

가상 디지털 항로표지 서비스를 위한 선박 위치 추정 개선 방안

† 김건웅 · 조기정* · 박태근**

† 목포해양대 해양컴퓨터공학과 교수, *,**한국항로표지기술원 기술연구소

요약 : 충돌 회피를 위한 위험도 평가에서 CPA 계산은 핵심 요소이며, AIS의 도입 이후 AIS 정보를 이용한 CPA 계산이 필수적으로 활용되고 있다. 본 논문에서는 CPA 계산에 이용되는 AIS 정보와 실제 특성을 확인하고, 선박 위치 추정에 관련된 선박 연구들을 분석하며, 이를 가상 디지털 항로 표지 서비스에 적용할 방안을 강구한다. P. Last 등의 연구는 ROT의 중요성을 강조하고 있으나, 대부분의 선박이 필요로 하는 정확한 ROT 값을 전송하지 못하고 있는 상황을 확인했고, Ling-Zhi Sang 등의 연구는 4가지 요소를 반영한 간단한 식으로 구현하여 전 해역의 데이터로 비교한 결과 2가지 요소만을 적용한 방법에 대한 정확도의 향상을 확인할 수 없었다.

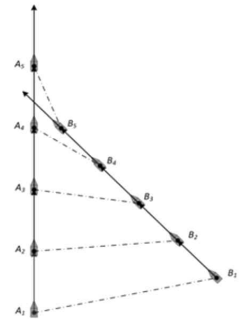
핵심용어 : 가상 디지털 항로표지, 충돌위험도, CPA, AIS, ROT

항로표지(AtoN)

- 항로표지
 - 해상교통 안전 도모와 선박 운항의 능률적 향상을 위하여 항만, 해협, 그 밖의 대한민국의 내수·영해 및 배타적 경제수역을 항해하는 선박의 지표가 되는 인공 시설(항로표지법 제1조 및 제2조제1호)
- AtoN(Aid to Navigation)
 - IALA(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)의 정의
 - 개별 선박 및/또는 선박 교통의 안전하고 효율적인 항행을 강화하기 위해 설계되고 운용되는 선박의 외부 장치, 시스템 또는 서비스

CPA 계산

- 자선으로부터 주변 선박 간의 CPA(Closest Point of Approach) 정보는 충돌 위험이 있는 상황에서 각 선박의 위험 정도를 판단하는데 필요
- 일반적으로 항해사는 자선의 조종 특성, 전술적 상황(항로, 항속, 상대 선박), DCPA(Distance at Closest Point of Approach)/TCPA(Time to Closest Point of Approach)를 고려하여 충돌 회피 관련 의사결정 수행
- CPA 계산은 선박의 초기 위치와 실제 속도 벡터에 기반하여 계산이 가능 (Sameshima, 1961)



대상 시스템 비교

항목	일반선박 항해지원 시스템	무인선 자동조종	e-Nav SV10	디지털 항로표지
사용 목적	항해사 보조	자율 운항	모니터링	안전 정보 제공
수집 정보 범위	자선 중심 주변 선박	자선 중심 주변 선박	전 해역	표지 중심 주변 선박
부가 이용 가능 정보	선박의 센서	선박의 센서	외부 연계 기관 데이터	표지의 센서
본선(대상 선박) 항행의도 인지	가능 (항해사)	가능 (사전 설정)	불가능	불가능 (기계학습?)
상대선 항행의도 인지	가능 (별도 통신)	불가능	불가능	불가능 (기계학습?)
전체 정보수집 소요시간	소	소	대	중
대상 선박 수	소	소	대	중
전체 연산	소	중	대	중
선박 1척 당 연산	중	대	소	중
사용 알고리즘 복잡도	소 (항해사의 판단 의존)	대	소	?

