

# 應用 X-band 雷達影像及 GIS 估算 浮筏式蚵架數量

莊士賢<sup>1</sup> 張維音<sup>2</sup> 鄭仁杰<sup>3</sup> 吳立中<sup>4</sup> 陳禹儒<sup>5</sup> 黃瓊珠<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 國立成功大學海洋科技與事務研究所副教授

<sup>2</sup> 國立成功大學海洋科技與事務研究所碩士

<sup>3</sup> 國立成功大學海洋科技與事務研究所碩士生

<sup>4</sup> 國立成功大學近海水文中心助理研究員

<sup>5</sup> 國立成功大學海洋科技與事務研究所博士生

<sup>6</sup> 國立成功大學海洋科技與事務研究所研究助理

## 摘要

本研究利用 X-band 雷達獲取近海牡蠣養殖區域的海面回波影像，再經由 ArcGIS 的影像辨識及空間分析工具估算蚵棚數量。雷達回波影像之處理與分析是以蚵棚回波強弱度做為辨識依據，先以非監督式分類中的 ISODATA 分析獲得影像內的分類群集，再以 ArcPy 建立屬於計算 X-band 雷達回波內蚵棚數目的句法模型，然後進行空間分析運算得到統計量，最後與無人載具飛行器的航空照之實際數量進行比對與誤差分析。蚵架的雷達回波強度會因蚵架與雷達架設地點之距離不同而顯現差異，距離近的回波影像較強、辨識率較佳；較遠的則回波較弱、辨識率較差。為了降低距離效應對影像聚類分析造成影響，所以將研究總區域依距離遠近切分成獨立的五個辨識區，越靠近雷達觀測架設點所得到的蚵架影像辨識成效及數量統計會越接近空照圖內的蚵架實際分布狀況。距離最近一區(225 公尺範圍內)的蚵架數估算吻合度達 94%；超過 1000 公尺外的蚵架則會因回波能量太弱，使得本研究建立的影像辨識技術所估測的蚵架數量只有空拍照所顯示數量的 6 成以上。以 X-band 雷達進行淺海蚵棚的數量監測之優勢是能進行即時且連續地觀測，即使在天候不佳狀況下，也能提供遠端監控服務，因此能長期、持續地自動監測近海的蚵棚布放狀況，以有效地管理近海牡蠣養殖，並能更精確地掌握產量與產值及評估災後的經濟損失，也能夠據以評估該產業對環境造成的影響，或天然災害後做為救助金發放之依據。

關鍵字：空間分析、非監督式分類、ISODATA、蚵架、X-band 雷達

## GIS Spatial Analysis of X-band Radar Echo Images on Estimating the Number of Floating Oyster Rafts

Laurence Zsu-Hsin Chuang \* Wei-Yin Chang Ren-Jie Zheng Li-Chung Wu  
Yu-Ru Chen Chiung-Chu Huang

\* Associate Professor, Department of Institute of Ocean Technology and Marine Affairs, National Cheng Kung University

## ABSTRACT

The main purpose of this study is to estimate offshore floating oyster raft numbers by analyzing the sea surface images that are acquired with nautical X-band radar. The softwares provided by ArcGIS were applied to identifying radar echoes of oyster rafts with an image classification tool, and then to estimating amount of oyster rafts with a spatical analysis tool. Finally, statistics were compared against and used for error analysis for the information derived from the aerial photographs, which were obtained by an unmanned aerial vehicle.

The strength of the radar echo that bounces back from oyster rafts fluctuated when the distance between the oyster rafts and the radar station changed. The shorter the distance, the stronger the echo and the better recognizability became; the further the distance, the weaker the echo and the worse recognizability became. In order to reduce the effect of distance on image clustering analysis, we divided the total area into five independent identification zones based on the distances between the oyster rafts and the radar station. The images of the oyster rafts closest to the radar station were recognized more efficiently, and the estimated number and distribution of these oyster rafts then became closer to how they were shown on the aerial photograph. The estimated number of oyster rafts located in the nearest area (within 225 meters), was 94 percent matched with the number shown in the aerial photograph. The estimated number of 1000-meter-away oyster rafts only reached more than 60 percent of the number shown on the aerial photograph because the radar echoes became too weak from there.

