MHz)
IMEC	OOK/GFSK (h=0.3, BT=0.5)	16 k ~16 Mbps	ISM, 2360 ~ 2400
KETIKORPA	GFSK (h=1, BT=0.25)	500 kbps	MICS
NICT	GFSK (h=1, BT=0.5)	12.5 k~2 Mbps	MICS, ISM_Japan,ISM_USA, ISM_EU,WMTS
Zarlink	GMSK (h=0.5)	120/180 kbps	ISM_EU, ISM_USA
Inha University	(G)MSK	200~600 kbps	MICS
MedWin (GE, Philips, TI, Toumaz)	Rotated-DPSK	100 k~ 1 Mbps	MICS, ISM_USA, ISM_Japan, ISM_EU,ISM, 2360 ~ 2400
Motorola	OQPSK	10 k~10 Mbps	ISM_USA, ISM,2360 ~ 2400
ETRI	PSSK	10/20 Mbps	270 ~ 310

*MICS: 402~405 MHz

ISM : 2400~2483 MHz

ISM_USA :902~928 MHz

ISM_EU : 873~870 MHz

ISM_Japan : 950~956 MHz

WMTS : 608~614 MHz

表 2. IEEE 802.15.6 中的 UWB 技術提案

Company	Signal Source	Modulation	Data rate	Frequency band
ETRI-Samsung	IR/ Chaos	GPPM	100 k ~ 10 Mbps	3.1 ~ 4.6 GHz, 7.25 ~ 8.5 GHz
FT-CEA-Thales	IR	PPM, DBPSK	1.95 ~ 27.24 Mbps	3.1 ~ 10.6 GHz
IMEC	IR	BPM, OOK, DBPSK	100 k ~ 27.2 Mbps	3 ~ 10 GHz
TI	IR	PPM	500 kbps	6.4 ~ 8.9 GHz
NICT-Meiji-YNU	IR/ Chirp	BPM/DMPSK	200 k ~ 10 Mbps	3.1 ~ 10.6 GHz
CSEM	FM	FSK-FM	30 ~ 250 kbps	6 ~ 9 GHz

第二章 超寬頻天線

2.1. 超寬頻天線分析

一般 UWB 的系統使用脈衝波，其在頻域上有很寬的頻譜，因此稱為超寬頻。在此必須強調的是，不是所有可使用頻寬大於 500 MHz 或是大於中心頻率 20% 的天線，都可以用於 UWB 的脈衝波傳輸。常見的天線，比如 Log-periodic 和 Spiral 天線，雖然其反射(匹配)與場型特性，符合超寬頻的定義，但是其實這些天線在不同的頻率，發射訊號的位置不同，換言之，不同頻率的訊號不在同一個中心發射的話，對同一接收位置而言，由於不同頻率的訊號，傳輸所經過的路徑長度不同，抵達時間也就不同，導致接收到的脈衝波失真，因此這一點在做天線設計時須特別注意。

由於在 BAN 的應用中，天線必須長期佩帶於人體，而人體會對天線的阻抗與發射場型等等特性產生重大的影響，進而影響到無線電通道的特性，因此雖然研究 UWB 天線的參考資料相當多，但適合應用於 BAN 的天線並不多[7~18]。本研究中的心得之一，是發現天線對通道有關鍵性的影響，特別是在 BAN 中無法將天線的特性從通道的特性中分離出來，因此使用不同的天線會有不同的通道特性，而有不同的模型參數，這與其它通道

有明顯的差異。對 BAN 而言，訊號路徑(人體)相對於其他無線網路，變化其實較小，若要改善通道的特性，天線特性的改良是重點，因此在 BAN 的研究中，天線設計是重要且關鍵的議題。縱整使用於 BAN 的 UWB 天線之設計考量如下。

- 由於必須長時間佩帶於身上，天線最基本的要求是尺寸必須要小。
- 假如可以最好能整合至衣服上。
- 人體對天線的影響越小越好。
- 往人體方向發射的功率越小越好，除了不影響人體，也可以更有效的利用功率。
- 設計天線場型使之能降低路徑損耗。BAN 的傳播途徑主要有視線波(Line of Sight)、繞射波(Diffraction or Creeping Wave)以及來自週遭環境與人體軀幹/四肢的散射波，要降低路徑損耗就要善用這些傳播途徑，一般最好能夠有 Omnidirectional 的場型，因為收發天線佩帶於人體，不是面對面發射與接收，因此 Omnidirectional 往天線側邊發射的特性，訊號能夠沿著身體表面傳播，而且電場的方向垂直於人體，能夠減少身體的感應電流，因此可以得到較低的路徑損耗，然而這必須讓 Omnidirectional 的天線佩帶於身體時，天線垂直於身體表面，但天線突出於人體在實際上並不實用也不可行，因此僅能基於這一觀念，對天線設計做一些變化，才能有效的降低路徑損耗。另外，若是在散射體多的環境，使用有方向性的天線，使訊號往身體外發射，但藉由散射波傳播訊號，亦可以有效降低路徑損耗，這種天線較適用於沒有視線波存在的情況，比如發射與接收天線位於身體的不同側。本計畫分別就這兩型天線做研究。
- 天線本身為 pulse-shaping 濾波器，因此為求訊號不失真，天線的頻率響應越平越好。因此在設計時，假如模擬軟體有 Time Domain 的功能，可以觀察其脈衝響應(Impulse Response)，對於設計更好的 BAN 天線，會有所助益。
- 除了以軟體模擬設計外，天線也應在實際的環境做特性測試，因為人體對天線性能有很大的影響。
- 一般在設計天線時，要從輸入接頭觀察其匹配，使之在使用頻寬內有平坦的頻率響應較不困難，但要在特定方向的增益，有平坦的頻率響應則不容易。特定方向增益的不平坦，意為不同頻率的訊號，從此方向發射的功率不一致，脈衝波會因此失真。此項特性在設計天線時要考量，但在實務上，增益要有平坦的頻率響應非常困難，僅能儘量做到最佳化設

計，縱然如此，當天線佩帶於人體時，場型會產生變化，進而對通道特性產生影響，因此最終仍須以實測決定天線的性能。

以下依據國際發表的文獻，分析各種適用於 BAN 的 UWB 天線。參考資料[7~10]提出幾種 UWB 的天線，其特性適用於 BAN 的應用。參考資料[11]提出一種新型天線 Planar Inverted Cone Antenna(PICA)，這是一種 Monopole-like 天線，其阻抗頻寬(Impedance Bandwidth)大於 10:1，而其 Monopole type(Omni-directional)的場型頻寬(Pattern Bandwidth)高達 4:1，非常適用於 on-body 的系統，因此數個後續的 BAN 通道研究，均採用 PICA 進行量測與模型建立，PICA 的結構如圖 2。

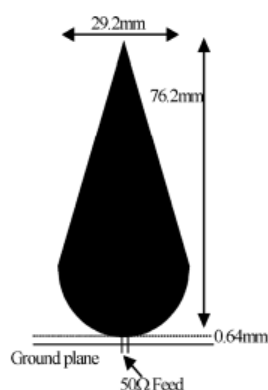


圖 2. PICA 結構圖

參考資料[12]提出以微帶製作的 UWB 天線，頻率可達 3~6 GHz，低成本與低高度(厚度)，也適用於 BAN 的應用。參考資料[13]提出以矽晶為基材的天線，厚度僅達 0.6 mm，頻率可達 3.1~5.1 GHz，這項研究讓天線微小化，對 BAN 的實現有很大的幫助。不論是 off-body 或是 on-body 的天線，都會受到人體的影響而改變其特性，這對開發 BAN 的天線是一項很大的挑戰，參考資料[14]開發出一種可以降低人體效應的天線，這對後續的 BAN 天線開發有所幫助。參考資料[15]考慮天線的保真度(Fidelity Factor)，參考資料[16]則在開槽天線(Slot Antenna)的饋入線下方加上一片反射板(Reflector)，形成一個 Directional Slot Antenna (DSA)，可以有效降低人體對天線的影響，另外也使用光纖傳輸射頻訊號(RF on optic fiber)的方法，降低同軸傳輸線對量測的影響。DSA 的結構如圖 3 所示。DSA 屬於有方向性的天線，與 PICA 的特性不同，因此本計畫選擇使用這兩種天線進行 BAN 的通道量測，以看出不同天線特性對 BAN 通道的影響。

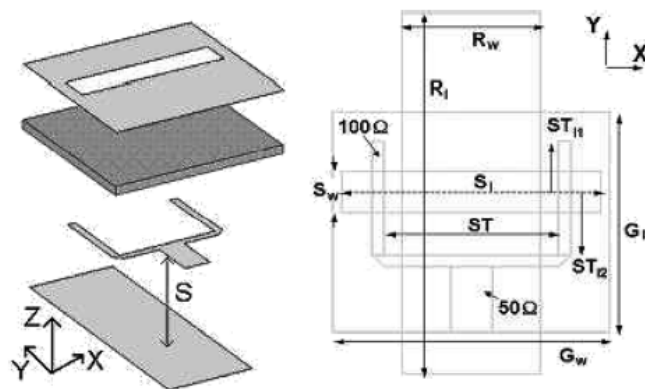


圖 3. DSA 結構圖

參考資料[17]中提出實用的紡織天線(Textile Antenna)，厚度僅為 0.5 mm，頻率可達 FCC 的全頻寬 3.1~10.6 GHz，材料部份採用高導電度的 metalized Nylon fabric—Nora.1，其結構為 3 層金屬(Ni/Cu/Ag)，表面電阻可以達到 0.03 Ω/sqare ，除了抗腐蝕也有極佳的可繞性，其結構與特性如圖 4 所示。

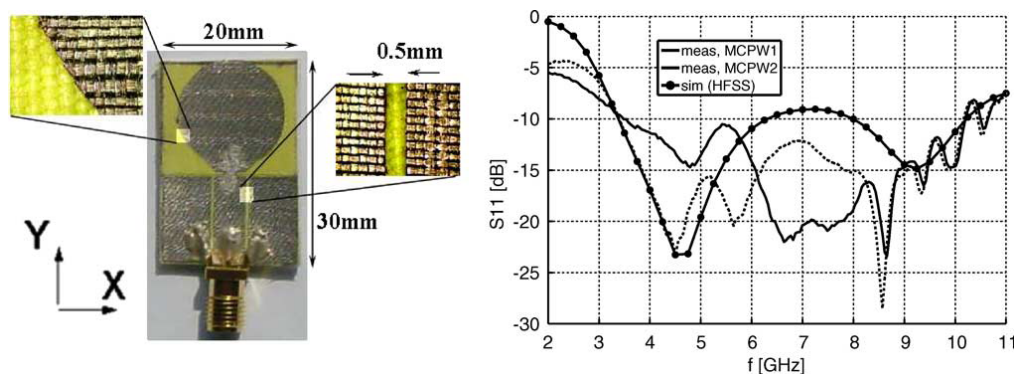


圖 4. 紡織天線結構與反射特性圖

另外，Monopole-like 天線佩帶於人體時，若天線垂直於身體，其發射場型與電場的極化方向，如前所述，理論上會有較低的路徑損耗(Path Loss)，然而 Monopole-like 天線的長度若太長，垂直佩帶於人體時實際上不可行，因此必須設法降低其高度。參考資料[18]提出一種低高度(約 13 mm)的 Dielectric Resonator Antenna (DRA)，頻寬在 3.4~5 GHz，具有極高的保真度，其結構圖與場型特性如圖 5 所示。

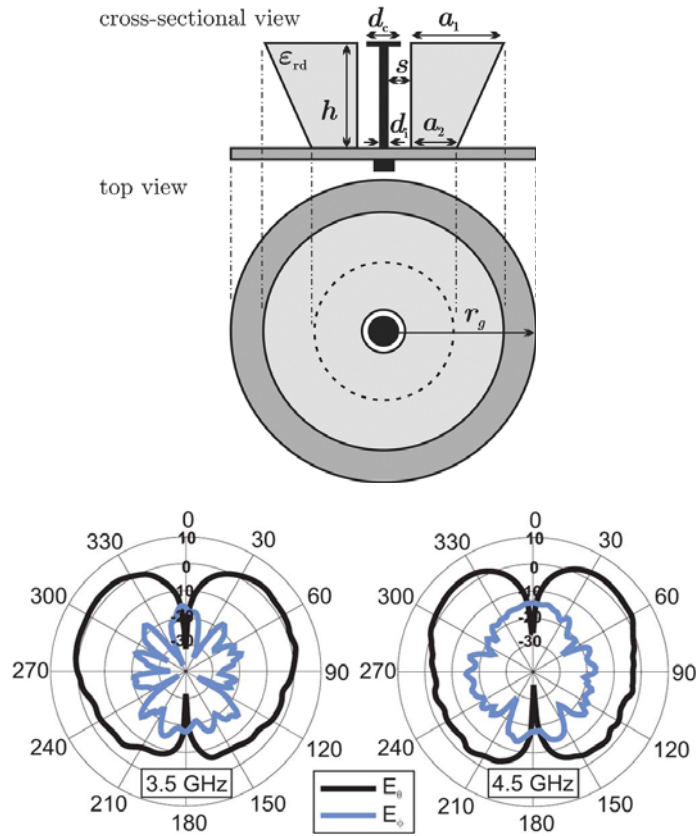


圖 5. DRA 天線結構圖

2.2. 超寬頻天線的設計與測試

在上述幾種天線中，本計畫選擇製作 DSA 以及 PICA 兩種天線，DSA 的場型具有方向性，往前與往後發射的功率比可達 10 dB；而 PICA 有 Omnidirectional-like 的場型，利用這兩種特性不同的天線，進行無線電通道的量測，除了可以得到環境的通道參數外，也可以觀測不同類型的天線對通道參數的影響。製作出的 DSA 與 PICA 兩種天線的實體圖如下圖。

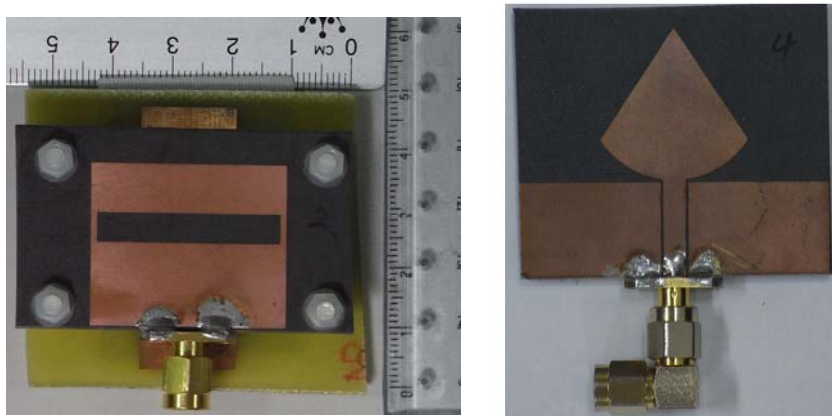


圖 6. DSA(左)與 PICA(右)天線實體圖

製作完成後的天線，首先以 Agilent 8719ET 向量網路分析儀量測天線的反射係數(S11)，以決定其使用頻寬。DSA 的結構是在開槽天線的饋入線下方加上一片反射板，中間的介質是空氣，因此用 4 個塑膠螺絲連接與固定饋入線與反射板，兩者的距離會影響 DSA 的反射特性，雖然可以使用軟體模擬，但實際製作的成品，仍舊會與模擬結果有所偏差，因此利用塑膠螺絲可調的特性，調整饋入線與反射板的距離，並以網路分析儀觀測其反射特性，結果如下圖所示，在距離 6 mm 時，於設定的工作頻段 4 ~ 6.5 GHz 間有較低的反射，可以達到反射損耗(S11)小於-10 dB 的設定目標。

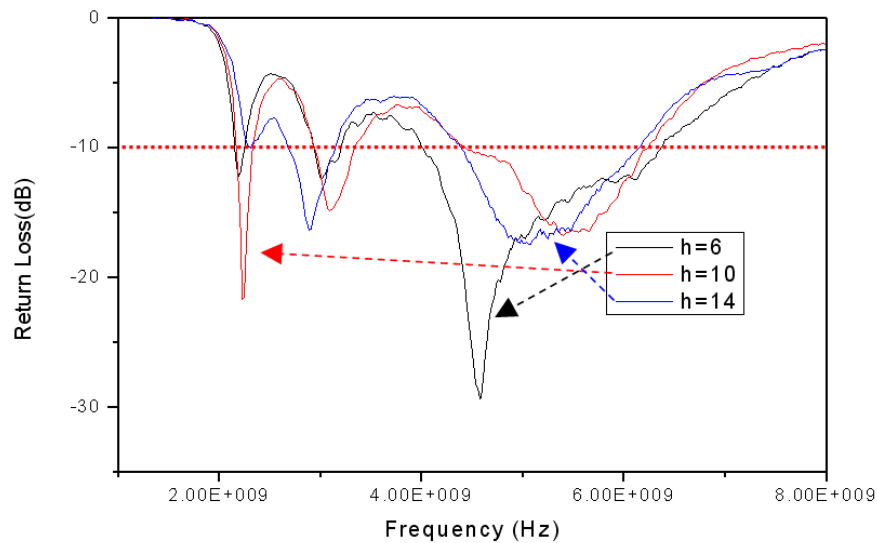


圖 7. 饋入線與反射板不同距離下，DSA 之反射特性

為了觀察人體對天線的影響，將天線佩帶於通道量測時設定的人體部位，重新以網路分析儀量測天線的反射損耗，若是在工作頻寬內，反射損耗已經嚴重變差(> - 5 dB)，則必須進行天線修正，反之則可以接受。量測結果與天線在自由空間的反射特性做比較，結果如下圖，圖中可以發現反射損耗確實有明顯偏移的現象，但在設定的工作頻段 4 ~ 6.5 GHz 內仍舊可以達到反射損耗小於-5 dB 的設定目標，因此可以使用 DSA 於 BAN 的通道量測。

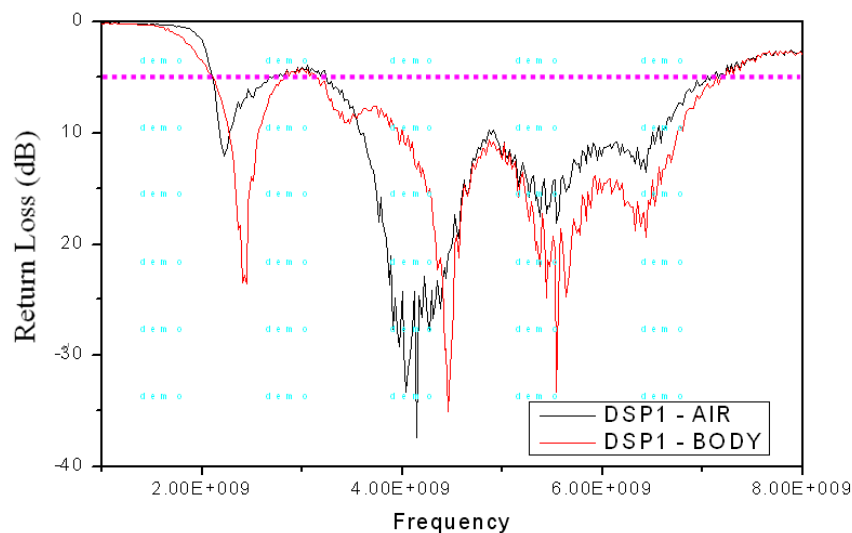


圖 8. DSA 天線於自由空間與佩帶於人體的反射特性比較

同樣地，對於製作的 PICA 天線，也要量測其反射特性以及觀察人體對 PICA 天線的影響，因此進行天線於自由空間以及佩帶於人體的反射特性之比較，結果如下圖，圖中 Air 1 與 Air 2 為兩支 PICA(發射與接收)於自由空間中的反射損耗，在設計目標 3 ~ 10 GHz 的頻段中，反射損耗除了在 3 GHz 與 5 GHz 附近有稍微超過外，在其餘頻段內皆低於 -10 dB。圖中可以發現，即使頻率超過 10 GHz，反射損耗仍低於 -10 dB，然而此段已超過 FCC 授權不須執照的頻帶，因此不予使用。圖中 On body 1 與 On body 2 為兩支 PICA 天線佩帶於人體的反射損耗，可以發現反射損耗也有明顯偏移的現象，然而在設定的工作頻段 3 ~ 10 GHz 內仍舊可以達到反射損耗小於 -5 dB 的設定目標，因此可以使用 PICA 於 BAN 的通道量測。

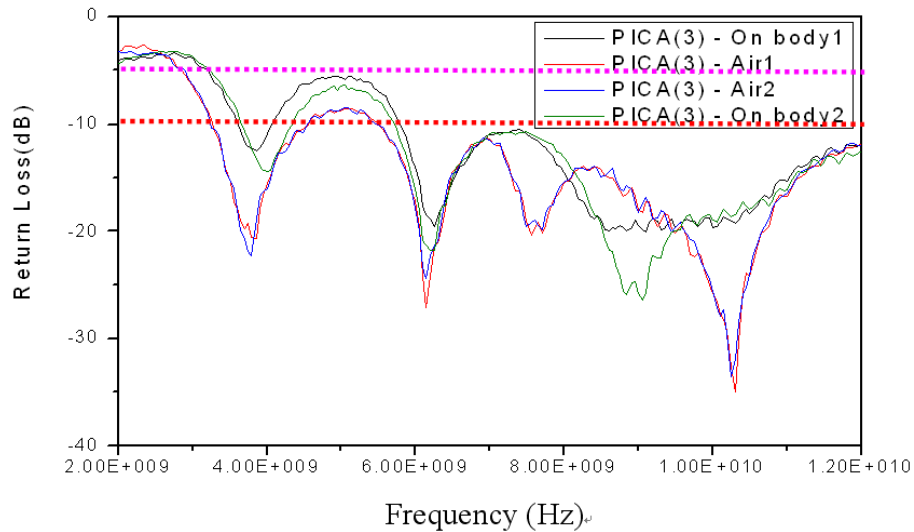


圖 9. PICA 天線於自由空間與佩帶於人體的反射特性比較

如前之分析，天線的場型對 BAN 的通道特性有重要的影響，因此觀測天線的場型實屬必要。天線場型的量測在電波暗室(Anechoic Chamber, AC)內以天線量測系統進行，DSA 的方位定義如圖 10 所示， DSA 天線 xy 平面場型的模擬結果與量測結果之比較如圖 11 所示，xy 平面場型代表沿著身體表面傳播的能量，以此可以推估視線波與 Creeping wave 分量的大小。DSA 天線 yz 平面場型的模擬結果與量測結果之比較如圖 12 所示，yz 平面場型可以看出往身體外面傳播的能量(0°)，以此可以推估環境散射波分量對通道的貢獻。在圖 11 中顯示 xy 平面場型可能因接頭與塑膠螺絲的效應與模擬結果有部分的差異，在圖 12 中可以看出，雖然實際天線有較多的損耗，所以場型量測結果會比模擬的結果略小，但圖中仍可以看出 yz 平面場型的形狀，模擬與量測結果相當一致，而且可以看出，往身體外發射的強度(0°)大於往身體內發射的強度(180°)，尤其是頻率越高，差別越大，這就是我們要的結果，當然這是天線有加反射板的效果，也是加反射板的目的。

如前所述，人體對天線的場型有很大的影響，因此必須觀測天線佩帶於人體造成的場型變化，以利於對通道參數的分析。因為場型與通道性能息息相關，因此每 0.5 GHz 量測一點。然而，將天線佩帶於通道量測時設定的人體部位，再以天線量測系統進行 2D 場型量測，在實務上是有困難的，因為國內應沒有任何天線系統的天線支撐架，能夠支撐人體，因此改用以 16 公升裝水的塑膠水桶代替人體，將天線佩帶於水桶上，每 0.5 GHz 量測一次天線場型，結果如圖 13(xz 平面)與 14(yz 平面)所示，w/o pail 曲線表示天線在自由空間的場型，with pail 曲線表示天線佩帶於水桶上的場型，從 xz 與 yz 平面都可以看出往身體外發射的強度(0°)，以及繞射至水桶後方(z 方向)的強度(180°)。穿透水桶的電磁波能量理論上可忽略，因此量得的訊號

乃來自於繞射。從這些場型圖中可以看出水桶(模擬人體)對天線的影響，基本上在部分的頻率，水桶會讓往身體外發射的強度降低，然而在部分的頻率，水桶並不會讓往身體外發射的強度降低，甚至加強了往身體外發射的強度，這也是我們要的結果。至於繞射至水桶後方的強度相對而言低很多，這也隱含了在沒有視線波存在的情況下，散射波對通道的貢獻應會比繞射波重要。

下面的場型圖中，模擬與量測的場型比較，在此選擇 xy 與 yz 平面，而天線在自由空間與佩帶在水桶的場型比較，在此選擇 xz 與 yz 平面，因此天線在自由空間中 xy 、 xz 與 yz 的場型，都已包含在下面的場型圖中，這些場型圖在後面章節中，通道量測結果分析裡將會使用到。

