Journal of Technology, Vol. 22, No. 3, pp. 243-252 (2007)

多目標船舶碰撞資訊的演算解析法

羅逢源

中國海事商業專科學校航海科

吳東明

中央警察大學水上警察學系

蘇東濤

明新科技大學休閒事業管理系

摘　要

本論文提出一多目標船舶間碰撞資訊的解析演算法，利用建立兩船的距離方程式，以微分方法，求此距離方程式的極小值，即可得兩船的最近距離(CPA)，同時亦可求出最近距離點時間 (TCPA)。本文提供兩種數值的解析，即爲經緯度座標法及雷達座標法，僅需以船舶的經緯度座標，或雷達座標，及其航向與航速等四個參數，即可求得兩船的碰撞資訊。本文以四個試算例驗證確認本解析法的有效性。此解析演算法可於一定範圍內之海域，對所有船舶進行避碰資訊的處理，並且提供碰撞訊息及危險等級，可作爲一岸基雷達或船舶交通服務系統 (VTS) 的船舶避碰資訊系統。

關鍵詞：碰撞資訊、微分方法、CPA、TCPA。

AN ANALYTICAL ALGORITHM FOR COLLISION INFORMATION AMONG MULTIPLE VESSELS

Forng-Yuan Luo

Department of Navigation
China College of Marine Technology and Commerce,
Taipei, Taiwan 111, R.O.C.

Tong-Ming Wu

Department of Maritime Police
Central Police University,
Tao-Yuan Taiwan 333, R.O.C.

Dong-Taur Su

Department of Leisure Management
Ming Hsin University of Science and Technology
Hsin chu, Taiwan 304, R.O.C.

Key Words: collision information, differential approach, Closest Point of Approach (CPA), Time of CPA (TCPA).

ABSTRACT

This paper gives an analytical algorithm to manipulate the collision information among multiple vessels. The method can formulate an individual two-vessel distance function and minimum distance of the function, i.e. two-vessel CPA and TCPA, which can be clearly derived by a differential approach. Here two mathematical approaches, such as Global Coordinates and Radar Coordinates, are analytically described, and four (4) parameters of position, course and speed of the specific ship are necessarily required for numerical simulation. By the way, four case studies are calculated to confirm the validity of our method. This algorithm can calculate all ships collision information in a specific area of water, and provide collision information and the priority of ship collision risk. In conclusion, it is firmly recommended to use our system for Ship Anti-Collision Information System at coast Radar or harbor VTS stations.

一、前 言

「碰撞」是所有船舶海上事故中最頻繁與最嚴重的事故。碰撞除了造成兩船的直接損壞外，又會引發一連串的其他海事事故，如失火、人員傷亡、貨損及污染等。碰撞問題也一直是船舶間最容易發生，發生比例最大的海事事故。傳統的碰撞是指船與船間的碰撞，廣義的碰撞則包括擱淺 (船與陸地的碰撞)、船與碼頭及船與橋樑等的碰撞，有關碰撞的定義可參考[1]。

1970-1978 年挪威海事局 (Maritime Directorate, Norway) 對該國所屬大於 100 總噸以上船舶的海上事故統計報告，在總計 9 年 3599 件的事故中，碰撞與擱淺計佔 76 % [2]。表一則為 2001-2005 年基隆港務局的船舶事故統計表，碰撞與擱淺計佔 21.59 %。

表二為 1994-2005 年英國運輸部海洋事故調查局 (Marine Accident Investigation Branch ; MAIB) 對該國所屬大於 100 總噸以上船舶的海上事故統計報告[3]。在總計 12 年 2211 件的事故中，碰撞與擱淺等計佔 33.42 %。上列間隔約 20 年的船舶事故統計中，顯示船舶的海事事故，在進步的科技與安全法規的強力要求下，是有顯著的減少，但無論如何碰撞問題仍然是發生比例最大的海事事故。

船舶的碰撞問題和其交通量有關[4,5]，表三為英國 P&I Club 在 1990-1996 年，7 年間對該協會求償的，有關船舶碰撞的 123 個案例的發生水域分析[6]，其中沿岸、分道航行區、港區、河道皆為船舶交通量較大的水域，也為一般岸基雷達服務的水域，其碰撞比例加起來佔所有碰撞案件的 70 %。

傳統上，船舶碰撞資訊的處理，都是處理本船與他船間之碰撞資訊。因此船載 ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) 雷達的功能，也都主要是求取本船與他船間「最近距離」(CPA-Closest Point of Approach) 與「最近距璃點時間」(TCPA-Time of CPA)，以判斷碰撞風險，至於他船與他船間的碰撞危機則不在考慮之列。因此有關他船與他船，或多目標船舶間的碰撞資訊，文獻上討論不多。[7-11]