The advantage of using X-band radars for the quantitative monitoring of oyster rafts located in the shallow sea area is that real-time and uninterrupted monitoring can be conducted despite bad weather. Therefore, the placement of oyster rafts can be automatically monitored in a long-term and continuous manner in order to efficiently manage offshore oyster farming. This study has potential expected results on providing more precise estimation of oyster yield, assessment of economic loss after disasters, and evaluation of the impact of the oyster farming on the maritime environment, as well as serving as a basis for the aid payments issued after natural disasters.

Keywords: spatial analysis, unsupervised classification, ISODATA, oyster raft, X-band radar

## 一、前言

臺灣西部海岸具有廣闊的淺水海域，水溫、洋流條件又有利於發展牡蠣養殖，因此台灣貝類養殖產量中，以牡蠣產量為最高。台灣牡蠣養殖技術已發展多年，早期養殖方式以插竹式為主，但隨著養殖技術的提升，已發展出垂下式、浮筏式、延繩式等方式，提高了養殖的產量。台南市海域為台灣牡蠣養殖的主要地區，在漁業經濟上佔有很大的產值。目前南海域的牡蠣養殖多採用竹桿縱橫編成筏架，並以保麗龍固定於下方作為浮力的支撐，再以3個蚵架串成一組浮筏，在浮筏兩端以錨繩固定，將蚵串垂直掛於蚵架下，使沉於海水中。雖然台南市政府持續研發有其他環保材料取代保麗龍與竹桿，但大多都因成本考量或海上施工不便而較少人使用。當地政府雖然也有建立保麗龍與竹製蚵架的回收制度，但海岸還是滿佈這些廢棄物，回收成效不彰。

牡蠣養殖除了會造成廢棄物污染，風災前後又因無法即時掌握蚵棚數量及位置，再加上養殖區監控管理困難，存在許多未登記蚵棚，因此當政府要對受災戶辦理救助或輔導申辦優惠貸款時，往往缺乏佐證資料，使得公平性受到質疑，且增加當地政府管理成本與負擔，所以如何有效統計海

上蚵棚數與掌握養殖戶資訊應是現階段海域牡蠣養殖管理的核心議題。

目前蚵棚的管理大都利用衛星(陳等, 2010)或(無人)飛行載具拍攝航空影像做數量的統計(漁業署, 2016)，但此方法的成本較高、且無法即時獲取最新蚵棚數量與動態變化。監測品質也易受到海氣象條件限制，特別是當遠處傳來的颱風長浪或西南風鋒面過境期間，很容易破壞大片海域的蚵棚，並造成廢棄物漂流擴散，此時上述的傳統監測方式往往在災前與災後無法有效地掌握蚵棚位置與數量變化。

為了能隨時監控養殖海域內的蚵棚數量與位置，以有效掌握養殖戶狀況，並做後續管理，因此本研究擬整合硬體系統及軟體功能，利用 X-band 雷達監測近海牡蠣養殖區域的海面回波影像，再經由 GIS 的影像辨識及空間分析工具，來識別與統計雷達回波影像內的蚵棚數量。雷達回波影像之處理與分析是以蚵棚回波強弱度做為辨識依據，先以非監督式分類分析獲得影像內的分類群集，再建立句法模型以進行空間分析運算得到統計量，最後與無人載具飛行器的空拍影像中之蚵棚實際數量與座標進行比對與誤差分析。

## 二、文獻回顧

從遙測影像得到地貌的使用狀況及分布資料，大多是以監督式分類(supervised classification)與非監督式分類(unsupervised classification)來辨識，ArcGIS 的影像分類方法也分為此兩類(Lillesand et al., 2014)。監督式分類法主要是由圖像中像元特徵，如：地真資料(ground truth)、光譜資料等，首先經人工從資料中圈選訓練樣區(training area)建立訓練樣本，當作之後判識整幅影像圖像的依據(王，2001)。其中電腦認知圖像是計算其類別內的均數及共變異矩陣等相關統計值當作特徵組，之後再依統計特性的機率密度函數對整張影像作像元分類(黃，2000a)。此分類可分為兩階段：第一階段為訓練階段，依欲分類的類別先選取一個基準樣本；第二階段為分類階段，將訓練樣本所計算的類別統計值，將影像依據此統計特性做判識。傳統判別方法有三(黃，2000b)：最短距離法、平行六面體法、與最大概似分類法。