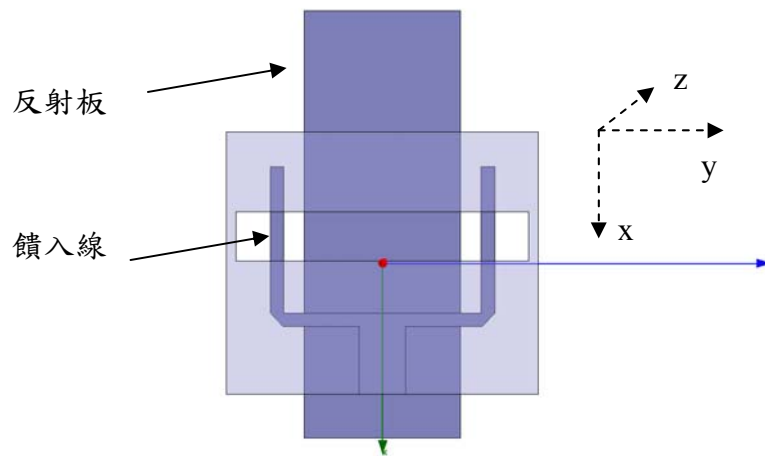


圖 10. DSA 天線之方位定義

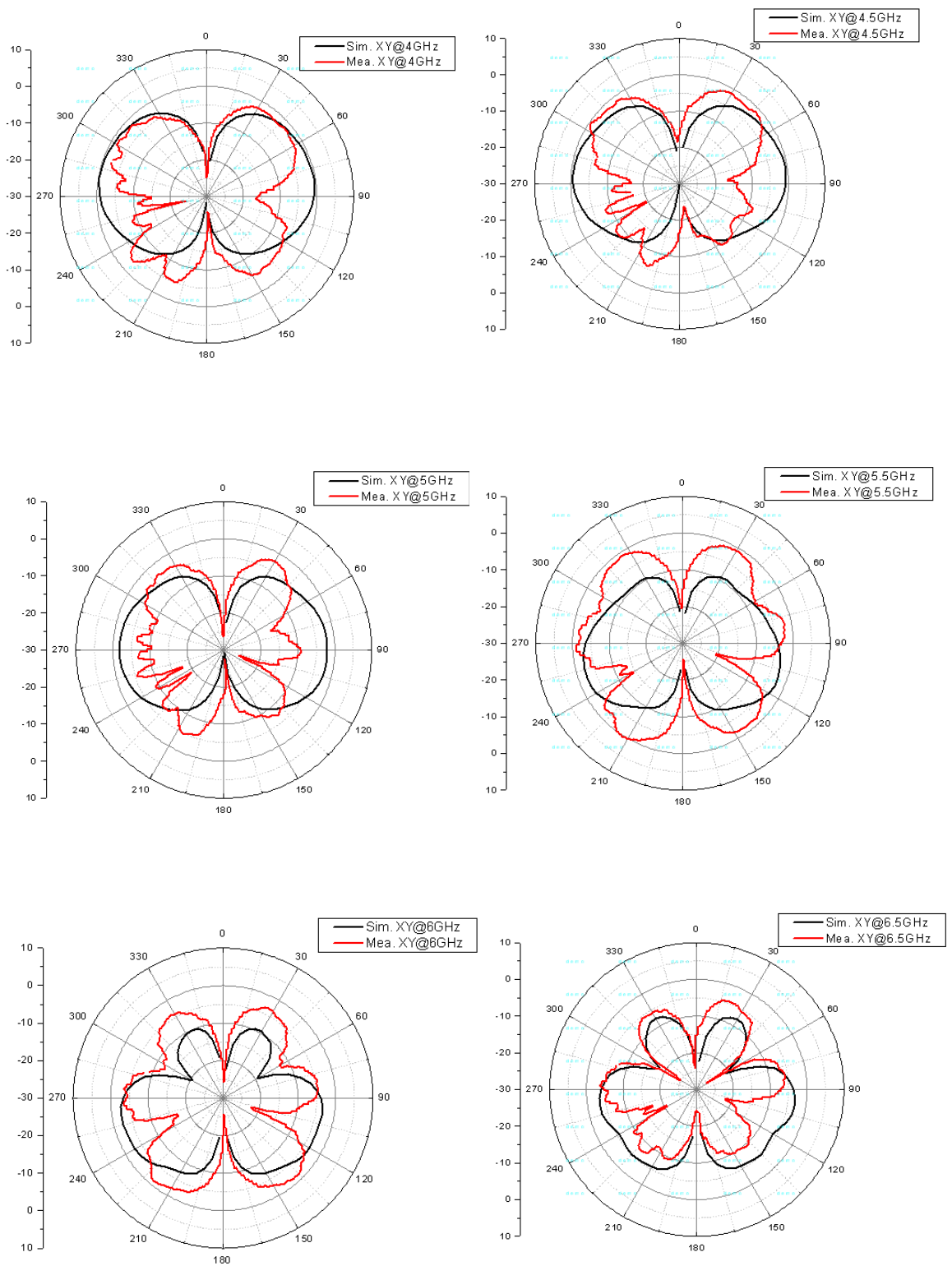


圖 11. DSA 天線之 xy 平面場型模擬與量測結果比較

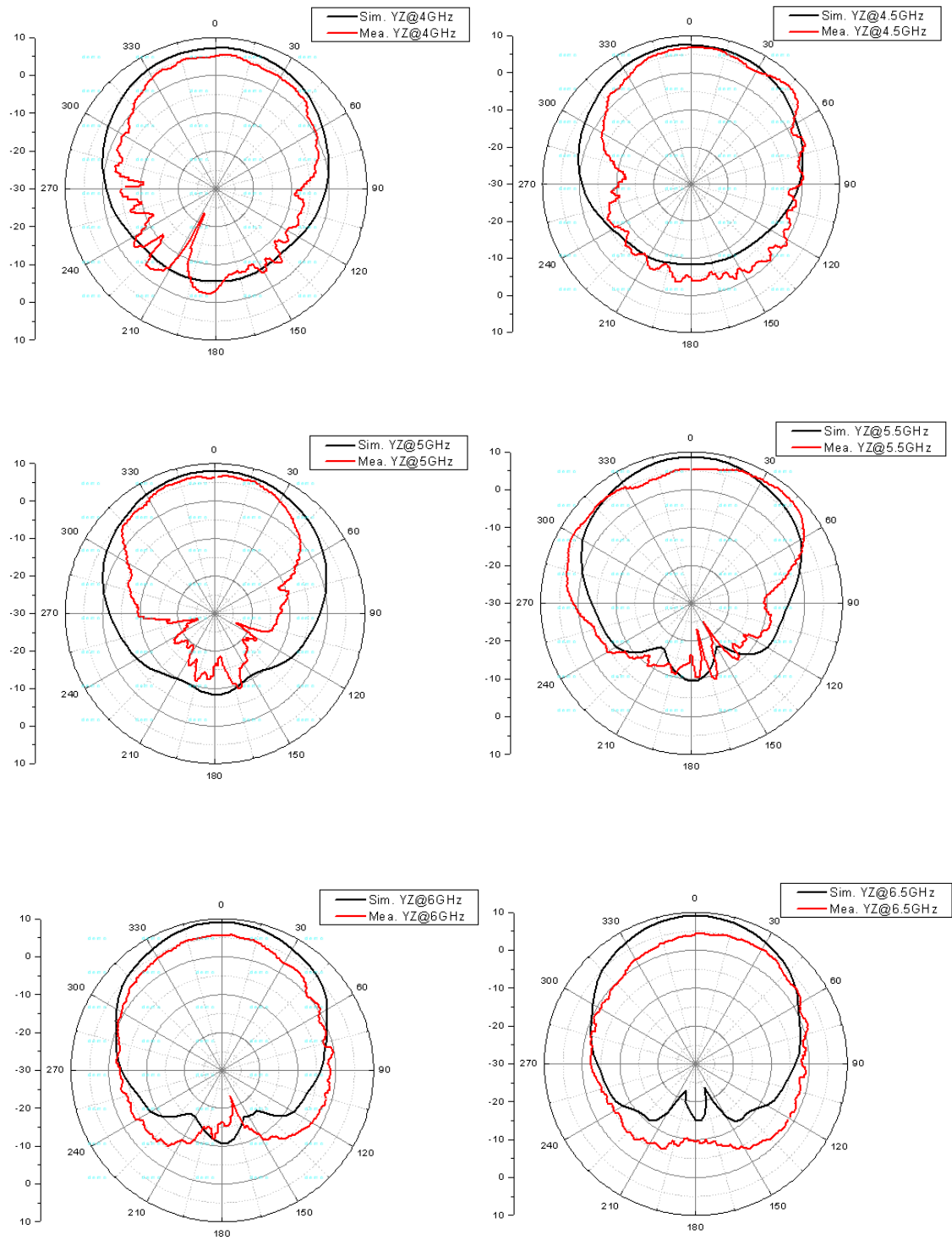


圖 12. DSA 天線之 yz 平面場型模擬與量測結果比較

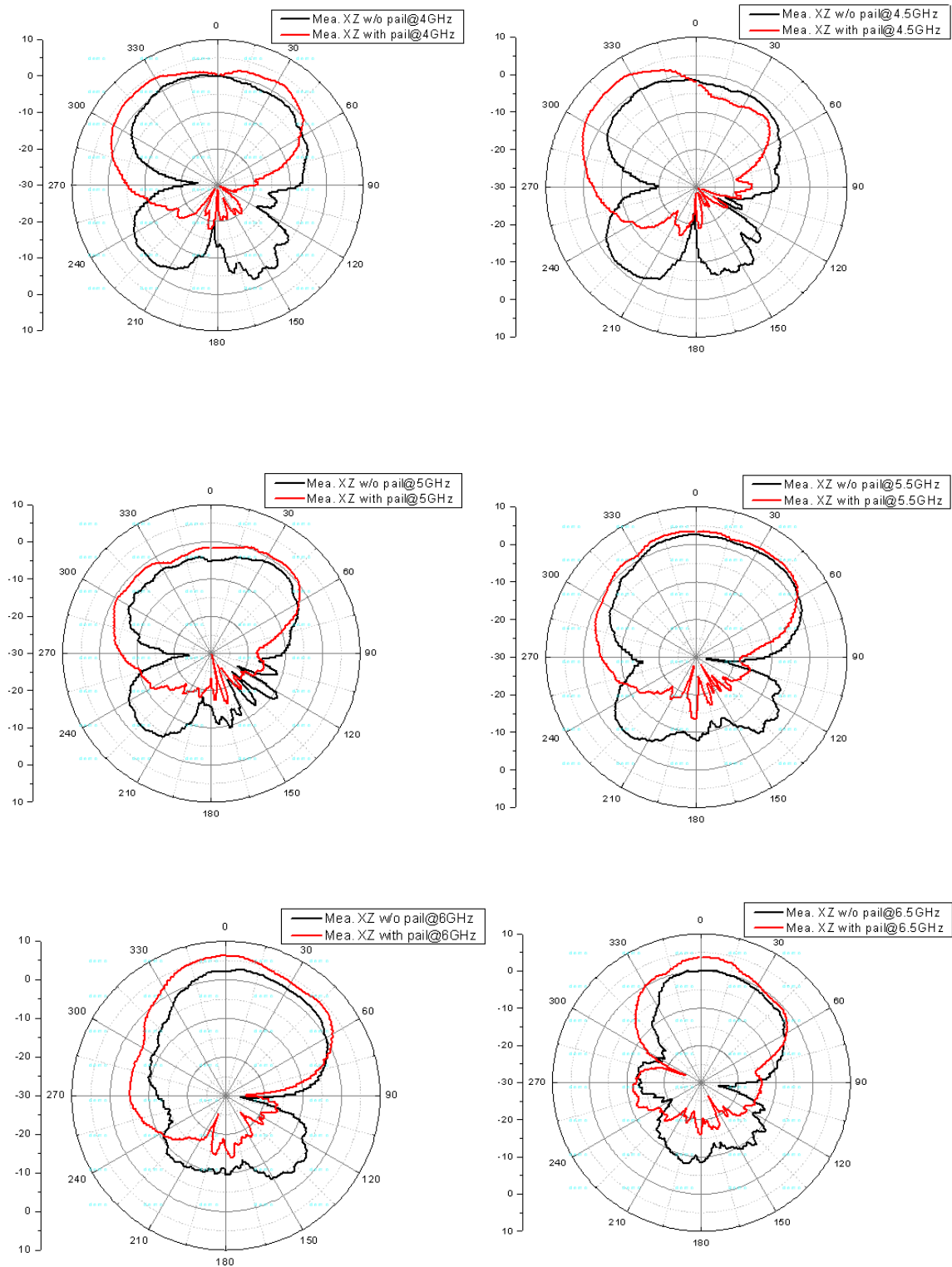


圖 13. DSA 天線之 xz 平面場型在自由空間與佩帶於水桶的比較

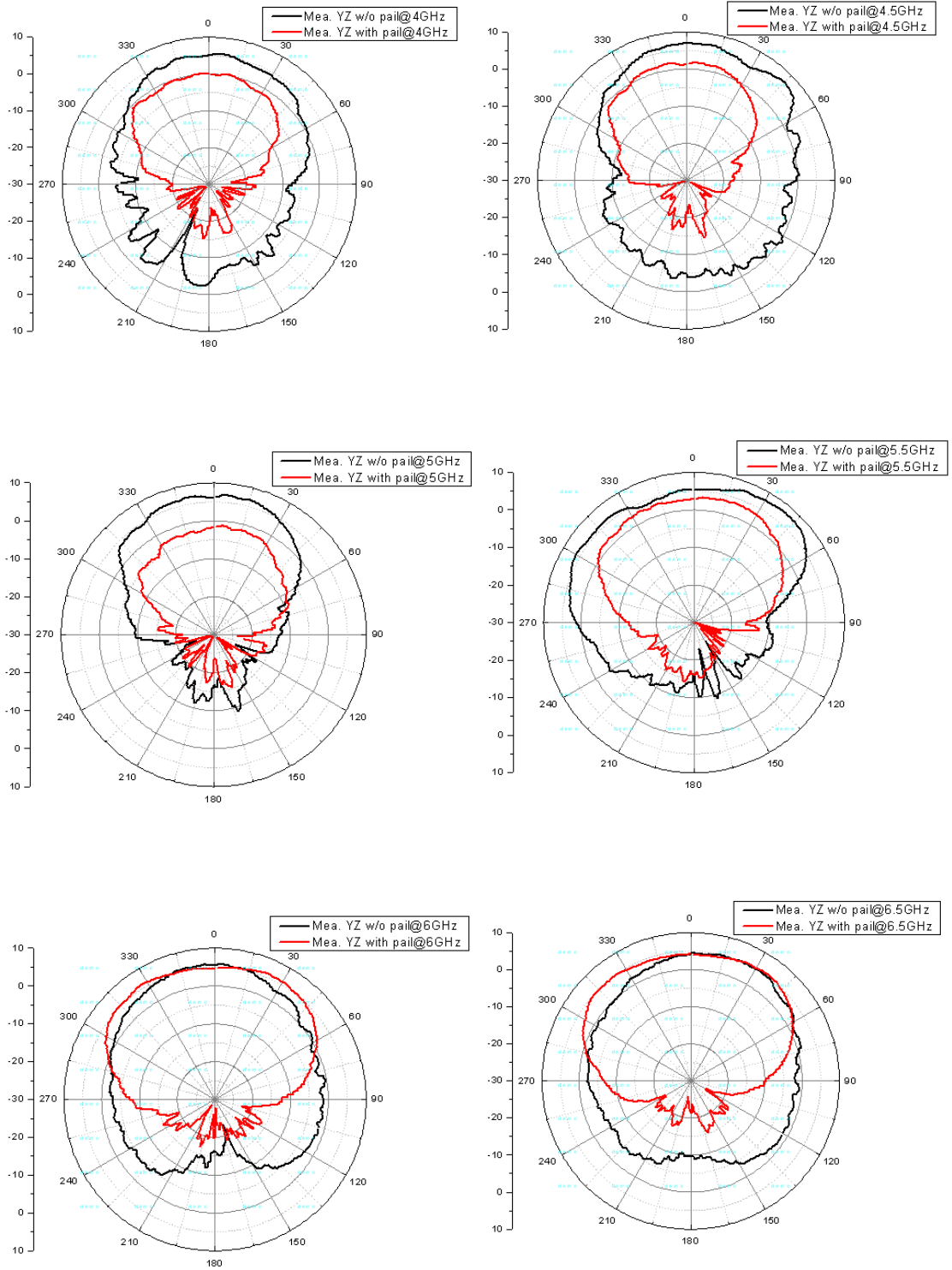


圖 14. DSA 天線之 yz 平面場型在自由空間與佩帶於水桶的比較

同樣地，PICA 天線場型的量測在電波暗室內以天線量測系統進行，PICA 的方位定義如圖 15 所示，PICA 天線 xy 平面場型的模擬結果與量測結果的比較如圖 16，xy 平面場型代表沿著身體表面傳播的能量，以此可以推估視線波與繞射波分量的大小。PICA 天線 yz 平面場型的模擬結果與量測結果的比較如圖 17，yz 平面場型可以看出往身體外面傳播的能量(0°)。在圖 16 以及圖 17 中顯示 PICA 基本上是類似 Monopole 天線，有著 Omnidirectional-like 的場型，同時因為 PICA 是較單純的平面結構，不需要額外的支撐結構，因此量測與模擬結果相當一致。圖 17 中仍可以看出 yz 平面場型為圓形，往身體外發射的強度(0°)與往身體內發射的強度(180°)是等量的，這裡必須特別注意的是，當佩帶 PICA 在人體上時，PICA 是貼著身體，而不是垂直於人體表面(實務上不可行)，因此天線在自由空間的 yz 平面為圓形，但佩帶在人體上時，朝身體方向的能量無法貢獻在通道上，因此僅剩一半平面場型，宛如變成方向性天線，這在下面佩帶於水桶的量測結果中可以看出。

如同在 DSA 的量測，必須觀測 PICA 天線佩帶於人體造成的場型變化，以利於對通道參數的分析，因為場型與通道性能息息相關。同樣地，在自由空間中(電波暗室)，每 0.5 GHz 量測一點 PICA 的場型，然後將天線佩帶於水桶上，同樣地，每 0.5 GHz 量測一次天線場型，結果如圖 18(xz 平面)與 19(yz 平面)所示(為節省篇幅，每 1 GHz 列出一圖形)，w/o pail 曲線表示天線中在自由空間的場型，with pail 曲線表示天線佩帶於水桶上的場型，從 xz 與 yz 平面都可以看出往身體外發射的強度(0°)，以及繞射至水桶後方(z 方向)的強度(180° ，因穿透水桶的能量理論上可忽略，因此其量得的強度乃來自於繞射)，從這些場型圖中可以看出水桶(模擬人體)對 PICA 天線的影響，基本上在部分的頻率，水桶會讓往身體外發射的強度降低，然而在部分的頻率，水桶並不會讓往身體外發射的強度降低，甚至加強了往身體外發射的強度，這也是我們要的結果。與 DSA 不同的是，DSA 為方向性天線，原本加裝反射板的設計，就是要降低身體對天線的影響，但不管在反射特性或是天線場型上，PICA 並沒有這樣設計，因此以 xz 與 yz 平面為例，有一半的場型受到很大的影響，而另一半仍具發射功能，變成類似方向性天線的場型。因此經過這一系列的測試，PICA 不管在反射特性與場型，依舊能適用於 BAN 的通道研究。

由於在本研究的 BAN 通道量測中，不論是在哪一個量測位置，發射與接收天線都在同一高度，因此天線往 y 方向發射的分量至為重要，不論在 DSA 或是 PICA 佩帶於水桶的場型中，若是發射與接收天線，在 y 方向的增益大小若比自由空間時降低 20 ~30 dB，就會貢獻在路徑損耗約 40~ 60 dB，因此不論是國際上發表的論文，或是本研究的量測結果，路徑損耗都

相當大，因此如何改善天線佩帶於人體時的特性，應會是 BAN 在研究上或是應用上一個重要的議題。

如同在 DSA 天線，下面的場型圖中，模擬與量測的場型比較，在此選擇 xy 與 yz 平面，而天線在自由空間與佩帶在水桶的場型比較，在此選擇 xz 與 yz 平面，因此 PICA 天線在自由空間中 xy 、 xz 與 yz 的場型，都已包含在下面的場型圖中。

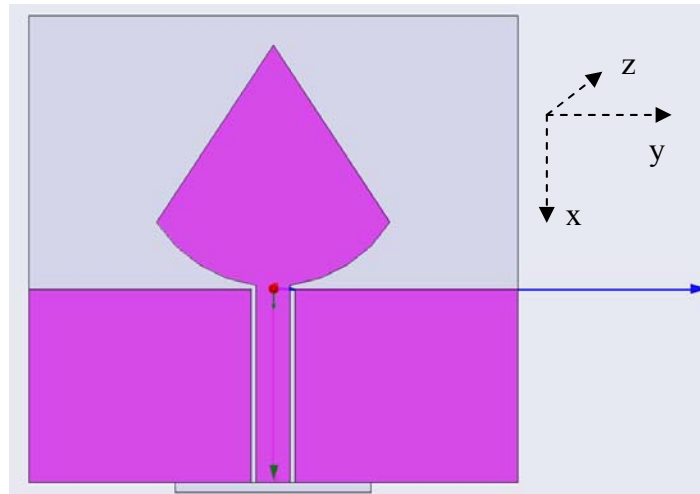
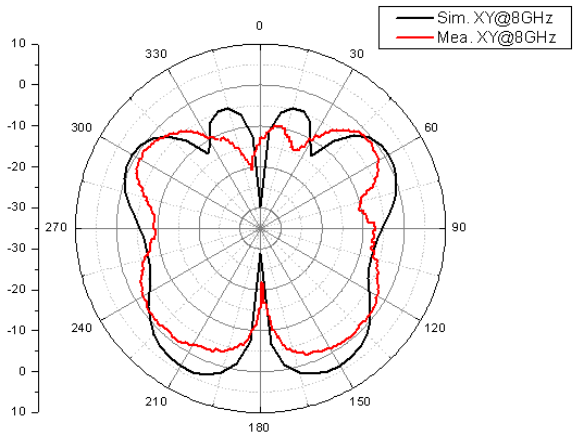
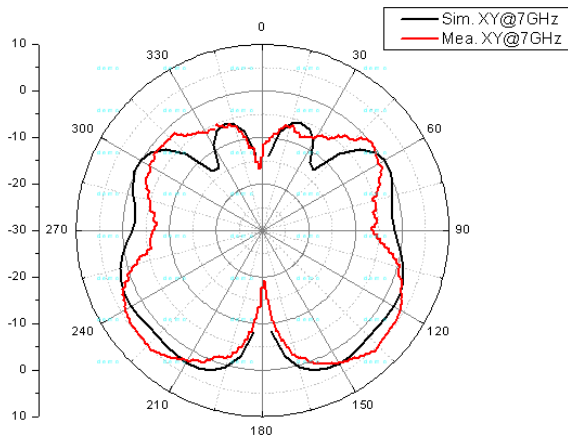
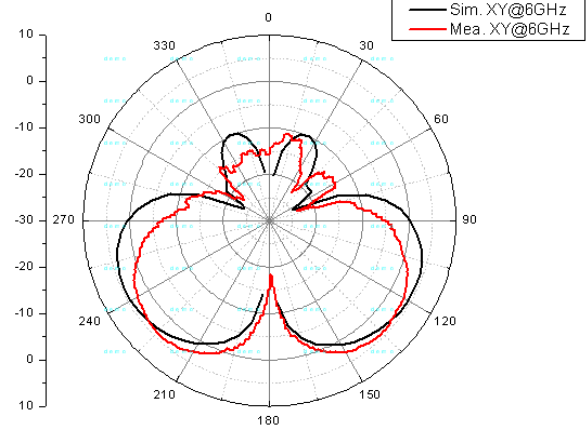
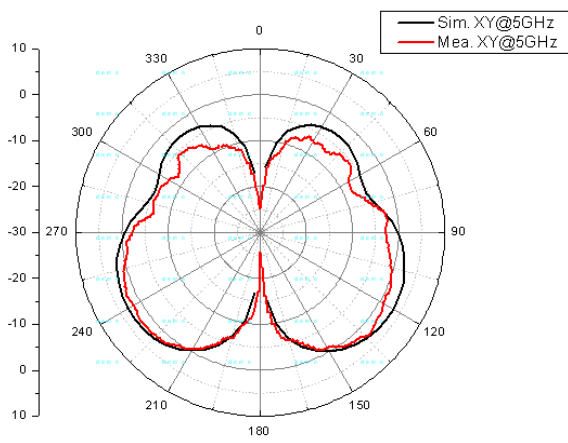
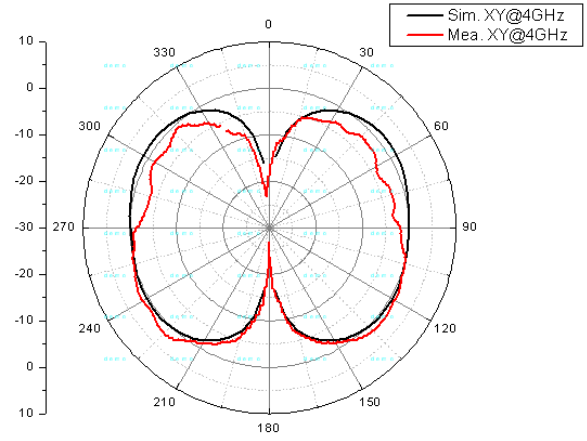
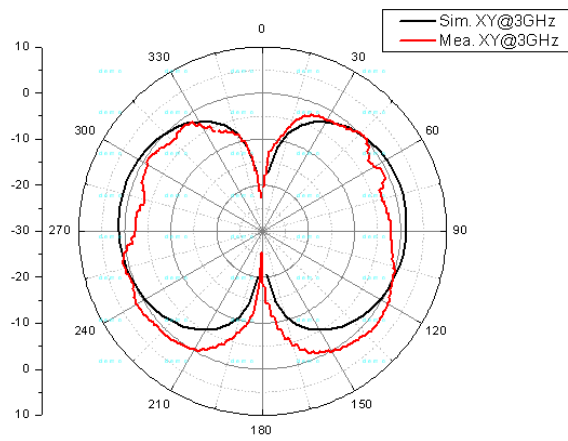


圖 15. PICA 天線之方位定義



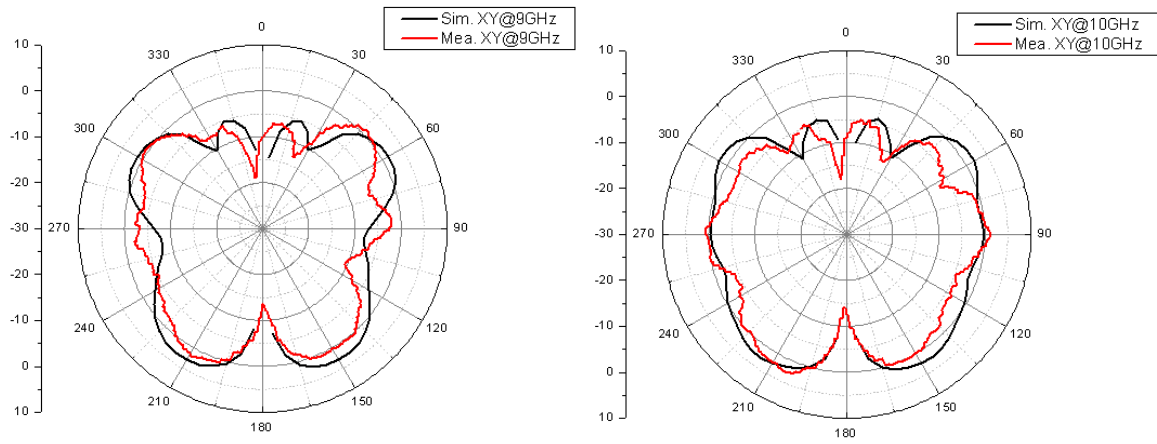
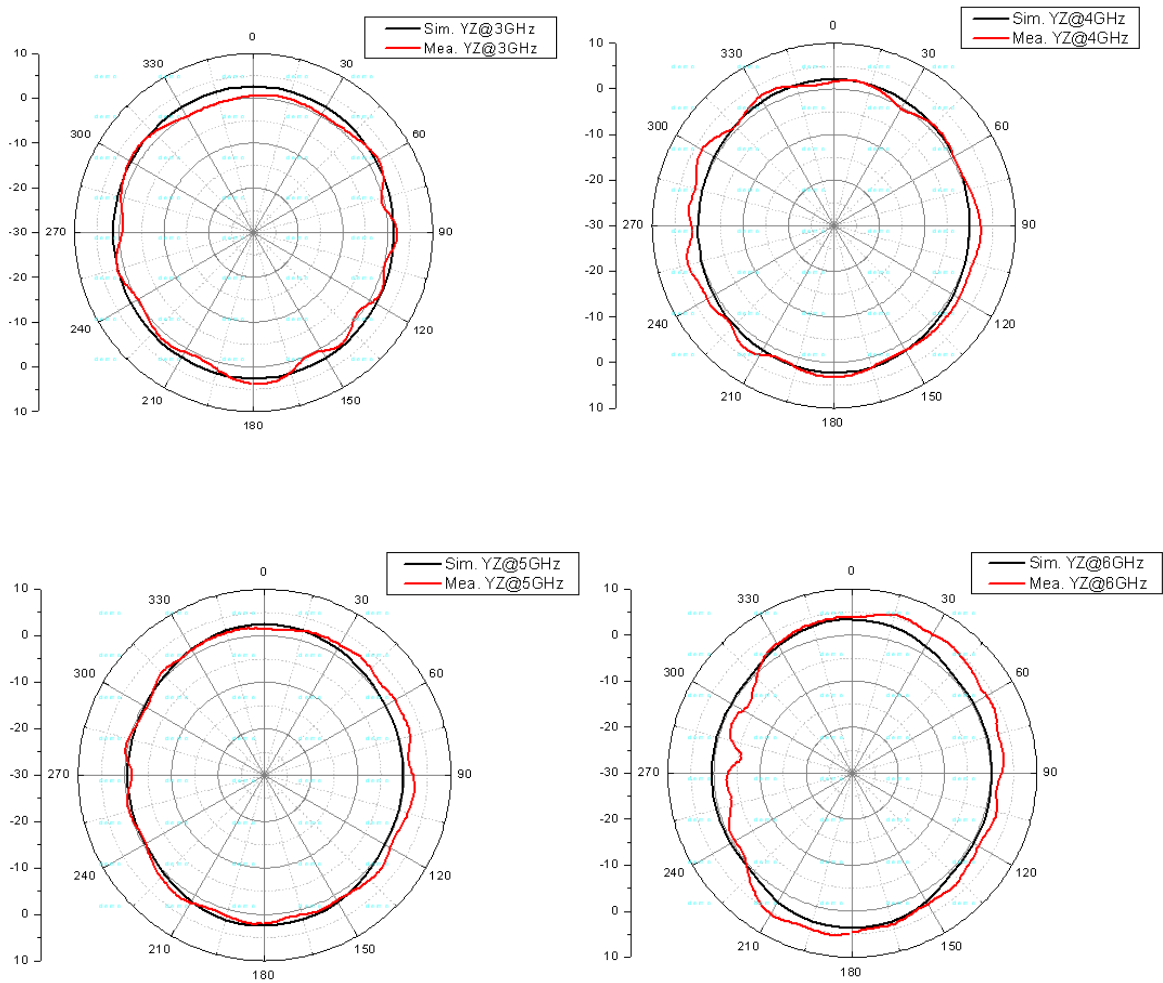


