

Fuzzy Decision of Collision Avoidance for Ships in Vessel Traffic Service

Speaker : Sheng-Long Kao

Chien-Min Su, Ayshiou Chiou, Sheng-Long Kao and Ki-Yin Chang

大綱

- 緒論
- 避碰知識庫
- 模糊監控系統
- 模擬案例
- 結論



緒論

- 船舶避碰的相關研究受到航海界的高度重視，雖有許多成果發表，但船舶碰撞問題並未徹底解決。主要歸因人為因素，尤以近岸航行時，船舶交通量密度高，碰撞事故更趨頻繁。如何避免船舶碰撞，以及在採取避碰措施時，如何確定最佳避讓時機和最佳避讓行動，一直是航海人員最關心的問題。(船舶避碰最佳決策問題)
- 隨著時代進步，科技創新發展，若能整合VTS/AIS/MGIS系統，充份利用航儀設備發揮最大效益使用，提出有效船舶避碰決策方法，降低船舶海上意外事故發生，大幅提高航行安全，達到船舶避碰之目的

緒論

- 在AIS尚未問世之前，RADAR/ARPA僅能以相對方位計算會遇船舶間之CPA與TCPA，作為船舶採取避碰措施之決策機制
- 不同於其他相關研究，本研究以絕對方位為位向思考，以真運動觀測來監測海上航行船舶動態，誠如「上帝的眼睛」般，當兩船會遇產生碰撞危機時，提出船舶碰撞危險領域的全新概念，藉船舶避碰決策系統提出之船舶避碰最佳決策機制，俾對讓路船於原前進航線上建議出各避讓轉向舵角及其最佳用舵時機(或用舵點)，降低碰撞事件之發生率，以維護航行安全

緒論

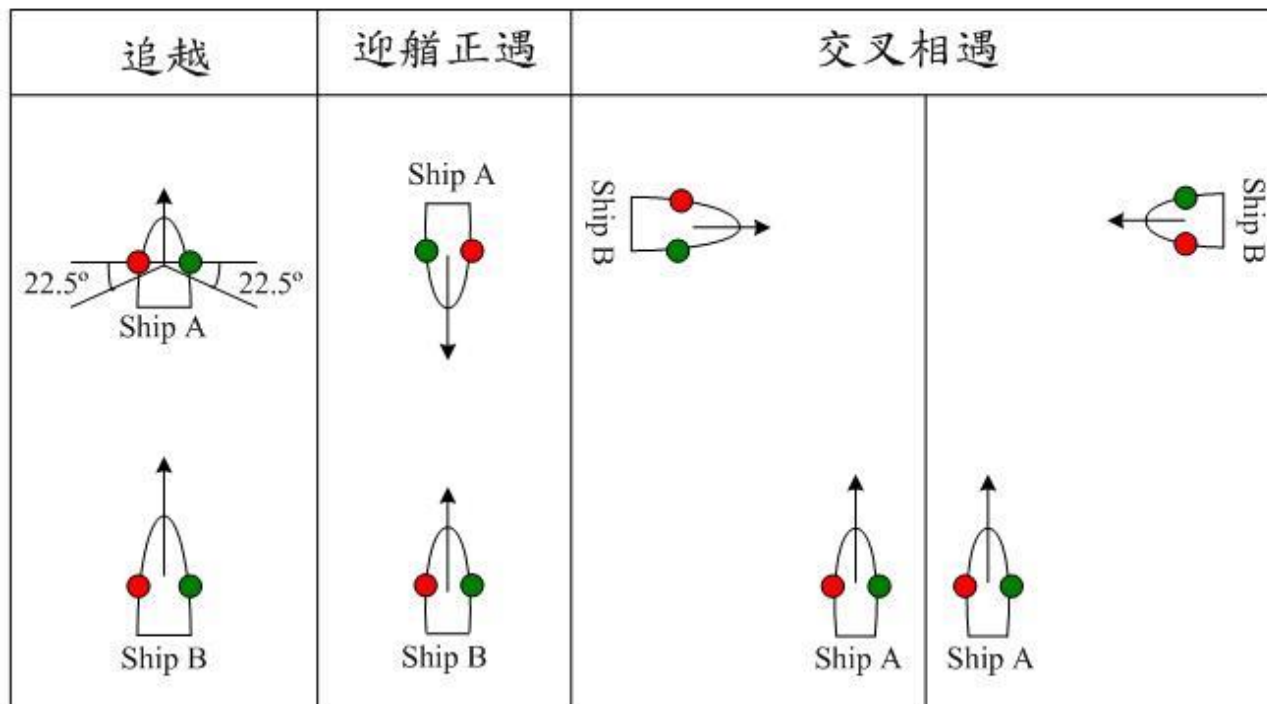
- 提出新的船舶避碰最佳決策方法，建構一套船舶避碰決策系統，解決當會遇船舶可能遭遇碰撞危機時，依國際海上避碰規則之規定，得以適時採取避碰措施，使船舶保持安全會遇距離以相互通過

避碰知識庫

- 曾有學者利用知識庫與推論法則解決自主性船舶避碰系統問題，但僅限模糊推論之應用。不同於先前相關研究，本研究提出嶄新的整合應用，將國際海上避碰規則與AIS結合，以電腦程式MS Visual Studio 2005撰寫，將船舶會遇情勢的劃分及避讓規則進行程式化，建置一套船舶避碰知識庫(CAKB)模組，提供船舶避碰決策之依據
- 會遇船舶相關資訊利用AIS即時接收的動靜態資訊輸入船舶避碰知識庫系統，透過智慧型、自動化的模式，便可減少因人為疏失、誤判或無法確實掌握他船動態資訊做出錯誤之行為，導致船舶碰撞事故發生之機率

避碰知識庫

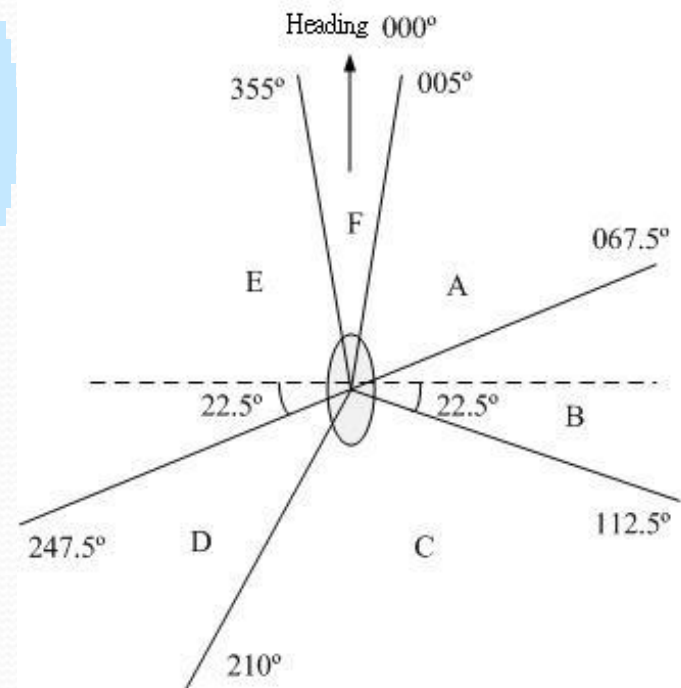
- 船舶會遇情勢，依1972年國際海上避碰規則(COLREGs 72) 在第二章(操舵和航行規則)第二節(船舶互見時之措施)規定



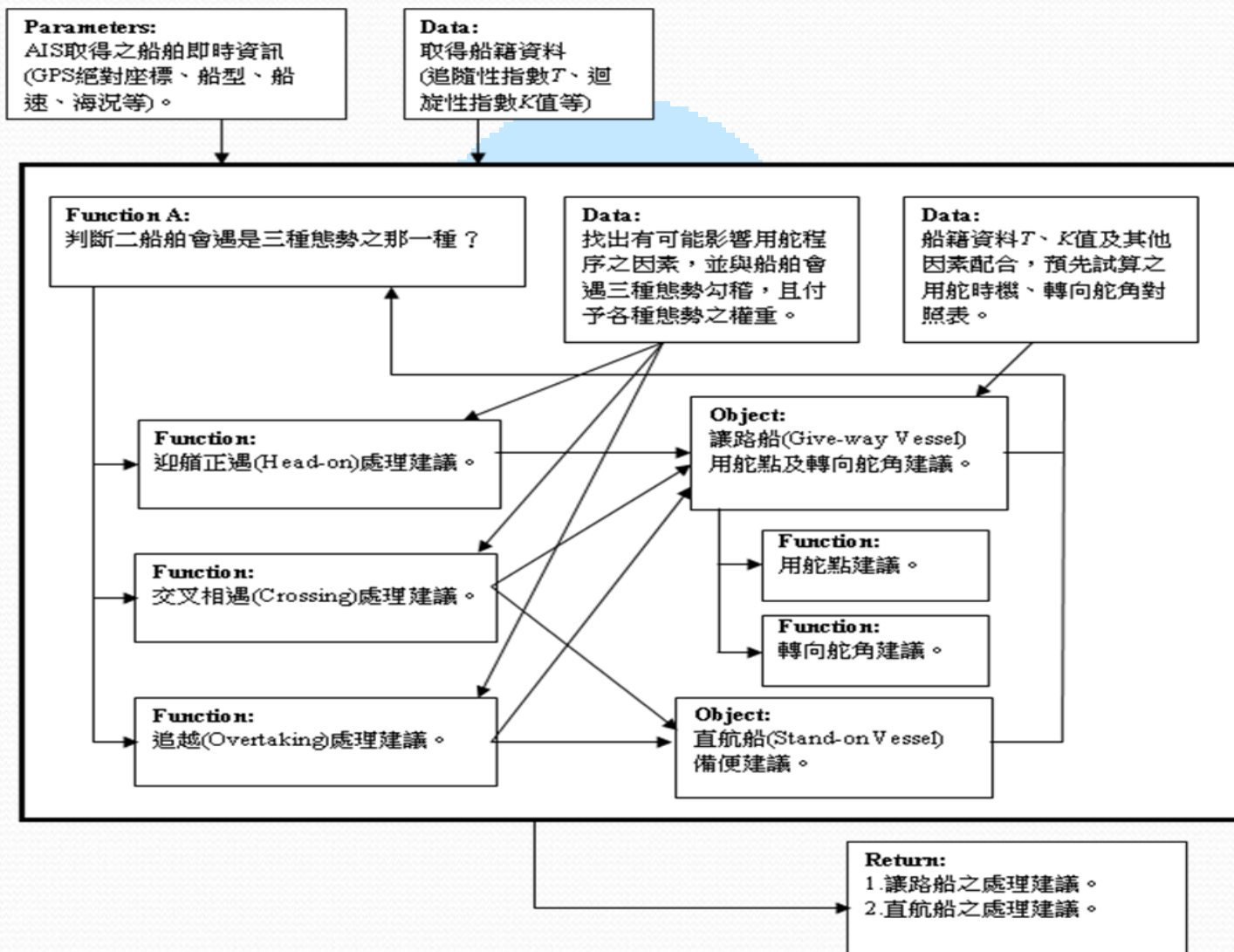
避碰知識庫

- 船舶互見行動態勢的劃分進程式化，整合於船舶避碰知識庫模組，以供船舶避碰知識庫模組運作之依循

區域	相對方位	兩船會遇關係	
		會遇態勢	船舶避碰行動
A	005°~067.5°	交叉相遇	本船為讓路船
B	067.5°~112.5°	交叉相遇	本船為讓路船
C	112.5°~210°	追越	本船為被追越船
D	210°~247.5°	追越	本船為被追越船
E	247.5°~355°	交叉相遇	本船為直航船
F	355°~005°	迎艏正遇	各自朝右轉向