非監督式分類法又稱聚類分析，是先由影像分析者直接訂定分類數，基於影像中像元有聚集分佈型態的現象和特性，直接檢查一大串未知像元後直接利用群集分析和統計之平均數及標準差，分類出不同類別最後再定義其屬性類別名稱(王，2001)。非監督式分類法可減少監督式分類法中圈選訓練樣區之人工時間，同時對地表實際類別較不會遺漏，但其統計方法分群所應用的是同一地物像元特徵相近的原理，所以也必須有足夠參考資料才能知道各群集所對應的地類(黃，2000a)。而監督與非監督此二法最大的差異即在於影像分析是否需進行訓練區域的取樣。非監督式分類的統計方法則有 K-均數聚集法與反覆自我組織資料分析法(ISODATA)。

### 三、研究方法

#### 3.1 X-band 雷達監測蚵架之機制

X-band 雷達原先為船艦導航的設備，透過改裝與系統整合後可做為蚵架監測系統之核心硬體元件。雷達主動發射的電磁波投向指定空間，經陸地、水體、或物體之表面而產生反射，將擷獲的回波訊號進行分析，可以辨識陸地、島嶼、或航行載具等(吳等，2015)，也可由反射表面的回波特徵推估植被、表面流場、或波況等資訊。藉由反射表面的回波特徵不同，再透過雷達回波影像之分析，進而識別出蚵架的雷達回波，並在此基礎下，進行蚵架數量統計的研究。

#### 3.2 影像分類與辨識

##### 3.2.1 非監督式學習

非監督式分類直接通過聚類運算做分類，為單純依影像光譜性質自動分類，使用者只須設定欲分類數目，與電腦預設或自主設定各分類參數，經反覆迭代計算，便可得到分類結果。因雷達回波強度值並非像光譜影像有特定的特徵值，且環境天氣會影響判斷蚵架的強度回波標準，故本研究選擇非監督式分類做影像辨識與分類，並以雷達回波圖的灰度值作為影像分類的依據。

而在 GIS 內所屬的功能為反覆式自我組織資料分析群集偵測法(iterative self-organizing cluster analysis, ISODATA)。在概念上是將影像設隨機中心當成初始類別的種子(seed)，依據判別規則進行自動反覆運算與分類，在反覆運算中對上一次運算的聚類結果進行統計分析，根據統計參數對已有類別進行取消、分裂、合併處理，並接續下一次的運算，促使像元值和所有類別平均值距離最小，直到超過最大反覆運算值或者滿足分類參數限定值為止(顏，2008)。最後取群集相同性質的像元，將相似的像元歸類到所屬群集內，使群集更為均質化(Huang, 2002)。

##### 3.2.2 焦點分析

焦點分析是 ArcGIS 內的其中一種考慮空間鄰近關係之空間分析工具，使用焦點運算工具，能經由設定鄰近區域範圍大小來統計特定值，藉由特定值使各像元轉換成新的所屬值，來得到新的影像空間圖層。經過焦點分析後，促使回波較強的像元值增加、回波值越小的孤立像元消失，使分類效果更為集中。

##### 3.2.3 分層化影像分類的群集

雷達回波影像圖在經過 ISODATA 聚類分析及焦點分析的計算後，可觀察到各個群集分布在空間中，且影像回波值較強的群集會包含在影像回波值較弱的群集內，呈現等高線圖的概念，高程越高則回波值越強。而雷達回波影像會因雷達與蚵架的距離遠近，產生回波影像有擴散或模糊的狀況，必須藉由回波強度等級的劃分來得到影像高程截面，以等高線較高代表回波較強的定義，作為選取判斷和計算蚵架數目時的依據。