但在如船舶交通服務系統 (VTS-Vessel Traffic System) 或船舶監控系統中的岸基雷達，則需要處理的所有船舶的航行資訊，包括影響船舶安全的碰撞資訊。此種碰撞資訊的處理與傳統船用 ARPA 雷達的碰撞資訊處理不同，船用雷達關心的是本船與他船的碰撞危機，其資訊量為 n 個目標可能有 n 個碰撞點；岸基雷達應處理的碰撞資訊為：雷達上所有船舶間的碰撞資訊，即任意兩艘船間的碰撞資訊。此種資料量甚大，3 條船可能有 3 個碰撞點，4 條船可能有 6 個碰撞點，10 條船則可能有 45 個碰撞點；若雷達上有 n 艘船，則可能有的碰撞點最大為：

$$C(n,2) = n \times (n-1) / 2 \qquad (1)$$

因此如何迅速有效的取得多目標船舶間的碰撞資訊？本文所提出的演算法或方法如下。

二、任兩船碰撞資訊的解析原理

求任兩船的碰撞資訊即為求任兩船的 CPA 與 TCPA。本文利用兩船的座標位置建立兩船的距離方程式 (如圖 1)，以微分方法求此距離方程式的極小值，此即為兩船的最近距離 (CPA)，同時亦可求出 TCPA，亦即得到兩船的碰撞資訊。本法只要以船舶的座標及運動狀況 (緯度、經度、真航向、真航速)，或以雷達座標 (距離、方位、真航向、真航速) 為參數，以時間 t 為自變數，即可迅速求出兩船的 CPA 與 TCPA，提供多目標船舶間之碰撞資訊。

船用 ARPA 雷達求本船與他船碰撞資訊的方法，一般以相對運動使用幾何方法求取 CPA 與 TCPA[7,8]，而由於岸基雷達本身為靜止不動，因此雷達上所測得的運動皆為真運動。本文求任兩船的 CPA 與 TCPA 的數學處理皆以真運動為參數，即使是船舶上的相對運動雷達，也因為目前的 ARPA 雷達，皆可把相對運動迅速轉換為真運動，因此

表一　基隆港務局船舶事故統計表 (2001-2005)

項　目	2001	2002	2003	2004	2005	總計	百分比
碰撞	28	22	15	14	20	99	15.49%
擱淺	9	14	3	7	6	39	6.10%
失火	8	8	9	8	4	37	5.79%
爆炸	0	1	0	0	0	1	0.16%
洩漏	9	11	5	7	9	41	6.42%
傾覆	1	3	0	0	3	7	1.10%
機器故障	63	59	38	44	44	248	38.81%
非常變故	4	1	3	0	0	8	1.25%
其他	29	25	43	30	32	159	24.88%
總計	151	144	116	110	118	639	100%

資料來源：基隆港務局(http://www.klhb.gov.tw/Html/)

本文的碰撞資訊演算法仍適用於運動狀態下的船舶雷達。目前國際海上人命安全公約已強制要求船舶安裝船舶自動識別系統 (AIS-Automatic Identification System)，可傳送本船的經緯度座標及航向航速在雷達上顯示，雷達上亦可輸入本船的 GPS 定位座標，本文對於碰撞資訊的演算，乃以兩種座標分別討論：一、經緯度座標法；二、雷達座標法。

1. 方法一：經緯度座標法

已知兩船資料：船位 (緯度、經度)、真航向、真航速

A (L1,G1)、C1、S1　　(2-1)

B (L2,G2)、C2、S2　　(2-2)

計算時時間 t 以分爲單位，距離爲浬，採中緯度航法(N 爲 +, S 爲 -； E 爲 +, W 爲 -)

$Lm = (L1+L2) / 2$　(或岸基雷達的緯度)　　(2-3)

$l = L1-L2 \qquad DLO = G1-G2$

橫距 $p = DLO \times cosLm$　　(2-4)

t 分後的船位爲 $A(L1_t, G1_t)$、$B(L2_t, G2_t)$　　(3-1)

設 $l1, l2$ 爲航行 t 分後的緯度差，$p1, p2$ 爲航行 t 分後的橫距

$l1 = S1 \times t \times cosC1 \qquad L1_t = L1+l1$　　(3-2)

$p1 = S1 \times t \times sinC1 \qquad G1_t = G1+p1/cosLm$　　(3-3)

$l2 = S2 \times t \times cosC2 \qquad L2_t = L2+l2$　　(3-4)

$p2 = S2 \times t \times sinC2 \qquad G2_t = G2+p2/cosLm$　　(3-5)

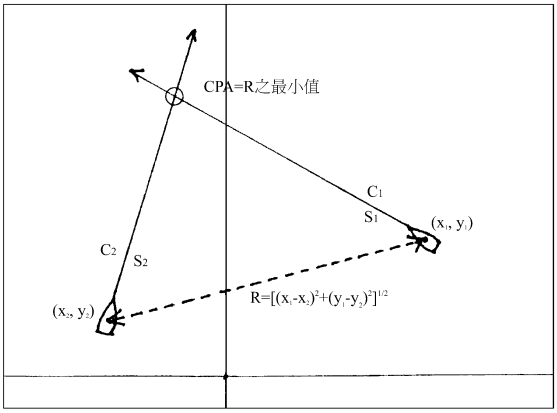

圖 1　距離方程式求 CPA 解析圖

如圖一，以平面座標法求 A、B 兩船間的距離 R(緯度以分, 經度以橫距 p 爲單位)

$$R = ((X1-X2)^2 + (Y1-Y2)^2)^{1/2} \qquad (4)$$

得 $$R = ((l+l1-l2)^2 + (P+p1-p2)^2)^{1/2} \qquad (5)$$

$$R = ((l+ S1\times cosC1\times t - S2\times cosC2\times t)^2 + (p+ S1\times sinC1\times t - S2\times sinC2\times t)^2)^{1/2} \qquad (6)$$

$$R = ((l+ (S1\times cosC1 - S2\times cosC2)t)^2 + (p+ (S1\times sinC1 - S2\times sinC2)t)^2)^{1/2} \qquad (7)$$