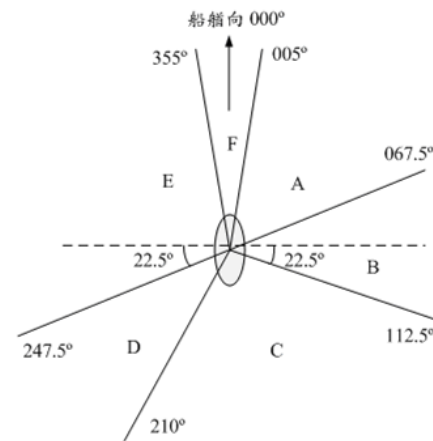
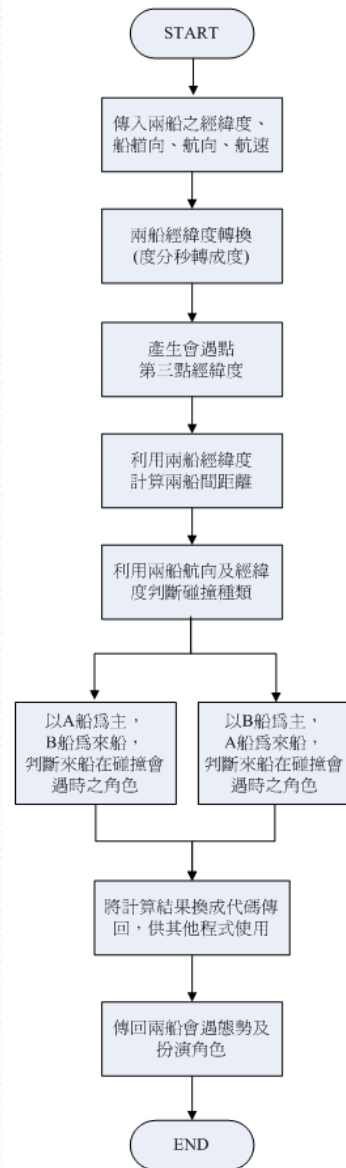


避碰知識庫規劃運作流程

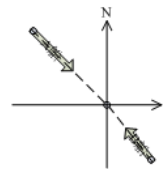


Function A

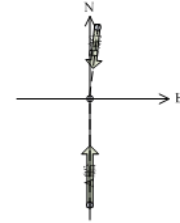
兩船會遇之態勢及角色研判
(經警戒圈研判兩船存在碰撞危機前提下)



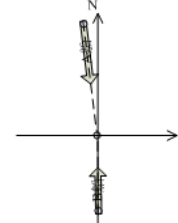
迎頭正遇態勢



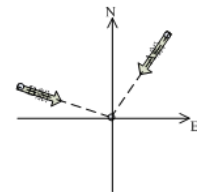
以A船為主
來船B船在F區為讓路船
A船為讓路船



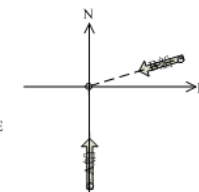
以B船為主
來船A船在F區為讓路船
B船為讓路船



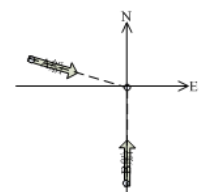
交叉相遇態勢



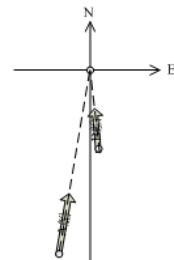
以A船為主
來船B船在B區為直航船
A船為讓路船



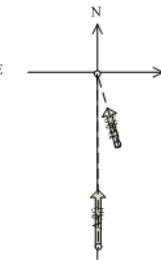
以B船為主
來船A船在E區為讓路船
B船為直航船



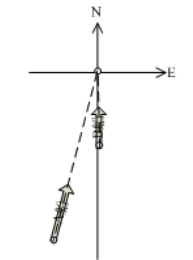
追越態勢



以A船為主
來船B船在C區為被追越船
A船為追越船



以B船為主
來船A船在D區為追越船
B船為被追越船



避碰知識庫

Collision Avoidance Knowledge Base

ⓈThe program suppose that two ships have risk of collisionⓈ

Ship A		Ship B	
Longitude	121:45:00 E	Longitude	121:45:59 E
Latitude	025:16:10 N	Latitude	025:24:11 N
Course	000	Course	180
Speed	15 Knots	Speed	12 Knots

DETERMINE

Encounter Situation : Code 0 , Head-on
Role of Ship A : Code 1 , Target ship in area F , Ownship is Give-way vessel
Role of Ship B : Code 1 , Target ship in area F , Ownship is Give-way vessel

Result of Determination :
 Result of determination beginning on 098.08.03 14:30

```

Ship A Longitude and Latitude transform=>Degree,Minute and Second change into Degree
Ship A Longitude 121:45:00 => 121.75
Ship A Latitude 025:16:10 => 25.2694444444444
Ship A Course 000 => 0
Ship A Speed 15 => 15

Ship B Longitude and Latitude transform=>Degree,Minute and Second change into Degree
Ship B Longitude 121:45:59 => 121.766388888889
Ship B Latitude 025:24:11 => 25.4030555555556
Ship B Course 180 => 180
Ship B Speed 12 => 12

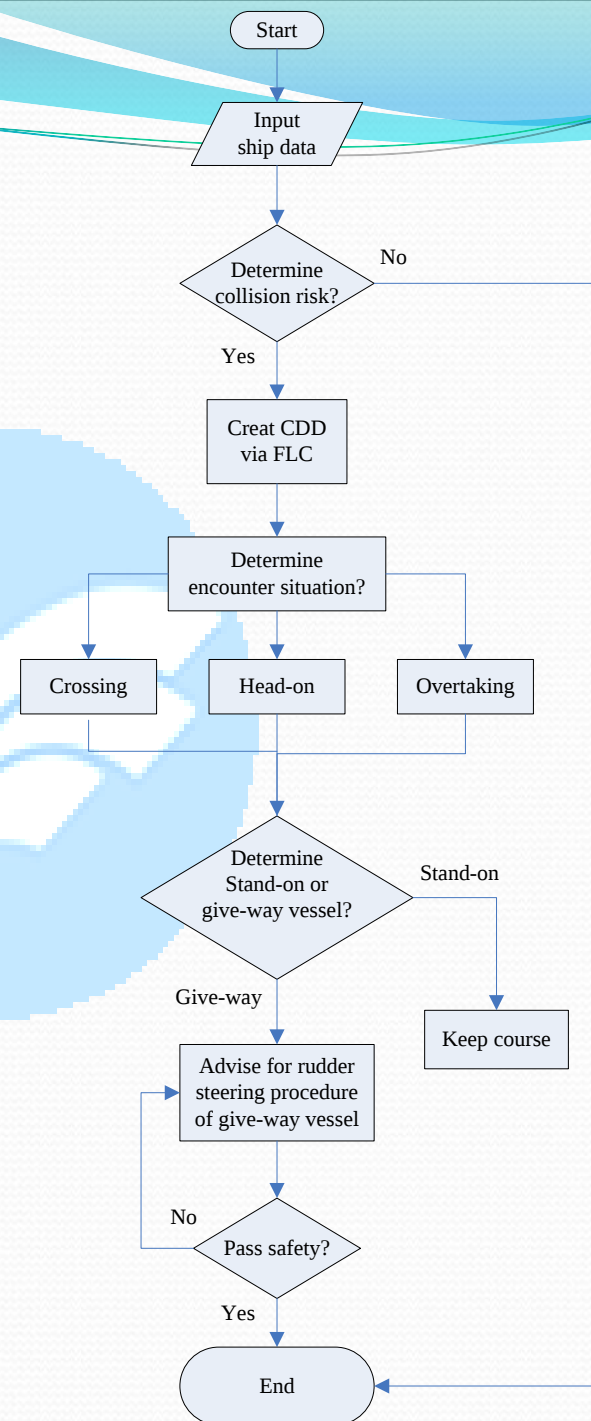
Create Longitude and Latitude of the third point of right angle
  
```

Situations of Ships Encounter

模糊監控系統

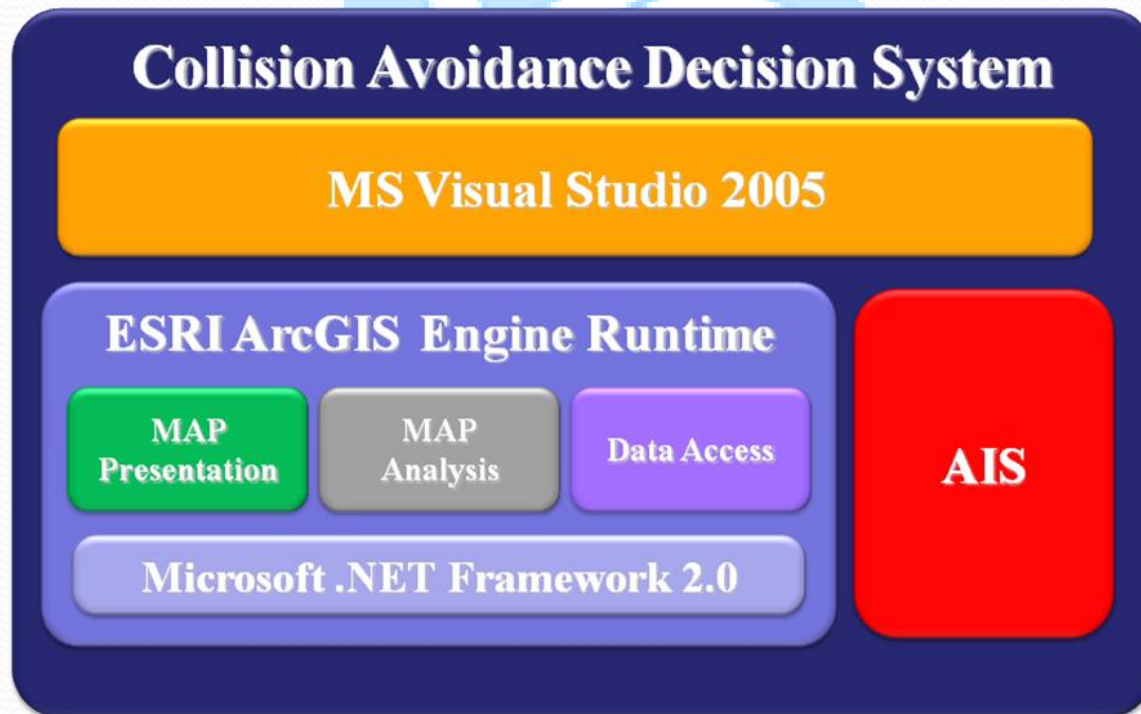
- 不同於其他研究均以本船建構船舶領域探討船舶避碰決策問題，本研究首次提出碰撞危險領域(Collision Danger Domain, CDD)的概念，由VTS的觀測角度出發，以真運動觀測船舶，當船舶會遇存在碰撞危機時，對船舶避碰決策做分析與提供最佳建議

系統程式流程圖



模糊監控系統平台架構

- ◆ 以MS Visual Studio 2005搭配ESRI ArcGIS Engine Runtime 9.2，開發AIS編碼轉換資料庫模組、船舶避碰知識庫模組及模糊碰撞危險領域模組，整合AIS/MGIS平台，完成模糊監控系統之建構。