圖 16. PICA 天線之 xy 平面場型模擬與量測結果比較



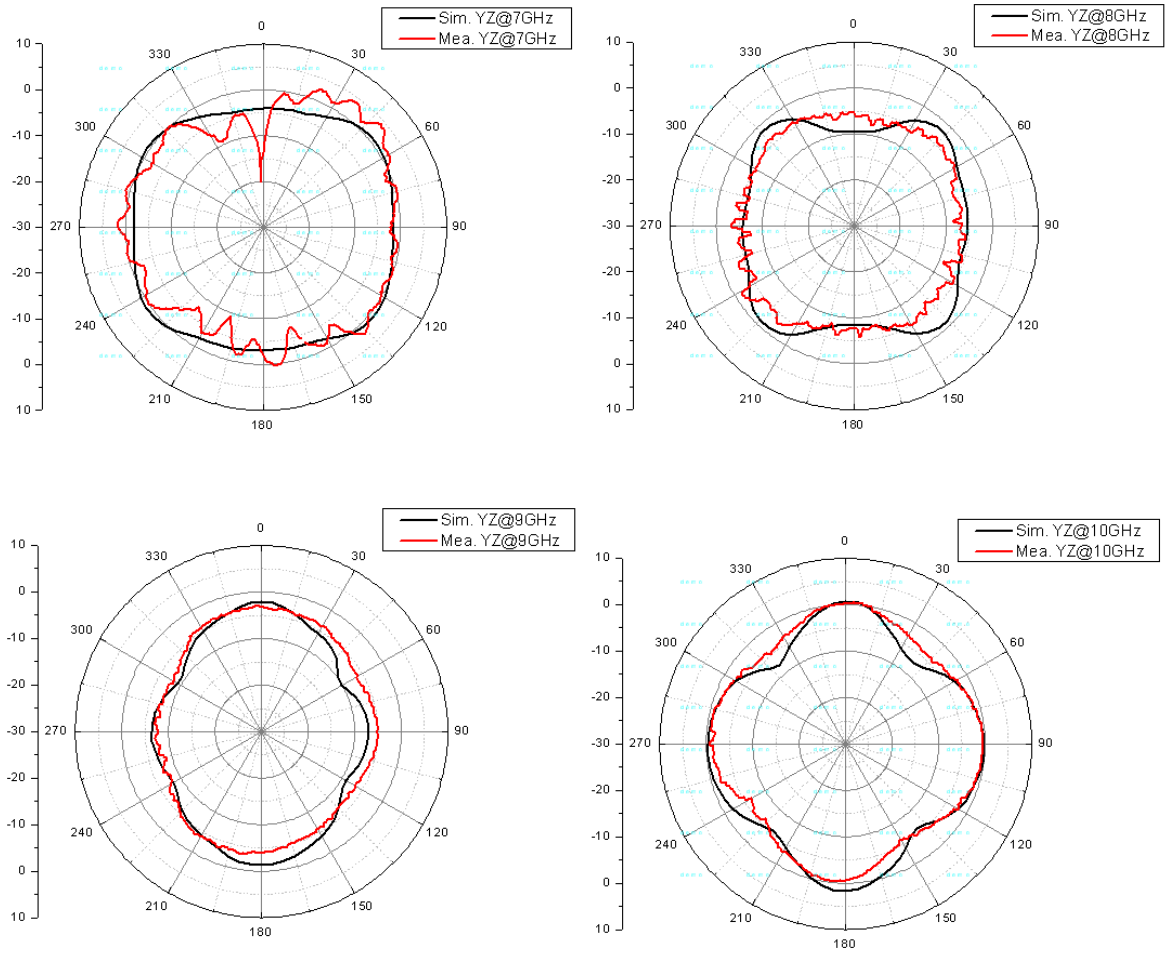
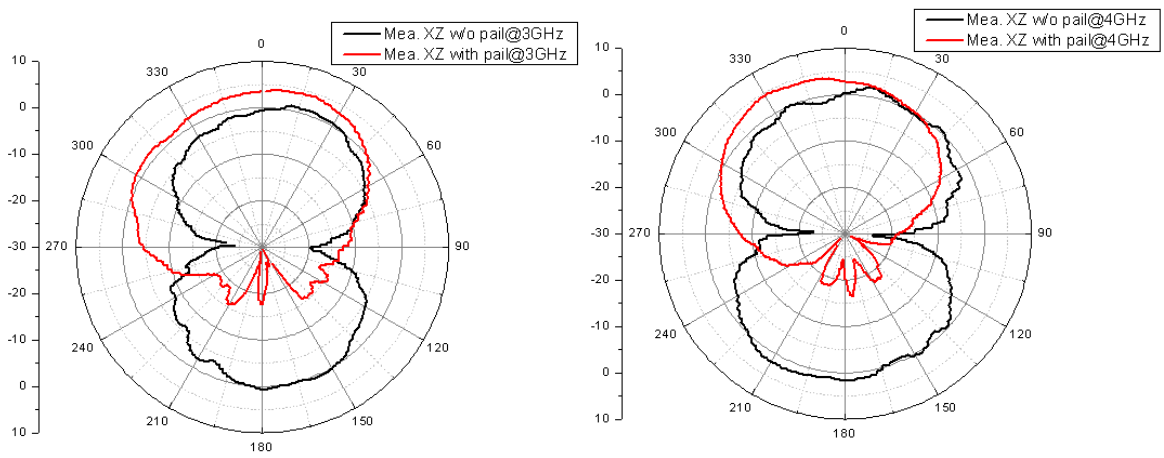


圖 17. PICA 天線之 yz 平面場型模擬與量測結果比較



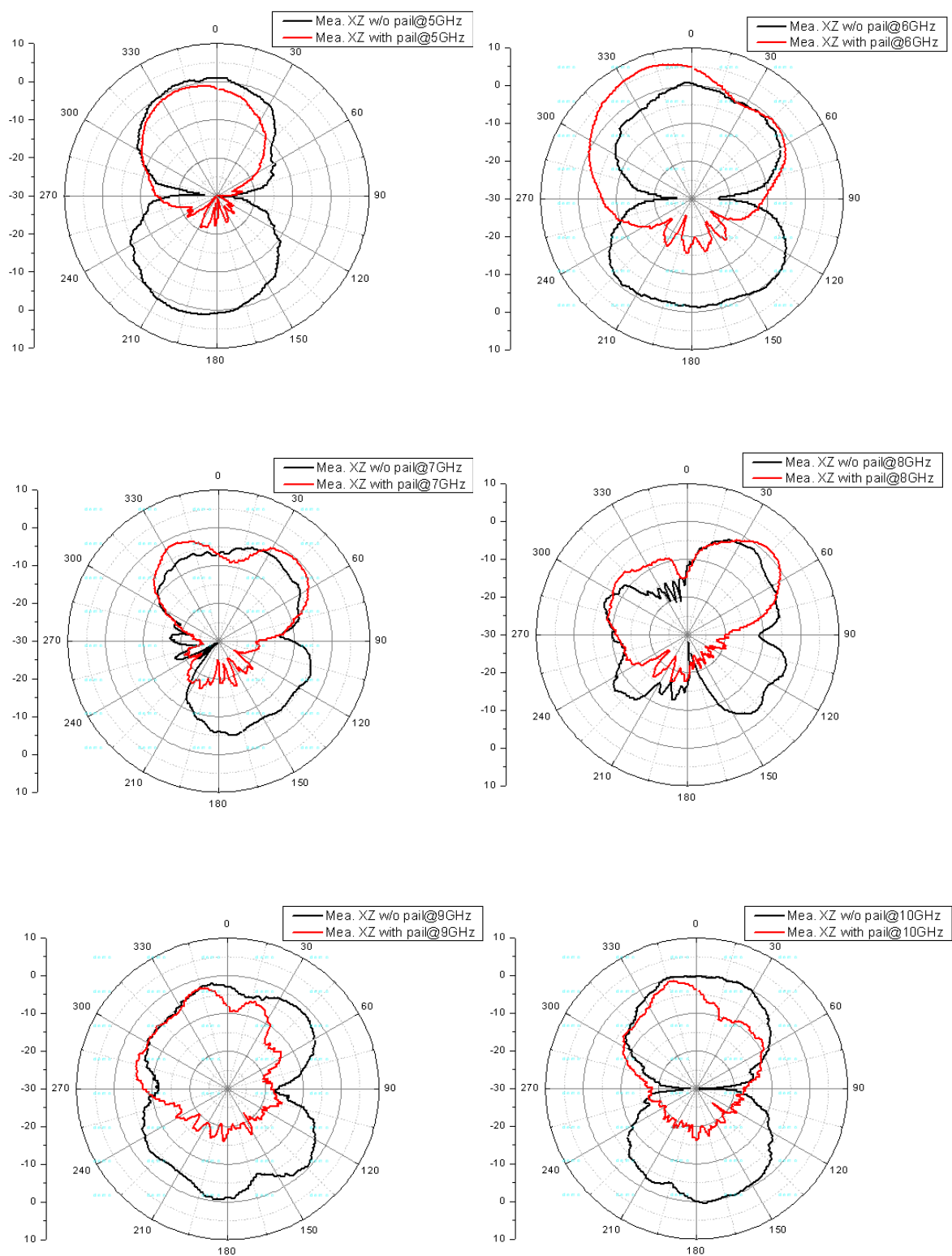
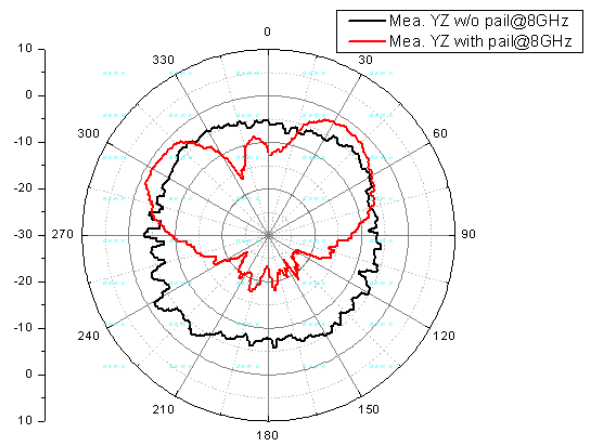
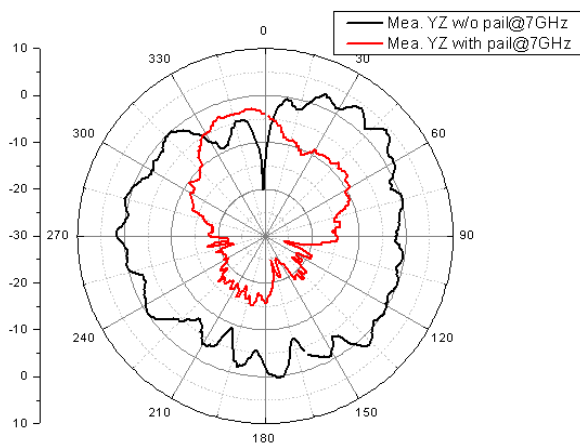
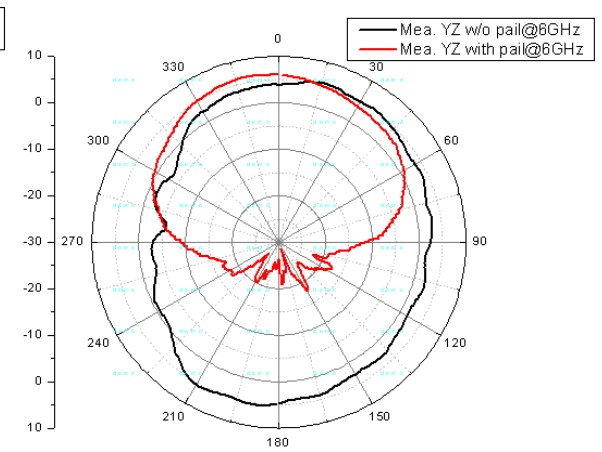
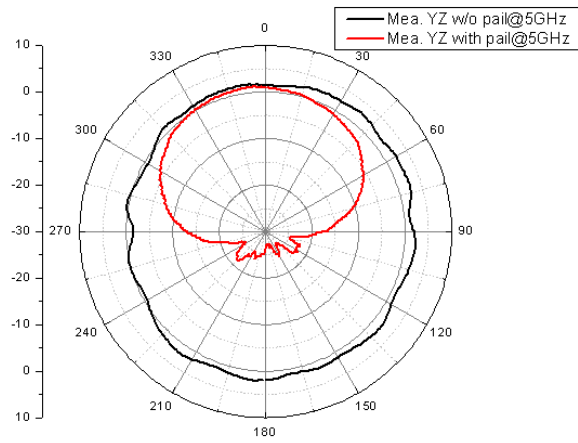
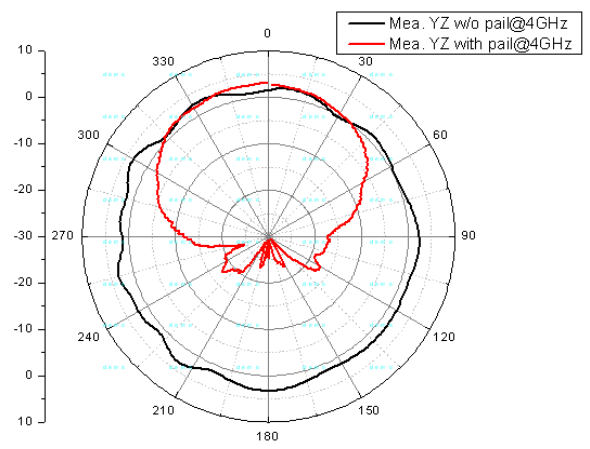
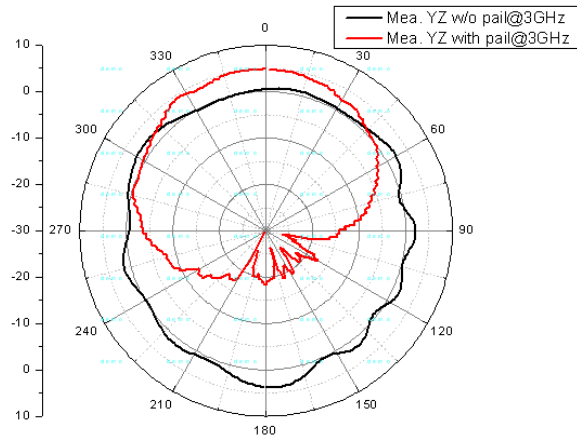


圖 18. PICA 天線之 xz 平面場型在自由空間與佩帶於水桶的比較



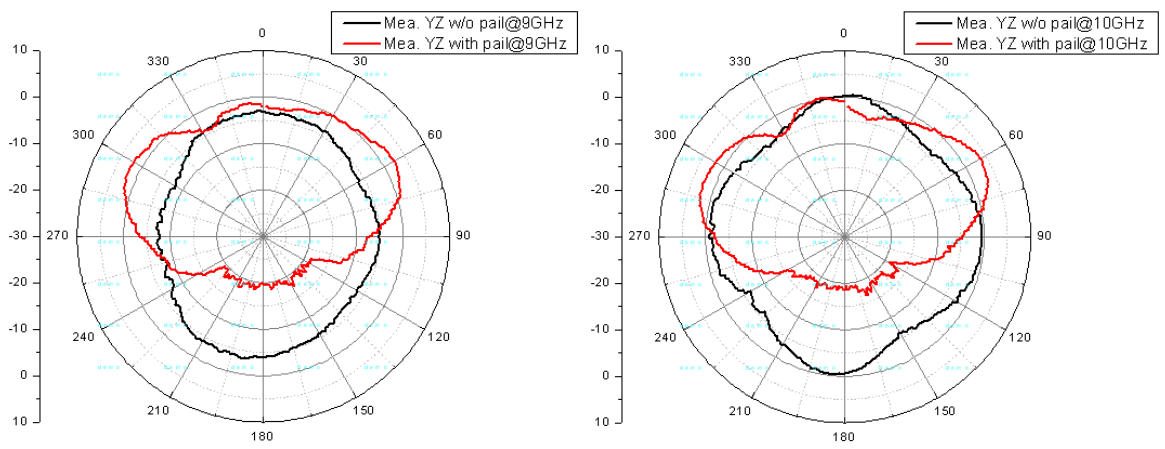


圖 19. PICA 天線之 yz 平面場型在自由空間與佩帶於水桶的比較

第三章 BAN 通道量測與分析

3.1. BAN 通道量測規劃

本計畫在電波暗室、辦公室與走廊等環境，在人體於靜態及動態的情況下，進行 BAN 通道特性的量測，俾使瞭解其特性後，有助於後續通道模型之建構。在電波暗室中由於沒有反射波，所以可以直接觀測訊號的繞射效應；辦公室有複雜的散射體，可以觀測各種散射現象；走廊沒有複雜的散射體，可以較清楚觀測地面或牆面的反射波。本計畫實際的量測地點為工四館 912 辦公室(實驗室)，工四館二樓走廊，以及借用 CMS 電波暗室。

本計畫以 Agilent 8719ET 向量網路分析儀執行通道的量測(量測 S21)，每次執行實測前，均對向量網路分析儀銜接天線的測試端進行校正。由於量測次數相當多，所得數據也相當龐大，因此網路分析儀由一程式控制，進行自動化量測與數據擷取。

收發天線在人體的量測位置，以及實測圖如下圖所示。首先，在人體腰部以上每 5 公分取一測試平面(腰部至胸部)，每一平面在固定發射天線下，自距離發射天線 5 公分開始，每 5 公分取一個量測點，置放接收天線，繞身體一圈約可取 12 個量測點，天線與身體之間除了衣物外，還隔著一條魔鬼氈，魔鬼氈的用途為固定發射與接收天線，其好處是可以輕易的變換接收天線的位置。接收天線在人體不同位置，可以觀測到不同的傳播方式，比如，當收發天線在人體同一側時可以研究視線波(LOS)，而在不同側時，可以研究非視線波(NLOS)的傳播。

為分析環境對通道的影響，在辦公室與走廊各取 3 個量測區(Location)，並於每一量測區，在兩天線距離固定下，移動身體位置與方位，量測 25 次。因此基本的量測次數總共有：

$$6*12*25*2(2 \text{ 種天線})*7(1+3+3=7 \text{ locations})=25200 \text{ 次}$$

又每次量測時網路分析儀設定取 801 個頻率點，因此共有超過 2 千萬筆資料，即使使用電腦分析，實際上在數據處理上耗費相當多時間，這些還不包括因故重複量測，以及為更加了解通道而新增量測項目的部分。

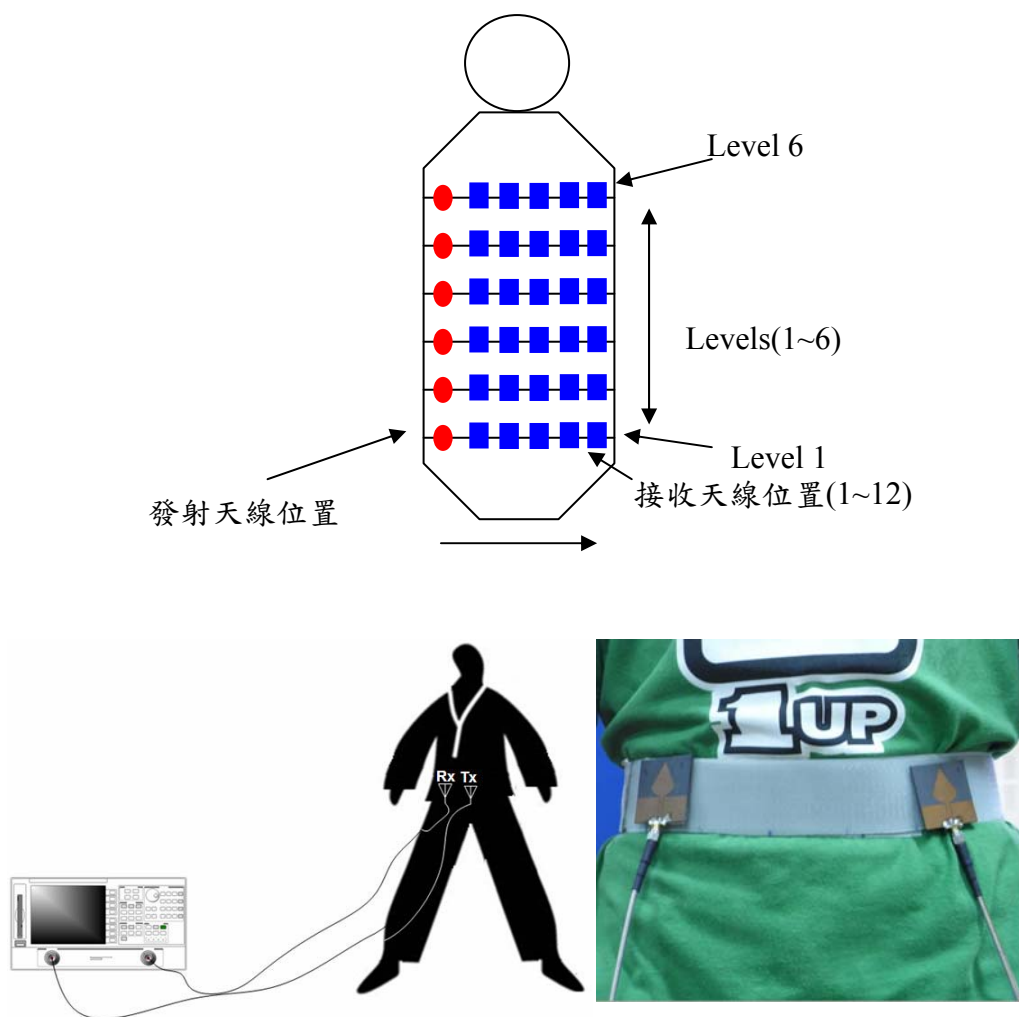


圖 20. 發射與接收天線佩帶位置示意圖(上)與實際測試佩帶圖(下)

為了方便後續的分析，以下定義網路分析儀的每一個讀值以 $S_{21}(\text{Level}(1\sim6), \text{Position}(1\sim12), 5 \text{ 至 } 60 \text{ 公分}), \text{Measurement}(1\sim25), \text{Frequency}(801))$ 表示，為簡化起見，以 $S_{21}(L, P, M, F)$ 表示，若取平均值，因無法在參數上加線，因此選擇在參數下加底線，比如 $S_{21}(L, P, M, \underline{F})$ 意指網路分析儀的一次量測中，將所有頻率的讀值取平均後的結果。

3.2. BAN 通道路徑損耗模型

路徑損耗的完整理論模式可以表示為[6]:

$$PL(d, f) = \frac{P_r(d, f)}{P_{TX}} = \frac{1}{2} PL_0 \eta_{TX}(f) \cdot \eta_{RX}(f) \frac{(f / f_0)^{-(2\kappa+1)}}{(d / d_0)^n} \quad (1)$$

其中 η_{TX} 與 η_{RX} 分別為發射與接收天線的天線效率(Antenna Efficiency)。上式中可以看出傳輸路徑損耗與其訊號頻率相關(Frequency Dependent)，若不考慮天線效率，參考資料[19]提出距離與頻率分離的簡易模型，路徑損耗可分為 Distance Dependence 與 Frequency Dependence 兩部分：

$$PL(f, d) = PL(f)PL(d) \quad (2)$$

其中 Distance Dependence 路徑損耗為，

$$PL(d) = PL_0 + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (3)$$

n 為傳輸指數(Propagation Exponent)， d 為兩天線距離， d_0 為參考距離， PL_0 為在參考距離之路徑損耗。又 Frequency Dependence 的路徑損耗為，

$$\sqrt{PL(f)} \propto f^{-\kappa} \quad (4)$$

若根據各個頻率點的 S21 的量測結果，進行數值分析求出 n 以及 κ ，可以建立完整的路徑損耗模型。然而，從蒐集到的論文或資料中尚未有採用此模型的論文。在我們完成 BAN 量測並進行分析時，發現 S21 隨頻率的變化很大，原因之一為電磁波在近身傳播時，部分電磁波會被人體吸收而損耗，而損耗的程度與頻率相關。而另一原因則是天線場型與頻率相關。這些因素造成 S21 隨著頻率有很大的變動，因此無法用一個簡單的指數 κ ，來描述路徑損耗與頻率的關係。另外。此模型未被廣泛採用的原因，可能是一般傳輸環境比自由空間複雜太多，無法以一個單純的式子描述頻率相關的路徑損耗。

另外，在式(1)中的天線效率，常見的量測方法是在電波暗室中(模擬自由空間)，在一定距離下架設兩天線，一支為參考天線(已知天線特性，比如天線因子或是增益)，另一支為待測天線，再以網路分析儀量測發射天線接頭與接收天線接頭之間的損耗，由於天線距離可以準確量得，而且電磁波在自由空間的傳播特性(傳播功率與傳播距離平方成反比)為既知(Well-known)，再加上參考天線的特性也已知，因此以 Friis law 就可以計算出待測天線特性。然而，當天線用於 BAN 時，其天線效率在實際上是無法決定的，因為當天線貼近人體時，參考天線的特性，已與在自由空間中的不同，而在近身的空間，電磁波的傳播特性也不再是既知，因此目前尚無法量測貼近人體時的天線效率。

以網路分析儀量測發射天線接頭與接收天線接頭之間的損耗時，其結果如式(1)，包含了天線的效應，但如上所述，BAN 的天線效率無法量得，以至於無法自式(1)中將天線效率分離出來。因此 BAN 通道的路徑損耗量測結果，與所使用的天線相關(Antenna Dependent)，使用不同的天線，須建立其專屬的路徑損耗參數。由上述的分析，加上遮蔽(Shadowing)效應，最後以下式描述 BAN 的路徑損耗[6]:

$$PL(d) = PL_0 + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + S \quad (5)$$

在後續的量測結果分析中，將以此模型描述 BAN 通道的路徑損耗，其中遮蔽 S 為高斯分布的隨機變數(Gaussian-distributed Random Variable)，平均值為零，一般以標準差 σ_s (Standard Deviation)描述。注意，根據式(1)的定義， PL_0 與 n 值為負值，但一般習慣還是以正值表示。

在執行量測時，接收天線於同一位置量測 25 次，而網路分析儀的量測頻率點設定為 801 點，因此以下式表示第 l 平面第 p 量測位置距離 d 的平均路徑損耗:

$$PL_{lp}(d) = \frac{1}{MN} \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left| H_j^{(d)}(f_i) \right|^2 \quad (6)$$

在此 $M=25$ ， $N=801$ ，而 H 表示轉換函數(transfer function)，即 S_{21} 。若以本研究的定義，上式即為 $S_{21}(L, P, \underline{M}, \underline{F})$ 。

3.3. DSA 路徑損耗分析

如前所述，因通道模型與天線相關，因此以下對不同的天線進行模型分析建立。

下圖為 DSA 在電波暗室中，在不同平面量測結果($S_{21}(L, P, \underline{M}, \underline{F})$)的比較。橫軸為兩天線之間距，縱軸為路徑損耗，取負值，越低表示損耗越大。中間損耗最大處為當接收天線置於背後時(約 35 公分處)，之後雖然間距越大，其實接收天線已繞半圈，越來越接近發射天線，因此損耗越來越小。DSA 為方向性天線，能量往人體外發射，但在電波暗室中無反射波，僅靠繞射波，因此間距越大，損耗快速增加。下圖中也可以看出，不同平面的損耗雖有不同，但並沒有依序，比如 $level\ 1 > level\ 2 \dots > level\ 6$ ，因此 level 與損耗沒有一定關係。而各條曲線的斜率則接近，這代表傳輸指數 n 在不同的平面是相近的，這是因為在電波暗室內沒有反射波存在，不同平面的電磁波，實際上都是通過沿著身體的路徑，身體的路徑很短，變化也不大，

因此 n 值相近是相當合理的。根據實測時發現，因人體不是剛性結構，每次佩帶天線時，天線與身體的相關位置(比如距離)會有些許差異，造成量測結果的變化，因此 level 間的量測結果不同，部分應是受此一因素的影響。量測再現性對路徑損耗的影響，在後續的分析中，會歸於遮蔽效應中。

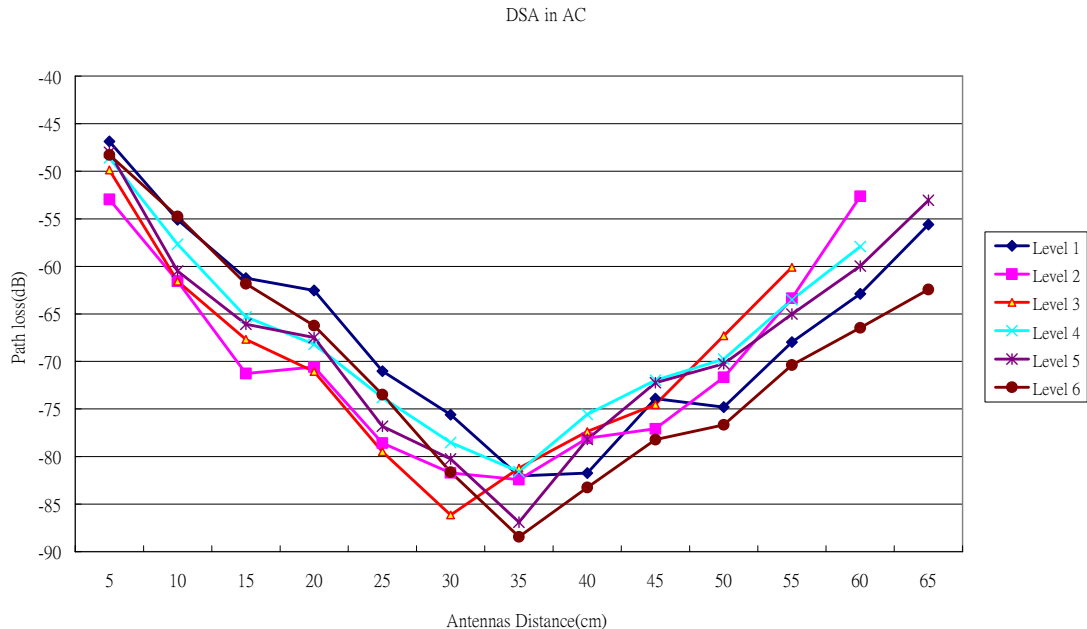


圖 21. 使用 DSA 天線，在電波暗室中不同平面的量測結果比較

下兩圖為 DSA 在辦公室與走廊，各在一個量測區中，不同平面量測結果 $S_{21}(L, P, M, F)$ 的比較，橫軸為兩天線之間距，縱軸為路徑損耗，同樣地，中間路徑損耗最大處為約在 35 公分附近。辦公室與走廊的環境存在散射體，因此會有散射波的分量，而且在量測時要求佩帶天線的測試者，必須在每一量測區，於移動身體位置與方位下，量測 25 次，因此量測結果的變動會較大。改變身體位置的主要目的在於感受不同的散射波，以建立較實際的通道模型。相對而言，在電波暗室中因沒有來自環境的散射波，因此要求佩帶天線的測試者保持一定姿勢，不必移動身體，量測結果的變動也會較小。

下兩圖中也可以看出，不同平面的路徑損耗雖有不同，但並沒有依序，因此 level 與損耗沒有一定關係。圖中超過 35 公分後不同平面的路徑損耗，變動較大，原因可能是量測時有要求測試者的左手保持一定位置，以方便結果比較，但並沒有特別要求右手，因此造成變異較大，這裡也可以看出身體對通道量測有很大的影響。