取 t 爲變數，任何時間兩船間的距離爲 $R(t)$，(7)式展開

$$R(t) = (l^2+ 2l(S1\times cosC1 - S2\times cosC2)t + (S1\times cosC1 - S2\times cosC2)^2t^2 + p^2 + 2p(S1\times sinC1 - S2\times sinC2)t + (S1\times sinC1 - S2\times sinC2)^2t^2)^{1/2} \qquad (8)$$

(8)式取微分

$$R'(t) = (l(S1\times cosC1 - S2\times cosC2) + (S1\times cosC1 - S2\times cosC2)^2t + p(S1\times sinC1 - S2\times sinC2) + (S1\times sinC1 - S2\times sinC2)^2t)/R(t) \qquad (9)$$

$R'(t) = 0$ 時 R 爲最小值，即兩船間的距離爲最近(CPA)，解(9)式 $R'(t) = 0$ 時，得 t_c

$$t_c = - (((l(S1\times cosC1 - S2\times cosC2) + p(S1\times sinC1 - S2\times sinC2)) / ((S1\times sinC1 - S2\times sinC2)^2 + (S1\times cosC1 - S2\times cosC2)^2)) \qquad (10)$$

即

$$t_c = TCPA \qquad (11)$$

表二 英國運輸部的船舶 (> 100GT) 事故統計表 (1994-2005)

Category/Year	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	total
1. Capsize/Listing	0	0	5	0	0	1	0	1	0	0	2	1	10
2. Cargo Handling	9	7	2	2	2	1	8	1	1	3	1	1	38
3. Collision*	25	23	26	30	23	10	25	16	16	12	15	37	258
4. Contact*	26	22	31	24	23	18	14	13	25	32	28	32	288
5. Escape of Harmful Substance	24	26	20	15	27	15	4	11	0	0	4	2	148
6. Fire/Explosion	24	25	22	26	24	19	18	21	26	22	24	22	273
7. Flooding/Foundering	5	3	3	4	3	3	2	3	1	3	3	5	38
8. Grounding*	9	19	18	21	20	16	7	18	13	13	15	24	193
9. Heavy Weather	4	4	12	2	4	2	5	1	4	3	4	1	46
10. Machinery Failure	62	37	41	50	55	48	50	39	27	39	40	50	538
11. Person Overboard	6	6	14	15	8	11	5	10	8	5	5	8	101
12. Other	55	64	57	48	29	16	2	0	2	3	1	3	280
TOTAL	249	236	251	237	218	160	140	134	123	135	142	186	2,211

* collision = 258/2211 = 11.67%
* collision + contact + grounding = 258+288+193 = 739/2211 = 33.42%

表三 英國 P&I Club 的碰撞水域統計 (1990-1996)

水 域	比 例	
1. 沿 岸	31%	70%
2. 分道航行區	14%	
3. 港 區	14%	
4. 河 道	11%	
5. 開闊水域	22%	30%
6. 錨 泊	7%	
7. 其 他	1%	
總 計	100%	

$$R(t_c) = CPA \tag{12}$$

2. 方法二：岸基雷達座標法

已知兩船資料：船位(距離,方位)、真航向、真航速

$$\text{A (r1,b1)、C1、S1} \tag{13-1}$$

$$\text{B (r2,b2)、C2、S2} \tag{13-2}$$

計算時時間 t 以分爲單位，距離爲浬
t 分後的船位並轉換爲平面座標

$$A\,(x1, y1)、B\,(x2, y2) \tag{14-1}$$

$$x1 = r1\times sinb1+S1\times\ t\ \times sinC1 \tag{14-2}$$

$$y1 = r1\times cosb1+S1\times\ t\ \times cosC1 \tag{14-3}$$

$$x2= r2\times sinb2+S2\times\ t\ \times sinC2 \tag{14-4}$$

$$y2 = r2\times cosb2+S2\times\ t\ \times cosC2 \tag{14-5}$$

以平面座標法，求 A、B 兩船間的距離 R

$$R = ((x1-x2)^2 + (y1-y2)^2)^{1/2} \tag{15}$$

得

$$\begin{aligned} R = &((r1\times sinb1-r2\times sinb2)\\ &+(S1\times sinC1-S2\times sinC2)\times t\,)^2\\ &+((r1\times cosb1-r2\times cosb2)\\ &+(S1\times cosC1-S2\times cosC2)\times t\,)^2\,)^{1/2} \end{aligned} \tag{16}$$

設

$$Dx = r1\times sinb1-r2\times sinb2 \tag{17-1}$$

$$Dy = r1\times cosb1-r2\times cosb2 \tag{17-2}$$

代入(16)式，取 t 爲變數，任何時間兩船間的距離爲 $R(t)$，(16)式展開，得

$$\begin{aligned} R(t) = &(Dx^2+2Dx(S1\times sinC1-S2\times sinC2)\times t\\ &+(S1\times sinC1-S2\times sinC2)^2\times t^2 +Dy^2\\ &+2Dy(S1\times cosC1-S2\times cosC2)\times t\\ &+(S1\times cosC1-S2\times cosC2)^2\times t^2)^{1/2} \end{aligned} \tag{18}$$