模糊碰撞危險領域模組

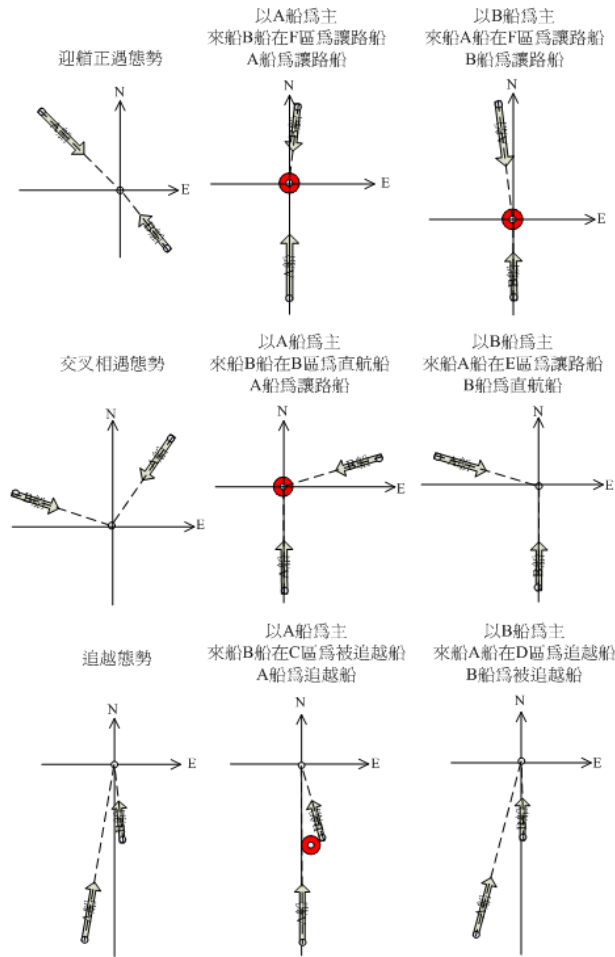
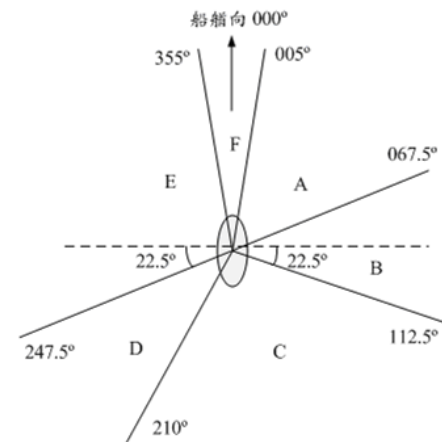
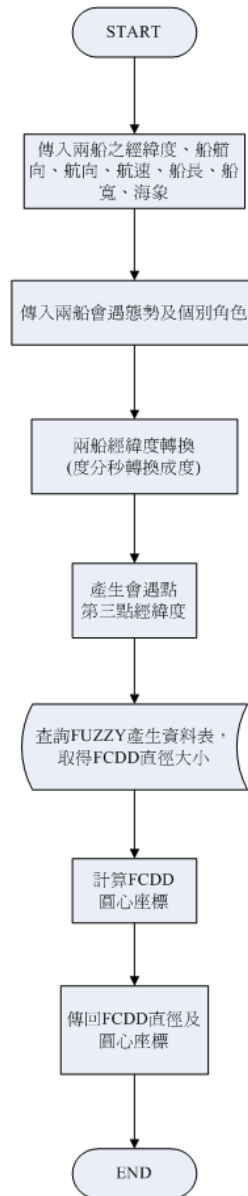
- ◆ 解算模糊碰撞危險領域的大小，進而建議讓路船採取避讓措施之最佳用舵點及轉向舵角，俾供兩船會遇時得以保持安全距離彼此通過。本模組以程式 Fuction B (FCDD直徑及圓心座標)及 Fuction C (讓路船用舵程序建議)執行

模糊碰撞危險領域模組

Function B

FCDD直徑及圓心座標

(經警戒圈研判兩船存在碰撞危機前提下)

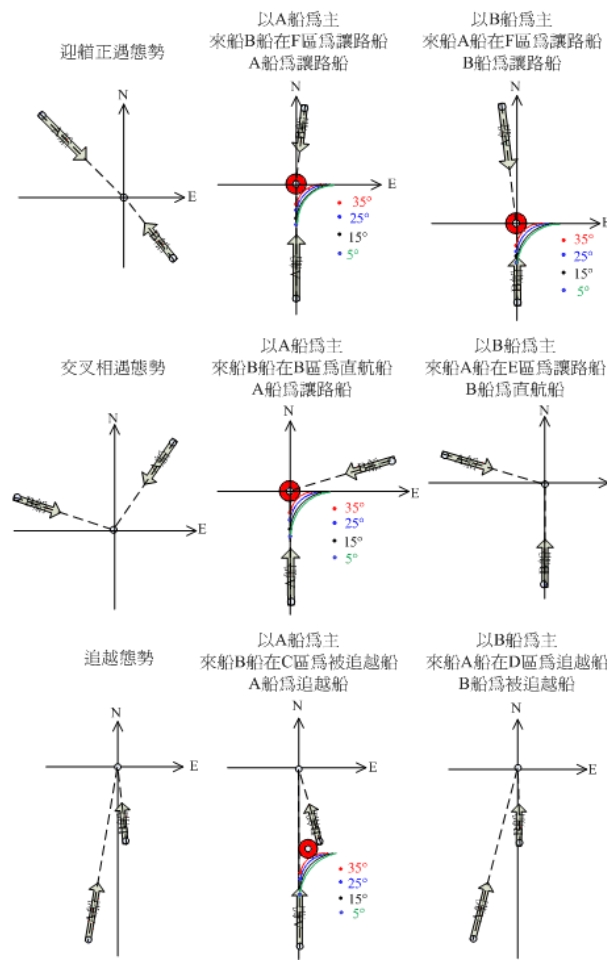
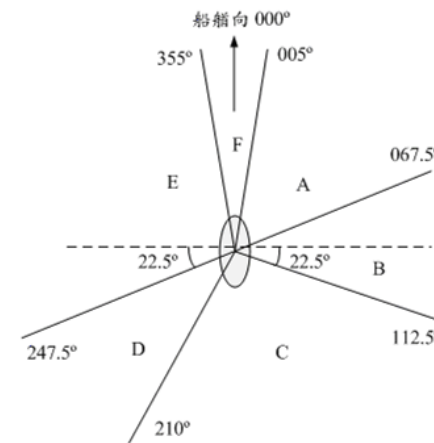
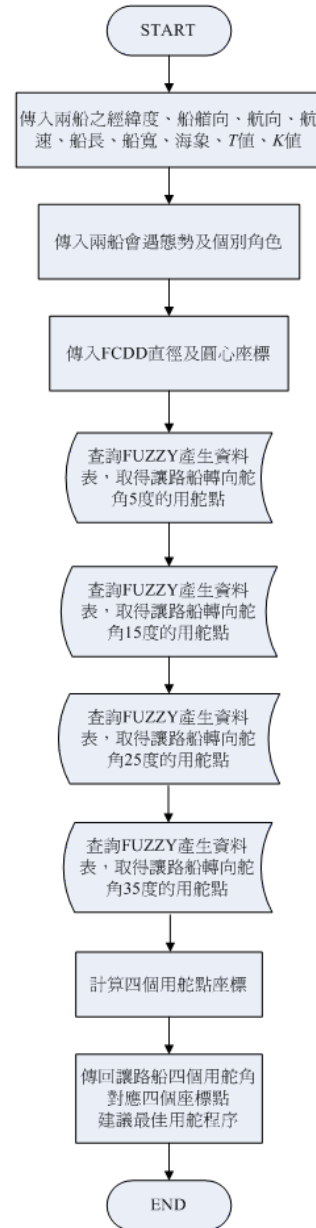


模糊碰撞危險領域模組

Function C

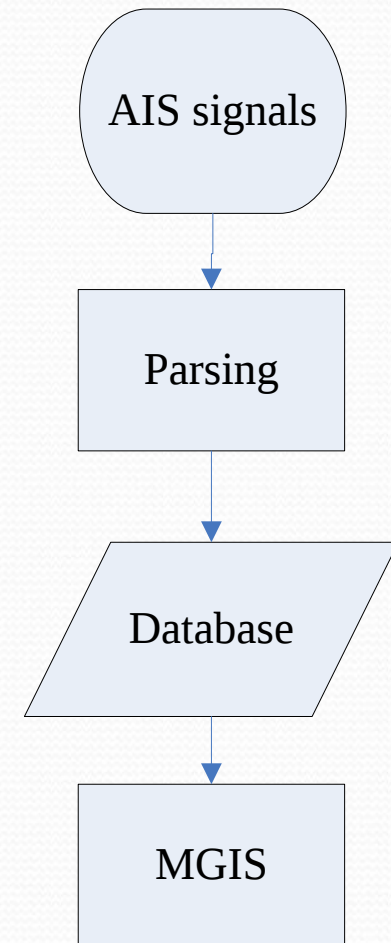
讓路船用舵程序建議

(經警戒圈研判兩船存在碰撞危機前提下)



AIS編碼轉換資料庫模組

- ◆ 透過MS Visual Studio 2005軟體撰寫AIS/MGIS介面轉換程式，將AIS與MGIS兩種不同介面平台整合成功，此資料庫模組可提供船舶避碰知識庫模組及模糊碰撞危險領域模組運算過程所需之資料，俾供船舶避碰決策系統對船舶採取避碰決策機制

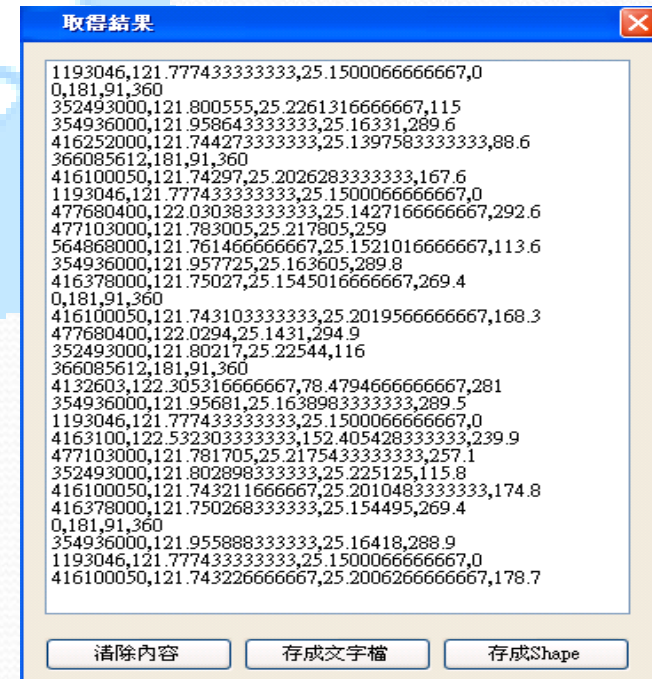


AIS編碼轉換結果

- ◆透過MS Visual Studio 2005軟體撰寫AIS/MGIS介面轉換程式，將AIS即時編碼原始訊息依據NMEA (National Marine Electronics Association) 0183 [114]編碼方式，進行編碼轉換，將編碼後動、靜態船舶資訊，轉換成MGIS可讀取之資訊