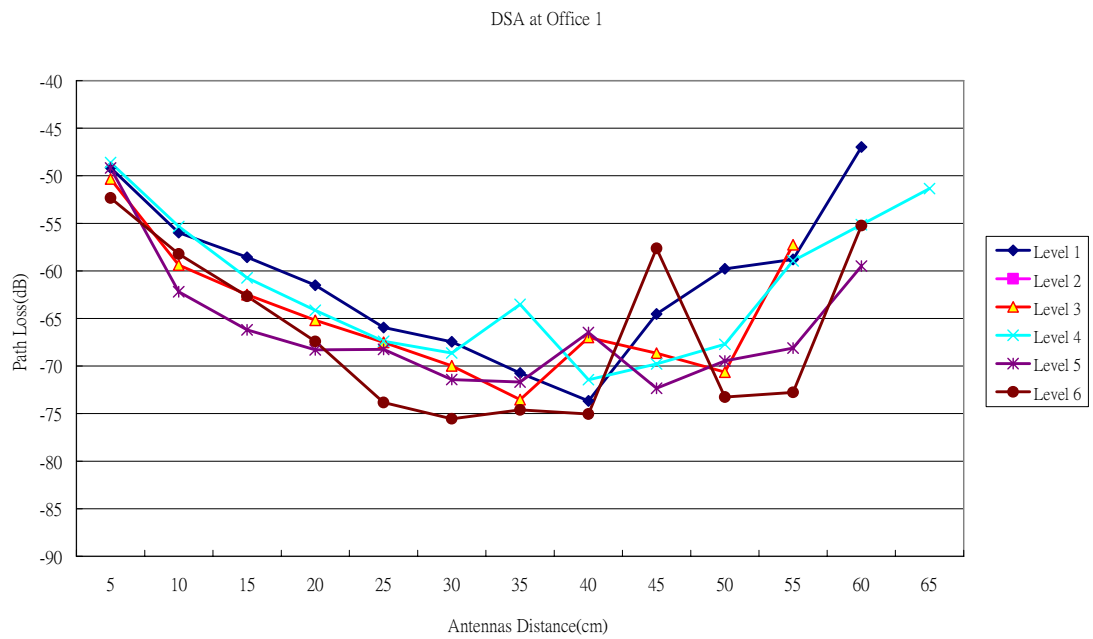


圖 22. 使用 DSA 天線，在辦公室中不同平面的量測結果比較

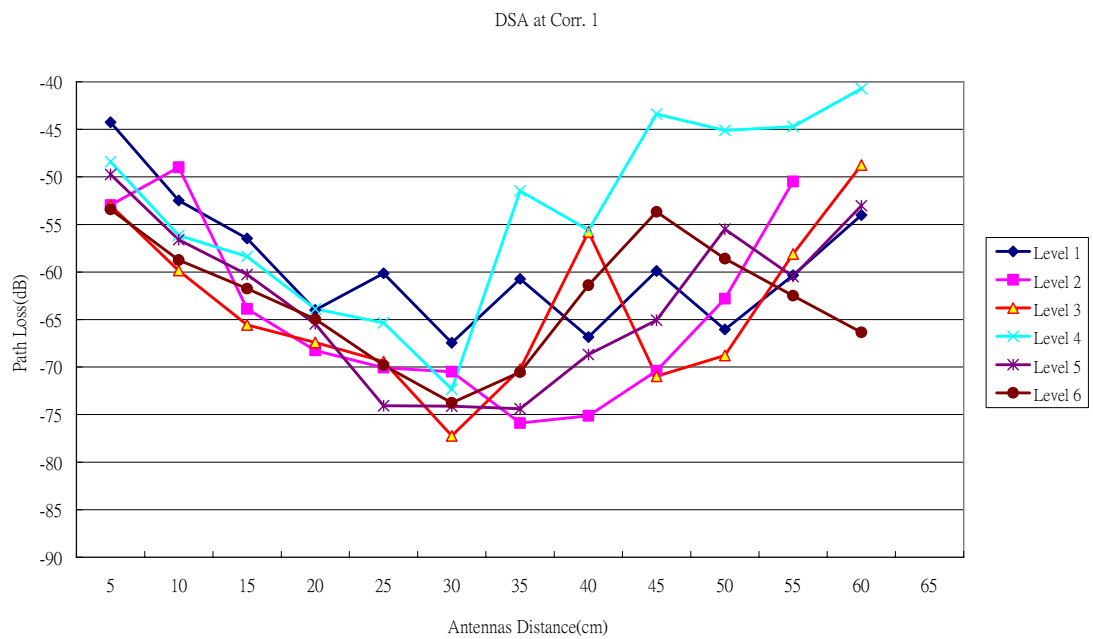


圖 23. 使用 DSA 天線，在走廊中不同平面的量測結果比較

下圖將 DSA 在電波暗室中、辦公室與走廊所有量測區之量測結果 $S_{21}(L, P, M, F)$ 做比較，每一條曲線為該量測區所有平面的平均，因此每一量測區僅以一曲線表示，總共有電波暗室一點，辦公室三點以及走廊三點。圖中 DSA_AC_avg 的曲線表示在電波暗室的量測結果，很明顯的因為沒有散射波，路徑損耗明顯比其他量測區還要大。至於在辦公室與走廊的比較中可以看出，兩者差異不大，過了圖中間，在間距較大的量測結果，顯示出辦公室的損耗比走廊大，原因可能是因走廊不寬，測試者可能太接近牆面，因而有較大的反射波。

對於其他的無線電通道，因辦公室與走廊的散射環境不同，因此在這兩種環境，通道的特性有明顯的區別。但對於 BAN 而言，電磁波並沒有通過辦公室或走廊，而只是‘感受’到其散射效應，因此不管是辦公室或走廊，只要散射體與測試者的距離差不多，其量測結果也就會相近，這是 BAN 與其他無線電通道一個重要的差異，這一點在後面會再加以探討。

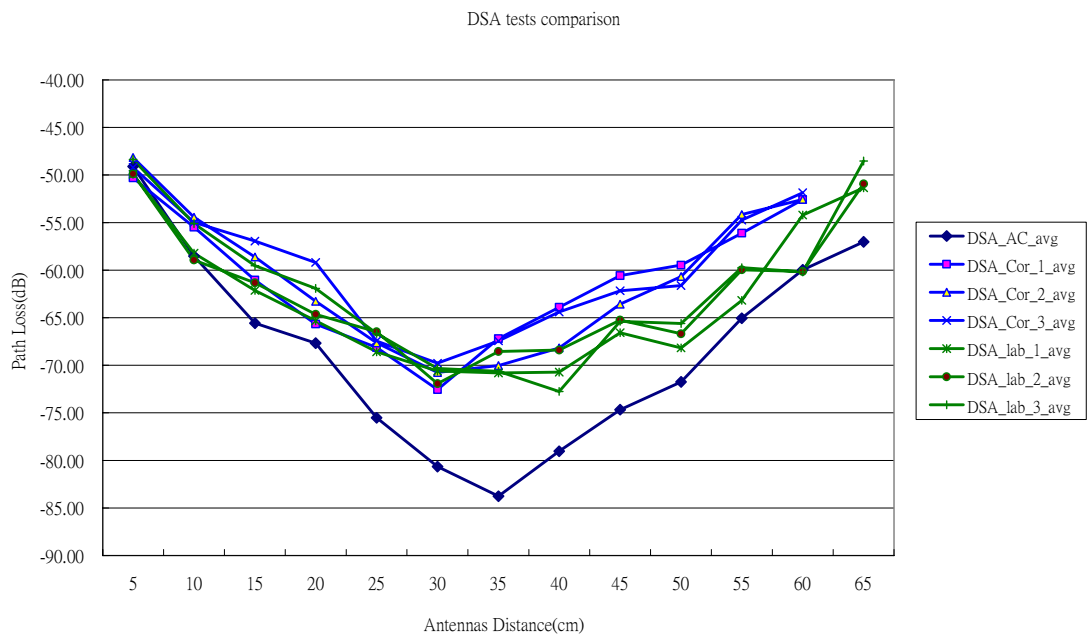


圖 24. 使用 DSA 天線，在所有量測區的路徑損耗量測結果比較

3.4. PICA 路徑損耗分析

下圖為 PICA 在電波暗室中，在不同平面量測結果($S_{21}(L, P, M, F)$)的比較。與 DSA 相較，PICA 在電波暗室中的變異較大，原因應是 PICA 天線與身體之間沒有反射板，因此天線與身體之間的距離變化，會明顯影響天線的特性，進而影響路徑損耗。下圖中也可以看出，不同平面的損耗雖有不同，但並沒有依序，比如 $level 1 > level 2 \dots > level 6$ ，因此 level 與損耗沒有一定關係。同樣地，即使每條曲線的大小有明顯的差異，但各條曲線的斜率

則接近，這代表傳輸指數 n 在不同的平面是相近的，同樣的道理，這是因為在電波暗室內沒有反射波存在，不同平面的電磁波，實際上都是通過沿著身體的路徑，身體的路徑很短，變化也不大，因此 n 值相近是相當合理的。

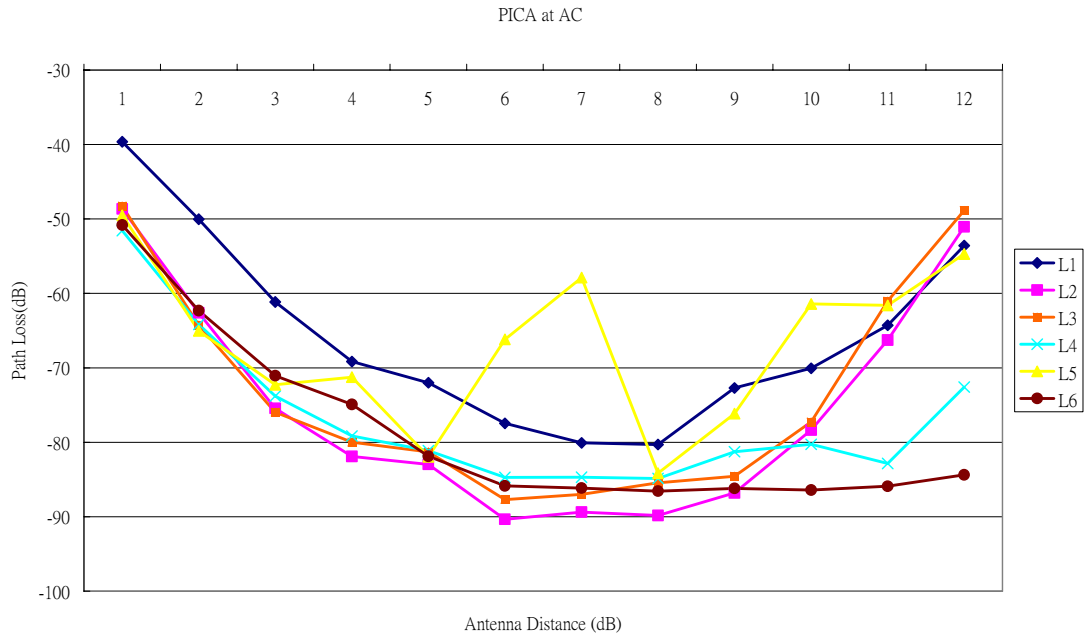


圖 25. 使用 PICA 天線，在電波暗室中不同平面的量測結果比較

下兩圖為 PICA 在辦公室與走廊，各在一個量測區中，不同平面量測結果 $S_{21}(L, P, \underline{M}, E)$ 的比較，與在電波暗室的比較，路徑損耗明顯比較小。

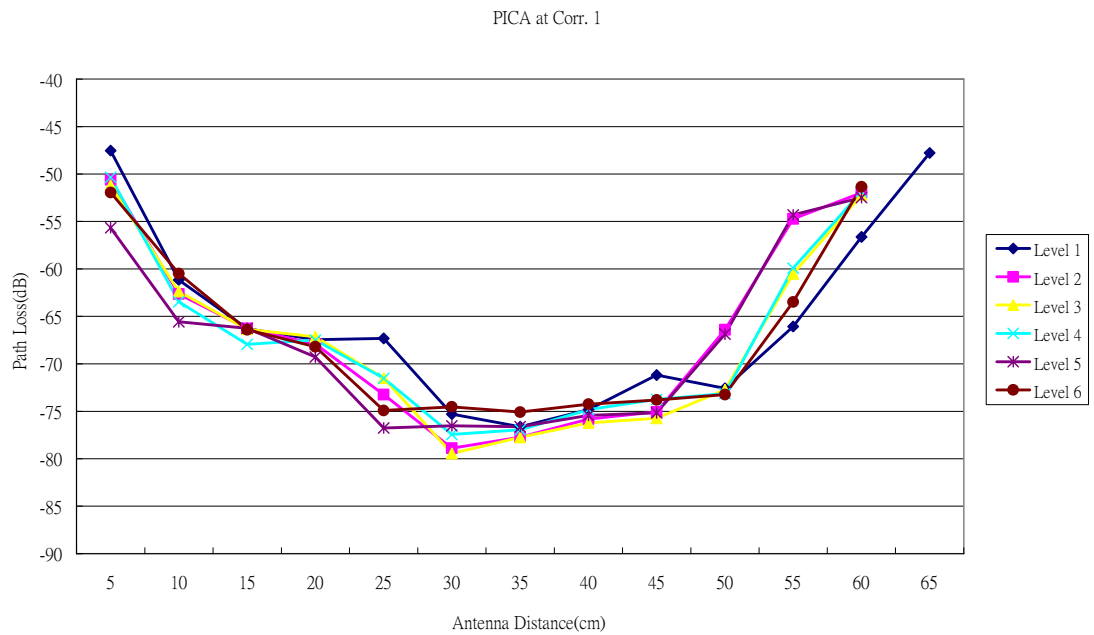


圖 26. 使用 PICA 天線，在辦公室一個量測區中不同平面的量測結果比較

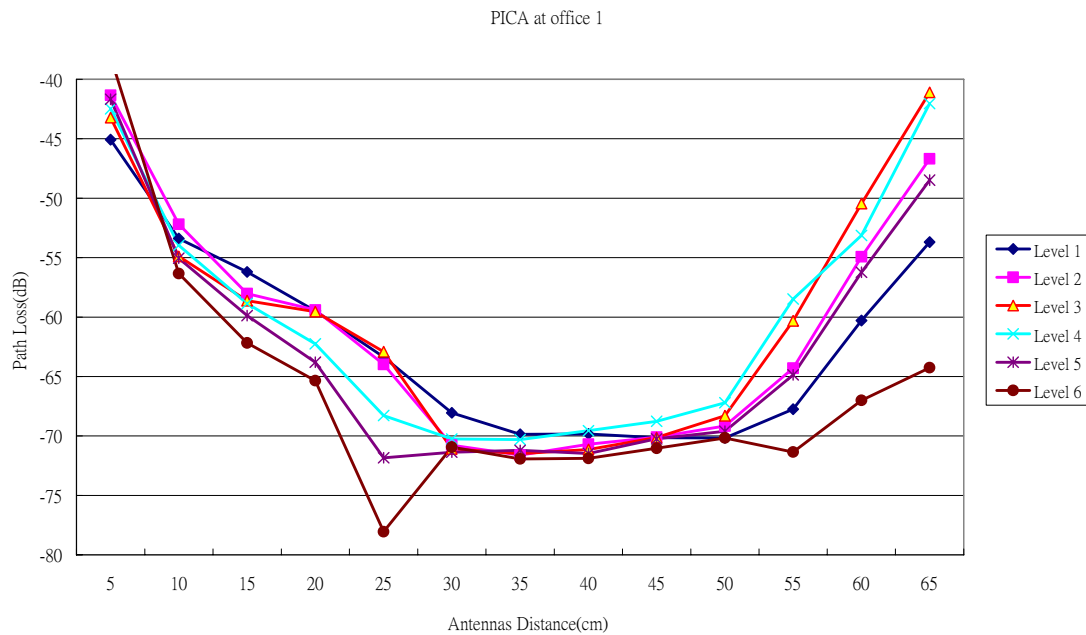


圖 27. 使用 PICA 天線，在走廊一個量測區中不同平面的量測結果比較

下圖將 PICA 在電波暗室中、辦公室與走廊所有量測區之量測結果 $S_{21}(L, P, M, F)$ 做比較，每一條曲線為該量測區所有平面的平均，因此每一量測區僅以一曲線表示，總共有電波暗室一點，辦公室三點以及走廊三點。圖中 PICA_AC_avg_new 的曲線表示在電波暗室的量測結果，很明顯的因為

沒有反射波，因此路徑損耗明顯比其他地點還要大。至於在辦公室與走廊的比較中可以看出，兩者有一個差距，辦公室比走廊有較小路徑損耗，原因應是辦公室比走廊有更複雜的散射體，散射波較大，因此路徑損耗較小。圖中可以發現，不論量測地點是在辦公室或是走廊，其三個量測區的量測結果非常接近，主要原因應是在量測時，測試者在兩天線固定了一個距離下，完成 3 個量測區的量測後，再將接收天線拆下，固定在下一個量測距離，比如，天線原固定在 10 公分的距離，在完成辦公室三個量測區的量測後，再將接收天線拆下，固定在 15 公分，再重複進行辦公室三個量測區的量測。因此在同一地點，不同的量測區，同一天線距離的量測過程中，天線的位置都沒有變動，因此少了因天線位置不同，所造成的量測結果變動。

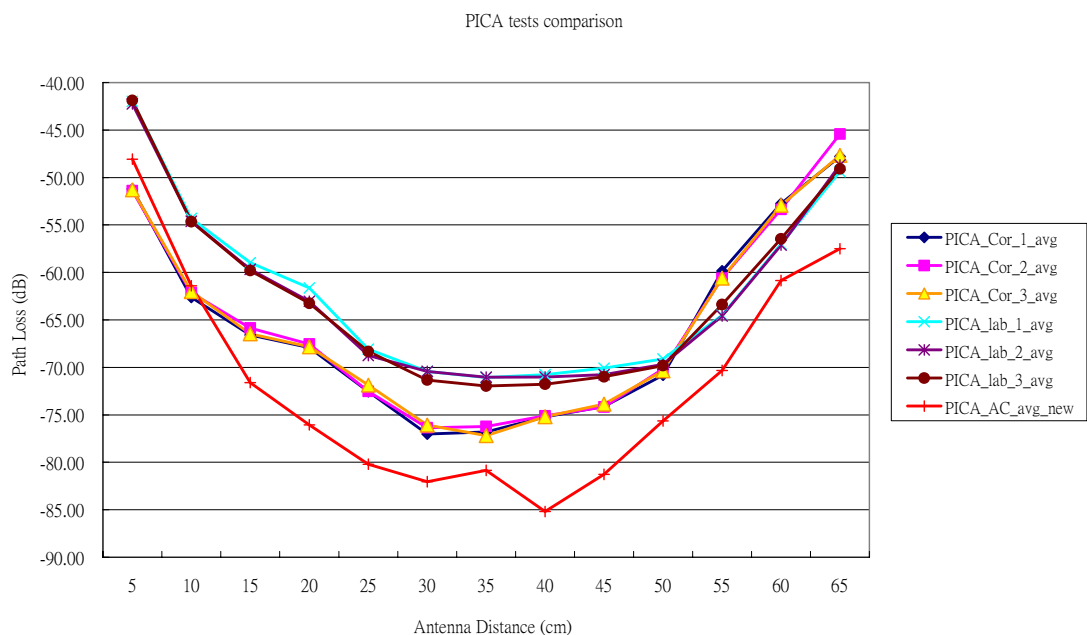


圖 28. 使用 PICA 天線，在所有量測區的路徑損耗量測結果比較

下圖將 DSA 與 PICA 在所有量測區的量測結果比較，其中實線為 DSA 的量測結果，不論 DSA 與 PICA 在電波暗室的路徑損耗最大，DSA 在辦公室與走廊，與 PICA 辦公室的路徑損耗相近，PICA 走廊的路徑損耗則明顯較大。

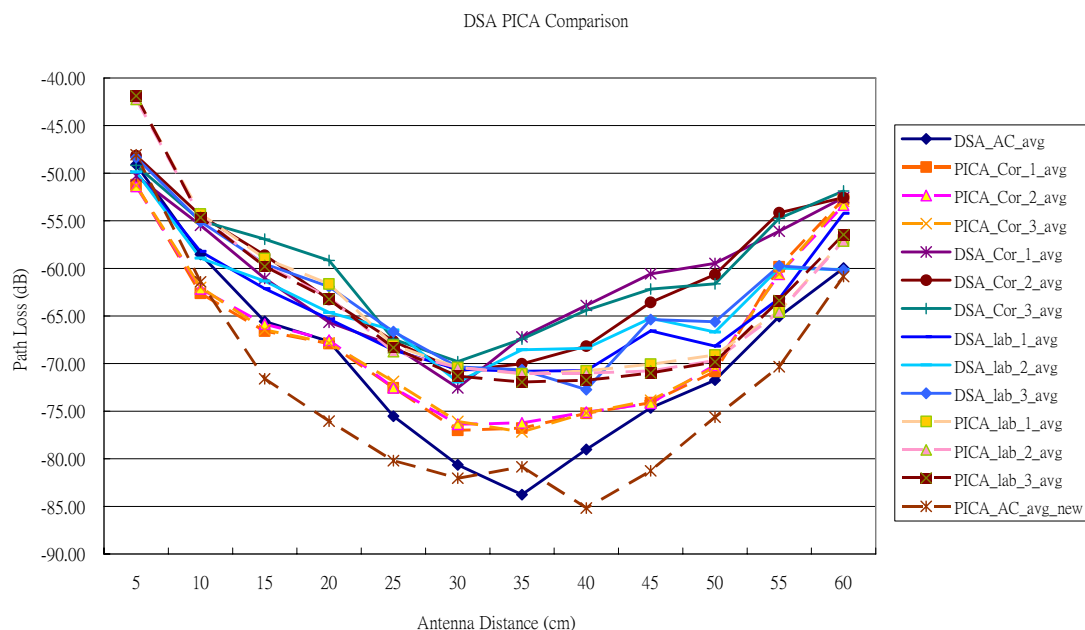


圖 29. 在所有量測區，DSA 與 PICA 路徑損耗量測結果比較

3.5. 路徑損耗模型之參數

由上節所得的量測結果，計算式(5)路徑損耗模型中的參數(不包括 S ，遮蔽將於下節分析)，兩種天線在不同環境的計算結果如下表。注意，下表中以 10 公分為 d_0 ， n 的計算只取路徑損耗圖的左半邊，因之後接收天線已過中線，與發射天線又逐漸接近，路徑損耗逐漸變小，斜率反轉，成對稱狀，因此實際上僅須取路徑損耗圖的左半邊計算即可。

表 3. DSA 與 PICA 兩種天線路徑損耗模型之參數

天線/量測點	d_0 (cm)	PL_0 (dB)	n
DSA/電波暗室	10	58.52	4.5
DSA/辦公室 1	10	58.22	2.6
DSA/辦公室 2	10	58.93	2.5
DSA/辦公室 3	10	55.10	3.1
DSA/走廊 1	10	55.47	3.5
DSA/走廊 2	10	54.44	3.5

DSA/走廊 3	10	54.98	3.2
PICA/電波暗室	10	61.40	4.3
PICA/辦公室 1	10	54.30	3.4
PICA/辦公室 2	10	54.60	3.4
PICA/辦公室 3	10	54.65	3.5
PICA/走廊 1	10	62.62	2.8
PICA/走廊 2	10	62.15	2.9
PICA/走廊 3	10	62.01	2.8

上表中可以看出，在電波暗室中，兩種天線 n 值分別為 4.5 與 4.3，都是兩種天線的最大值，因為電磁波傳播僅靠視線波、繞射波以及人體部位的散射，因此可以作為無環境散射波的模型，其餘地點的 n 值，則是包含環境散射波的模型。若比較國際上的研究，可以發現上述的結果與其他論文相比， n 值是在合理的範圍，如下表所示。參考下表時須注意，由於每個研究，天線佩帶位置並不盡相同，因此可提供了解這些參數變動的範圍，但不適合比較優劣。

表 4. 國際上發表之路徑損耗模型參數比較

發表者	d_0 (cm)	PL ₀ (dB)	n
Thomas Zasowski[20]	100	82 @ AC	3.3
		75.8@office	2.7
Hassan Ghannoum[21]	7.5	37.1@AC	4.4
A. Alomainy[22]	100	86.5@AC with HSCA	4.4
		70.3@AC with PICA	2.7

3.6. 遮蔽效應

由 3.3 與 3.4 節所得的量測結果，計算式(5)中的遮蔽效應 S 。一般無線電系統的通道中，遮蔽效應的定義為在不同方向，等距離的地方取多個小區域，並在每一個小區域內移動接收天線幾個波長的距離下，量測接收功率或路徑損耗，並由小區域量測結果的平均值，依統計方法計算遮蔽效應 S ，一般以標準差 σ_S 表示，如下圖所示。

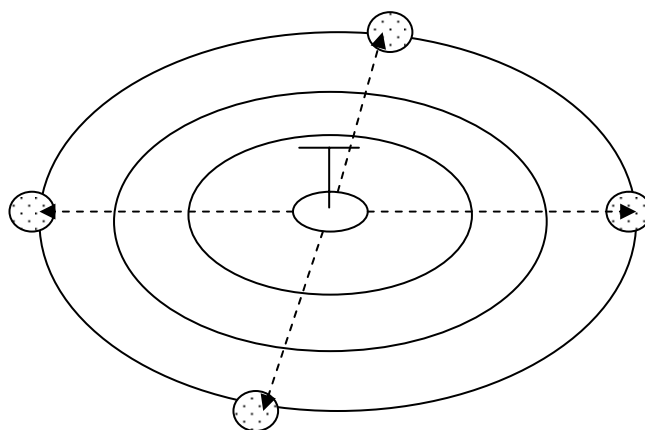


圖 30. 一般無線電系統的通道遮蔽效應示意圖

然而，對於 BAN 而言，接收天線在小區域內移動幾個波長的距離，在實際上是不可行的，因為身體的空間有限。在不同小區域量測的用意，是要量測環境不同路徑的效應，因此在本研究中，取其涵義，在身體上取 6 個平面，以改變天線與身體部位的距離與方位，同時在辦公室與走廊的量測，要求測試者移動身體以及方位，如下圖所示，此時雖然發射與接收天線的距離並沒改變，但依然改變了接收天線與環境散射體的距離與方位，仍舊可以量測不同環境路徑的效應。因此，在本研究中，天線固定在一个距離時，除了在電波暗室外，皆要求測試者移動身體以及方位，並量測 25 次，而其平均值則用以計算遮蔽效應。

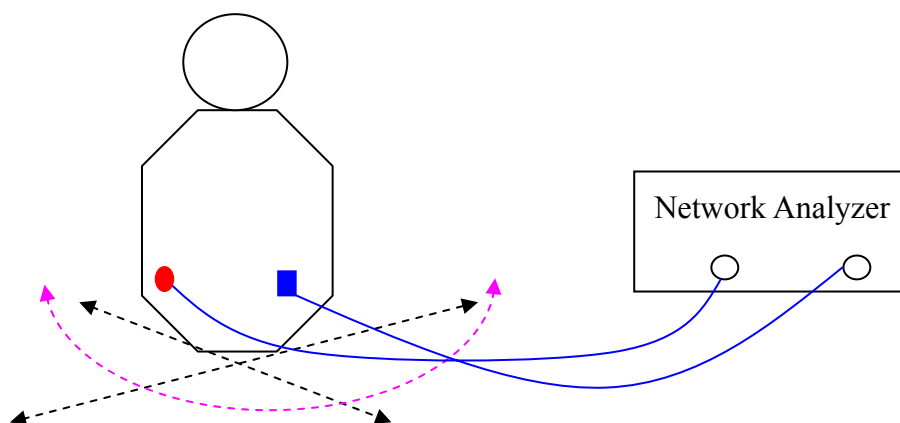
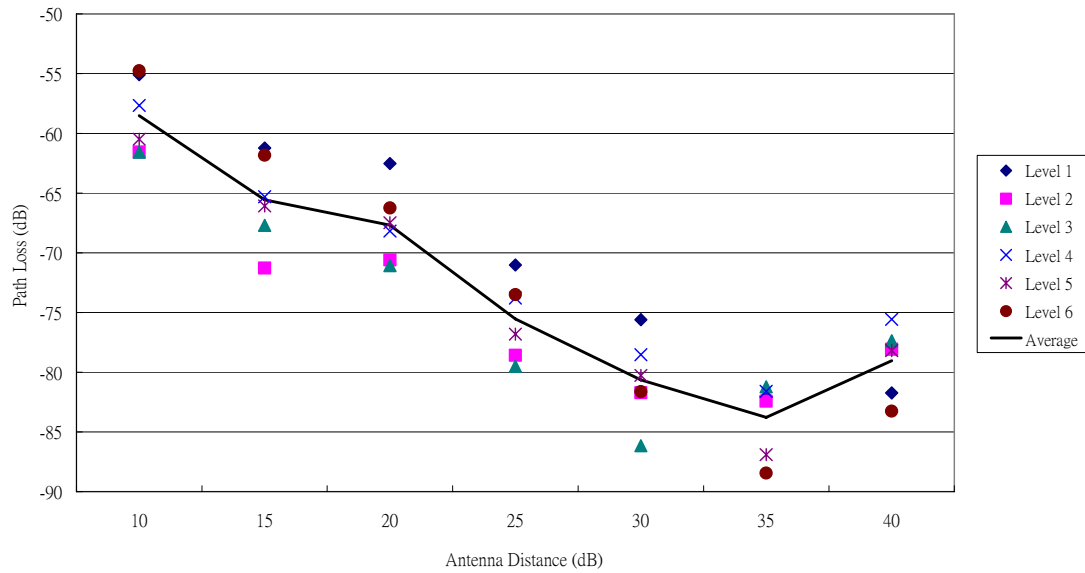
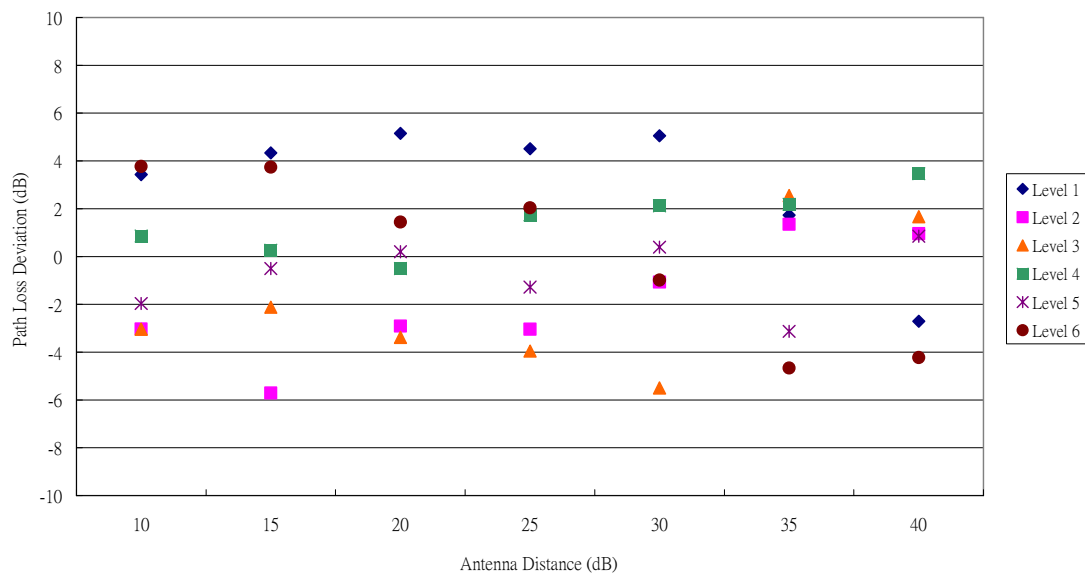


