

國 立 交 通 大 學

電信工程學系碩士班

碩士論文

雙軸與三軸波束切換效能 5GHz 新式

巴特勒矩陣波束形成器



Novel 5-GHz Butler Matrix Beamformer with Two-Axis and  
Three-Axis Beam-Switching Capability

研 究 生：何宗遠

( Tsung-Yuan Ho )

指 導 教 授：林育德 博士

( Dr. Yu-De Lin )

中 華 民 國 九 十 五 年 七 月

雙軸與三軸波束切換效能 5GHz 新式  
巴特勒矩陣波束形成器

Novel 5-GHz Butler Matrix Beamformer with Two-Axis and  
Three-Axis Beam-Switching Capability

研究生：何宗遠

Student : Tsung-Yuan Ho

指導教授：林育德博士

Advisor : Dr. Yu-De Lin



A Thesis

Submitted to Department of Communication Engineering  
College of Electrical Engineering and Computer Science  
National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of  
Master of Science

In

Communication Engineering

July 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

# 雙軸與三軸波束切換效能 5GHz 新式

## 巴特勒矩陣波束形成器

研究生：何宗遠

指導教授：林育德 博士

國立交通大學 電信工程學系



波束切換式天線系統屬於智慧型天線之一，其基本結構包含陣列天線與波束形成器兩部分，其原理是利用產生數個不同方向之窄波束，分別指向各個方向，也就是相當於用  $N$  個天線來覆蓋  $N$  個角區域，藉此種機制可以實現追蹤用戶的目的。

論文中，分別提出具有雙軸與三軸波束切換效能，操作在 5GHz 的巴特勒矩陣波束形成器。雙軸波束形成器設計上，我們選擇以一組  $4 \times 4$  巴特勒矩陣的形式，結構上使用了雙層版的方式實現，並且利用射頻切換器切換兩組雙軸方向天線，簡單電路的改良，可使得天線端的旁瓣準位達到  $-10\text{dB}$  以下。在三軸波束形成器方面，我們使用兩組  $8 \times 8$  巴特勒矩陣，以  $16 \times 16$  巴特勒矩陣的形式呈現，藉由巴特勒矩陣線路佈局，利用四組不同的陣列天線來達到三軸波束切換的效果。

# Novel 5-GHz Butler Matrix Beamformer with Two-Axis and Three-Axis Beam-Switching Capability

Student: Tsung-Yuan Ho

Advisor: Dr. Yu-De Lin

Department of Communication Engineering  
National Chiao Tung University

## Abstract

The switched-beam antenna is one type of the smart antennas, which consists of the antenna array and the beamforming network. Its principle makes use of narrow wave of producing several different directions, pointing to each direction respectively. It is also equal to use  $N$  antennas overlay  $N$  corn district and can carry out a purpose of tracking the customer by this kind of mechanism.

In this thesis, we propose novel 5-GHz Butler matrix beamformers with two-axis and three-axis beam-switching capability. In the design of 5-GHz Butler matrix beamformer with two-axis, we use two-layer structure to design one set of  $4 \times 4$  Butler matrix, and implement Butler matrix beamformer with four switch-control circuits to achieve the two-axis beam-switching capability. Besides, by using simple circuits, the SSL (side-lobe level) of each beam is less than  $-10\text{dB}$ . In the 5-GHz Butler matrix beamformer with three-axis, we use two sets of  $8 \times 8$  Butler matrix to present structure in the form of  $16 \times 16$  Butler matrix, by setting up layout of Butler matrix, making use of four sets of antenna array to achieve three-axis beam-switching capability.