(18)式取微分

$$\begin{aligned} R'(t) = &(Dx(S1\times sinC1-S2\times sinC2)\\ &+(S1\times sinC1-S2\times sinC2)^2 t\\ &+Dy(S1\times cosC1-S2\times cosC2)\\ &+(S1\times cosC1-S2\times cosC2)^2 t)\,/R(t) \end{aligned} \tag{19}$$

$R'(t) = 0$ 時 R 爲最小值，即兩船間的距離爲最近。
解(19)式 $R'(t) = 0$ 時，得 t_c

$$t_c = -(Dx(S1\times sinC1 - S2\times sinC2) + Dy(S1\times cosC1 - S2\times cosC2)) / ((S1\times sinC1 - S2\times sinC2)^2 + (S1\times cosC1 - S2\times cosC2)^2) \quad (20)$$

即

$$t_c = TCPA \quad (21)$$

$$R(t_c) = CPA \quad (22)$$

三、數值模擬程式設計

上述多目標船舶間之CPA與TCPA演算以Visual Basic語言撰寫程式，並以視覺化圖形顯示。在CPA、TCPA資訊顯示框，點選船組後，可在圖上顯示該兩船之CPA位置。船舶資料可自行設定以外部資料檔載入後模擬處理，範圍爲半徑30浬(略大於領海及鄰接區的範圍)，船舶資料檔格式如下：

檔名：sh*.txt(純文字檔)
格式：緯度,經度,航速,航向
例：　25.12,120.36,15,270

檔名：ra*.txt(純文字檔)
格式：距離,方位,航速,航向
例：　12.5,060,15,270

由於船舶數目多時，各船舶間理論上的碰撞資訊量也大：10艘船有45組，20艘船則有190組，但並不是所有的碰撞資訊 (CPA 與 TCPA) 都是需要的，本文乃將碰撞資訊分爲四個等級，各船間的CPA與TCPA小於此四等級者才予以顯示在碰撞資訊框上，此碰撞危險選擇標準可由使用者自行設定，本文設定的標準如下：

危險等級	CPA (浬)	TCPA (min)
一	1.0	16
二	2.0	21
三	3.5	30
四	5.0	60

於危險等級四以內的船舶碰撞資訊，程式才予以依序排列顯示，並可點選顯示該船組的CPA位置。程式流程圖如圖2所示。圖3爲例四的30艘船位置顯示圖幕。

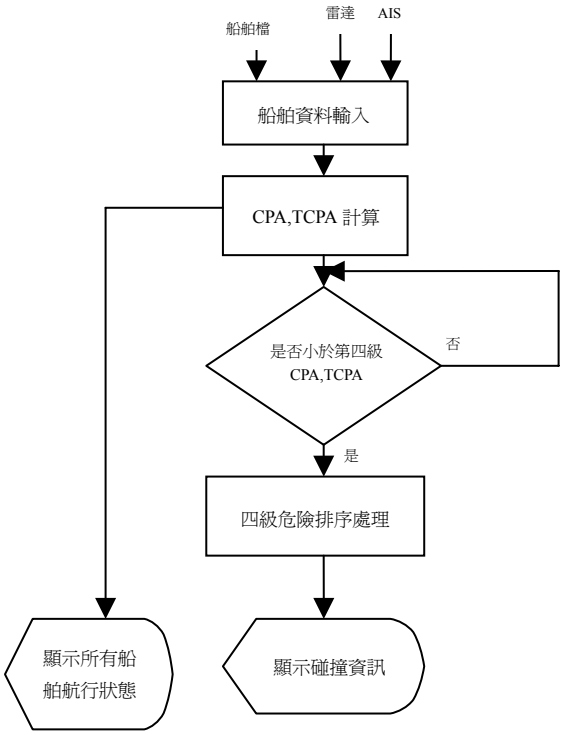

圖 2　程式流程圖

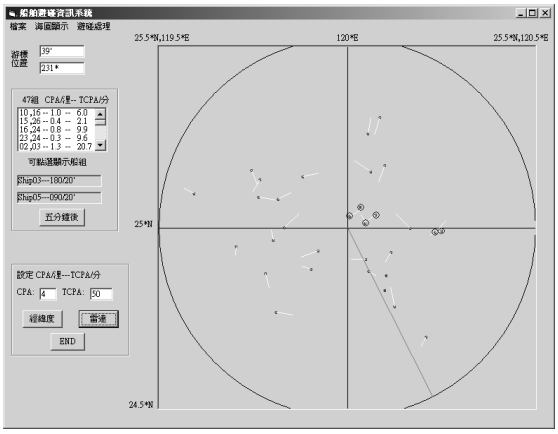

圖 3　例四的 30 艘船位置顯示圖幕

四、試算例證與結果分析

本文之演算法以下列四個例子，以經緯度法及雷達座標法，經程式計算後列出如下，分別爲10船及30船，以檢驗程式的正確性，及呈現多目標船舶間碰撞資訊的複雜性。

1. 經緯度標法：程式計算結果如例一及例二。

例一：已知10船航行資料，如表四 (a)：

表四(a) 例一的 10 船資料

船號	緯度	經度	航速	航向	船號	緯度	經度	航速	航向
1	25N	119.9E	20	045	6	25.25	120.25	20	270
2	25	120.1	20	315	7	24.8	119.8	15	030
3	25.5	120	20	180	8	24.8	120.2	15	330
4	24.5	120	20	000	9	25.2	119.8	15	120
5	25.25	119.75	20	090	10	25.2	120.2	15	240