圖 31. BAN 之遮蔽效應量測

以 DSA 天線在電波暗室的量測結果為例，下圖(a)為 10 ~ 40 公分量測值與平均值的差異，若僅看差異如圖(b)所示。取 10 ~ 40 公分乃因 5 公分時天線太接近，對部分頻率而言是在近場範圍，超過 40 公分，接收天線已過中線，與發射天線又逐漸接近，路徑損耗逐漸變小。



(a)



(b)

圖 32. DSA 天線在電波暗室不同平面量測值與平均值的差異

因此遮蔽效應，取 10 ~ 40 公分之 $S_{21}(L, P, \underline{M}, \underline{E})$ 與 $S_{21}(L, P, \underline{M}, \underline{E})$ 的差值分布做分析，如下表所示，在電波暗室中，因為電磁波傳播僅靠視線波、繞射波以及人體部位的散射，因此可以作為無環境散射波的遮蔽，其餘地點，則是包含環境散射波的遮蔽。

表 5. 遮蔽效應之標準差

天線/量測點	$\sigma_S(\text{dB})$
DSA/電波暗室	3.0
DSA/辦公室 1	3.0
DSA/辦公室 2	4.7
DSA/辦公室 3	5.4
DSA/走廊 1	5.1
DSA/走廊 2	3.4
DSA/走廊 3	4.3
PICA/電波暗室	6.3
PICA/辦公室 1	2.5
PICA/辦公室 2	2.4
PICA/辦公室 3	2.1
PICA/走廊 1	1.6
PICA/走廊 2	1.5
PICA/走廊 3	1.7

3.7. 改變人體姿勢之影響

為探討人體的姿態對通道的影響，在電波暗室中，分別使用 DSA 與 PICA 天線，在天線距離為 20 公分的設定下，測試者的左手(靠近接收天線)，與身體的夾角，從 0°開始(自然下垂)，每隔 15°在手臂保持不動下，量測 25 次，直到 90°為止。

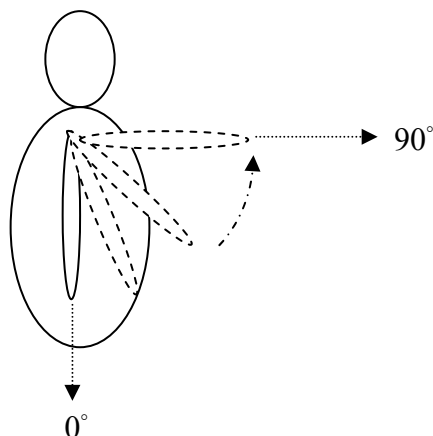
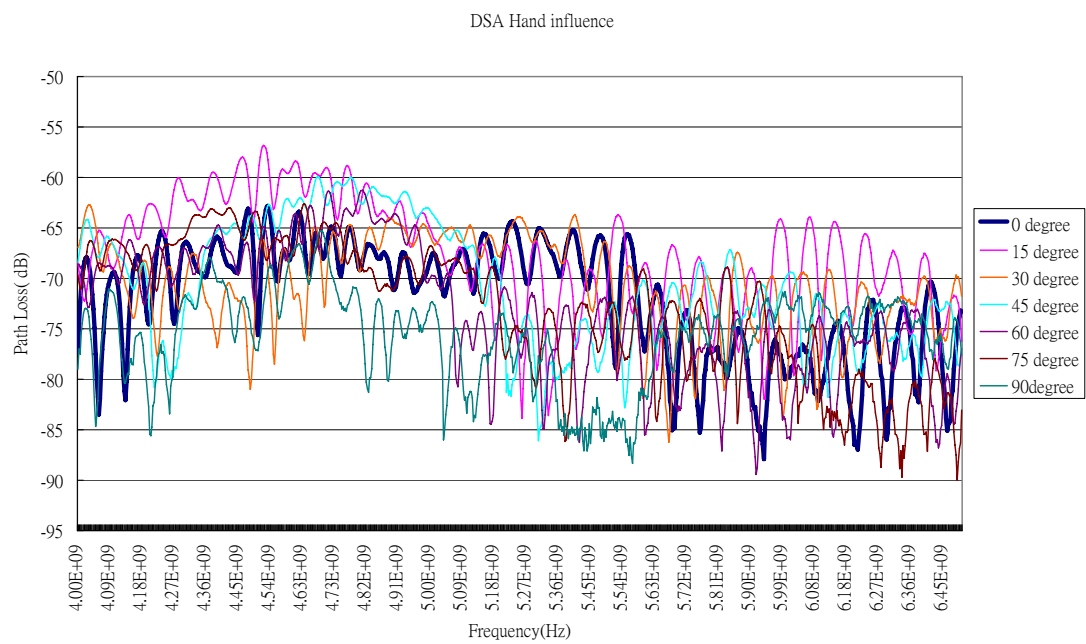


圖 33. 測試者手臂與身體的夾角示意圖

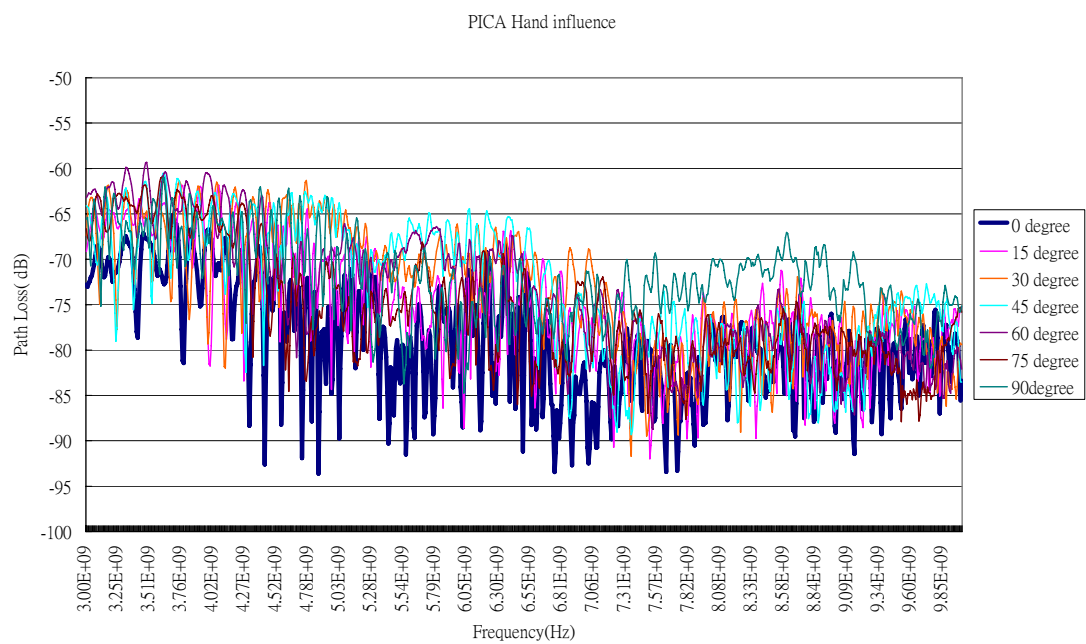
量測結果如下圖所示，圖(a)為 DSA 的量測結果，圖(b)為 PICA 的量測結果，圖中粗線為 0°時的量測結果，以方便比較。圖中每條曲線似乎都很雜亂，但其實每條曲線都是 25 次量測的平均值，已經有效降低隨機(Random)的影響，因此每條曲線偏離 0°的量測結果，並非隨機所造成，而應是手臂的效應。順便值得一提的是，當一條曲線不平順，而有劇烈變化時，這意謂著有多重訊號途徑(Multipath)，而訊號中沒有一個獨大(Dominant)，即使在電波暗室，來自身體的散射波也有可能與視線波強度相當，這在後面小節，探討時域量測結果中，可以看到這一現象。

下圖中可以看出手臂的影響不是造成整個頻段的損耗明顯的增加或降低，而是對每個頻率的影響不同，這很合理，因為手臂的截面積畢竟不大，散射訊號不至於大幅改變路徑損耗，但因不同角度下，不同頻率的散射波相位不同，因此對每個頻率的影響不會一致。下面簡單列出不同手臂角度下，路徑損耗頻率平均值 $S_{21}(L, P, M, F)$ ，可以看出實際上平均值只有幾 dB 的差別，而下圖中顯示在部分頻率的結果卻相差幾十 dB。

天線	0°(dB)	15°(dB)	30°(dB)	45°(dB)	60°(dB)	75°(dB)	90°(dB)
DSA	-72	-68	-70	-71	-73	-73	-76
PICA	-79	-75	-73	-73	-74	-76	-72



(a)

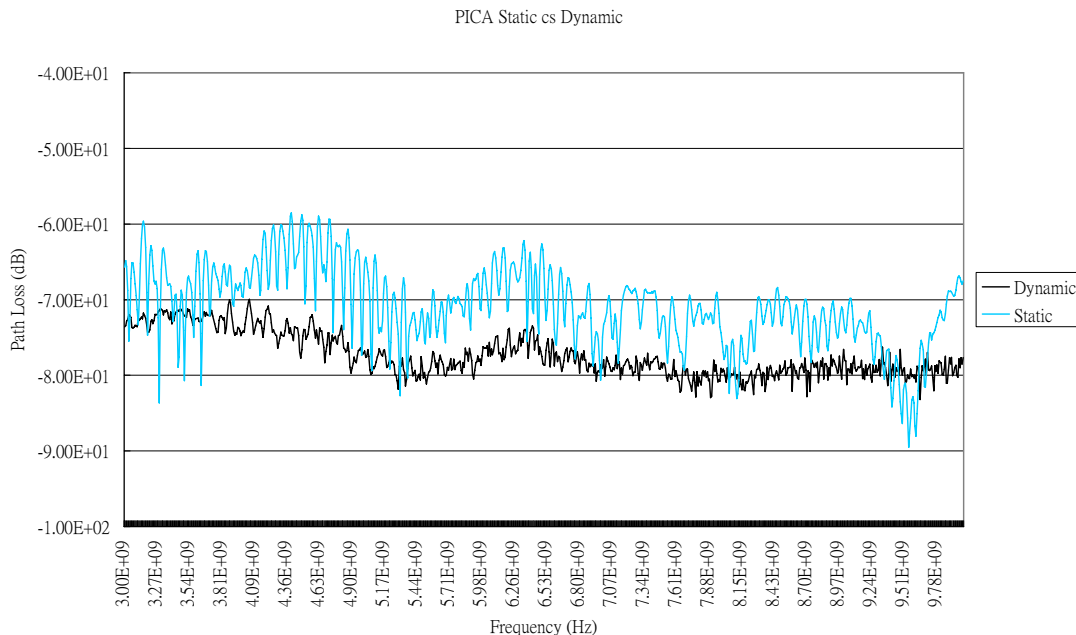


(b)

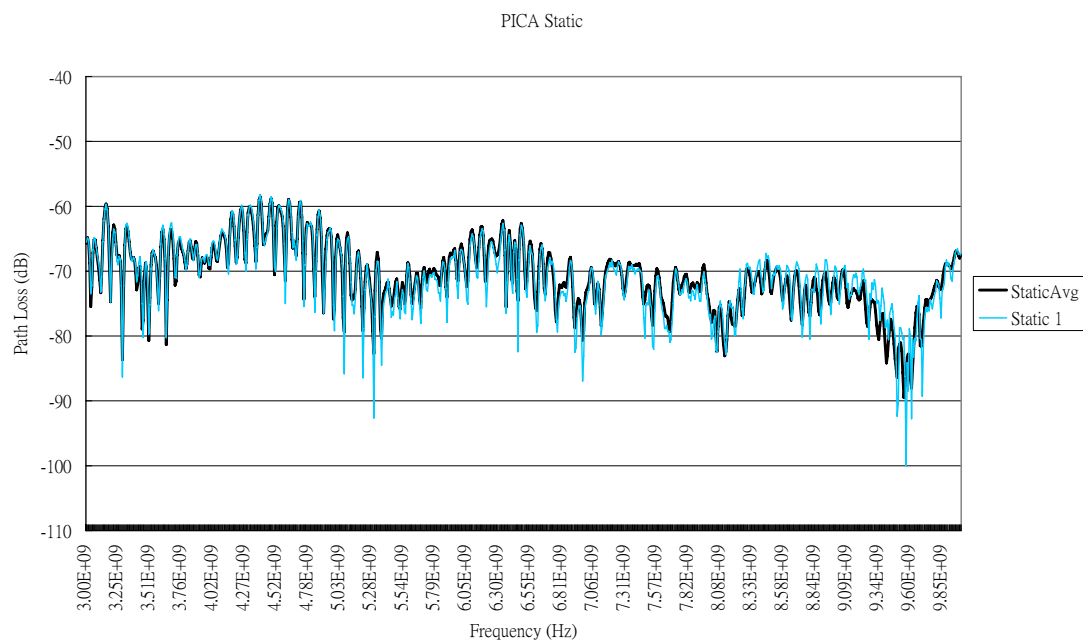
圖 34. 測試者的手臂角度對通道的影響

3.8. 行進中對通道之影響

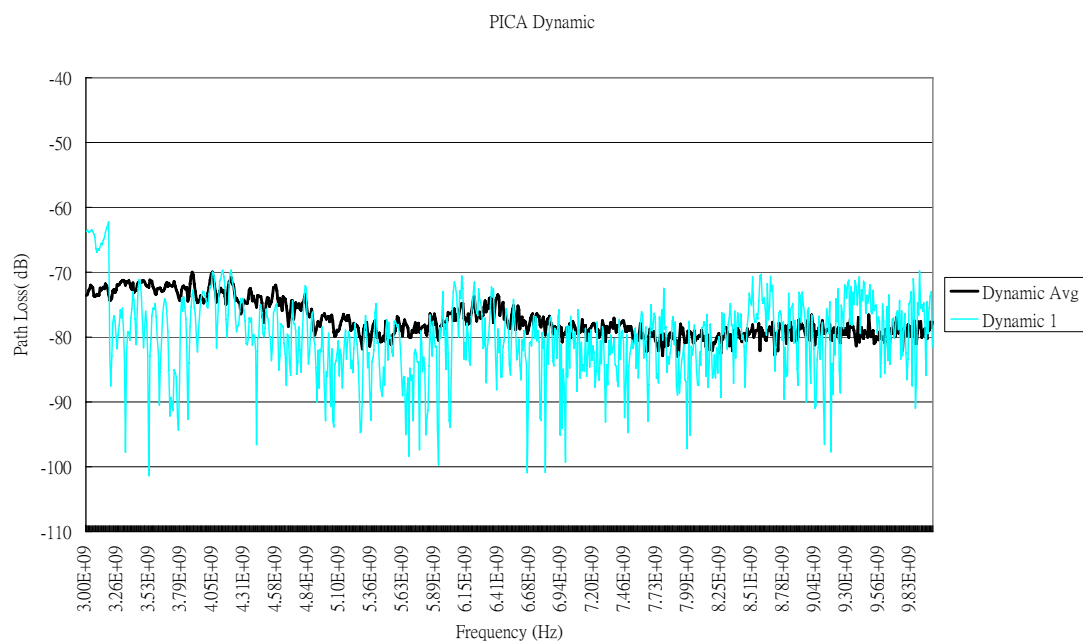
為探討人體在行進中對通道的影響，分別使用 DSA 與 PICA 天線，在天線距離為 20 公分的設定下，在電波暗室內量測通道特性，因 DSA 與 PICA 有同樣的現象，因此僅以 PICA 做說明。下圖(a)是人體靜止與行進間(原地踏步)，平均 25 次的比較，因為在人體靜止與行進間的量測過程中間，天線有拆下再重新戴上，天線位置有些許不同，而且行進間天線也在晃動，因此兩次量測的路徑損耗會有不同是可預期的，但不影響行進間對通道影響的分析。雖然在電波暗室中，電磁波仍會有來自身體部位的散射，而且頻率不同效應不同，因此人體靜止時的路徑損耗在頻率軸上並不平順，令人驚訝的是，行進間(Dynamic)理論上應會有更大的變動，結果是更平順。這是因為行進間人體的姿勢持續在改變，有”攪拌”的效果，使得 25 次的平均值較平順。若是觀察一次量測值與平均值的比較，如圖(b)與(c)所示，圖(b)為靜止狀態，一次量測值與平均值幾乎沒有太大差別，曲線幾乎重疊，圖(c)為行進間一次量測值與平均值的比較，可以明顯看出一次量測值有很大的變動。若是以圖(b)(c)的資料，計算一次量測值與平均值差值，即 $S_{21}(L, P, M, F) - S_{21}(L, P, M, F)$ ，其分布的標準差，對靜止與行進間狀態而言，分別是 1.9 dB 與 5.9 dB，可以看出行進間對通道有很大的影響。



(a)



(b)



(c)

圖 35. PICA 天線在電波暗室中靜止與行進間路徑損耗的比較

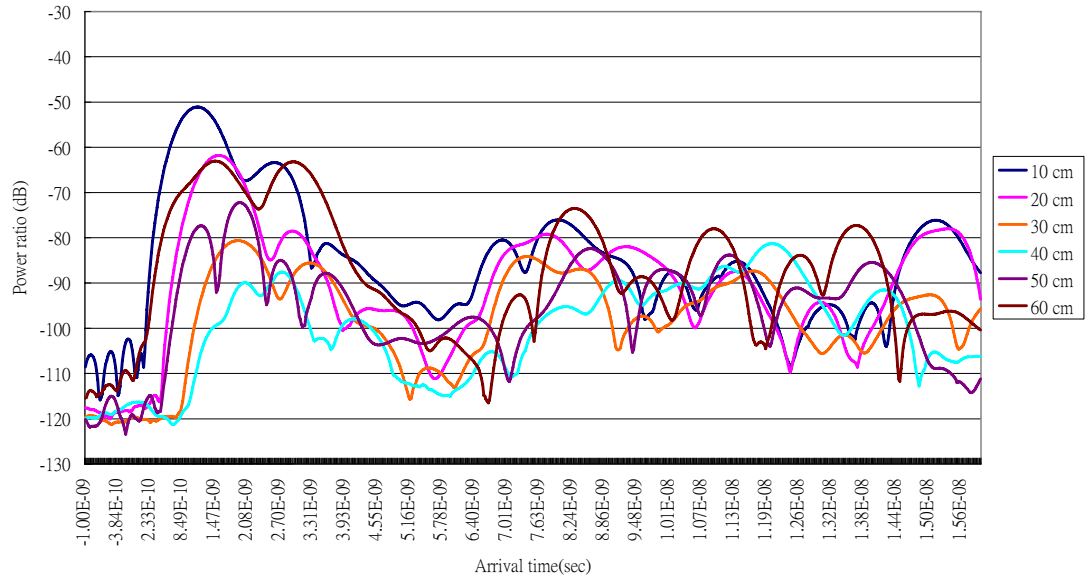
3.9. 功率延遲分布的分析

以網路分析儀採用 Time domain 的功能，直接量測通道脈衝反應(Channel Impulse Response)，以進行功率延遲分布(Power Delay Profile)的分析。以上述的時域量測，可以省略以 Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT) 技術將頻域量測結果轉換成時域等工作。

首先，將先分析 DSA 與 PICA 分別在電波暗室、辦公室與走廊，時域量測的結果。時域的解析度與頻寬有關，以 DSA 的頻寬 2.5 GHz 而言，根據網路分析儀的使用手冊計算，其時間的解析度約 0.78 ns，相當於空間的解析度 23 公分，而以 PICA 的頻寬 7 GHz 而言，其時間的解析度約為 0.28 ns，相當於空間的解析度 8.4 公分，因此後續的圖形中可以觀察到，PICA 可以看到 DSA 無法解析的訊號。以下的圖形依時間範圍分成 0~16 ns 及 0~6 ns 兩類型，前者除了人體外尚可觀察環境的影響，後者單純觀察人體的影響，但能更清楚的看出曲線的變化。

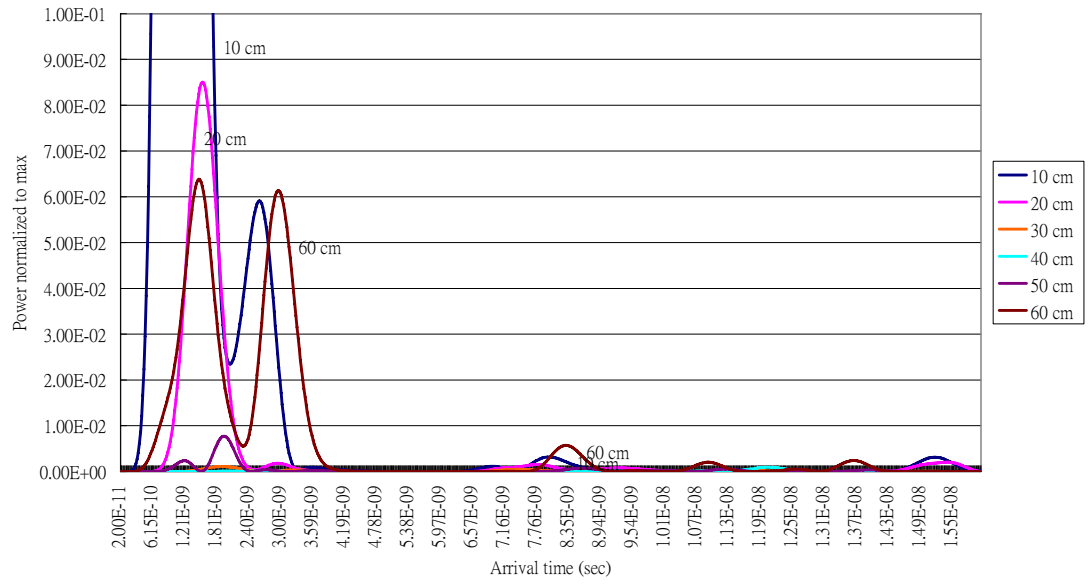
下圖分析 DSA 在電波暗室、辦公室與走廊的時域量測結果。圖(a)為 DSA 在電波暗室 0~16 ns 的時域量測結果圖，縱軸以 S21(dB)為單位，圖中在約 4 ns 前為一群(Cluster)，主要來自視線波與身體的散射波，約 6 ns 之後為另一群，來自環境的散射波，雖然在電波暗室，但仍舊有來自電纜線以及其它無法以吸波體遮蔽的物體，比如照明與大門把手等等，所造成的散射波，由於以對數為單位，會有將數據'壓縮'的效果，圖形較不易分出大小，因此圖(b)(c)(d)將縱軸座標轉為功率線性歸一值(Normalized to Max)，並將尺度縮小(圖形放大)，以分析 DSA 在電波暗室、辦公室與走廊的時域圖。從 3 個圖中可以看出，在 6 ns 之後，在電波暗室有最小的訊號，而辦公室與走廊則差不多，只是散射體的位置不同。這裡必須提醒，圖(b)(c)(d)是對最大值(10 cm)歸一化，有些散射波因太小無法顯示，但不代表不重要，後面會分析非視線波情況下，比如天線距離為 30 公分或 40 公分時，這些散射就會是主要的傳播路徑。

DSA in AC

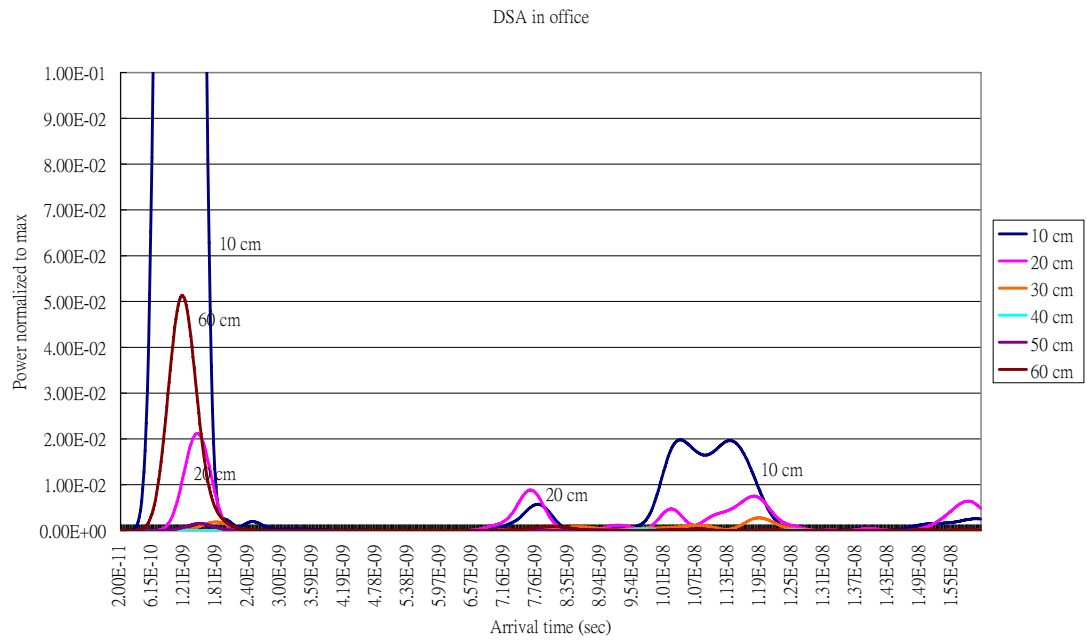


(a)

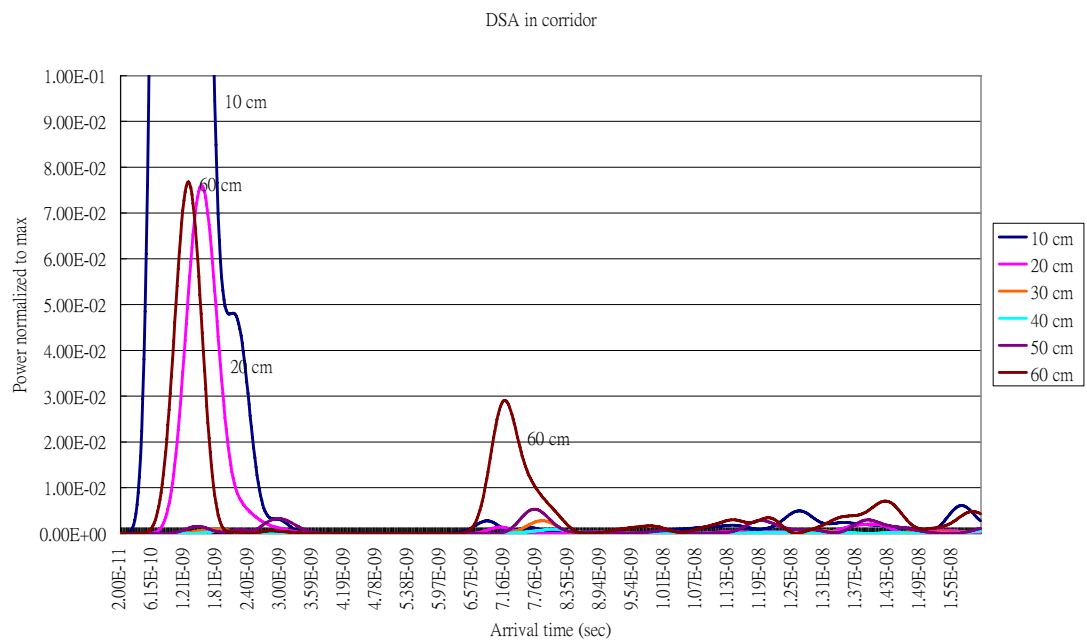
DSA in AC



(b)