## Acknowledgment

在九樓的天空，總能嗅到不一樣的春夏秋冬；頂樓的視野，看著黎明破曉時分，逐漸遼闊了胸懷。“腳步很快”，這是每一天的體會，學如不及猶恐失之的感受，更是每天都上演的戲碼，正視接踵而來的挑戰，並當成是一種學習，試著在短時間內接受所有該做的任務，想辦法且快速逐步解決，我想這些都是碩士班真正學到的東西。

感謝之言，心胸之間雜感交集，一路走來最感謝林育德博士的指導，讓我知道職責之所在，責任之所在，當遇見瓶頸時，提供寶貴的經驗以協助解決，並盡心指導以致完成這本論文，銘謝之言絕非此禿筆能詳盡。

感謝父母親何松輝先生與游燕女士的栽培，有了妳們，才能讓我無後顧之憂專心致力於學業，無論在精神上或是資金上的協助，在此僅獻上這一份屬於你們的榮譽，亦致上最深的謝意。

感謝萬鑄學長、泰利學長以及黃瑞彬教授的不吝指正與指導，以彌補我思考上的缺失以及提醒我所忽略的考量；感謝詩虹、佳禾、珮芳、倩敏的加油打氣，讓我更有活力去面對每一次的困難；感謝實驗室同仁烈全、玉婷、沈鵬、約廷、向均、林翰以及學弟士彥、宏德、智聰、旻翰，除了於學業上相互扶持，並且讓平實的研究生活變得更具色彩，也感謝侑信學長的熱心幫忙與指導，感謝的人很多很多，因為大家的努力，與彼此學習，讓生活更有意義，也因此才能順利完成碩士學位。

# 目 錄

中文摘要

英文摘要

謝誌

目錄

圖錄

表錄

第一章 導論.....	1
1.1 工程背景與動機.....	1
1.2 章節綱要.....	2
第二章 雙軸波束切換效能 5GHz 新式巴特勒矩陣波束形成器.....	3
2.1 陣列天線.....	3
2.1.1 陣列天線原理.....	3
2.1.2 微帶陣列天線.....	6
2.1.3 單一導體洩漏波陣列天線.....	9
2.2 巴特勒矩陣基本原理.....	13
2.2.1 4x4 巴特勒矩陣電路設計.....	17
2.3 射頻切換器.....	19
2.3.1 射頻切換器原理.....	19
2.3.2 射頻切換器實作與量測結果討論.....	22
2.4 雙軸波束切換效能 5GHz 新式巴特勒矩陣波束形成器.....	24
第三章 三軸波束切換效能 5GHz 新式巴特勒矩陣波束形成器.....	36
3.1 8x8 巴特勒矩陣電路設計.....	36
3.2 三軸波束切換效能 5GHz 新式巴特勒矩陣波束形成器.....	37

第四章 總結..... 53

參考文獻..... 55



## 圖 錄

圖 2-1	四波束智慧型天線, 覆蓋 120 度扇型區域示意圖.....	3
圖 2-2	點波源等間距之線性陣列.....	4
圖 2-3	均勻電流激發四個天線的陣列因子.....	5
圖 2-4	1x4 微帶陣列天線 H-plane(y-z)場型位置示意圖.....	7
圖 2-5	1x4 微帶陣列天線設計結構參數圖.....	7
圖 2-6	矩形微帶天線元素間距 $d=0.5\lambda$ 、激發電流大小比例為 1:2:2:1、饋入相位差 $\alpha = -45^\circ、135^\circ、-135^\circ、45^\circ$ 之激發電流所產生 H-plane (y-z)場型圖.....	8
圖 2-7	1x4 單一導體洩漏波陣列天線 E-plane(x-y)場型位置示意圖.....	10
圖 2-8	1x4 單一導體陣列天線設計結構參數.....	11
圖 2-9	單一導體洩漏波天線元素間距 $d=0.95\lambda$ 、激發電流大小比例為 1:2:2:1、饋入相位差 $\alpha = -45^\circ、135^\circ、-135^\circ、45^\circ$ 之激發電流所產生 E-plane (x-y)場型圖.....	12
圖 2-10	波束切換系統(switched-beam system)的架構圖.....	14
圖 2-11	4x4 巴特勒矩陣的示意圖.....	15
圖 2-12	主波束方向示意圖.....	16
圖 2-13	4x4 巴特勒矩陣饋入的結構圖.....	17
圖 2-14	激發電流比為 1:2:2:1 分佈的 4x4 巴特勒矩陣饋入的結構圖.....	18
圖 2-15	激發電流比為 1:2:2:1 分佈的 4x4 巴特勒矩陣饋入的設計圖.....	18
圖 2-16	三種基本類型的(a)符號與(b)方塊圖.....	19
圖 2-17	HWS468 砷化鎵二極體俯視圖.....	20
圖 2-18	HWS468 砷化鎵二極體外型規格圖.....	20
圖 2-19	(a)切換器於輸出端(b)切換器於輸入端 之巴特勒矩陣電路.....	21
圖 2-20	SPDT 射頻切換器實作圖.....	22
圖 2-21	SPDT 射頻切換器(a)(b)之不同邏輯設定之量測結果.....	23
圖 2-22	雙平面場型調變的巴特勒矩陣結構圖.....	25
圖 2-23	雙平面場型調變的巴特勒矩陣俯視圖.....	25