表四(b) 例一的 10 艘船碰撞資訊(45 組)

船組	CPA(浬)	TCPA(分)	船組	CPA(浬)	TCPA(分)	船組	CPA(浬)	TCPA(分)
#1、2	0	23.1	#2、9	0.8	35	#5、6	0	40.8
1、3	6.5	48.4	2、10	6.1	32.4	5、7	16.8	71
1、4	25.6	64.7	3、4	0	90	5、8	14.0	66.4
1、5	1.8	66.6	#3、5	1.0	42.9	5、9	***	-2.0
1、6	6.6	37.9	#3、6	1.0	42.9	5、10	8.3	41.1
1、7	***	-65.9	3、7	1.3	76.9	6、7	14	66.4
1、8	12.8	43.3	3、8	1.3	76.9	6、8	16.8	71
1、9	6.1	32.4	3、9	5.4	67.6	6、9	8.4	41.1
#1、10	0.8	35	3、10	5.4	67.6	6、10	***	-2.0
2、3	6.5	48.4	4、5	22.2	87.9	7、8	0	87
2、4	25.6	64.7	4、6	22.2	87.9	7、9	6.2	65.6
2、5	6.6	37.9	4、7	5.7	118.3	7、10	1.6	67
2、6	1.8	66.6	4、8	5.7	118.3	8、9	1.6	67
2、7	12.9	43.3	4、9	8.1	84.1	8、10	6.2	65.6
2、8	***	-65.9	4、10	8.1	84.1	#9、10	0	50.2

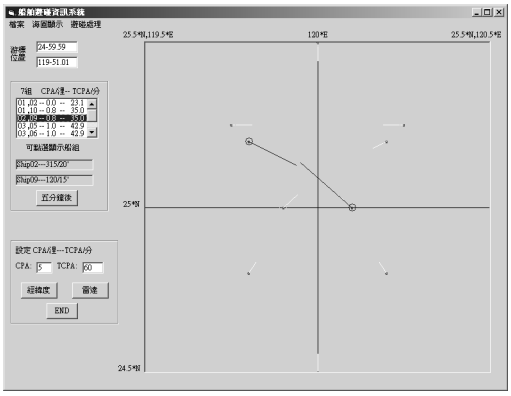

圖 4(a) 2、9 船組之 CPA 位置

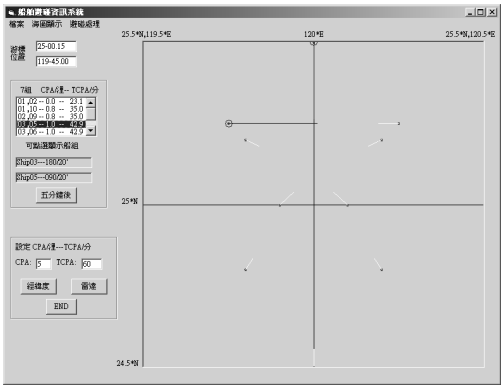

圖 4(b) 3、5 船組之 CPA 位置

本例 10 艘船計有 45 組碰撞資訊如表四(b) 所示，碰撞資訊中 TCPA 爲"負值"者，表示已過了兩船 CPA 的時間，因此 CPA 也無意義了，以"***"表示。全部碰撞資訊中有些 CPA 很大，有些 TCPA 還很遠，皆無危險急迫性。因此若取 CPA<=5 AND TCPA<=60，爲篩選條件，則可得 7 組碰撞訊息，如"#"號所示者。圖 4 顯示 2、9 兩船的 CPA 位置 (CPA=0.8, TCPA=35)，此兩船爲對遇之情況；及 3、5 兩船交叉相遇的 CPA 位置 (CPA=1.0, TCPA=42.9)。

例二：已知 30 艘船資料，如表五(a)：

本例 30 艘船計有 435 組碰撞資訊，經設定 CPA <= 5、TCPA <= 60 爲篩選條件後可得 31 組碰撞資訊如表五(b)。無一級危險 (CPA<= 1.0, TCPA<= 16) 的船組，二級危險 (CPA<= 2.0, TCPA<= 21) 的 1 組，三級危險的 4 組，其餘爲四級者。圖 5 顯示 10、21 兩船的 CPA 位置 (CPA=2.5, TCPA=30.8)，21 號目標爲靜止目標；及 10、23 兩船的 CPA 位置 (CPA=0.9, TCPA=56.5)。

2. 雷達座標法：程式計算結果如例三及例四。

例三：已知 10 船資料，如表六 (a)：

本例 10 艘船計有 45 組碰撞資訊，經設定 CPA<= 5、TCPA<= 60 爲篩選條件後可得 11 組碰撞資訊，詳如表六 (b)。無一級危險(CPA<= 1.0, TCPA<= 16)的船組，二級危險 (CPA<= 2.0, TCPA<= 21)的 2 組，三級危險的 3 組，其餘爲四級者。圖 6 顯示 8、10 兩船的 CPA 位置 (CPA=0, TCPA=28.9)，兩船爲追越情況；及 1、2 兩船的 CPA 位置 (CPA=0, TCPA=42.4)。