##### 3.2.4 資料向量化及濾波

對影像各分區的截面層做提取後，截面層仍是網格資料圖層，需將之轉成向量化資料圖層，以利之後邊界、周長，與面積的運算。然而，在轉向量化的過程中，會有一些獨立區、細碎噪訊的影像被運算出來，在影像處理上，必須針對這些不必要

的信息濾除，可經由 SQL 定義式將這些細小的影像值去除。

#### 四、結果與討論

本文研究對象是位於台南市安平商港南堤南側海域的蚵棚養殖區，因此將 X-band 雷達架設於南堤上，並設定每分鐘 42 轉掃描外海的蚵棚養殖區，每半小時觀測約 3 分鐘，可取得 128 張連續雷達回波圖。將原始雷達類比訊號轉換成數位訊號後，經過去除雜訊、移動平均(去除波浪訊號)、強化、與轉灰階等前置處理，獲得包含有蚵棚回波訊號在內的海面回波影像。

蚵架的雷達回波強度會因蚵架與雷達架設地點之距離不同而顯現差異，距離近的回波影像較強、辨識率較佳；較遠的則回波較弱、辨識率較差，甚至在距離雷達架設地點最遠的區域則無法分辨蚵架回波。為了降低上述距離效應對後續分析結果造成影響，所以將研究總區域切分作單獨的五個辨識區(圖 1、圖 2)，由於同一區域的蚵架回波性質較為接近，在影像辨識時較易將蚵架影像分離出來。以雷達架設地點為起點，最近的 225 公尺範圍內目標物為第一區、225~650 公尺內為第二區、650~1100 公尺內為第三區、1100~1650 公尺內為第四區、1650~2000 公尺內為第五區。

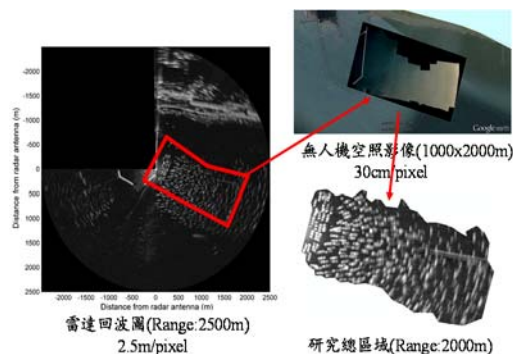


圖 1 研究區域的雷達回波與空照影像

切分完分區後，開始進行雷達回波影像分類辨識，因每個分區所做的分析步驟都相同，所以僅以第一分區做為範例說明。圖 3(a)為劃分出第一分區的雷達回波原始影像，灰白色為目標物蚵架回波，越白表示回波強度越強、越明顯。接著，使用 GIS 中非監督式的 ISODATA 分析，依據雷達回波影像像元的灰階強弱度做辨識分類，將雷達原始影像分類成十五個群集(如圖 3(b))。

為了使分類效果更為集中，藉由 GIS 中地圖代數的焦點分析(Focal)針對影像中回波值做邏輯性的計算，將每像元與另八個鄰近區像元值做算

術平均數運算，促使回波較強的像元值增加，也可使回波值越小的孤立像元消失(如圖 3(c))。再來，依照各強弱群集做切層(Slice)，將回波值相同群集截面給單獨切出分層，就如同等高程的等高線截面面積被提出，此可做為後續進行蚵架篩選的原始圖層(如圖 3(d))。