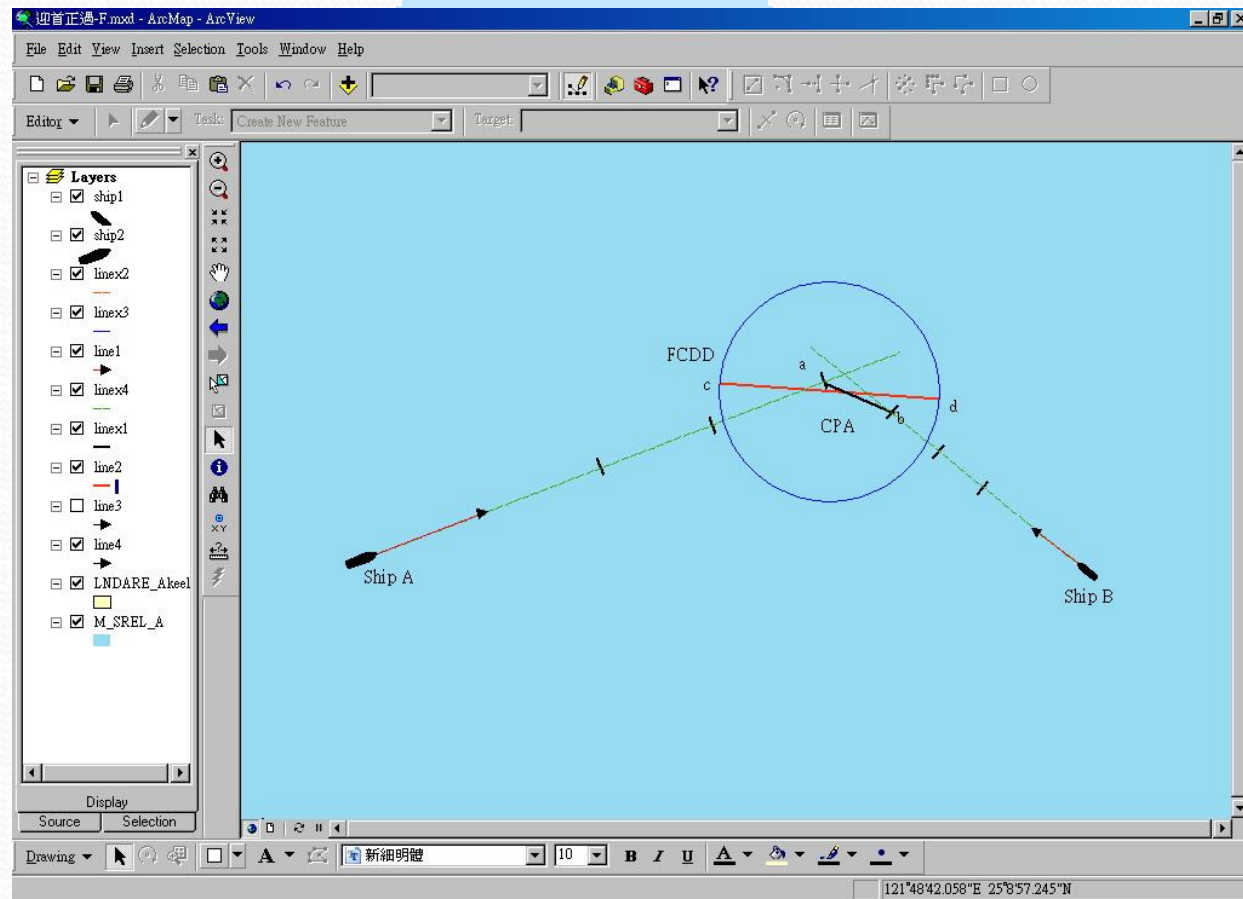
AIS的原始編碼訊息



轉碼後的船舶資訊

模糊碰撞危險領域

- ◆ 本研究藉模糊邏輯理論產生FCDD的大小，在該領域內，禁止會遇船舶進入，若有會遇船舶進入，則代表將發生碰撞危險



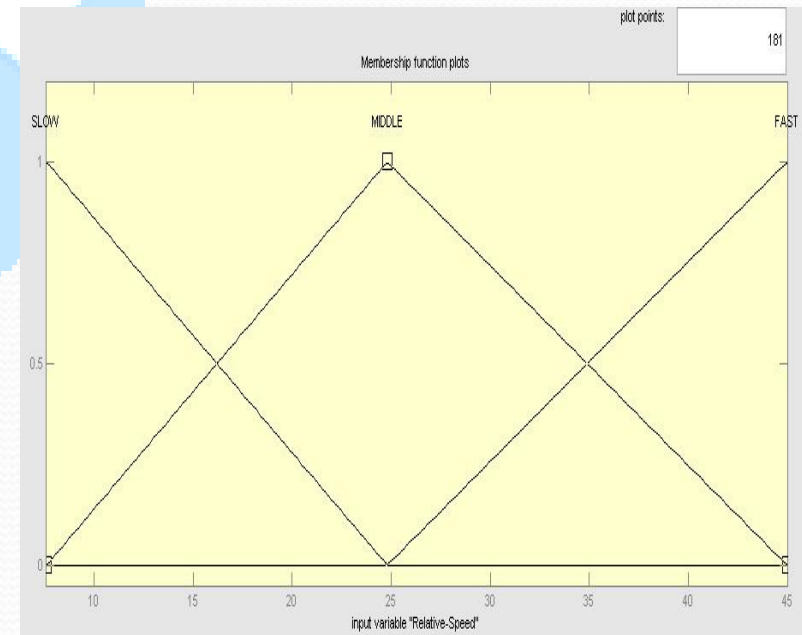
歸屬函數定義

- ◆ V 表示船舶相對速度之語意變數，含有 $slow$ 、 $middle$ 及 $fast$ 三個歸屬函數。依據AIS收集100艘商船速度統計分析決定 $slow$ 、 $middle$ 及 $fast$ 之設定值，最大航速22.5節，最小航速3.8節，因此，不論何種船舶會遇態勢，為求安全考量，相對應的最大相對速度45節，最小相對速度7.6節，平均相對速度採100艘商船速度計算平均值為24.8節

$$\mu_{slow}(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } x \leq 7.6 \\ \frac{24.8 - x}{17.2} & \text{for } 7.6 \leq x \leq 24.8 \end{cases}$$

$$\mu_{middle}(x) = \begin{cases} \frac{x - 7.6}{17.2} & \text{for } 7.6 \leq x \leq 24.8 \\ \frac{45 - x}{20.2} & \text{for } 24.8 \leq x \leq 45 \end{cases}$$

$$\mu_{fast}(x) = \begin{cases} \frac{x - 24.8}{20.2} & \text{for } 24.8 \leq x \leq 45 \\ 1 & \text{for } 45 \leq x \end{cases}$$



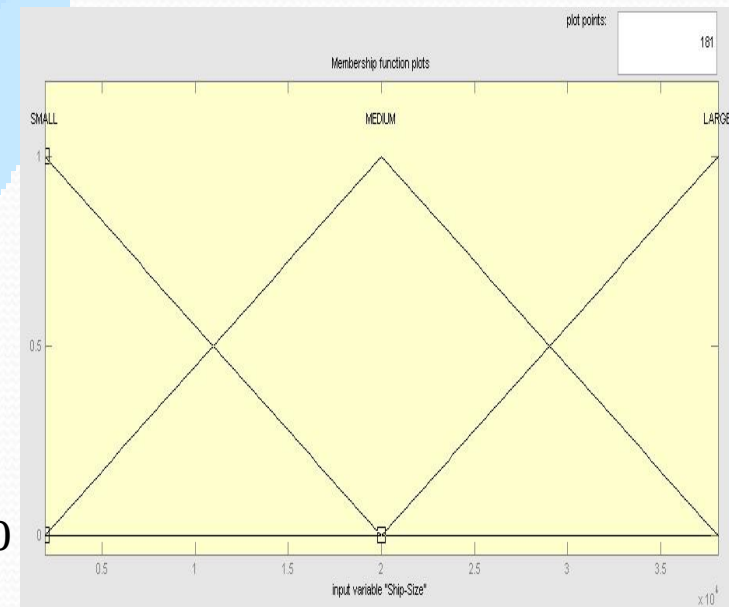
歸屬函數定義

- ◆ A 表示船舶大小之語意變數，因船舶安全會遇通過距離(FCDD大小)與船舶操縱性能及航行所需空間有關，故船舶大小以船長船寬乘積求得，含有 *small*、*medium*及*large*三個歸屬函數。依AIS收集100艘商船資料統計分析，船長船寬乘積最大值19040 m^2 ，最小值960 m^2 ，會遇船舶相對應的船體最大值38080 m^2 ，最小值1920 m^2 ，平均值20000 m^2

$$\mu_{small}(y) = \begin{cases} 1 & \text{for } y \leq 1920 \\ \frac{20000 - y}{18080} & \text{for } 1920 \leq y \leq 20000 \end{cases}$$

$$\mu_{medium}(y) = \begin{cases} \frac{y - 1920}{18080} & \text{for } 1920 \leq y \leq 20000 \\ \frac{38080 - y}{18080} & \text{for } 20000 \leq y \leq 38080 \end{cases}$$

$$\mu_{large}(y) = \begin{cases} \frac{y - 20000}{18080} & \text{for } 20000 \leq y \leq 38080 \\ 1 & \text{for } 38080 \leq y \end{cases}$$



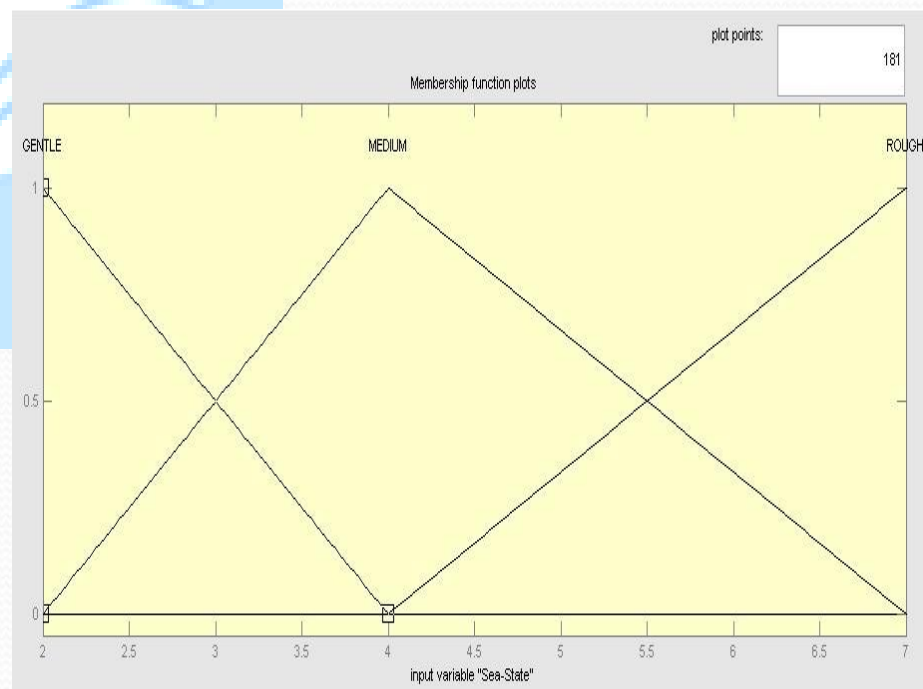
歸屬函數定義

- ◆ S 表示海況之語意變數，含有 *gentle*、*medium*及*rough*三個歸屬函數。依據蒲福風級與海象等級對照表給予語意變數定義，對照蒲福風級，論域介於等級2到等級7。海況之分類敘述大於7級之海況屬於巨級波浪的險惡情況，一般港口管轄單位會禁止船舶出航，以避免船舶於惡劣之天候遇險，故以此作為論域之上限

$$\mu_{gentle}(z) = \begin{cases} 1 & \text{for } z \leq 2 \\ \frac{4-z}{2} & \text{for } 2 \leq z \leq 4 \end{cases}$$

$$\mu_{medium}(z) = \begin{cases} \frac{z-2}{2} & \text{for } 2 \leq z \leq 4 \\ \frac{7-z}{3} & \text{for } 4 \leq z \leq 7 \end{cases}$$

$$\mu_{rough}(z) = \begin{cases} \frac{z-4}{3} & \text{for } 4 \leq z \leq 7 \\ 1 & \text{for } 7 \leq z \end{cases}$$