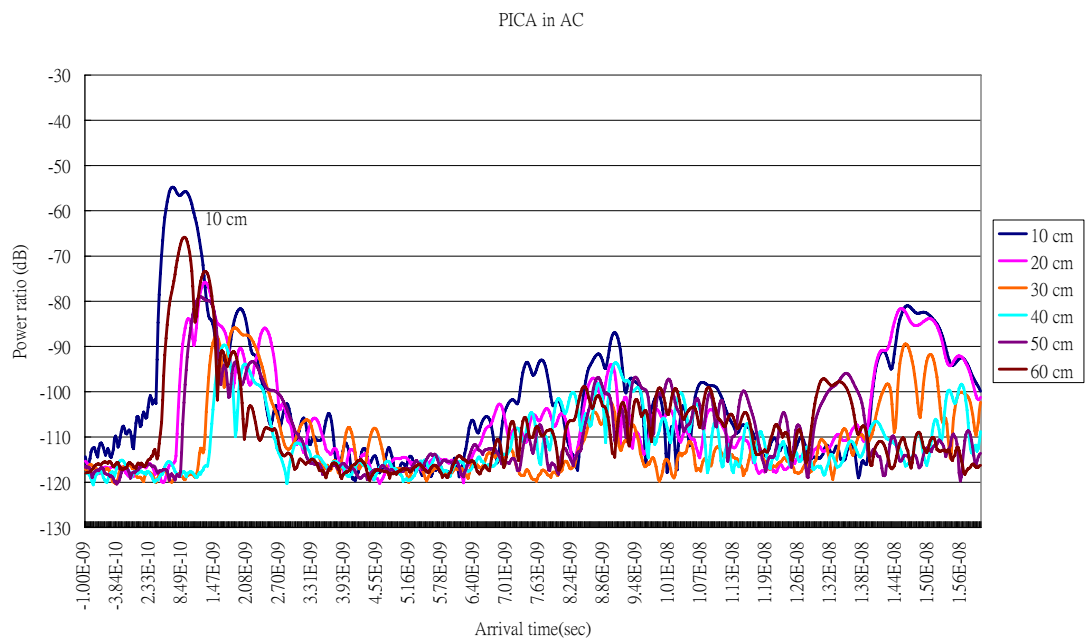
(c)

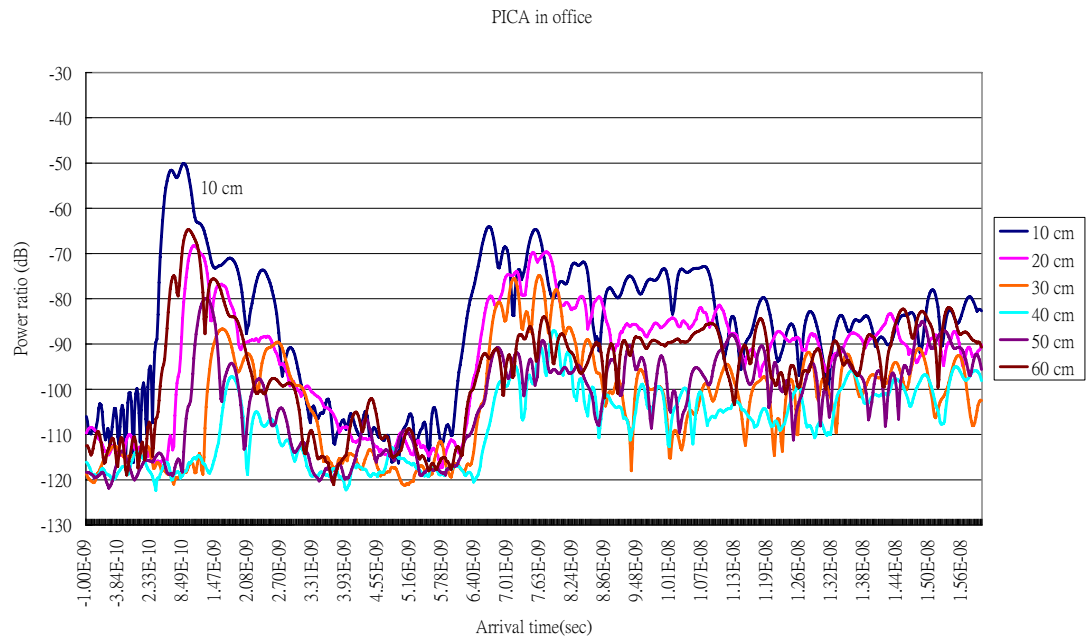


(d)

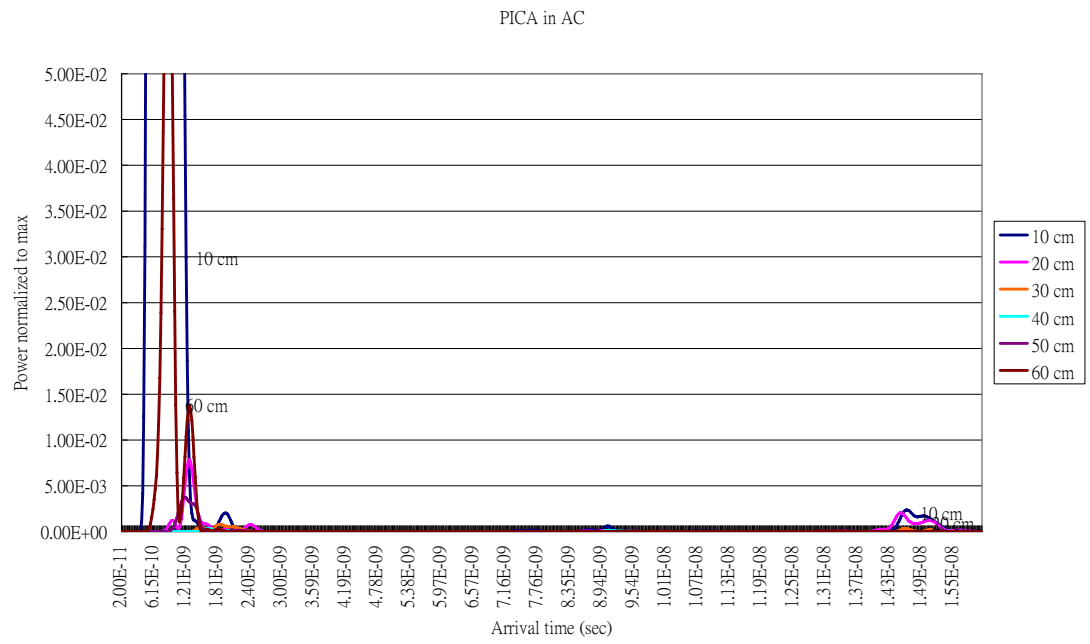
圖 36. DSA 天線在電波暗室、辦公室與走廊功率延遲分布比較

PICA 的量測結果，有比較高的空間解析度，下圖分析 PICA 在電波暗室與辦公室的時域量測結果，走廊與辦公室的環境相似，在此不再列出。圖(a)(b)為 PICA 分別在電波暗室與辦公室 0~16 ns 的時域量測結果圖，縱軸以 S21(dB)為單位，可以看出解析度明顯較好，同樣地，圖中在約在 4 ns 前為一群，主要來至視線波與身體的散射波，約 6 ns 之後為另一群，主要來自環境的散射波。圖(c)(d)將縱軸座標轉為功率線性歸一值，並將尺度縮小，可以看出電波暗室比辦公室的散射波小很多，在辦公室的兩個主要散射波時間分別為 6.65 與 7.54 ns，相當於約 2 公尺與 2.3 公尺的距離，因為散射波包含來回距離，因此估計與身體的距離約 1 公尺與 1.15 公尺。

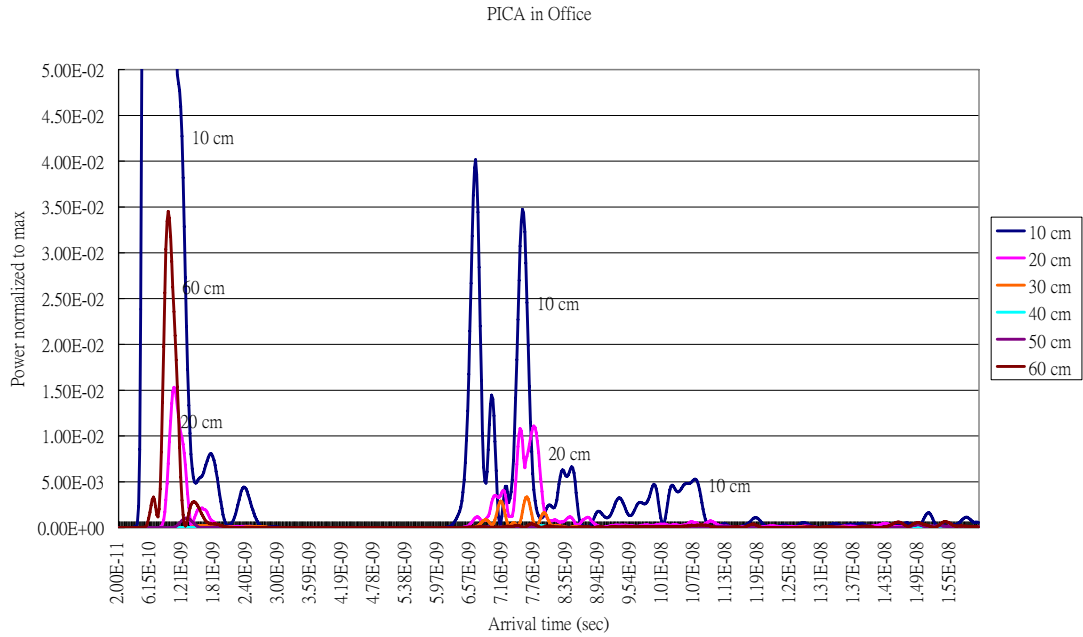




(b)



(c)

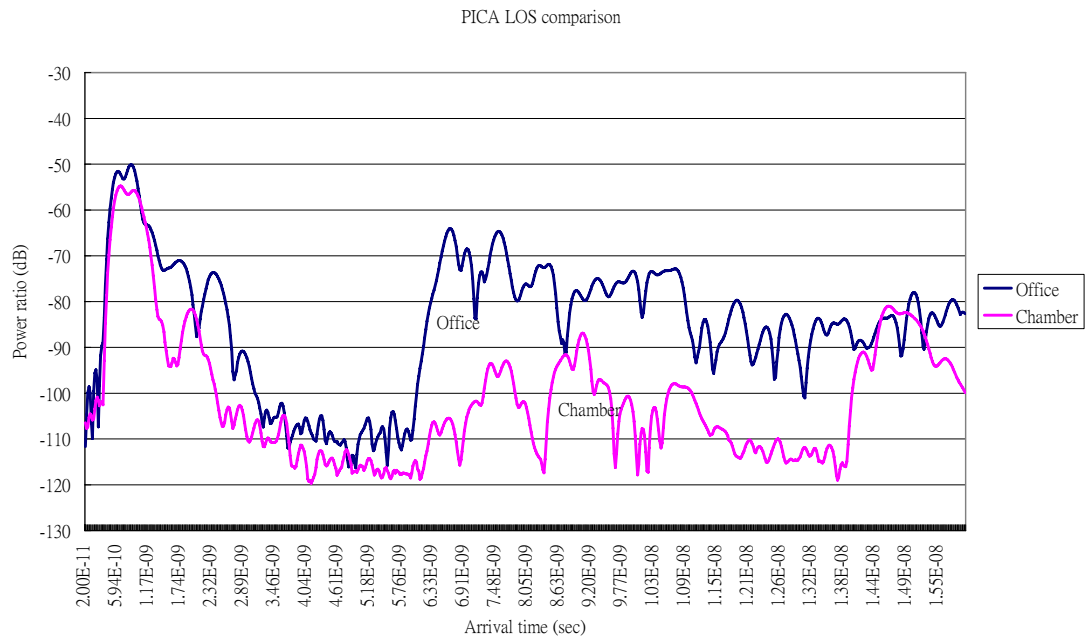


(d)

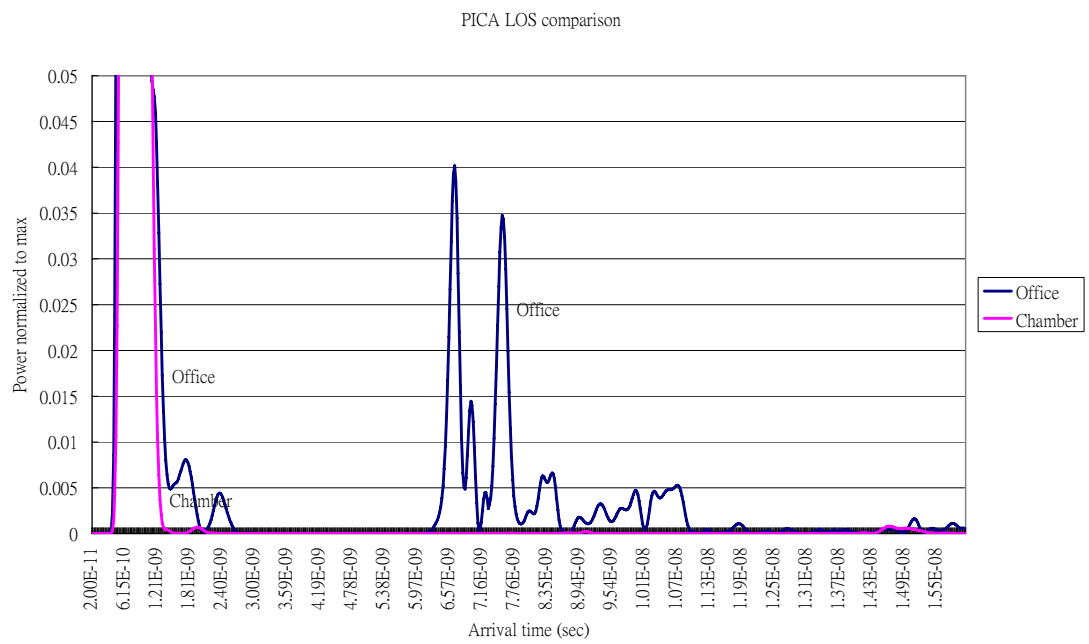
圖 37. PICA 天線在電波暗室與辦公室功率延遲分布比較

上面的分析都是比較天線在不同間距下的量測結果，下圖將比較 PICA 在辦公室與電波暗室中有視線波(LOS)與無視線波(NLOS)的量測結果，藉此探討環境對通道的影響程度。圖(a)(b)為天線距離 10 公分(LOS 情況)，辦公室與電波暗室的量測結果比較，圖(a)縱軸座標為 dB，圖(b)為功率線性歸一值，圖(a)中可以看出，在約 6 ns 以後，辦公室曲線明顯大於電波暗室的曲線，顯示環境散射波的貢獻，圖(b)可以將圖形放大，讓量測結果的比較更清楚，圖中幾乎看不到電波暗室內環境的散射波。從圖 (a)(b)中可以看出，在有視線波情況下，主要訊號能量能集中在約 4 ns 以內，若以最大值的 20 dB 為臨界值，則最遠在臨界值以內的訊號，對辦公室而言在 7.54 ns 處，如前所述，約相當距人體 1.15 公尺處，之後就沒有高於臨界值的訊號，當然這是跟環境有關的。

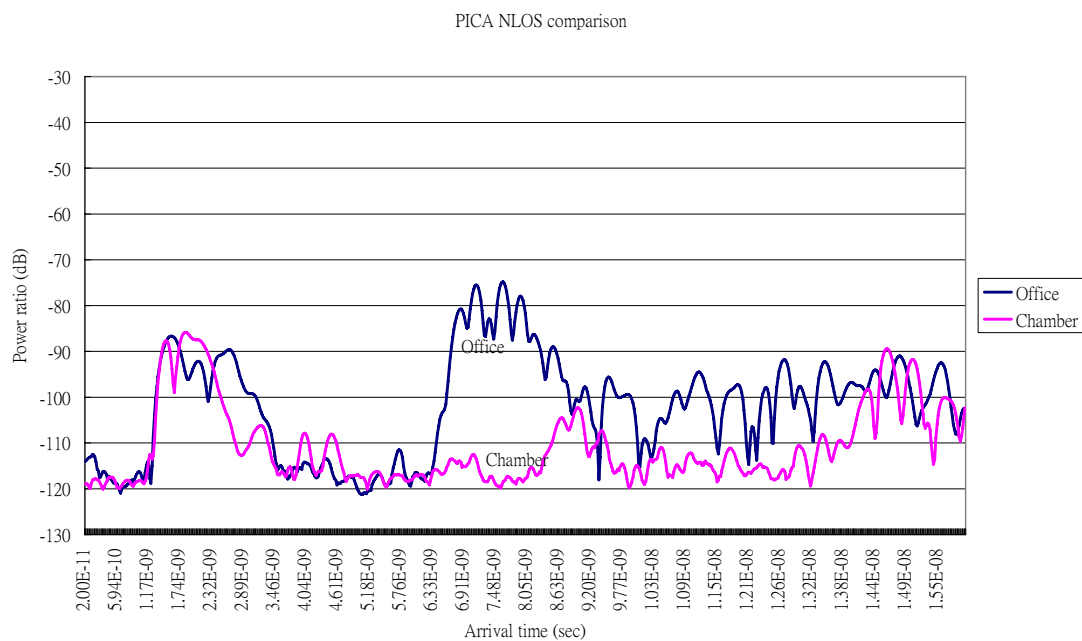
圖(c)(d)為天線距離 30 公分(NLOS 情況)，辦公室與電波暗室的量測結果比較，同樣地，圖(c)縱軸座標為 dB，圖(d)為功率線性歸一值。兩圖中可以看出，對於 NLOS 的情況，環境散射波的貢獻遠大於自身體的繞射波，最大訊號的時間為 7.61 ns，相當傳播路徑約 2.28 公尺。



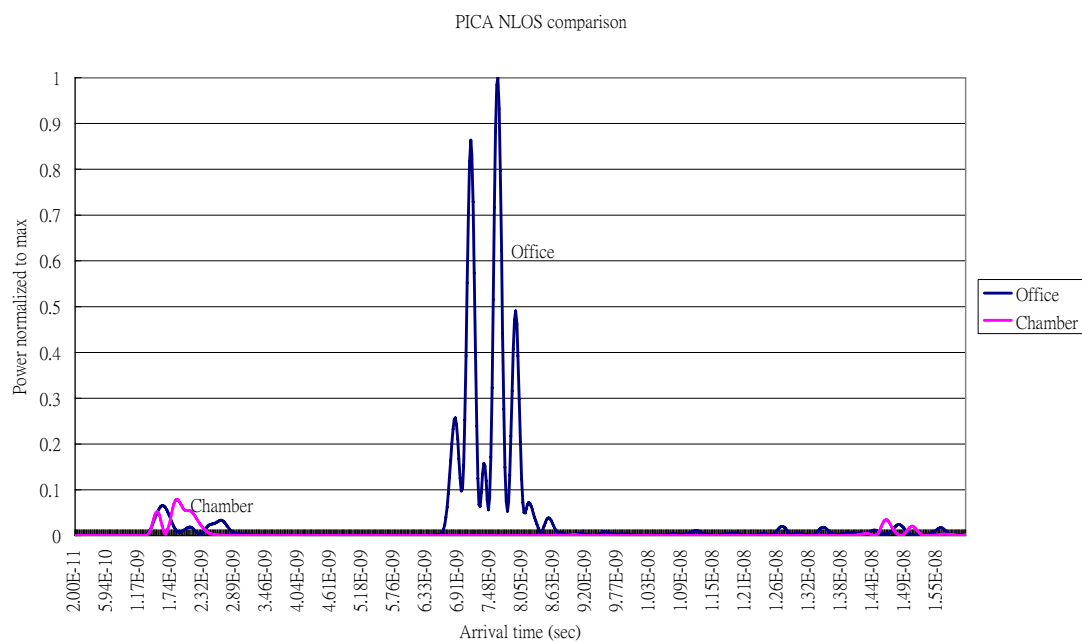
(a)



(b)



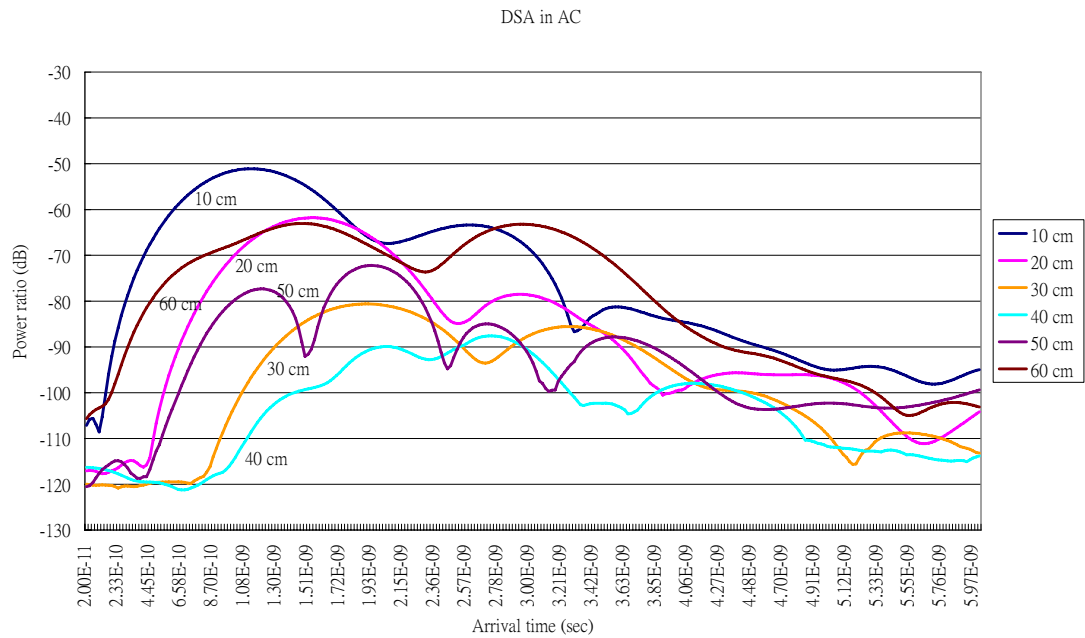
(c)



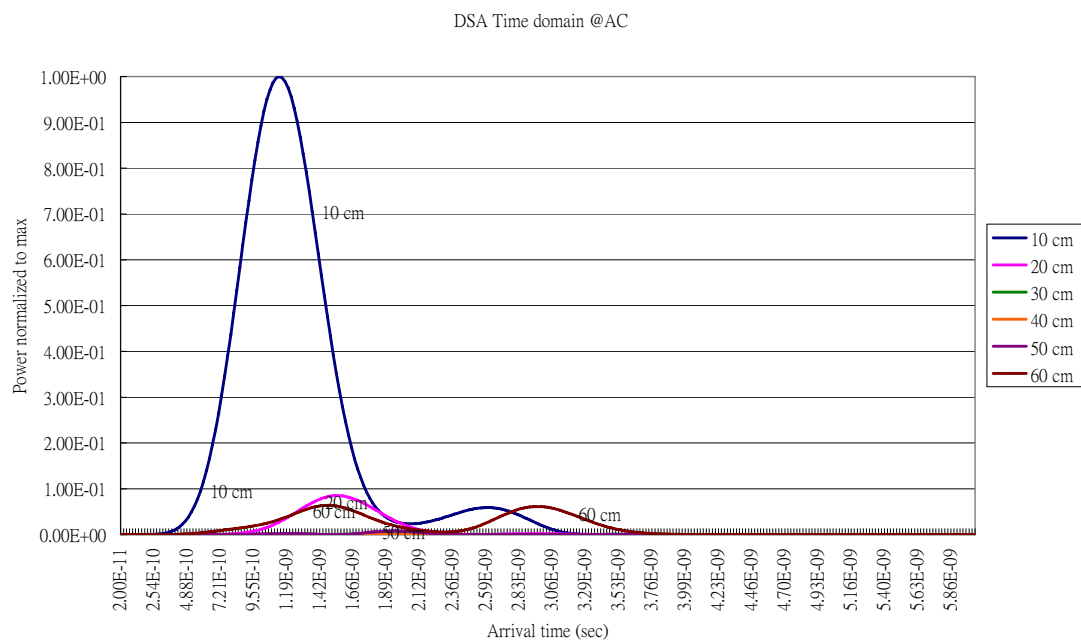
(d)

圖 38. PICA 天線在電波暗室與辦公室 LOS 與 NLOS 功率延遲分布比較

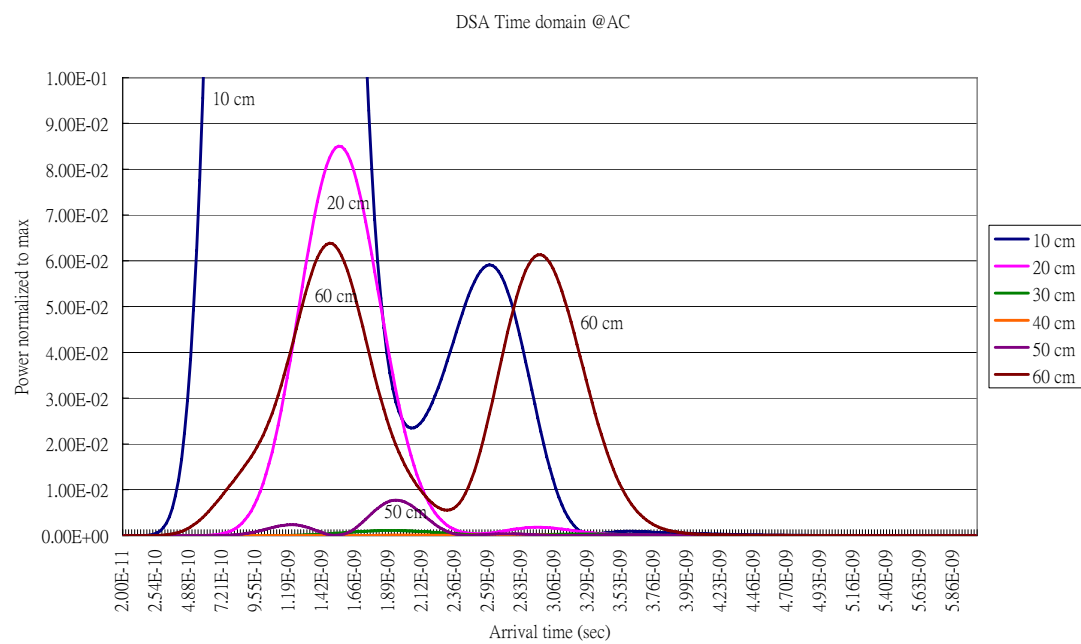
以下分析 0~6 ns 的各種環境的功率延遲分布，以觀察近身的傳播現象。下圖(a)為 DSA 在電波暗室直接量測到的 S21(dB)時域圖，圖(b)(c)中將縱軸座標轉為功率線性歸一值，觀察時間為 0~6 ns，從圖(b)(c)中可以看出約超過 4 ns 就沒有明顯的訊號，但因距離 10 公分的強度遠高於其他距離的訊號，導致其他距離的訊號太小，因此將圖形放大，以觀察其他訊號，如圖(c)所示。雖然解析度不夠，但仍然可以看出不同距離，訊號到達的時間差。很明顯的 10 公分的訊號最大也是最早抵達，之後依次是 60 公分、20 公分、50 公分、30 公分最後是 40 公分，圖(c)中可以看出每條曲線都有兩個峰值，這應是訊號從身體兩側傳播，這是 BAN 的獨特現象，由於沒有環境散射波，除了這兩個峰值外，沒有其他明顯的訊號。



(a)



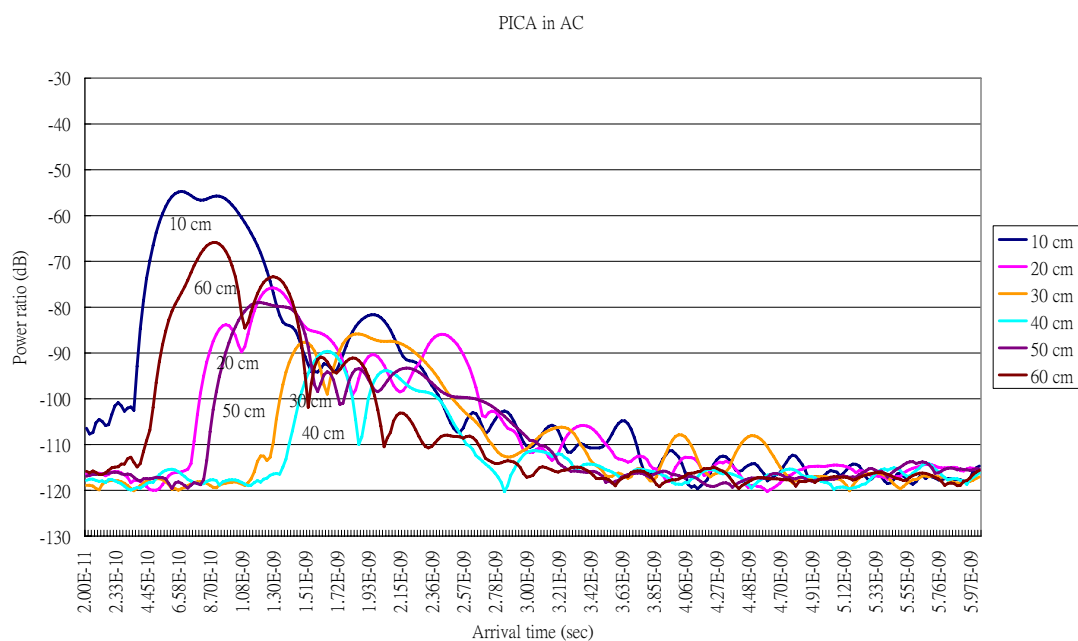
(b)