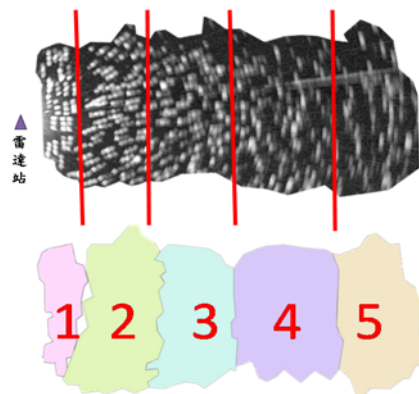


圖 2 研究總區域分成五區

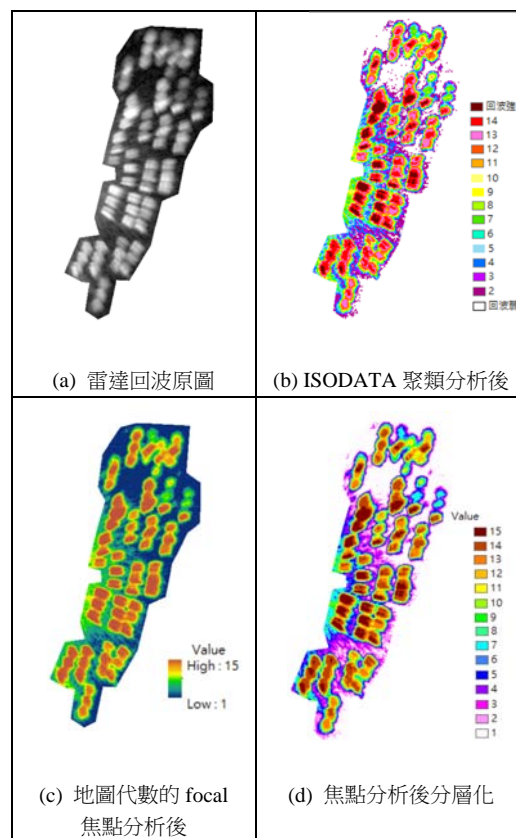


圖 3 第一分區的雷達回波影像分類辨識過程

本研究是以截面層回波影像型態之屬性資料(周長大小)做為判斷單個蚵架的依據，但同一分區仍會出現回波強度不一的情況，所以在進行蚵架篩選時，須將不同回波強度的前後截面分層提取匯出做比較分析(如圖 4)。對各分區的截面層做提取後，截面層仍究是網格資料圖層，需將之轉成向

量化資料圖層方可使用向量化工具計算出邊界、周長、與面積等屬性資料以進行蚵架數量的估算以及去除掉不必要的獨立區及細碎噪訊。

完成濾波後之各截面層，首先利用 SQL 定義式(周長)進行單個蚵架的篩選與標示，接著，將前後截面層兩兩做比較，可求得各第一分區各截面層的數量比較如圖 5，從圖中可計算各截面層新增加的蚵架數量  $X_{N+}$ (以黃色標示)及消失的蚵架數量  $X_{N-}$ (以綠色標示)，結果列於表 1。每次圖層比較時，利用  $|X_N - X_{N-1}| = |(X_{N+}) - (X_{N-})|$  之平衡式關係，可確認當前層內的蚵架數量  $X_N$  與前一層內的蚵架數量  $X_{N-1}$  之差，等於新增蚵架數量  $X_{N+}$  與消失蚵架數量  $X_{N-}$  之差，最後將各截面層的新增蚵架數量加總，即是該區分辨出的單一蚵架之總數。