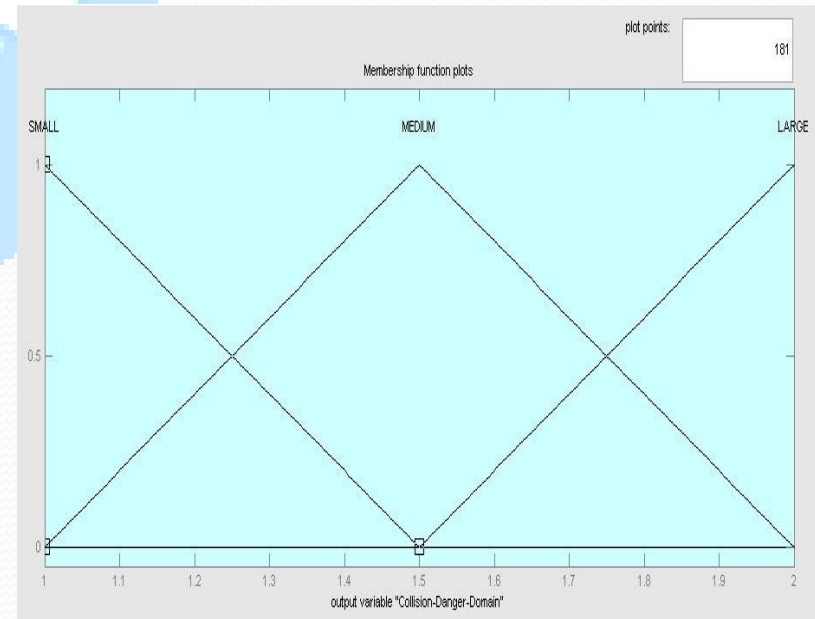
歸屬函數定義

- ◆ D 表示碰撞危險領域直徑之語意變數，含有 *small*、*medium* 及 *large* 三個歸屬函數，論域介於1哩至2哩。依航海實務經驗，航行當值人員(OOW)採取避讓措施欲保持安全會遇距離相互通過時，每個人的安全距離值及想法並不相同，端視船舶會遇情況而定。一般而言，考慮航行安全因素，不會讓船舶近距離通過，但考慮經濟效益條件下，亦不會使船舶會遇距離太大，故以1哩至2哩的範圍來界定FCDD直徑，使兩船會遇保持安全距離相互通過

$$\mu_{small}(d) = \begin{cases} 1 & \text{for } d \leq 1 \\ \frac{1.5-d}{0.5} & \text{for } 1 \leq d \leq 1.5 \end{cases}$$

$$\mu_{medium}(d) = \begin{cases} \frac{d-1}{0.5} & \text{for } 1 \leq d \leq 1.5 \\ \frac{2-d}{0.5} & \text{for } 1.5 \leq d \leq 2 \end{cases}$$

$$\mu_{large}(d) = \begin{cases} \frac{d-1.5}{0.5} & \text{for } 1.5 \leq d \leq 2 \\ 1 & \text{for } 2 \leq d \end{cases}$$

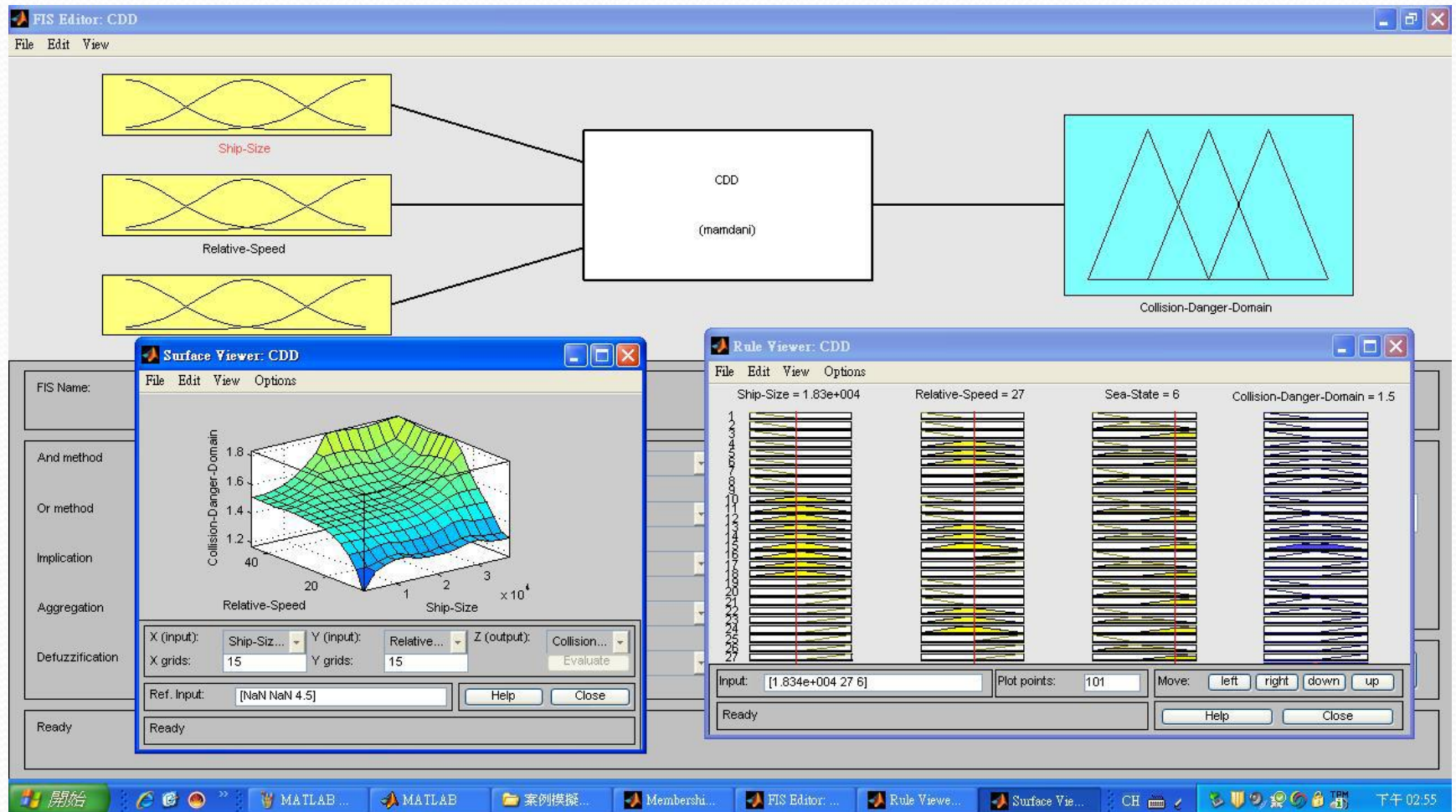


模糊推論規則庫

Rule	V	A	S	D
R_1	<i>slow</i>	<i>small</i>	<i>gentle</i>	<i>small</i>
R_2	<i>slow</i>	<i>small</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
R_3	<i>slow</i>	<i>small</i>	<i>rough</i>	<i>large</i>
...	...	...	...	...
R_{25}	<i>fast</i>	<i>large</i>	<i>gentle</i>	<i>large</i>
R_{26}	<i>fast</i>	<i>large</i>	<i>medium</i>	<i>large</i>
R_{27}	<i>fast</i>	<i>large</i>	<i>rough</i>	<i>large</i>

(V: Relative speed of ship; A: Ship size; S: Sea state; D: Diameter of CDD)

模糊邏輯解算



船模基本資料

船舶種類及代碼	船長(m)	船寬(m)	吃水(m)	航向	航速(kn)
貨櫃船 ZCONT_50KSF	290	33	13	000	15
散裝船 ZBULK_90KSF	272.5	32.2	12.2	180	12
油輪 ZVLCC_300KSF	340	56	22	000	12
瓦斯船 ZLNG_137KSF	297.5	45.8	11	060	15

各舵角迴旋圈試驗計算縱距及橫距結果

單位：m

舵角	貨櫃船	散裝船	油輪	瓦斯船
	縱距(Advance)			
R5°	1610	2030	2680	2468
R10°	1330	1604	2080	2042
R15°	1118	1306	1745	1620
R20°	1017	1088	1447	1471
R25°	950	1026	1374	1321
R30°	907	939	1213	1299
R35°	882	862	1171	1282
	橫距(Transfer)			
R5°	880	1292	1737	1163
R10°	810	989	1342	1007
R15°	757	777	1122	853
R20°	628	609	950	752
R25°	543	561	908	650
R30°	451	479	653	532
R35°	398	407	586	441

案例模擬

- ◆ 船舶最佳避碰措施之決策，應於原航向上，決定最佳用舵時機及轉向舵角用舵點，以使船舶依據各轉向舵角所需縱距，適時做出最佳避碰決策。
- ◆ 為驗證研究成果，本研究分別設計不同會遇態勢和會遇環境，以MGIS為顯示平台，根據航行船舶會遇情勢：迎艏正遇、交叉相遇及追越三種態勢模擬船舶避碰決策之最佳機制，當兩船會遇時，若研判會有碰撞危機，則啟動船舶避碰決策系統針對會遇船舶藉由船舶避碰知識庫模組進行直航船及讓路船區分，明定彼此權利與義務關係，並以模糊邏輯理論求解得到FCDD，俾供船舶避碰決策系統對船舶避碰決策做出最佳決策機制。

案例模擬

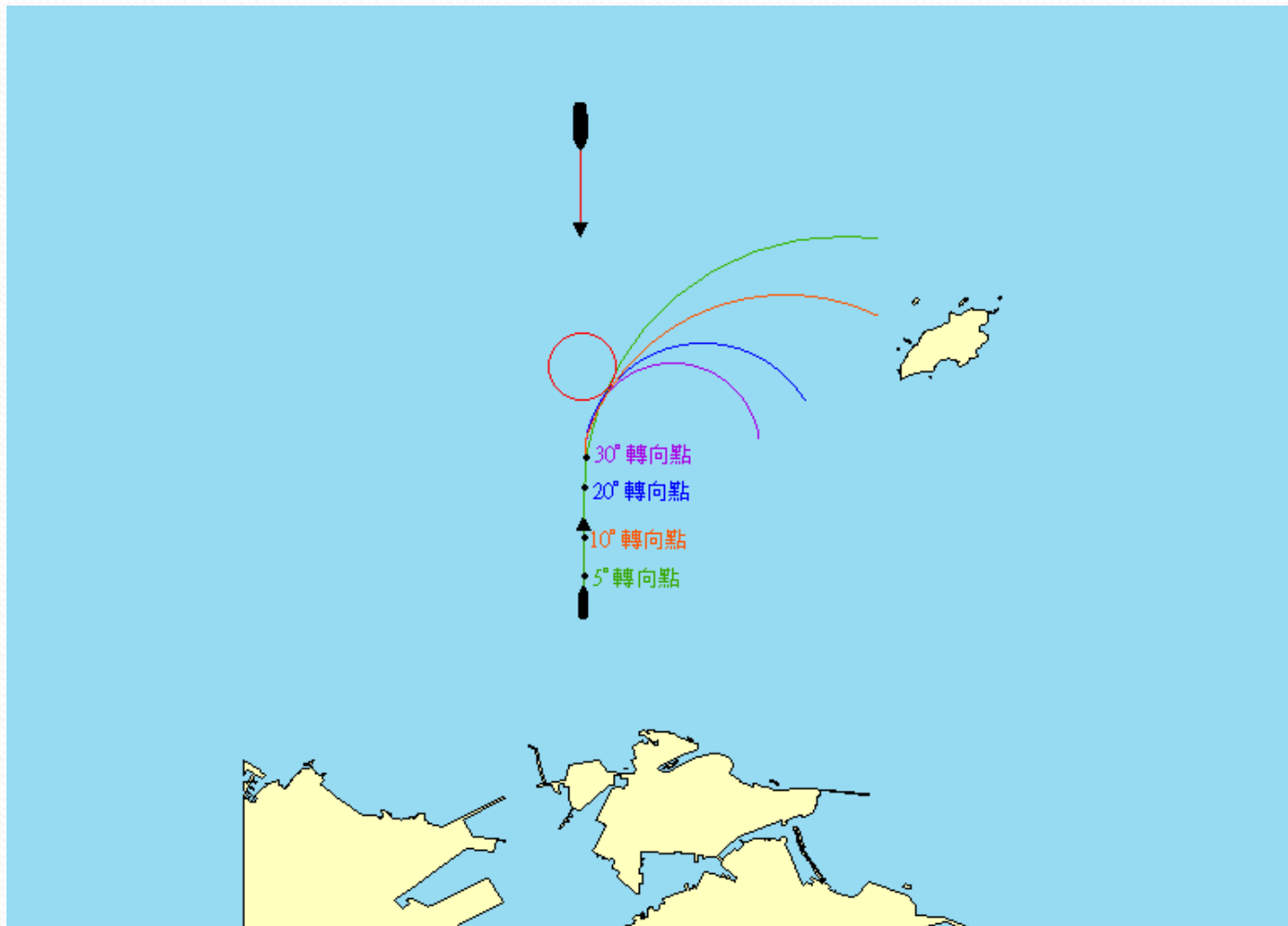
- ◆ 本研究模擬僅考慮轉向避讓不以減速避讓，依1972年國際海上避碰規則，建議向右避讓，以縱距為避開碰撞危險領域之依據，模擬右舵避讓得到各舵角最佳用舵點及用舵時機，俾供讓路船決策之用
- ◆ 案例模擬船舶以選用本研究提供操演之本船船模，模擬海域為基隆外海，並給定不同海象條件下。依各舵角用舵點模擬結果顯示，若超過預期避讓舵角用舵點仍未用舵，代表船舶勢必進入碰撞危險領域，導致兩船碰撞危機產生，此時，需改採用較大避讓舵角之決策，俾使船舶能有餘裕縱距避開碰撞危險領域