表五(a) 例二的 30 艘船資料

船號	緯度	經度	航速	航向	船號	緯度	經度	航速	航向
1	25	119.9	20	045	16	25.21	120.3	15	220
2	25	120.1	20	315	17	25.3	119.9	20	010
3	25.5	120	20	180	18	24.65	120.25	15	280
4	24.5	120	20	000	19	24.55	119.6	11	350
5	25.25	119.75	20	090	20	25.25	120.3	15	260
6	25.25	120.25	20	270	21	25.1	120.1	0	0
7	24.8	119.8	15	030	22	25.3	119.7	0	0
8	24.8	120.2	15	330	23	25.2	119.8	12	123
9	25.2	119.8	15	120	24	25.3	120.4	18	220
10	25.2	120.2	15	240	25	24.75	120.22	14	310
11	25.1	119.55	16	100	26	24.8	119.63	10	056
12	25.15	120.4	18	210	27	24.69	120.24	9	299
13	24.6	119.6	15	060	28	25.2	120.14	0	0
14	24.9	120.15	10	290	29	25.24	119.64	20	140
15	25.4	119.8	12	150	30	24.9	120.35	16	250

表五(b) 例二的 30 艘船碰撞資訊 (435 組)，取 CPA<=5 , TCPA<=60 得 31 組

船組	CPA(浬)	TCPA(分)	船組	CPA(浬)	TCPA(分)	船組	CPA(浬)	TCPA(分)
*10、28	1.6	11.3	2、21	4.2	12.7	7、29	3.6	57.4
1、2	0.0	23.1	2、23	1.5	38.1	8、14	3.8	32.9
6、28	3.0	17.9	3、5	1.0	42.9	9、10	0	50.2
10、21	2.5	30.8	3、6	1.0	42.9	10、23	0.9	56.5
13、19	2.9	2.6	3、17	4.4	18.7	11、29	2.9	43.3
1、10	0.8	35.0	3、20	2.7	57.8	15、17	4.9	12.8
1、20	2.1	47.3	4、18	4.5	41.2	16、21	4.1	48.2
1、21	3.4	35.8	5、6	0	40.8	20、28	1.4	36.4
1、28	0.7	53.1	5、20	2.2	51.3	25、30	4.2	42.3
2、9	0.8	35.0	5、23	4.0	3.1			
2、15	2.6	54.6	6、15	0.7	55.8			

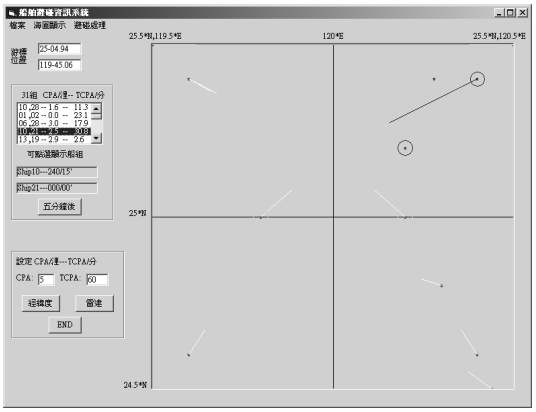

圖 5(a) 10、21 船組之 CPA 位置

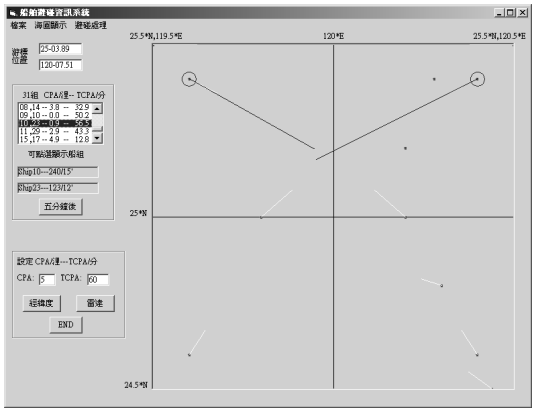

圖 5(b) 10、23 船組之 CPA 位置

例四：已知 30 艘船資料，如表七(a)

本例 30 艘船計有 435 組碰撞資訊，本例的船舶密度較大，若設定 CPA<= 5、TCPA<= 60 爲條件可得 64 組碰撞資訊，佔用篇幅太大；經設定 CPA<= 4、TCPA<= 50 爲篩選條件後可得 47 組碰撞資訊，詳如表七(b)。一級危險 (CPA<= 1.0, TCPA<= 16) 的船組有 5 組，二級危險 (CPA<= 2.0, TCPA<= 21) 的 12 組，三級危險的 13 組，其餘爲四級者。圖 7 顯示 16、24 兩船的 CPA 位置 (CPA=0.8, TCPA=9.9)；及 10、16 兩船的 CPA 位置 (CPA=1.0, TCPA=6.0)，皆爲一級危險船組。

表六 (a) 例三的 10 船資料

船號	距離	方位	航速	航向	船號	距離	方位	航速	航向
1	10	270	20	045	6	8	155	9	122
2	10	090	20	315	7	10	022	20	305
3	12	030	18	200	8	6	230	18	245
4	15	290	16	100	9	11	320	16	075
5	15	150	20	350	10	8	230	14	249

表六(b) 例三的 10 艘船碰撞資訊 (45 組), 取 CPA<=5', TCPA<=60min (11 組)