圖 2-24	雙平面場型調變的巴特勒矩陣實體圖.....	25
圖 2-25	$V_{c1}=0$ 、 $V_{c2}=1$ 之 S 參數圖.....	26
圖 2-26	$V_{c1}=1$ 、 $V_{c2}=0$ 之 S 參數圖.....	27
圖 2-27	單一導體洩漏波天線陣列之 4x4 巴特勒矩陣電路場型模擬與量測比較圖... .....	29
圖 2-28	微帶天線陣列之 4x4 巴特勒矩陣電路場型模擬與量測比較圖.....	32
圖 2-29	所量測之陣列天線 xz-plane 場型圖.....	34
圖 2-30	所量測之單一導體洩漏波陣列天線 yz-plane 場型圖.....	35
圖 3-1	兩個 4x4 巴特勒矩陣結合圖.....	36
圖 3-2	8x8 巴特勒矩陣電路結構圖.....	36
圖 3-3	三軸波束切換效能巴特勒矩陣結構圖.....	37
圖 3-4	三軸波束切換效能巴特勒矩陣俯視圖.....	38
圖 3-5	三軸波束切換效能巴特勒矩陣正面俯視圖.....	38
圖 3-6	三軸波束切換效能巴特勒矩陣背面俯視圖.....	39
圖 3-7	單一導體洩漏波天線陣列的 8x8 巴特勒矩陣量測的 S11(Return Loss)....	40
圖 3-8	微帶天線陣列的 8x8 巴特勒矩陣量測的 S11(Return Loss).....	41
圖 3-9	單一導體洩漏波天線陣列的 8x8 巴特勒矩陣量測的隔離度(Isolation)..	42
圖 3-10	微帶天線陣列的 8x8 巴特勒矩陣量測的隔離(Isolation).....	43
圖 3-11	分別在 $x_1$ ， $x_2$ ， $x_3$ ， $x_4$ ， $x_5$ ， $x_6$ ， $x_7$ ， $x_8$ 饋入所量測到的輻射場型....	47
圖 3-12	分別在 $x_1'$ 、 $x_2'$ 、 $x_3'$ 、 $x_4'$ 、 $x_5'$ 、 $x_6'$ 、 $x_7'$ 、 $x_8'$ 饋入所量 測到的輻射場型.....	52

## 表 錄

表 2.1	不同元素間距與固定的饋入相位差所產生的主波束的方向角的表格.....	6
表 2.2	微帶陣列天線不同饋入相位差所產生主波束方向角與旁瓣準位(SLL)模擬值之表格.....	9
表 2.3	單一導體洩漏波陣列天線不同饋入相位差所產生主波束方向角與旁瓣準位(SLL)模擬值之表格.....	13
表 2.4	元素間距 $\alpha=0.5\lambda$ 天線陣列激發端之相位分佈與主波束方向的關係表格...	16
表 2.5	HWS468 砷化鎵二極體之邏輯表.....	20
表 2.6	5GHz 頻率點周圍之參數.....	24
表 2.7	單一導體洩漏波天線主波數方向角度之計算與量測比較.....	30
表 2.8	微帶陣列天線主波數方向角度之計算與量測比較.....	32
表 2.9	三軸波束形換器陣列天線主波數方向角度之計算與量測比較(一).....	48
表 3.0	三軸波束形換器陣列天線主波數方向角度之計算與量測比較(二).....	52