案例1 迎艏正遇態勢

- ◆ ZCONT_50KSF：船位經緯度($121^{\circ}44'00''\text{E}$, $24^{\circ}08'00''\text{N}$)，航向000，航速15節
- ◆ ZBULK_90KSF：船位經緯度($121^{\circ}44'00''\text{E}$, $24^{\circ}17'00''\text{N}$)，航向180，航速12節



兩船會遇最佳避碰決策機制

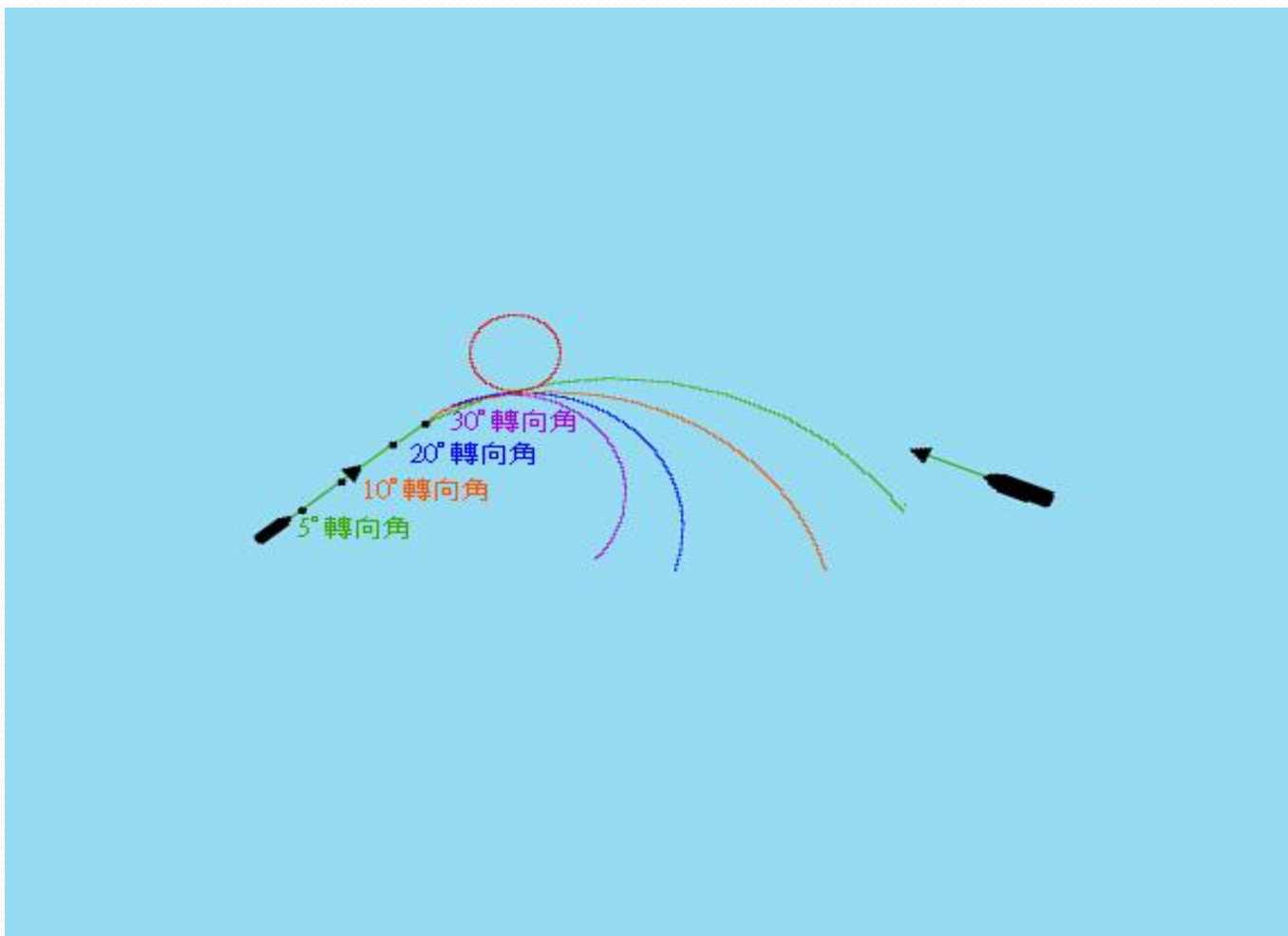


案例2 交叉相遇態勢

- ◆ ZVLCC_300KSF：船位經緯度($121^{\circ}50'00''\text{E}$, $24^{\circ}25'00''\text{N}$)，航向240，航速15節
- ◆ ZLNG_137KSF：船位經緯度($121^{\circ}44'00''\text{E}$, $24^{\circ}08'00''\text{N}$)，航向000，航速12節



兩船會遇最佳避碰決策機制

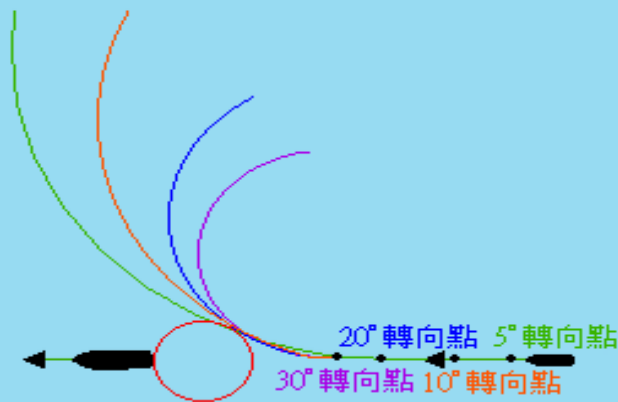


案例3 追越態勢

- ◆ ZCONT_50KSF：船位經緯度($121^{\circ}44'00''\text{E}$, $24^{\circ}08'00''\text{N}$)，航向000，航速15節
- ◆ ZVLCC_300KSF：船位經緯度($121^{\circ}44'00''\text{E}$, $24^{\circ}17'00''\text{N}$)，航向000，航速12節



兩船會遇最佳避碰決策機制



結論

- ◆順利整合VTS/AIS/MGIS，撰寫AIS/MGIS介面轉換程式，將AIS接收之船舶資訊，轉換成MGIS可讀取之資訊，完成AIS編碼轉換資料庫模組之建置。
- ◆依據COLREGs規定，結合AIS，利用電腦程式MS Visual Studio 2005撰寫船舶避碰知識庫模組，決定會遇船舶的權利及義務關係。
- ◆使用操船模擬機實操各舵角迴旋圈試驗得到船舶縱距及橫距資料，可供船舶避碰最佳決策之依據。
- ◆提出「碰撞危險領域」的新概念，完成模糊碰撞危險領域模組之建置，應用模糊邏輯理論解算出模糊碰撞危險領域，藉以界定船舶會遇時相互通過之安全距離，俾供船舶避碰決策系統對船舶避碰提出最佳決策之建議。

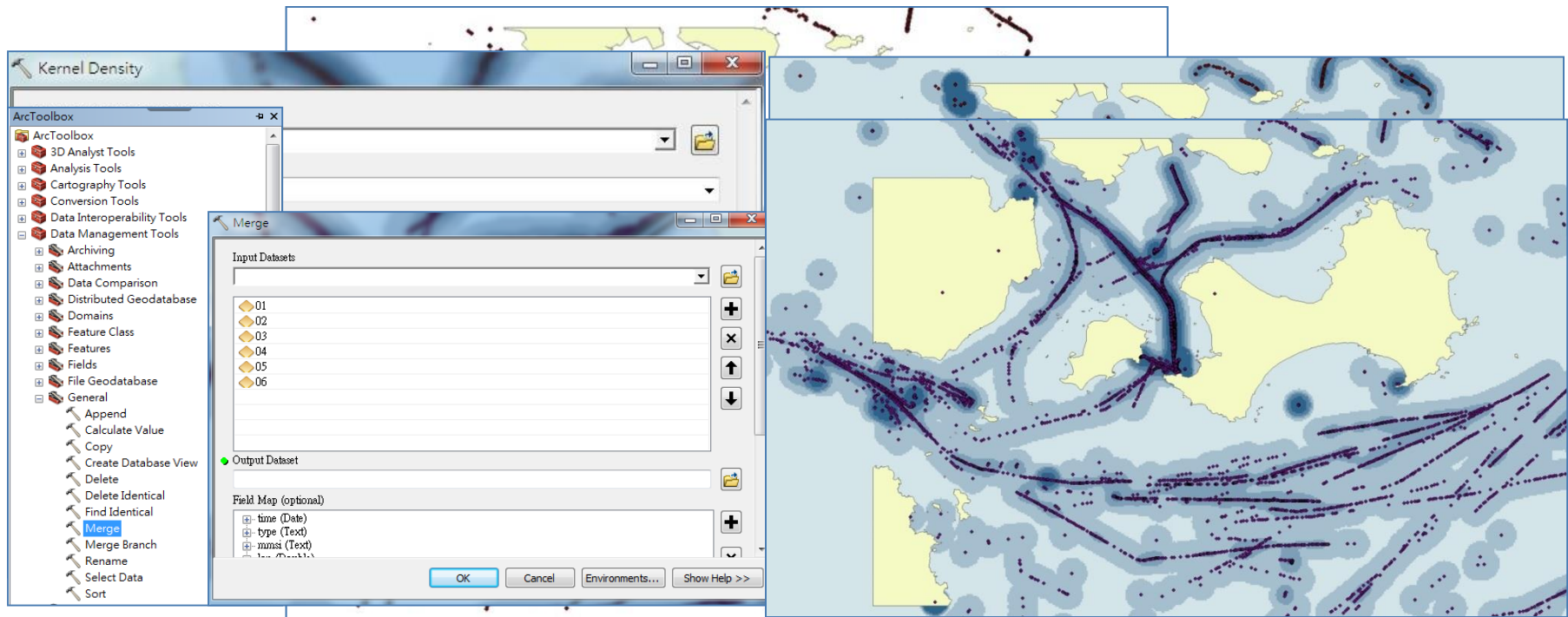
結論

- ◆順利整合AIS編碼轉換資料庫模組、船舶避碰知識庫模組及模糊碰撞危險領域模組，建構完成船舶避碰決策系統，針對船舶會遇態勢進行自動化、人工智慧化之船舶避碰最佳決策機制。
- ◆藉案例模擬驗證本研究提出研究成果，就迎艏正遇、交叉相遇及追越三種兩船會遇態勢進行模擬，得到兩船會遇之最佳避碰決策機制。