船組	CPA(浬)	TCPA(分)	船組	CPA(浬)	TCPA(分)	船組	CPA(浬)	TCPA(分)
2、3	1.3	20.7	8、10	0.0	28.9	2、9	2.5	36.2
5、6	1.4	15.5	1、2	0.0	42.4	3、5	3.2	37.9
3、7	2.5	0.6	1、4	3.6	19.4	4、5	4.6	56.4
7、9	3.3	19.0	1、9	4.0	47.4			

表七(a) 例四的 30 艘船資料

船號	距離	方位	航速	航向	船號	距離	方位	航速	航向
1	10	270	20	045	16	3	075	10	336
2	10	090	20	315	17	16	012	16	010
3	12	030	18	200	18	6	150	15	270
4	15	290	16	100	19	12	260	11	350
5	15	150	20	350	20	18	302	15	160
6	8	155	9	122	21	18	260	9	185
7	10	22	20	305	22	10	142	0	0
8	6	230	18	250	23	4	032	0	0
9	11	320	16	075	24	2	010	14	060
10	5	065	14	235	25	16	300	15	210
11	18	219	16	100	26	14	093	16	043
12	8	120	12	210	27	12	150	0	0
13	12	293	15	060	28	19	016	18	198
14	9	220	10	290	29	15	240	15	168
15	15	092	12	250	30	25	283	12	300

表七(b) 例四的 30 船碰撞資訊 (435 組), 取 CPA<4 , TCPA<50 (47 組)

船組	CPA(浬)	TCPA(分)	船組	CPA(浬)	TCPA(分)	船組	CPA(浬)	TCPA(分)
*10、16	1.0	6.0	20、25	1.4	7.3	1、13	1.8	39.5
*15、26	0.4	2.1	2、23	3.2	23.9	1、16	2.7	40.2
*16、24	0.8	9.9	2、24	0.6	21.7	1、28	3.2	38.3
*23、24	0.3	9.6	3、7	2.5	0.6	2、9	2.5	36.2
*5、27	1.0	8.5	3、16	2.3	22.6	2、13	0.5	46.3
2、3	1.3	20.7	3、23	1.3	26.4	2、16	2.5	35.8
3、24	0.6	20.2	4、13	2.8	6.9	2、28	0.2	34.9
5、6	1.4	15.5	4、25	2.5	3.2	3、5	3.2	37.9
5、12	1.3	17.7	6、27	1.3	25.9	4、20	3.9	9.3
5、22	0.4	15.8	7、9	3.3	19.0	5、15	3.2	3.4
6、12	1.7	18.4	10、23	2.4	5.3	8、21	1.5	47.9
6、22	0.9	17.9	10、24	2.1	7.7	9、28	1.8	31.4
8、14	0.9	15.4	12、27	2.4	3.0	13、16	2.6	49.9
12、22	1.3	18.7	19、20	0.2	28.1	14、20	3.2	49.3
16、23	0.4	16.2	1、2	0	42.4	16、28	1.3	40.1
17、28	1.2	5.3	1、4	3.6	19.4			