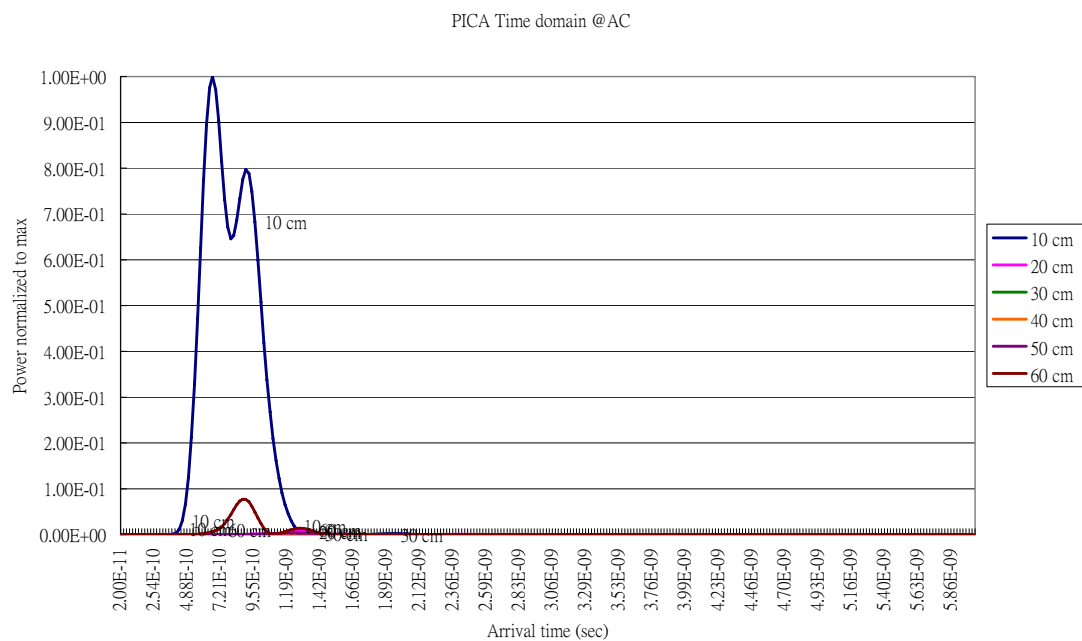
(c)

圖 39. DSA 天線在電波暗室中的功率延遲分布

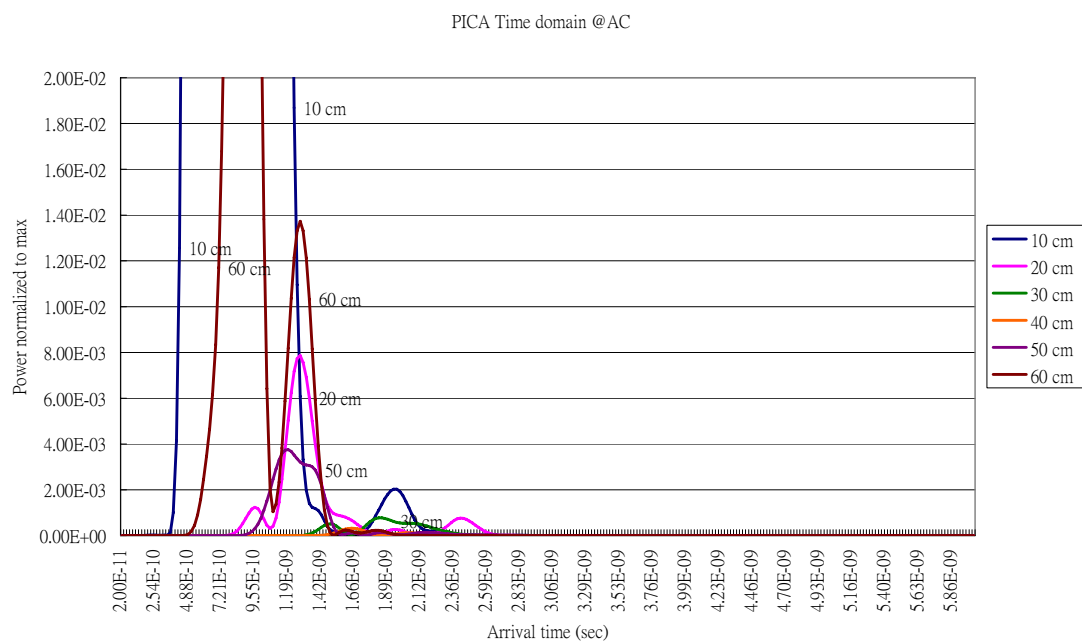
下圖(a)為 PICA 在電波暗室直接量測到的 $S_{21}(\text{dB})$ 時域圖，下圖(b)(c)縱軸座標轉為功率線性歸一值，為方便觀察，兩圖的尺度設定不同。同樣地，觀察時間也為 0~6 ns，從圖(c)中可以看出超過 2.5 ns 後就沒有明顯的訊號，小於在 DSA 的 4 ns，這其實是空間解析度的差異所造成，不是在 DSA 有較遠的散射體。與 DSA 相同，10 公分的訊號最大也是最早抵達，之後依次是 60 公分、20 公分、50 公分、30 公分最後是 40 公分。在 PICA 的圖中明顯看出解析度變高，圖(b)中可以看出 10 公分的訊號可以解析出兩個峰值，根據數據兩者時間差為 0.233 ns，相當於約 7 公分的距離，因此應是身體部位的散射，而不是來自身體另一側的訊號，而圖(a)中 10 公分的第 3 個峰值與第 1 個峰值的時間差為 1.32 ns，相當於約 40 公分的距離，則應是來自身體另一側的訊號。再以 60 公分的訊號為例，兩個峰值的時間差約為 0.409 ns，相當於約 12 公分的距離，因此也應是來自於身體部位的散射，這些在 DSA 的圖中都觀測不到，因為解析度不夠。從這些結果中可以發現，身體的散射波對傳播的重要性，意味著身體的姿勢對通道會有很大的影響。



(a)



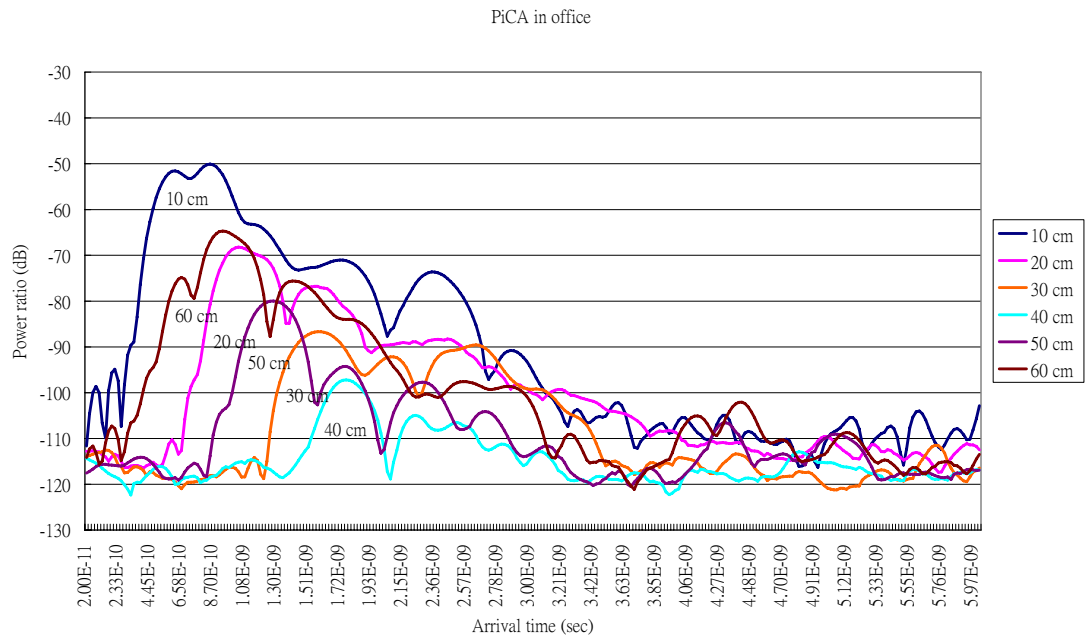
(b)



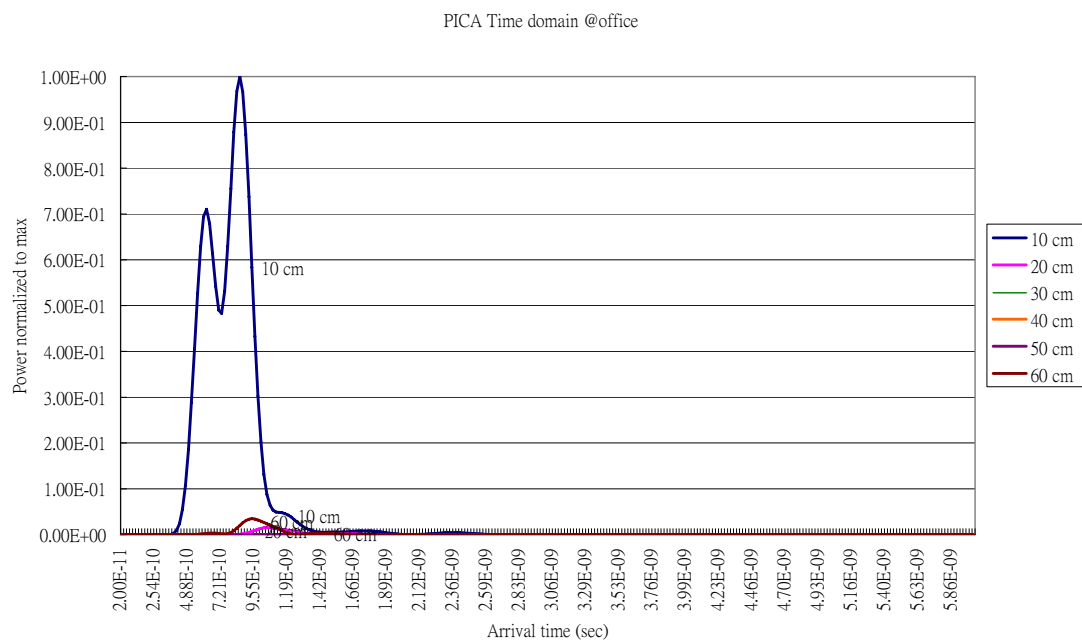
(c)

圖 40. PICA 天線在電波暗室中的功率延遲分布

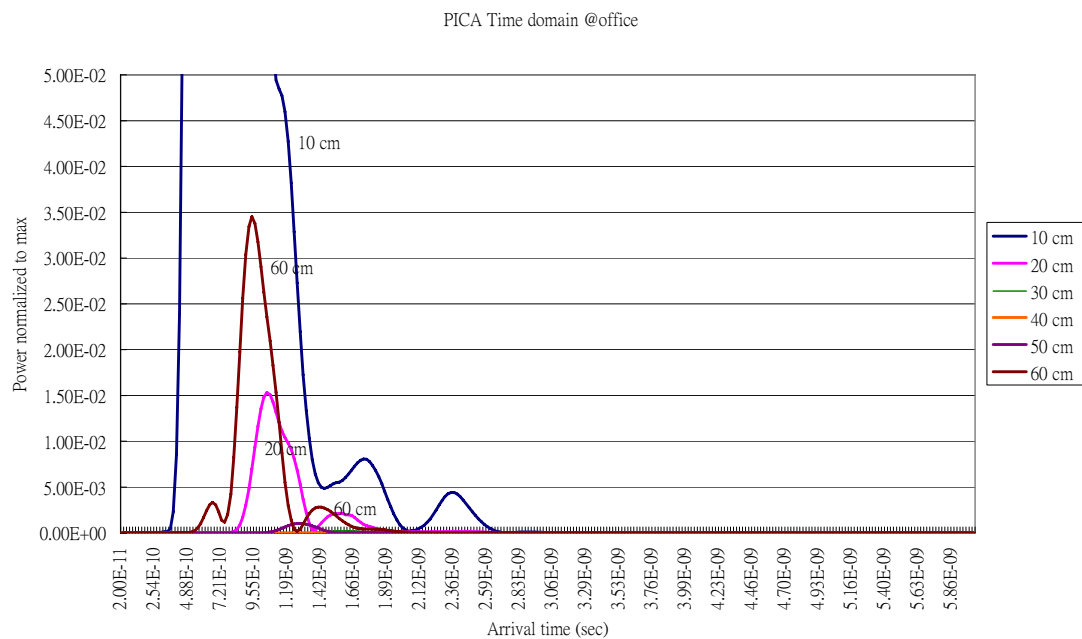
由於 DSA 量測結果的空間解析度比較差，因此對於複雜散射體的環境，採用 PICA 在辦公室的時域圖以代表說明，如下圖所示。同樣地，觀察時間也為 0~6 ns，從圖(c)中也可以看出超過 2.5 ns 後就沒有明顯的訊號，與在電波暗室的結果相近。與其他的量測結果相同，10 公分的訊號最大也是最早抵達，之後依次是 60 公分、20 公分、50 公分、30 公分最後是 40 公分。在圖(b)中可以看出 10 公分的訊號的兩個峰值，後者比前者還大，根據數據兩者時間差為 0.234 ns，相當於約 7 公分的距離，與在電波暗室的結果一樣。由於在辦公室量測時環境物體距接收天線的距離絕對大於 7 公分，這代表來自身體的散射波的強度比直接的視線波還大，再次驗證身體的散射波對傳播的重要性。



(a)



(b)



(c)

圖 41. PICA 天線在辦公室中的功率延遲分布

將上述的量測結果計算功率延遲分布中主要的兩個重要參數，一為平均過量延遲 τ_m (Mean Excess Delay)，以及方均根延遲擴散 τ_{rms} (RMS Delay Spread)， τ_{rms} 會影響資料傳輸的速度，兩個參數分別以下兩式計算。

$$\tau_m = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \tau_i \cdot |h(\tau_i)|^2}{\sum_{i=0}^{N-1} |h(\tau_i)|^2} \quad (7)$$

$$\tau_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (\tau_i - \tau_m)^2 \cdot |h(\tau_i)|^2}{\sum_{i=0}^{N-1} |h(\tau_i)|^2}} \quad (8)$$

其中 τ_i 為脈衝抵達時間， $h(\tau_i)$ 為時域脈衝反應 (Time Domain Impulse Response)，再此為網路分析儀時域量測值 (dB)，轉換成線性之值 ($10^{\text{dB}/20}$)。由上述的量測結果 (0 ~ 6 ns)，計算所得之參數如下表。

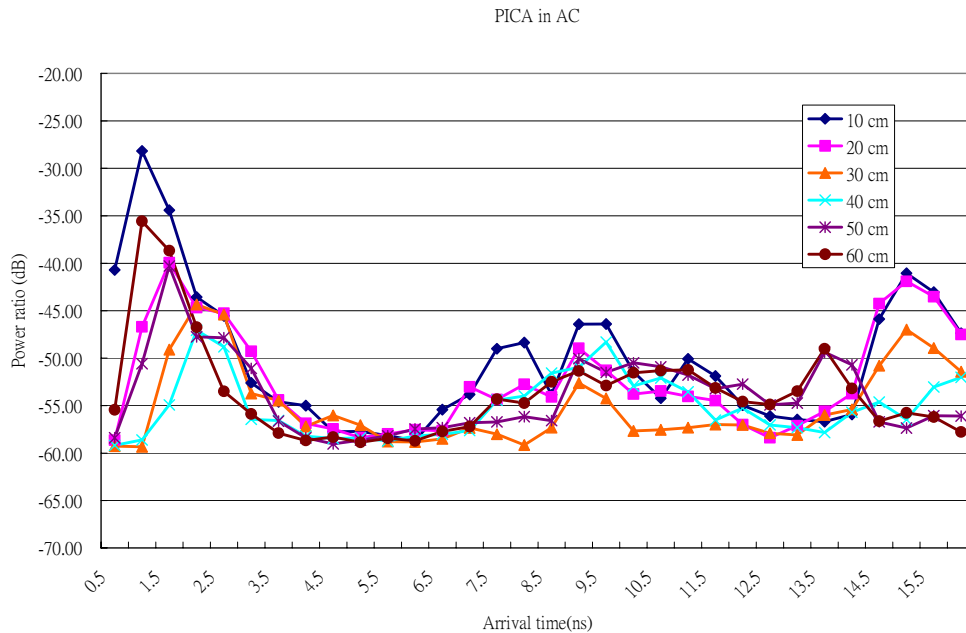
表 6. 平均過量延遲與方均根延遲擴散

天線/量測點	d_0 (cm)	τ_m (ns)	τ_{rms} (ns)
DSA/電波暗室	10	1.23	0.43
	20	1.57	0.34
	30	2.25	0.69
	40	2.61	0.64
	50	1.87	0.52
	60	2.16	0.83
DSA/辦公室	10	1.12	0.25
	20	1.44	0.26
	30	1.84	0.40
	40	2.05	0.52

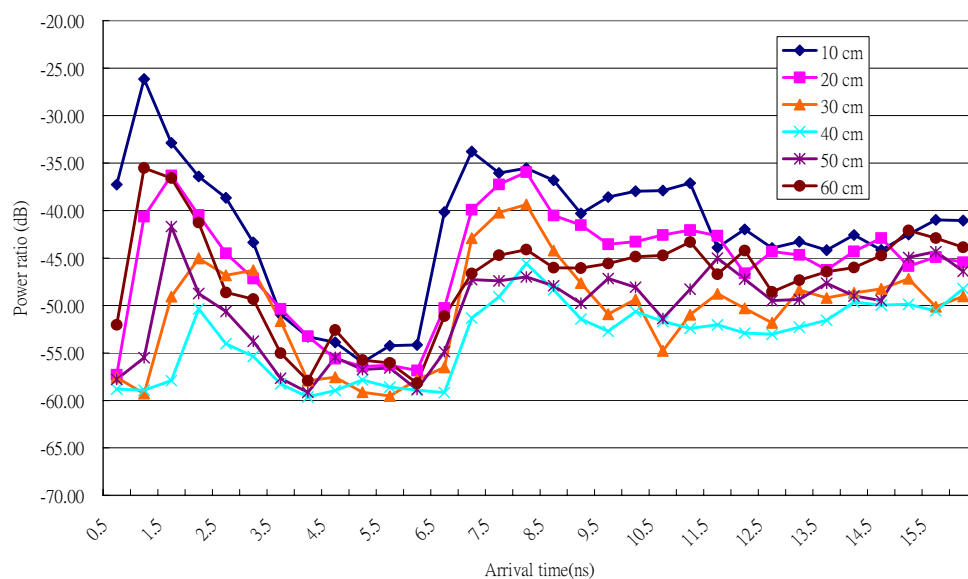
	50	1.51	0.33
	60	1.19	0.29
DSA/走廊	10	1.16	0.35
	20	1.58	0.37
	30	1.93	0.51
	40	2.26	0.65
	50	2.53	0.72
	60	1.28	0.30
PICA/電波暗室	10	0.79	0.17
	20	1.39	0.37
	30	1.90	0.36
	40	1.85	0.48
	50	1.29	0.28
	60	0.93	0.18
PICA/辦公室	10	0.78	0.21
	20	1.18	0.27
	30	2.02	0.54
	40	2.08	0.86
	50	1.32	0.30
	60	1.00	0.21
PICA/走廊	10	0.81	0.37
	20	1.56	0.83

	30	2.01	1.3
	40	2.30	1.9
	50	1.60	1.0
	60	1.62	1.1

最後，由上述的 S21 量測結果，將時間軸(橫軸)細分出 bins，以 0.5 ns 為一個 bin，每一個 bin 的大小由 bin 內所有功率的加總後取平均表示(取線性平均再轉換成 dB)，如此可以得到平均功率延遲分布(Average Power Delay Profile, APDP)，由 APDP 可以分析天線在不同量測位置的衰減速率(Decay Rate)，單位是 dB/ns。下圖(a)(b)分別為 PICA 在電波暗室與辦公室，不同距離的平均功率延遲分布，第一個 Cluster 到達的時間約 1~2 ns，第二個 Cluster 到達的時間約 7~8 ns，如前所述第一個 Cluster 為視線波與人體部位的散射波，第二個 Cluster 為來自環境的散射波，從圖中可以看出兩個 Cluster 中間有段時間沒有任何訊號(約 5~6 ns)，這可以算是 BAN 的一種特性，因為通常人習慣身體與環境週遭保持一段距離。第二個 Cluster 的訊號因聚集在一起，以下之分析視為一個 Cluster，不再將之細分為幾個 Cluster。



(a)

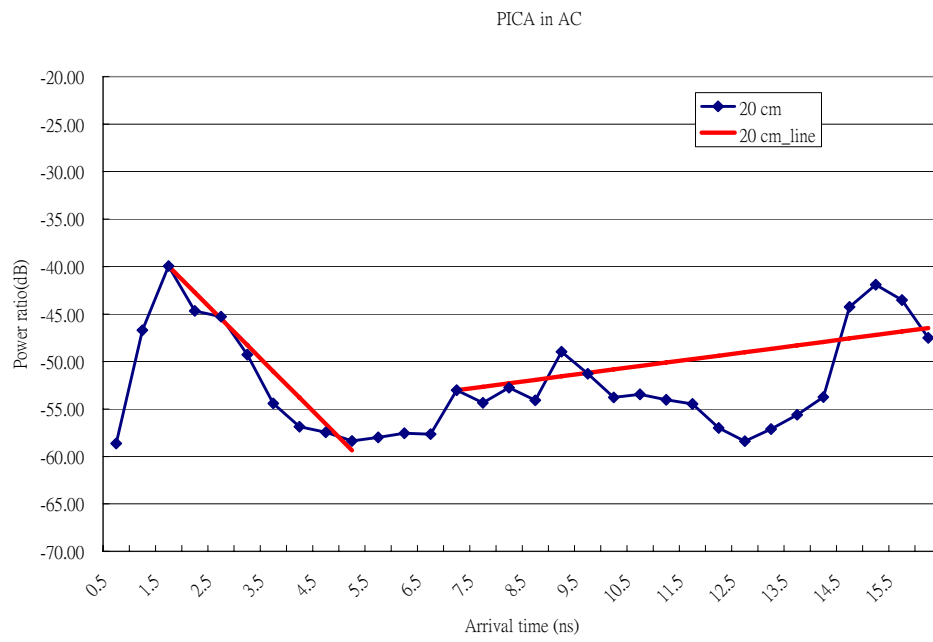


(b)

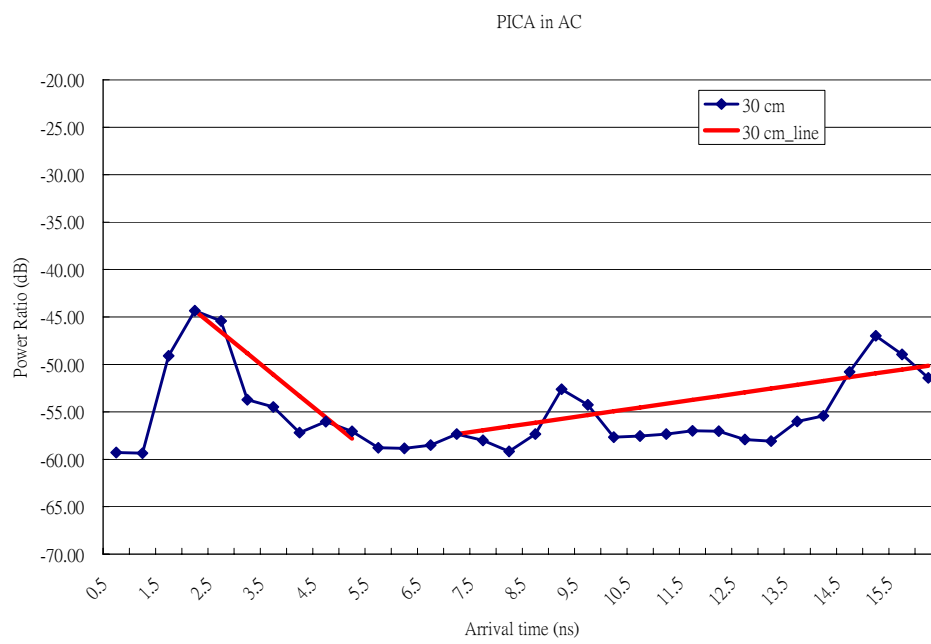
圖 42. PICA 天線在電波暗室與辦公室中的平均功率延遲分布

以距離 20 與 30 公分的量測結果，分別分析 PICA 在 LOS 與 NLOS 的情況下，訊號在電波暗室與辦公室的衰減速率，單位是 dB/ns，如以下簡表所述，並以圖表示。從結果中可以看出，不管在電波暗室與辦公室 20 公分的 Cluster 1 的衰減速率相近，因兩者同樣反映出身體的效應。在 30 公分兩者的差距也不大，但因在電波暗室中，沒有散射波，訊號小比較接近雜訊，因此衰減速率略小。Cluster 2 的衰減速率很小，在電波暗室中因遠處有一較大的散射體，衰減速率甚至為正值。特別注意的是，即使相距只有 20 公分，散射波卻已與視線波的強度相當。Cluster 1 的衰減速率，與其他的無線電通道模型較接近，但 Cluster 2 的衰減速率小，則是非常獨特。在 NLOS 的情況下，主要的訊號功率來自於 Cluster 2，因此 Cluster 2 在 NLOS 顯得更重要，不可忽略此段的訊號。

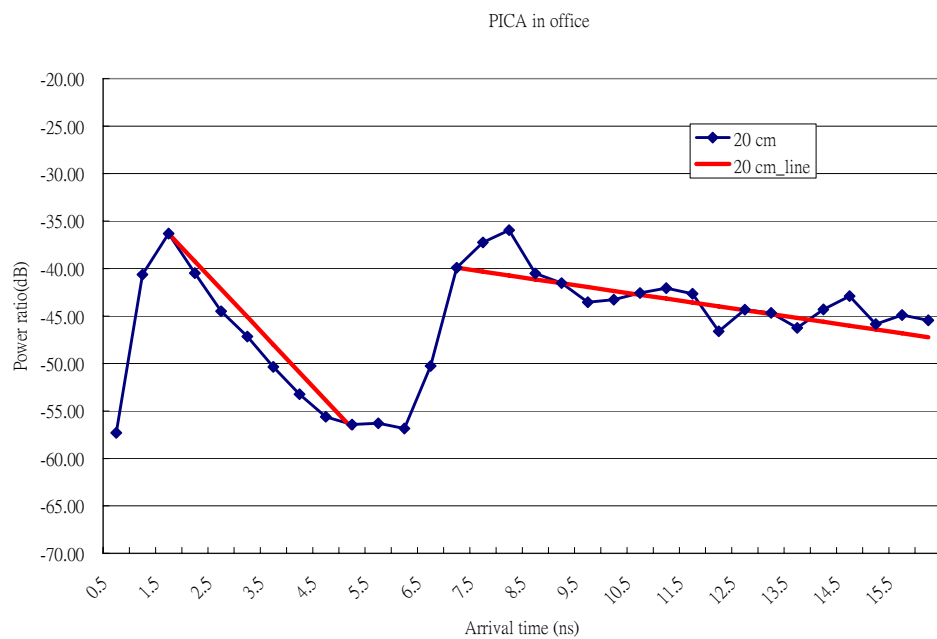
位置	Cluster 1 20 公分 (dB/ns)	Cluster 2 20 公分 (dB/ns)	Cluster 1 30 公分 (dB/ns)	Cluster 2 30 公分 (dB/ns)
電波暗室	-5.5	0.7	-4.5	0.8
辦公室	-5.9	-0.8	-5.4	-0.7



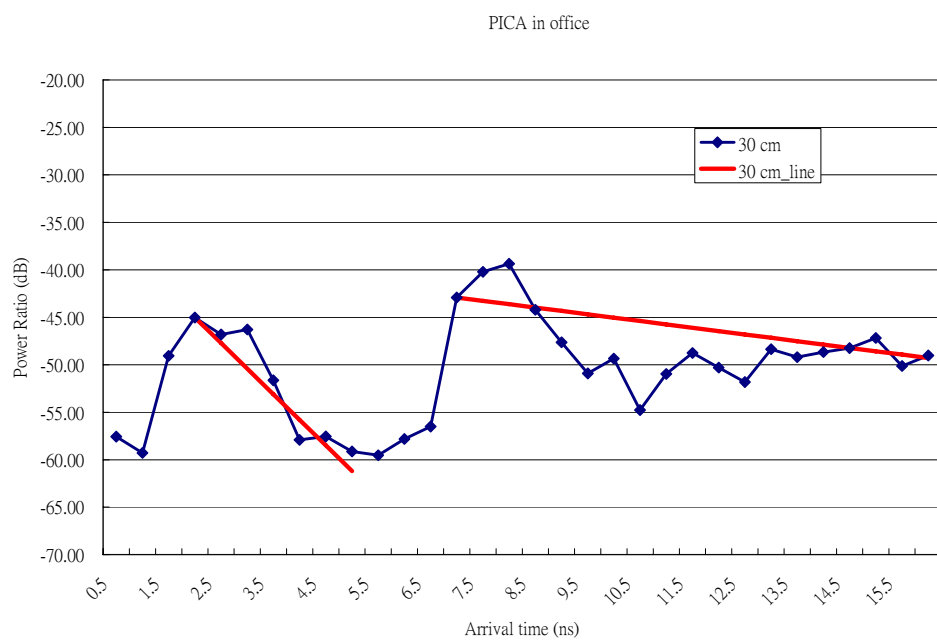
(a)



(b)



(c)