模糊空間多目標決策 在海上安全之應用

- 金廈航道規劃
- 金門VTS雷達站選址

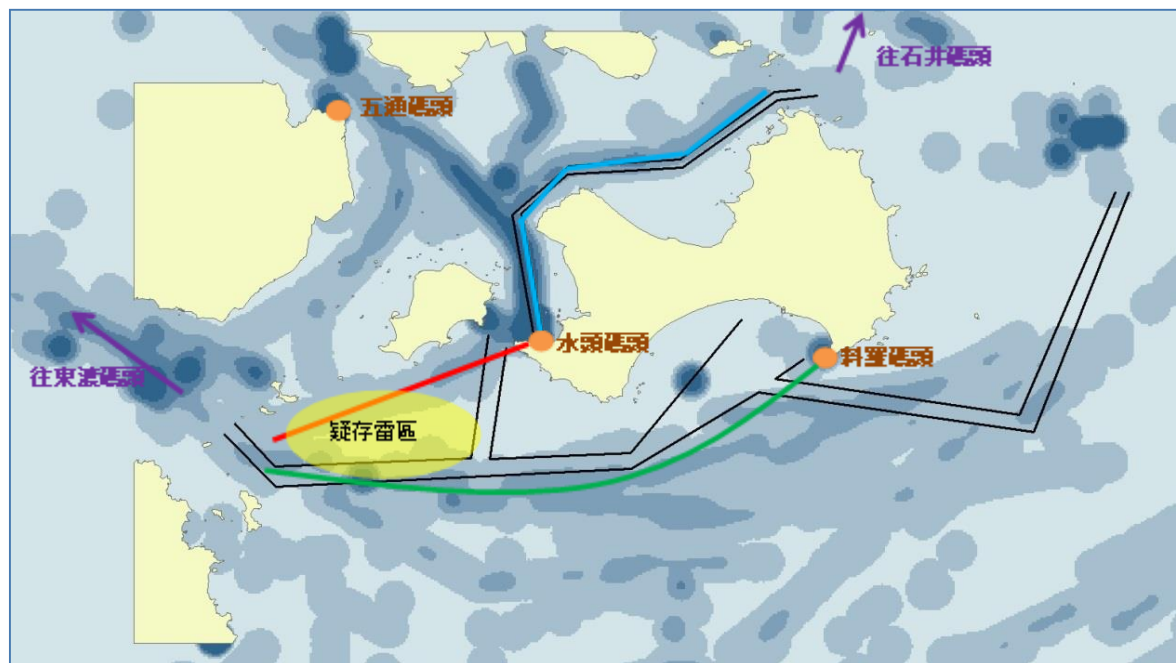
金廈航行船隻密度流分析



首先將金廈航線內的航線輸入到ArcGIS中，並設置
圖層ID為航線編號，然後將航線資料匯入到ArcGIS
使用Data Management工具中的Add Feature Class to
Database工具，將航線資料匯入到ArcGIS的
Database中，並設置航線資料的ID為航線編號，
然後將航線資料匯入到ArcGIS的Database中，
並設置航線資料的ID為航線編號，即可
生成航線密度XY圖Data，將excel檔案匯入，X欄
位為lon、Y欄位為lat、Description的Edit
設定為WGS84。



適航性評估



由此圖可發現水頭碼頭往東渡碼頭航線(紅線)的密度有一部將明顯偏離現況圖所進疊疑存雷區(黃色區域)上方(黑網離線)並將船泊點位線(黑線)免圖片過於雜亂。水頭碼頭往東渡碼頭航線(綠線)之密度也明顯向南航離航道避開疑存雷區，水頭碼頭往五通碼頭之航路尚未規劃，只有水頭碼頭往石井碼頭航線(藍線)之密度僅稍微偏移。



金門雷達站覆蓋範圍

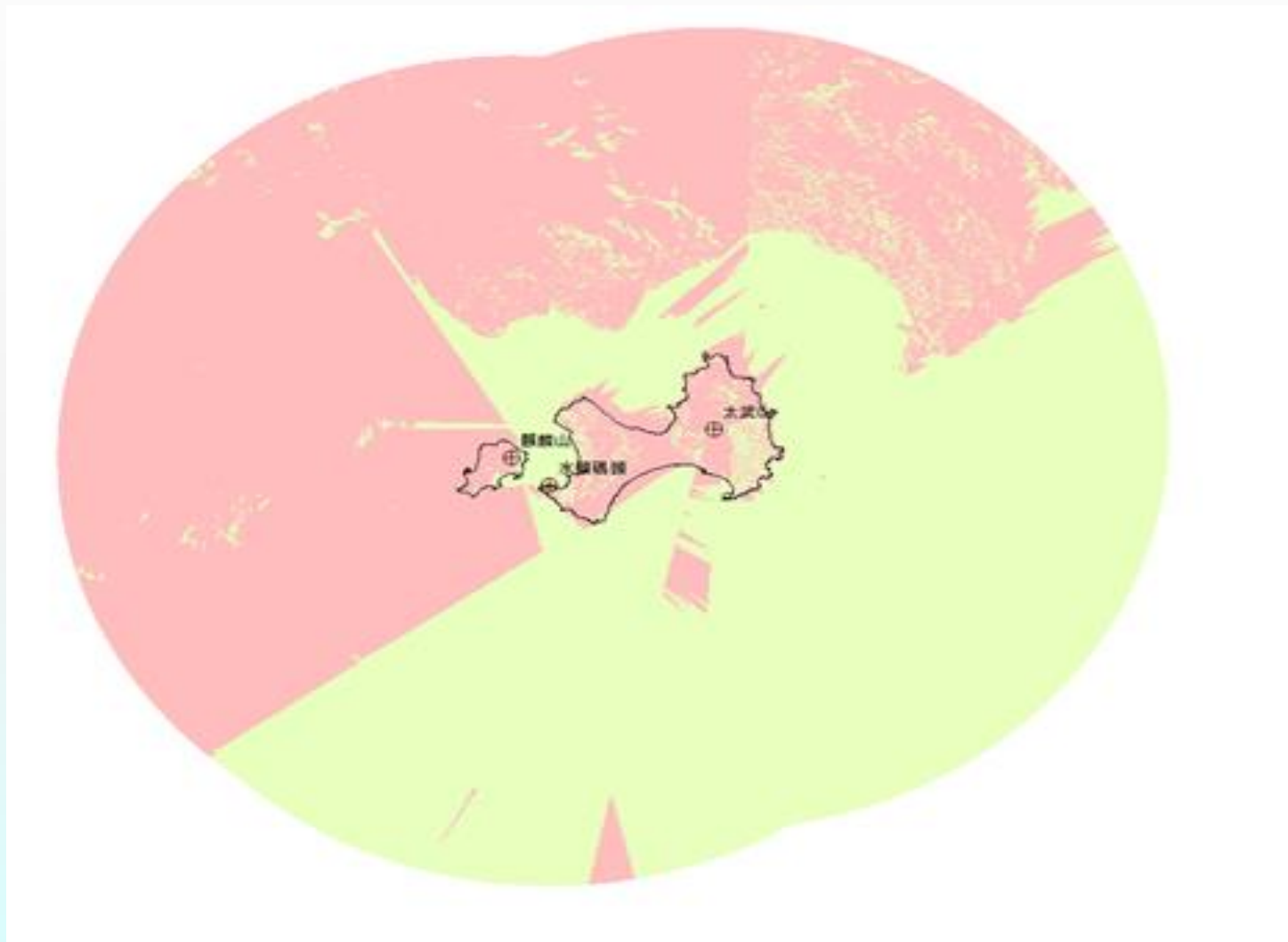


圖6 金門D方案雷達站覆蓋範圍

可監測之危險水域範圍

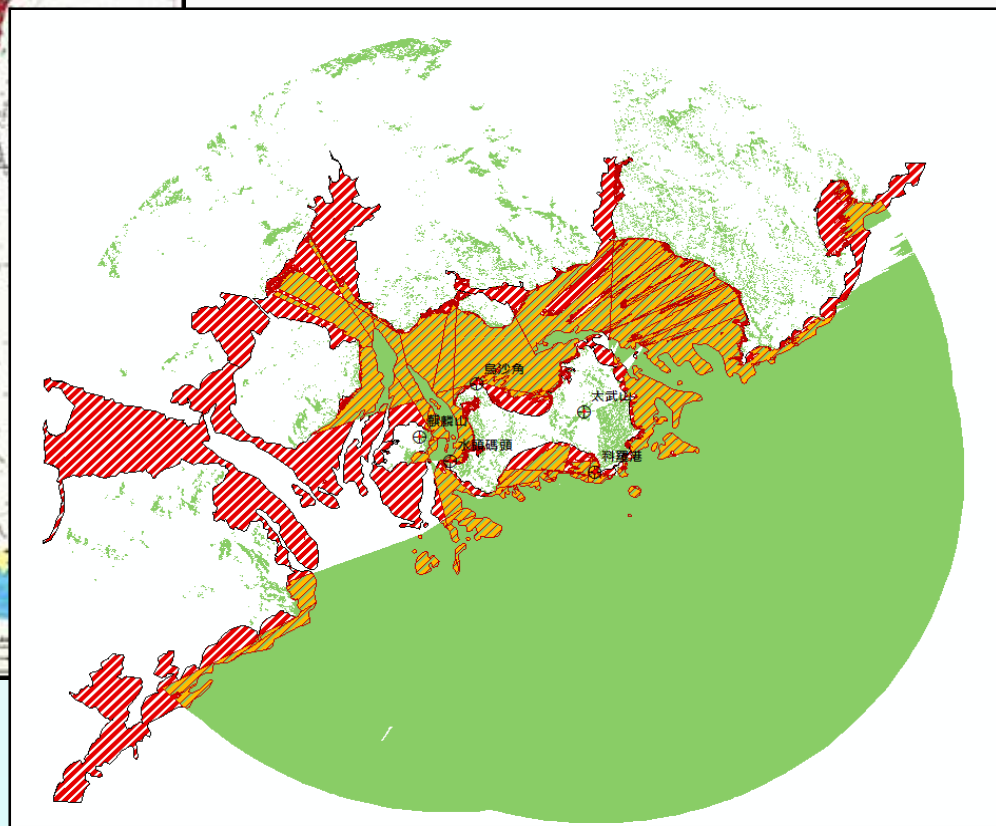
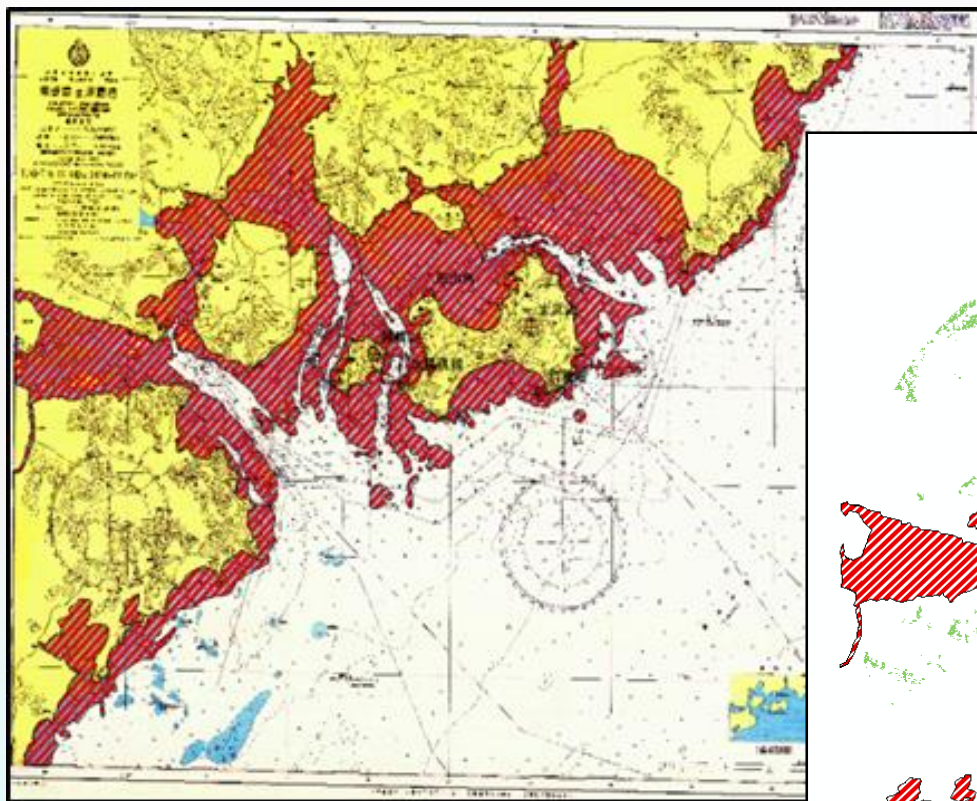