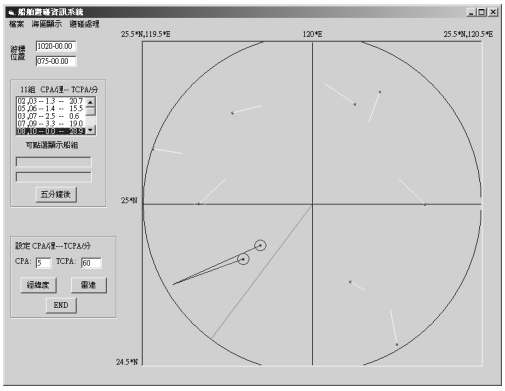

圖 6(a)　8、10 船組之 CPA 位置

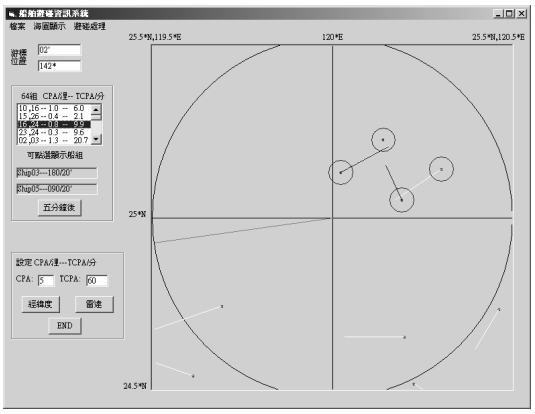

圖 7(a)　16、24 船組之 CPA 位置

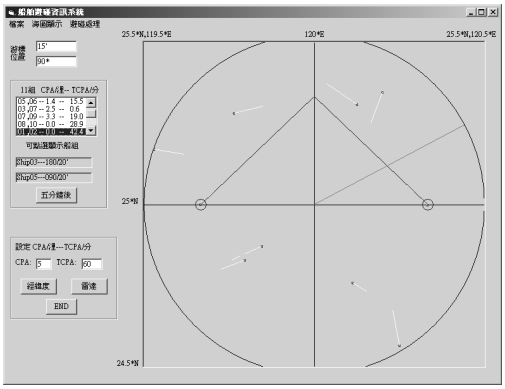

圖 6(b)　1、2 船組之 CPA 位置

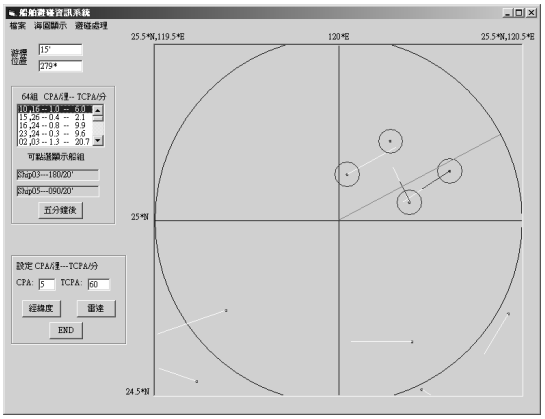

圖 7(b)　16、10 船組之 CPA 位置

五、結論與建議

本文利用建立兩船的距離方程式，以微分方法，求此距離方程式的極小值，即爲兩船的最近距離 (CPA)，同時亦可求出 TCPA，得到兩船的碰撞資訊。本文提供兩種數值的解析法，即經緯度座標法及雷達座標法，只要以船舶的座標及運動狀況(緯度、經度、真航向、真航速)，或(距離、方位、真航向、真航速)爲參數，以時間 t 爲自變數，即可迅速求出兩船的 CPA 與 TCPA，以提供多目標船舶間之碰撞資訊。

本文所提出的演算法以 Visual Basic 語言撰寫程式處理，並以圖形視覺化顯示，同時以四個試算例驗證確認本解析法的有效性。程式預設的最大船舶數爲 30 艘，30 艘船理論上的碰撞資訊可得 435 組，但是並非所有的碰撞資訊都是必要的或是有危險性的。本文乃於演算法中設定四個等級的 CPA 與 TCPA，小於此四個等級的碰撞資訊才予以顯示。使用者亦可自行設定此四個等級的 CPA 與 TCPA。

本文的程式設計是以 Visual Basic 語言原創撰寫，未使用到其他現成商用套裝軟體，因此系統的建置發展成本甚低，且系統的功能擴充性與未來發展性也大。目前本研究的船舶資料是以文字檔設定模擬，因此可以自行設計安排各種虛擬船舶航行組態，對於船舶碰撞行爲的研究與教學均甚爲方便好用。在應用實務上，只要將程式的輸入資料部份修改，與 ARPA 雷達或 AIS 接收器直接連線輸入船舶的運動資料，即可對船舶的碰撞資訊作「即時模擬」(Real Time Simulation)的處理與顯示。此船舶資料檔亦可設計輸入做爲海圖資料檔，輸入水文、暗礁及海岸線等資料，以提供船舶航行危險障礙訊息。

本文之碰撞資訊演算方法簡潔扼要，特別適用於船舶交通服務系統 (VTS) 及岸基監控雷達的碰撞資訊處理，提供碰撞訊息及危險等級，建構一船舶避碰資訊系統。

六、符號索引

*b*1,*b*2	雷達方位
*C*1,*C*2	真航向
CPA	Closest Point of Approach

DLO	經度差
$G1$,$G2$	船位的經度
$l1$,$l2$	緯度差
$L1$,$L2$	船位的緯度
$p1$,$p2$	橫距(depature)
$r1$,$r2$	雷達距離
$S1$,$S2$	真航速
TCPA	Time of CPA

參考文獻

1. 黃燦煌、廖坤靜和吳展嘉，「海難事故碰撞事件中人爲因素分析之研究」，船舶與海運通訊，中華海運研究協會，第 27 期，第 18-28 頁 (2006)。
2. A.N.Cockcroft, “Cause Relationships of Collisions and Groundings”, *The Journal of Navigation*, Vol. 35, No. 2, pp. 305-311 (1982).
3. MAIB - Marine Accident Investigation Branch Annual Report 2005, UK, Department for Transport (2006).
4. W. G.. P. Lamb, “The Calculation of Crossing Collision Risk at Sea”, *The Journal of Navigation*, Vol. 40, No. 1, pp. 52-62 (1987).
5. Cornelis J. Wennink, “Collision and Grounding Risk Analysis for Ships Navigating in Confined Waters”, *The Journal of Navigation* ,Vol.45, No.1, pp.80-89 (1992).
6. Richard J. Pilly & Thomas Miller, “Collisions: Some Facts and Figures”, *Modern Law and Practice of Collision at Sea*, Edit by Wang Pengnan, Darlian Maritime University Press, Darlin, China, pp. 11-18 (1998).
7. 繆德剛，航海雷達，大連海事大學出版社，大連，第 168-215 頁(1995)。
8. Bole, A. G., and Jones, K. D., Automatic *Radar Plotting Aids Manual*, Heinemann Publishing, London, UK, pp.17-54, 109-128 (1982).
9. *Furuno Marine RADAR*/ARPA *Operator's Manual—FAR-28x7 Series*, Furuno Electric Co., Hyogo, Japan, pp.3-1~3-38 (2006).
10. “Product Data Sheet,” VTS Extractor and Tracker—VET 5070, Kongsberg Norcontrol IT (www.norcontrolit.com), Horten Norway, pp.1-2 (2005).
11. 基隆港船舶交通服務指南，基隆港務局 (www.klhb.gov.tw/Html/), pp.1-5 (2006).

2006 年 **07** 月 **31** 日 收稿
2006 年 **08** 月 **18** 日 初審
2007 年 **05** 月 **07** 日 複審
2007 年 **05** 月 **16** 日 接受