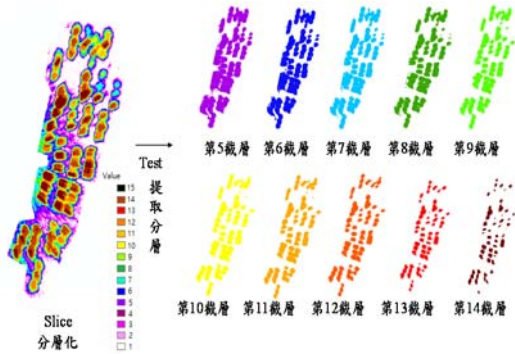


圖 4 提取第 5 至第 14 截面層示意圖

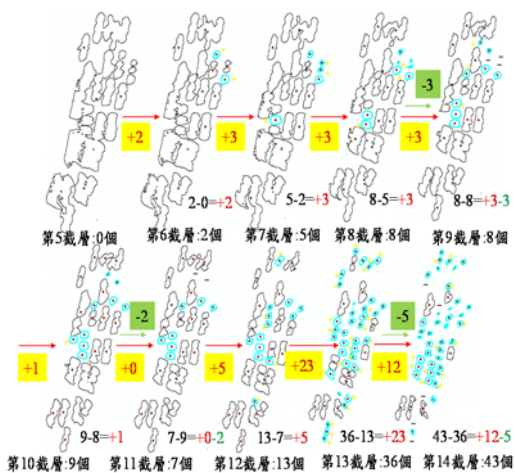


圖 5 各截面層前後比較單個蚵架數量及數量平衡

將所有第一分區的單個蚵架數量做統計加總後，發現在最高截面層仍存在一些回波值較強，但無法分離成單個蚵架回波之影像(多個蚵架類型，見圖 6)，可透過加權統計的概念，將未能分離成單個蚵架回波的影像面積，除以該截面層單個蚵架回波影像的面積平均值，便得到多個蚵架類型的回波影像內可能的蚵架數量，再與先前計算之單

個蚵架總數相加，即完成第一分區蚵架數量之統計。接著，將第一分區蚵架數量的統計結果與第一分區範圍內由 UAV 空拍照計數的實際蚵架數量作比較(如圖 7)，並探討由雷達回波辨識出的蚵架計算數量與實際數量的誤差。

表 1 第一分區各截面層篩選出的單一蚵架統計數

截面層	SQL 定義式	單個蚵架數量	新增的蚵架數量 $X_{N+}$	消失的蚵架數量 $X_{N-}$
5	Shape_length<=0.15	0	0	0
6	Shape_length<=0.15	2	+2	0
7	Shape_length<=0.2	5	+3	0
8	Shape_length<=0.2 & Shape_length>=0.031	8	+3	0
9	Shape_length<=0.18	8	+3	-3
10	Shape_length<=0.18	9	+1	0
11	Shape_length<=0.11	7	+0	-2
12	Shape_length<=0.16	13	+5	0
13	Shape_length<=0.15	36	+23	0
14	Shape_length<=0.14	43	+12	-5
總共			+52	

\*注:SQL 的定義式以周長(Shape\_length)範圍做選取，各數值於 ArcGIS 內屬性表內的欄位屬性設計(output field type)中選擇 double(雙進位制)表示)，0.001=1m

將五個分區的蚵架雷達回波辨識影像與空拍照比對後可綜整出表 2 之比較結果，可知前二分區內的蚵架數量吻合度達 85% 以上，而在距離觀測雷達 1000 公尺處之吻合度略降至 78%，超過 1000 公尺外的蚵架則因回波能量太弱，使得本研究建立的影像辨識技術所估測的蚵架數量遠低於空拍照所計數的數量。蚵架的雷達回波強度會因蚵架與雷達架設地點之距離不同而顯現差異，距離近的回波影像較強、辨識率較佳；較遠的則回波較弱、辨識率較差，甚至在距離雷達架設地點最遠的區域則無法有效分辨蚵架回波。