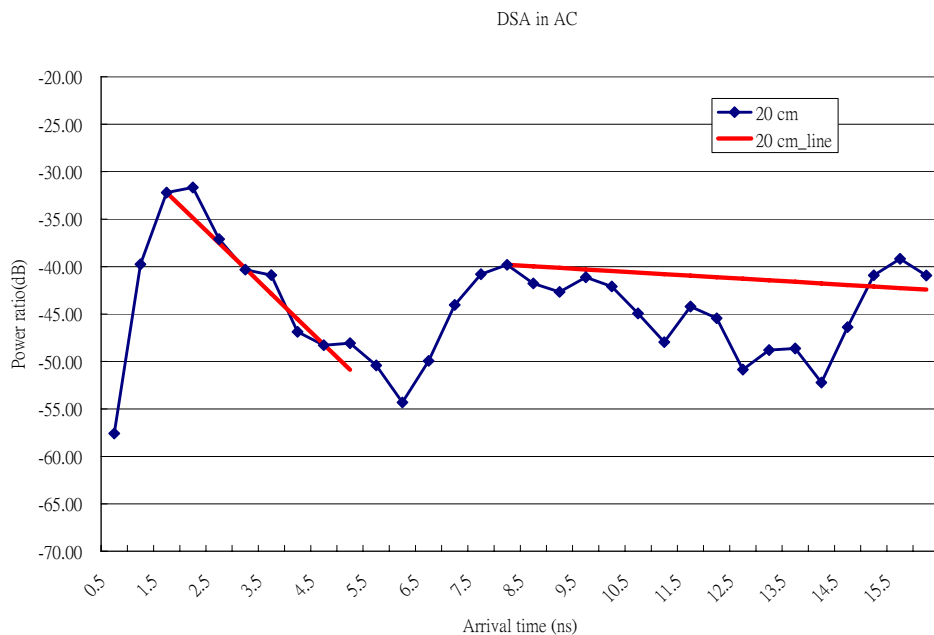


(d)

圖 43. PICA 天線在電波暗室(a)(b)與辦公室中(c)(d)的衰減速率

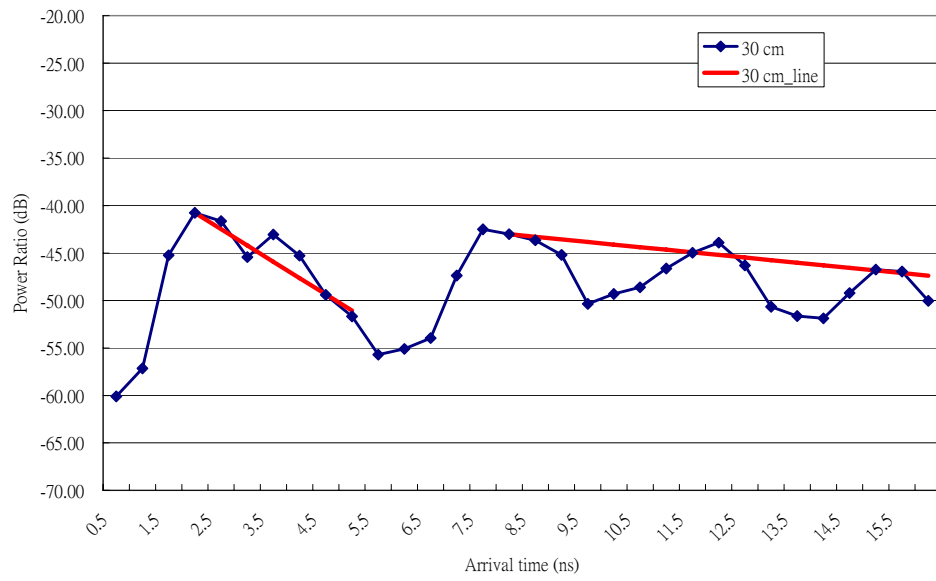
同樣地，以距離 20 與 30 公分的量測結果，分別分析 DSA 在 LOS 與 NLOS 的情況下，訊號在電波暗室與辦公室的衰減速率，如以下簡表所述，並以圖表示。從結果中可以看出，辦公室 20 公分的 Cluster 1 的衰減速率較小，但兩者差距不大，因兩者同樣反映出身體的效應。在 30 公分兩者的差距也不大。Cluster 2 在所有情況，衰減速率都很小，而且都十分接近。與 PICA 比較，可以看出其實衰減速率都相近。

位置	Cluster 1 20 公分 (dB/ns)	Cluster 2 20 公分 (dB/ns)	Cluster 1 30 公分 (dB/ns)	Cluster 2 30 公分 (dB/ns)
電波暗室	-5.3	-0.3	-3.4	-0.5
辦公室	-4.7	-0.3	-3.9	-0.8



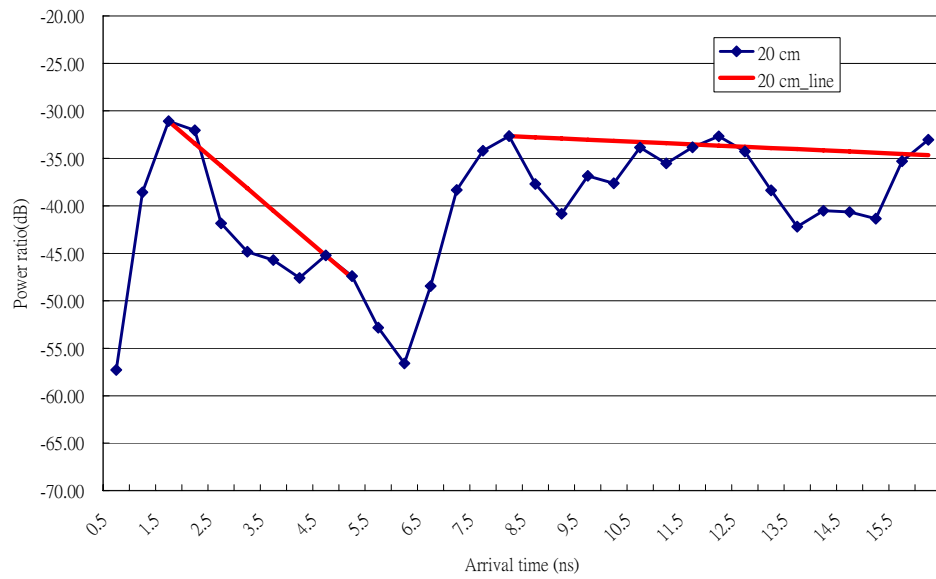
(a)

DSA in AC

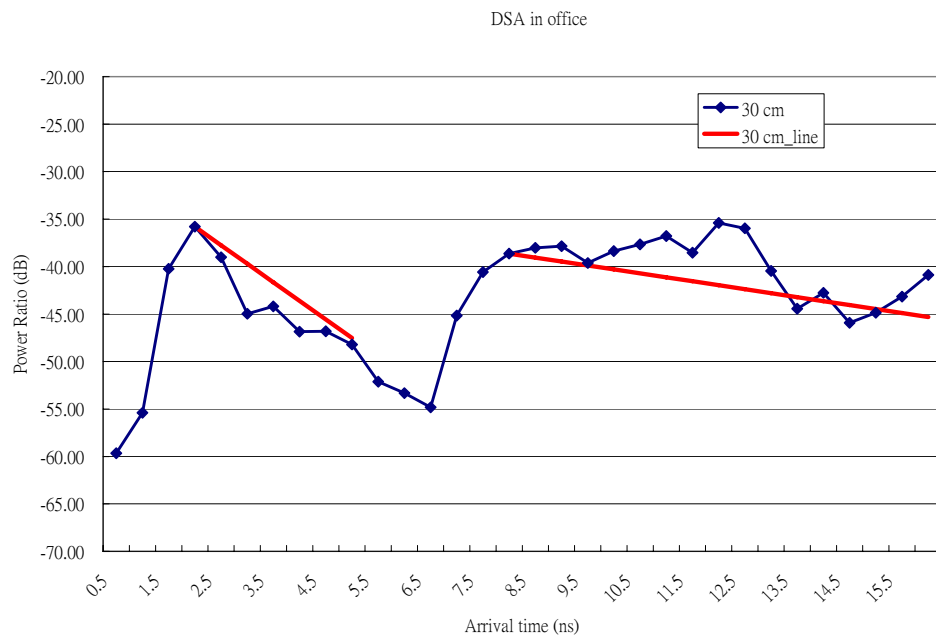


(b)

DSA in office



(c)



(d)

圖 44. DSA 天線在電波暗室(a)(b)與辦公室中(c)(d)的衰減速率

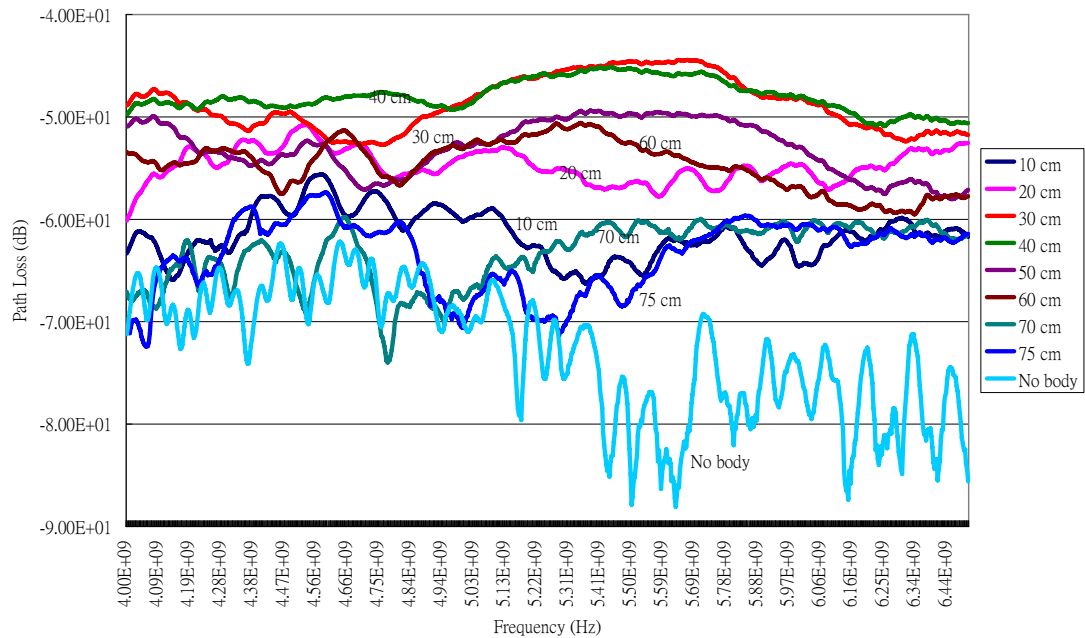
3.10. 散射體有效影響範圍探討

以上各節的研究項目，乃參考一般無線電通道研究的方法所訂定，但在執行計畫時，發現相較其他無線電網路，BAN 的直接傳播路徑非常短，使得其通道有其獨特性，若是依照一般無線電通道研究的方法，無法完善的描述其通道特性。

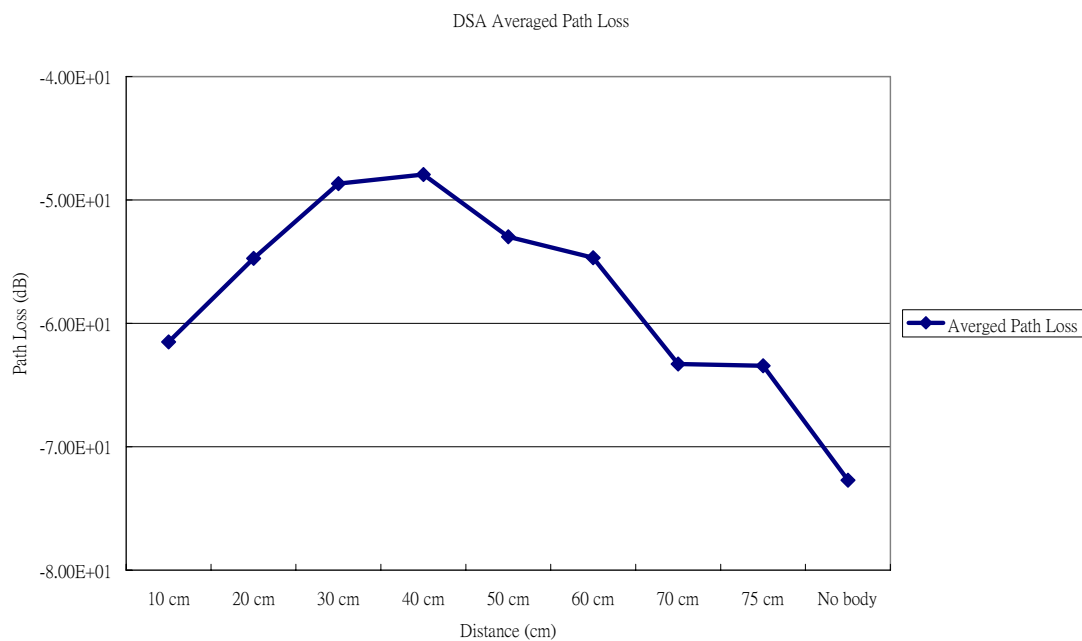
在本研究中實測時發現，當有物體靠近測試者(配帶天線者)，通道就有明顯的變化，而距離超過約 1~2 公尺(Object Dependent)，對通道的影響快速變小，特別是在 LOS 的情況下，這些在上述 LOS 的量測結果中可以得到印證，影響通道的只有身體以及近物。舉例而言，只要測試者的周圍 1~2 公尺內沒有任何物體，則不管是在辦公室、走廊或是空曠地，得到的通道參數可能差異不大；或者是測試者在同一個辦公室，但是測試時距室內物體有不同的距離，則量測結果可能就會有明顯的不同。

總而言之，對 BAN 通道而言，訊號並沒有從特定環境的這一端，'通過'環境，而到達環境的另一端，因此訊號並沒有'感受(Experience)'到環境的影響。所以，BAN 通道特性不適合再用環境類別區分，而應直接由近距離內物體的種類與距離而定。

以下在電波暗室內做一些量測，以說明物體距離對路徑損耗的影響。下圖(a)為佩帶 DSA 天線的測試者前方有人的情況，兩天線距離固定在 20 公分(LOS)，在不同人體間距下的路徑損耗圖。曲線'No body'為前方無人的情況下之路徑損耗，其損耗最大，當作基準做比較。圖中可以看出在兩人距離 30 與 40 公分時損耗最小，與最大損耗相差約 20~30 dB，到了 75 公分(限於電波暗室空間，最大可達間距)時，在低頻部分已接近 No body 的情況，但在高頻仍有差別，這反應出較高頻率在身體表面傳播損耗較大，或是天線場型的關係，因此對 DSA 而言，散射波在較高頻率的貢獻會比較重要。總之，週遭物體對通道影響很大。圖(b)為取頻率平均 S21(L, P, M, F)的比較圖，可以更清楚看出兩人體距離對路徑損耗的影響。



(a)



(b)

圖 45. 人體不同間距對路徑損耗的影響(DSA)

同樣地，以 PICA 天線的測試者前方有人的情況下，量測在不同人體間距的路徑損耗，兩天線距離固定在 20 公分。結果如下圖，曲線'No body'為前方無人的情況下之路徑損耗，其損耗最大，當作基準做比較。圖中可以看出在距離 20 公分時損耗最小，與最大損耗相差約 20 dB，到了 75 公分時，已接近 No body 的情況。

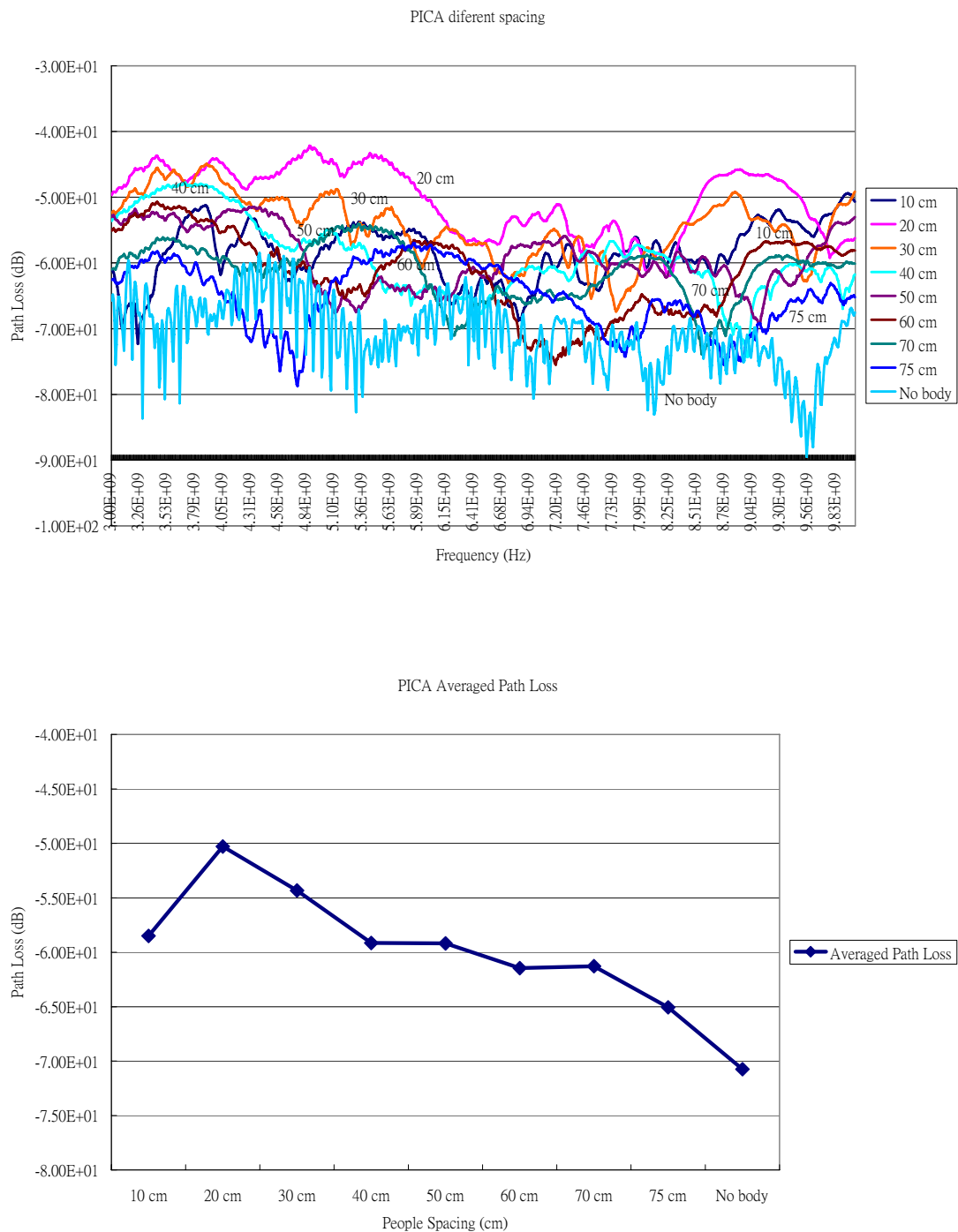


圖 46. 人體不同間距對路徑損耗的影響(PICA)

本節的研究內容已超出原計畫所定工作項目，但這一項是一個新的構想，接下來將進一步探討金屬、水泥牆面與木材等生活中常見的建築材料，在測試者前後左右，不同距離下對路徑損耗的影響，並做成分布以建立相關的模型，這些構想將在後續的‘超寬頻人體區域網路之無線電通道量測與模型建立’計畫中進行。

第四章_結論

4.1. 人體區域網路通道之特點

根據本計畫的研究結果，可以總結人體區域網路通道有下列的特點：

- 在 BAN 中人體永遠存在，人體對 BAN 通道有很大的影響。
- 人體對天線特性有很大的影響，進而對 BAN 通道產生影響。
- 人體對通道的影響，在多數情況下，會比環境還大。
- 與其他無線電網路通道不同，BAN 通道特性包含天線特性，因此天線特性對通道也有很重要的影響。
- 如上所述，人體與天線都對通道有很大的影響，但人體特性無法改變，因此要改善通道性能，改善天線特性是關鍵，特別是要研究如何降低人體的影響。
- 目前國際上發表的論文中，可以發現路徑損耗都很大，如何改善這一點非常重要，如上所述，改善天線特性是重要的關鍵。
- 目前國際上發表的論文中所使用的天線，大多直接採用現有的 UWB 天線或加以改良的天線，通常著重於頻寬，而忽視人體對天線的影響，因此未來使用在 BAN 的 UWB 天線，還有很大的發展空間。
- BAN 的傳播途徑包括視線波、繞射波以及來自人體部位與環境散射體的散射波。因此，對空曠地區的 BAN 而言，主要的傳播機制為視線波與繞射波，當環境中有密集的散射體時，散射波變得重要，特別是在 NLOS 的情況下。
- 由平均功率延遲分布分析結果可以發現，主要有兩個 Cluster，第一個 Cluster 到達的時間約 1~2 ns，第二個 Cluster 到達的時間約 7~8 ns，第一個 Cluster 來自視線波與人體部位的散射波，第二個 Cluster 為來自環境的散射波，從圖中可以看出兩個 Cluster 中間有段時間沒有任何訊號 (約 5~6 ns)，這是 BAN 的一種特性。在衰減速率方面，不管在電波暗室與辦公室 20 公分 Cluster 1 的衰減速率相近，因兩者同樣反映出身體的效應，其模型其他的無線電通道模型較接近。但 Cluster 2 的衰減速率小，則是非常獨特。在 NLOS 的情況下，主要的訊號功率來自於 Cluster 2，因此 Cluster 2 在 NLOS 顯得更重要，不可忽略此段的訊號。

- BAN 通道特性不適合用環境類別區分，而應直接由近距離內物體的種類與距離，訂定適當的模型。

4.2. 計畫效益與未來發展

本計畫在短短一年間完成下列的工作：

- 完成 2 種 on-body 天線之設計與製作。
- 進行天線之阻抗與場型等特性量測。
- 進行人體對天線之阻抗與場型影響的量測。
- 進行於電波暗室、辦公室與走廊無線電通道量測。
- 依據量測結果進行分析，建立 UWB BAN 通道之模型。

人體區域網路的研究在國內尚屬起步階段，國內外學術界對 UWB BAN 的研究仍舊不足，許多問題尚待探討，比如不同天線、不同人體姿勢與不同環境對通道特性的影響等等。針對這些問題，本計畫進行廣泛的研究內容，包括開發與使用 2 種 UWB 天線，在 3 種不同環境進行實測，由量測結果進行通道模型的分析，研究成果將作為後續研究的重要參考依據。

對於參與研究的人員，學習到自動化控制軟體的撰寫，UWB 的天線設計、製作，以及利用網路分析儀量測其阻抗特性，並在電波暗室使用天線量測系統，量測天線在自由空間與模擬佩帶在人體時的場型，並藉由 BAN 通道的實地量測，使工作人員明瞭通道原理、量測技術以及人體與環境對無線電通道的影響等等，獲得實用與學理兼具之訓練。

本計畫的研究結果顯示出一些 BAN 通道的獨特性，然而還有很多的研究工作要進行，比如研究更好的天線以降低路徑損耗，以及更準確實用的通道模型，比如散射體與天線距離影響通道的模型等。本計畫的通道結構仍屬於單發單收(SISO)，如何應用多發多收(MIMO)以增加 BAN 的通道容量，還有待以 MIMO 多天線的量測結構，實際進行更多的 BAN 通道量測與分析，才能建立 UWB BAN 最佳化的設計準則，這些研究議題將在本計畫的後續研究，為期兩年的'超寬頻人體區域網路之無線電通道量測與模型建立'計畫中進行，最終希望本研究所完成的 UWB BAN 通道特性研究結果，可以提供業界在設計或建立 on-body 系統時，一個重要的參考依據。

本計畫的研究成果，將會投稿 2010 年的全國電信研討會，以及近期內將投國外的期刊。

參考資料

- [1] Hall, P.S., “Antennas And Propagation for Body Centric Communications,” IET Seminar on Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications, 2007.
- [2] Mittra, R., “Modeling of Propagation on and Interaction between Body-mounted Antennas,” IET Seminar on Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications, 2007.
- [3] Lo B., Yang, G, “Body Sensor Networks - Research Challenges And Opportunities,” IET Seminar on Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications, 2007.
- [4] Hall, P.S., Y. Hao, “Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications,” Artech House, 2006.
- [5] Cheolhyo Lee, et al., “Physical Layer designs for WBAN Systems in IEEE 802.15.6 Proposals,” 9th International Symposium on Communications and Information Technology, ISCIT 2009.
- [6] Molisch, A. F., et al., “IEEE 802.15.4a Channel Model-Final Report,” Tech. Rep., Document IEEE 802.1504-0062-02-004a, 2005.
- [7] Schantz, H. G., Fullerton, L., “The Diamond Dipole: A Gaussian Impulse Antenna,” IEEE Antennas and Propagation Society Symp., 2001
- [8] Wu, X. H., Chen, Z. N., “Comparison of Planar Dipoles in UWB Applications,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 6, 2005.
- [9] Behdad, N., Sarabandi, “A Compact Antenna for Ultra-Wideband Applications,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 7, 2005.
- [10] Saitou, A., “Practical Realization of Self-complementary Broadband Antenna on Low-Loss Resin Substrate for UWB Applications,” IEEE MTT-S Int. Microwave Symp., Fort Worth, TX, 2004.
- [11] Suh, S., Stutzman, W.L., Davis, W. A., “A New Ultra-Wideband Printed Monopole Antenna: The Planar Inverted Cone Antenna (PICA),” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 52 no. 5, 2004.
- [12] Targonski, S. D. Waterhouse, R. B., Pozar, D. M., “Design of Wide-Band

- Aperture-Stacked Patch Microstrip Antennas,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 46 no. 9, 1998.
- [13] Yazdandoost, K. Y., Kohno, R., “Small Printed Antenna for UWB Applications,” First European Conference on Antennas and Propagation, 2006. EuCAP 2006.
 - [14] Yazdandoost, K. Y., Kohno, R., “UWB Antenna for Wireless Body Area Network,” Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, 2006.
 - [15] Klemm, M., Troester, G. “Characterization of an Aperture-Stacked Patch Antenna for Ultra-Wideband Wearable Radio Systems,” 15th Int. Conf. on Microwaves and Wireless Communications, Warsaw, Poland, 2004.
 - [16] Klemm, M., et al., “Novel Small-Size Directional Antenna for UWB WBAN/WPAN Applications,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 12, 2005.
 - [17] Klemm, M., Troester, G. “Textile UWB Antennas for Wireless Body Area Networks,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 54, no. 11-1, 2006.
 - [18] Georgios Almpanis, et al., “A Truncated Conical Dielectric Resonator Antenna for Body-Area Network Applications,” IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters, Vol. 8, 2009.
 - [19] Molisch, A. F., “Ultrawideband Propagation Channels-Theory, Measurement, and Modeling,” IEEE Trans. on Vehicular. Technology, vol. 54, no. 5, Sept. 2005.
 - [20] Zasowski, T., et al., “UWB for Noninvasive Wireless Body Area Networks: Channel Measurements and Results,” IEEE Conference on Ultra-Wideband Systems and Technologies, 2003.
 - [21] Ghannoum, H., et al., “Characterization of the UWB On-Body Propagation Channel,” Proc. EuCAP, 2009, France.
 - [22] Alomainy, A., Hao, Y., Parini, C. G., Hall, P.S. “UWB On-body Radio Propagation and System Modeling for Wireless Body-Centric Networks,” IEE Proc. Communications, Special Issue on UWB Theory, Technology and Applications, vol. 153, no. 1, 2006, pp.107-114.

無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：唐震寰			計畫編號：98-2221-E-009-051-				
計畫名稱：超寬頻人體區域網路之無線電通道量測與模型建立							
成果項目			量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）
			實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	6	6	100%	人次	
		博士生	1	1	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	1	1	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)	無
---	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

☒ 達成目標

☐ 未達成目標（請說明，以 100 字為限）

☐ 實驗失敗

☐ 因故實驗中斷

☐ 其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：☐ 已發表 ☐ 未發表之文稿 ☒ 撰寫中 ☐ 無

專利：☐ 已獲得 ☐ 申請中 ☒ 無

技轉：☐ 已技轉 ☐ 洽談中 ☒ 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

人體區域網路的研究在國內尚屬起步階段，國內外學術界對 UWB BAN 的研究仍舊不足，許多問題尚待探討，比如不同天線、不同人體姿勢與不同環境對通道特性的影響等等。針對這些問題，本計畫進行廣泛的研究內容，包括開發與使用 2 種 UWB 天線，在 3 種不同環境進行實測，由量測結果進行通道模型的分析，研究成果將作為後續研究的重要參考依據。本計畫的研究結果顯示出一些 BAN 通道的獨特性，然而還有很多的研究工作要進行，比如研究更好的天線以降低路徑損耗，以及更準確實用的通道模型，比如散射體與天線距離影響通道的模型等。本計畫的通道結構仍屬於單發單收(SISO)，如何應用多發多收(MIMO)以增加 BAN 的通道容量，還有待以 MIMO 多天線的量測結構，實際進行更多的 BAN 通道量測與分析，才能建立 UWB BAN 最佳化的設計準則，這些研究議題將在本計畫的後續研究，為期兩年的‘超寬頻人體區域網路之無線電通道量測與模型建立’計畫中進行，最終希望本研究所完成的 UWB BAN 通道特性研究結果，可以提供業界在設計或建立 on-body 系統時，一個重要的參考依據。