圖7a金門危險水域圖層

圖7b金門可視域與危險水域套疊圖

可監測之主要航道範圍

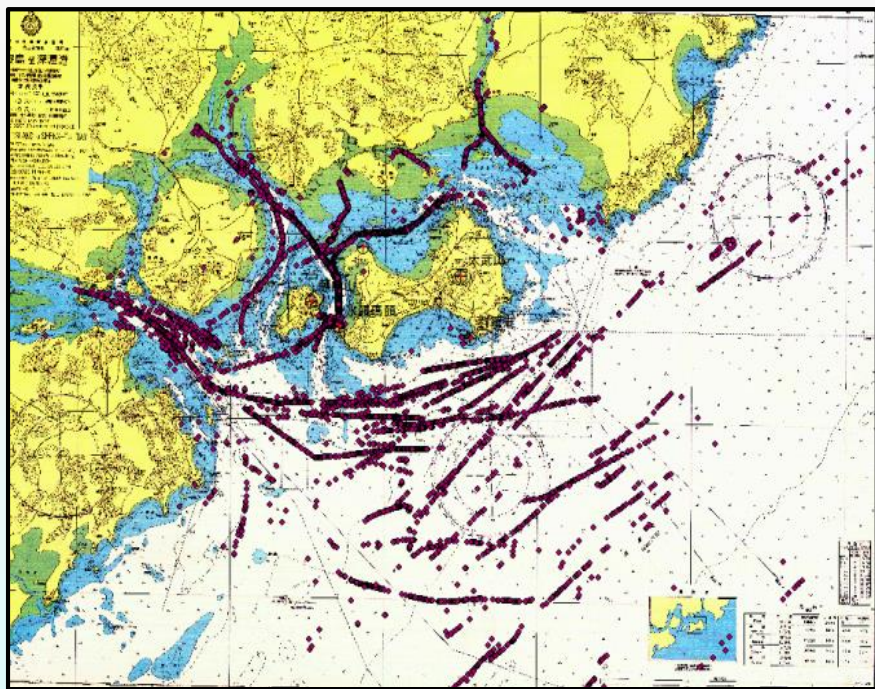


圖 8a 金門船舶密度流

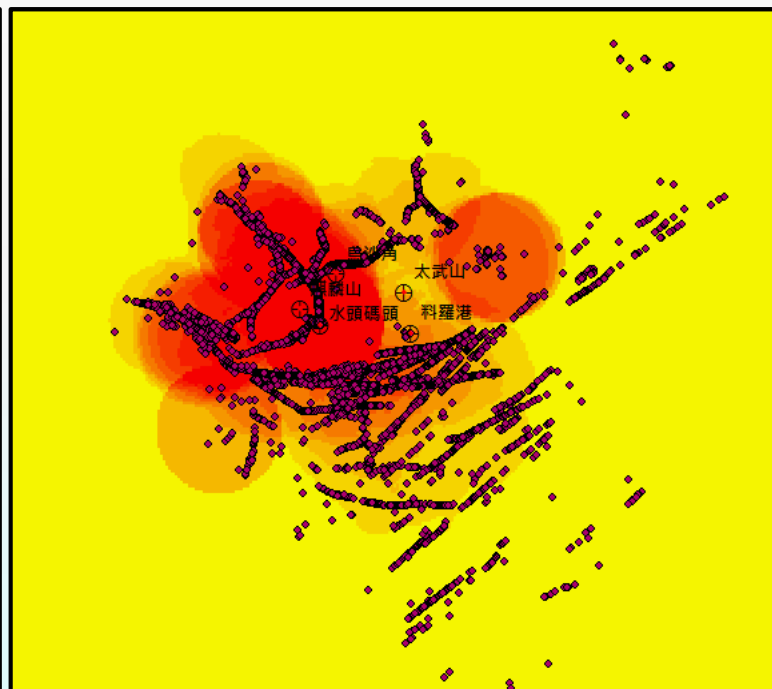


圖 8b 金門船舶密度流分析

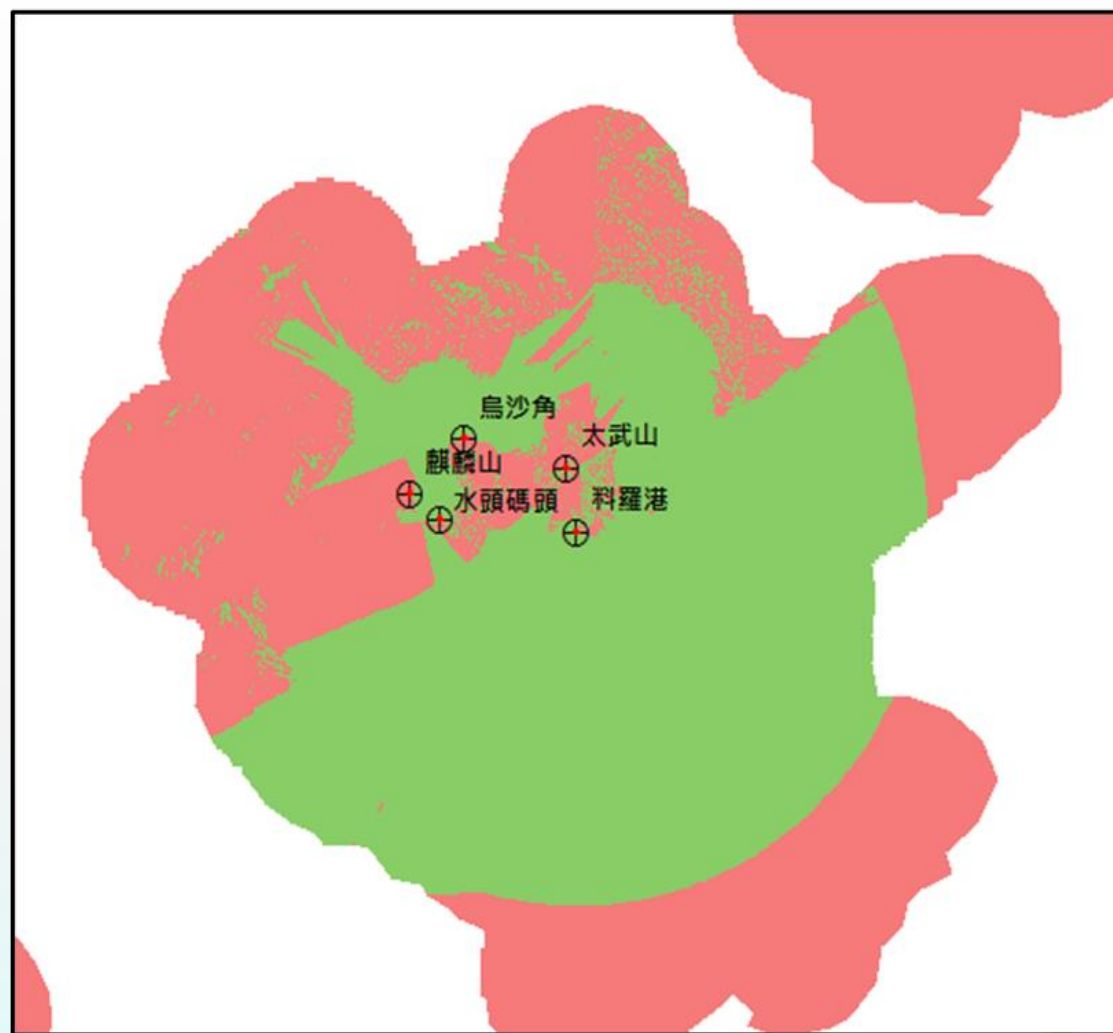
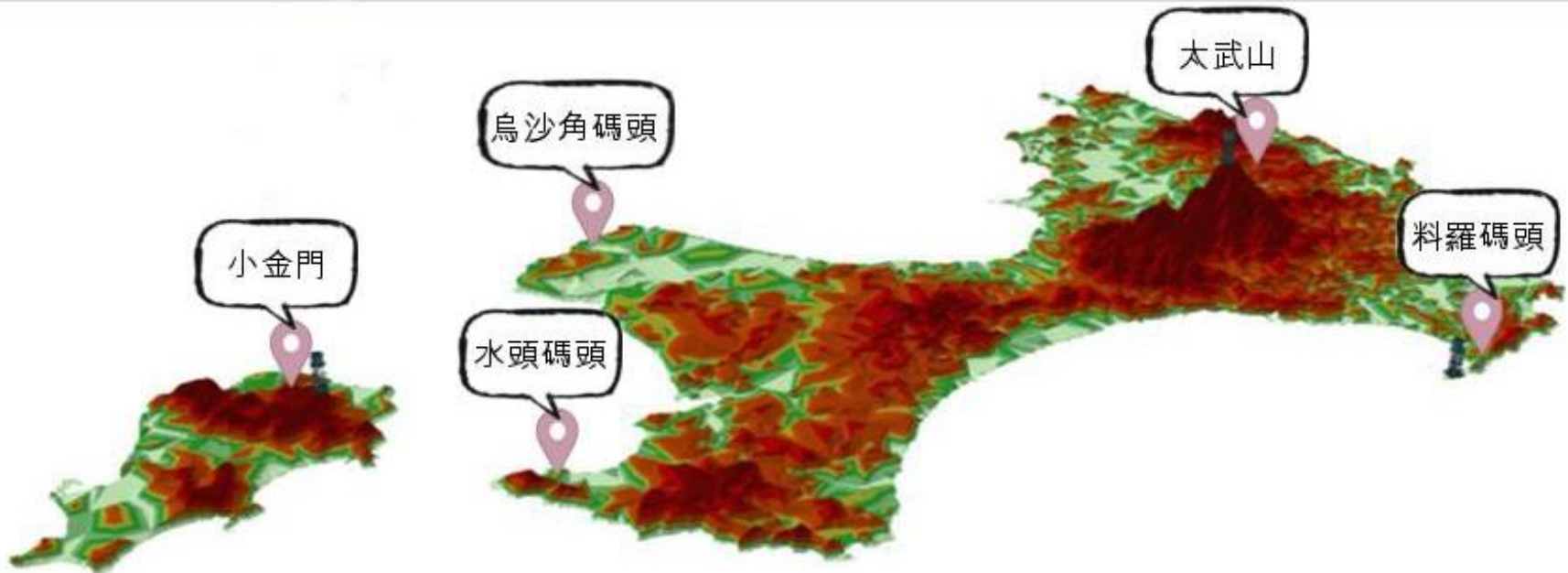


圖 8c 金門可視域面積與密度流分析套疊圖

監測雷達站選址的影響

在過去，VTS站址與雷達站是同一設點，而近來VTS塔台與附屬設施已可分開設立，鑑於科技日新月異，考量因素應重新探討，與評估其權重，並期望以金門VTS在船舶交通服務之定位為依據。



The End

THANKS FOR YOUR ATTENTION

感謝您的聆聽
敬請指導