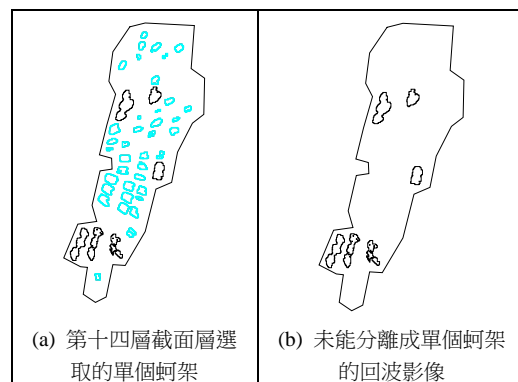


圖 6 第一分區的蚵架雷達回波中未能分離成單個蚵架影像之多個蚵架類型圖層



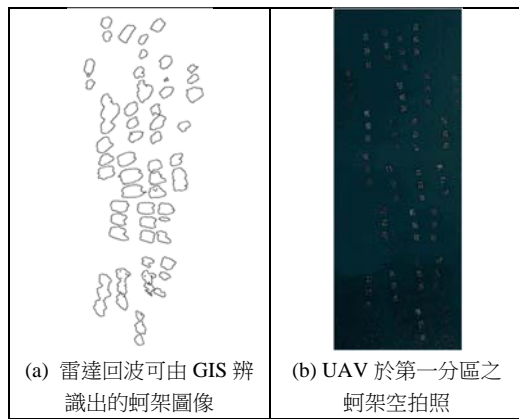


圖 7 第一分區的蚵架雷達回波辨識結果與空拍照之比對

表 2 各分區雷達回波辨識出的蚵架計算數量與實際數量比較誤差

分區	與雷達距離(m)	雷達回波估計蚵架數量(個)	空拍照計數蚵架數量(個)	蚵架數量差異(個)	吻合度(%)
1	<250	68	72	4	94.44
2	250~650	167	197	30	84.78
3	650~1100	123	158	35	77.85
4	1100~1650	104	162	58	64.20
5	1650~2000	96	159	63	60.38

## 五、結論與建議

本文應用 ArcGIS 影像分類與空間分析工具來識別及統計 X-band 雷達回波影像內的蚵架數量，並以 UAV 拍攝的空照圖進行蚵架數量比對，藉此探討自動化遙測監控蚵架數量的可行性。

X-band 雷達掃描淺海養殖牡蠣的海面所產生的回波影像強度會因目標偵測物蚵架與雷達架設地點之距離不同而顯現差異，距離近的回波影像較強、辨識率較佳；較遠的則回波較弱、辨識率較差，甚至在距離雷達架設地點最遠的區域則無法分辨蚵架回波。因此要以雷達回波影像強度來做為影像辨識的依據，不宜使用監督式影像分類方法，本研究選擇採用非監督式分類的 ISODATA 作為分析工具，且以相同強度作為聚類辨識標準。

影響蚵架數的計算結果之其他可能的環境影響因素還包括：波流的影響、船隻的經過、或是地形遮蔽物的干擾等。此外，Dong (2004) 的研究顯示雷達的架設高度及雷達與目標物的掠角關係亦是回波訊號強弱的重要因素，如能將雷達架設到更合宜的位置高度，辨識效果和統計吻合度將能提高，因此本研究研發的方法之適用的範圍將能夠遠超過 1000 公尺外的蚵架養殖區。

## 誌謝

本研究感謝科技部計畫 MOST 106-2221-E-006-120 之經費提供，另外感謝國立成功大學近海水文中心提供 X-band 雷達之技術支援。

## 參考文獻

- 王裕民 (2001)，「地理資訊系統及衛星影像應用於灌溉計劃之研究」，屏東科技大學土木工程研究所碩士論文。
- 吳立中、莊士賢、簡仲璟、李俊穎 (2015)「航海雷達應用於偵測港區海面油污之初探」，港灣季刊第 102 卷，第 61-76 頁。
- 陳俊愷、張國楨、施明志 (2010)，「福衛二號影像應用於牡蠣棚架數量估算」，航測及遙測學刊，第十五卷第二期，第 167-175 頁。
- 黃筱梅 (2000a)，「SPOT 衛星影像於裸露地變遷之偵測研究—以和社地區為例」，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 黃俊偉 (2000b)，「大範圍地區土地使用分類之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
- 顏可翰 (2008)，「應用非監督模式分類河川污染空間分佈」，國立雲林科技大學防災與環境工程研究所碩士論文。
- Dong, Y. (2004). Models of Land Clutter vs Grazing Angle, Spatial Distribution & Temporal Distribution-L-Band Polarisation Perspective. Defence Science and Technology Organisation Salisbury (Australia) Electronics and Surveillance Research.
- Huang, K. Y. (2002). A synergistic automatic clustering technique (SYNERACT) for multispectral image analysis. Photogrammetric engineering and remote sensing, 68(1), 33-40.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., and Chipman, J. (2014). Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Son, Inc.
- Long, M. W. (1983). Radar Reflectivity of Land and Sea, Artech House. Inc., Dedham, MA, USA.

## 網路文獻

- 漁業署 (2016)，行政院漁業署漁業新聞 <http://www.fa.gov.tw/cht/NewsPaper/content.aspx?id=1325&chk=84a1460d-cf9e-483e-ad88-991bce0e8de8>