AIS와 CPA 계산

- 2개의 VHF 채널 (분당 2250 슬롯)
- 데이터 전송 방식
 - SOTDMA(Self Organizing Time Division Multiple Access)
 - RATDMA (RANDOM)
 - ITDMA (Incremental)
 - FATDMA (Fixed)
- 전송 주기

Ship's Dynamic Conditions	Nominal Reporting Interval *
Ship at anchor or moored and not moving faster than 3 knots	3 minutes
Ship at anchor or moored and moving faster than 3 knots	10 seconds
Ship 0-14 knots	10 seconds
Ship 0-14 knots and changing course	3 ¹ / ₂ seconds
Ship 14-23 knots	6 seconds
Ship 14-23 knots and changing course	2 seconds
Ship > 23 knots	2 seconds
Ship > 23 knots and changing course	2 seconds

Platform's Condition	Nominal Reporting Interval *
Class B Ship-borne Mobile Equipment not moving faster than 2 knots	3 minutes
Class B Ship-borne Mobile Equipment moving 2-14 knots	30 seconds
Class B Ship-borne Mobile Equipment moving 14-23 knots	15 seconds
Class B Ship-borne Mobile Equipment moving > 23 knots	5 seconds
Search and Rescue aircraft (airborne mobile equipment)	10 seconds
Aids to Navigation	3 minutes
AIS base station ¹⁾	10 seconds

† 교신저자 : 중신회원, kgu@mmu.ac.kr

* 준회원, jgj@katon.or.kr

** 준회원 : taekeunpark@katon.or.kr

AIS와 CPA 계산 (계속)

- Position Report (#1,#2, or #3)
 - MSG ID
 - User ID (MMSI)
 - Navigational Status
 - (0: underway ~ 10: reserved for WIG, 15: default)
 - Rate of Turn
 - $ROT_{AIS} = 4.733 \sqrt{ROT_{Sensor}}$ degree/min (708 도/분)
 - +127 (5도/30초 초과 우회 변침) | 0 | -127 127 (5도/30초 초과 좌회 변침)
 - 128 (no valid info)
 - SOG (0 ~ 102.2 knots)
 - Position Accuracy (1 = High (< 10m))
 - Longitude (1/10,000 분)
 - Latitude (1/10,000 분)
 - COG (0 ~ 3599 - 1/10 도)
 - True Heading (0 ~ 359 도, 511 not available)
 - Time Stamp (0~59, 60 : not available, 61: manual input, 62: estimated, 63: inoperable)

Philipp Last et. al (2014) 연구

- “Comprehensive Analysis of Automatic Identification System (AIS) Data in Regard to Vessel Movement Prediction”
- 독일 북해에서 2개월동안 수집한 AIS 데이터를 분석하여 AIS 각 필드의 가용성 확인

Table 7. Detailed availability results concerning dynamic data fields.

Data field	Always available	Partially available	Never available
Position	5379 (89-03%)	644 (10-66%)	19 (0-31%)
SOG	5173 (85-62%)	847 (14-02%)	22 (0-36%)
COG	5123 (84-79%)	897 (14-85%)	22 (0-36%)
ROT	3830 (63-39%)	551 (9-12%)	1661 (27-49%)
HDG	3850 (63-72%)	579 (9-58%)	1613 (26-70%)
Accuracy flag	744 (12-31%)	2866 (47-43%)	2432 (40-25%)

- ROT의 경우 81.08%는 부정확한 ROT 전송 : 방법 (2)

AIS와 CPA 계산 (계속)

- SV10 서비스에서 수집한 AIS 정보의 오류

```

2017041013171000,126.06181667,34.39315000,1718,120,173
20170410131721000,126.06190800,34.39260000,1723,122,173
20170410131732000,126.06200000,34.39195667,1725,120,174
20170410131743000,126.06206667,34.39148333,1725,119,174
20170410131749000,126.06200000,34.39195667,1725,120,174
20170410131751000,126.06206667,34.39148333,1725,119,174
20170410131752000,126.06213333,34.39091667,1728,118,176
20170410131802000,126.06220000,34.38938333,1748,116,176
20170410131811000,126.06223333,34.38991667,1758,115,177
20170410131812000,126.06223333,34.38991667,1758,115,177
    
```

inconsistent_pos (lines 2, 4, 5, 6)
 duplicated_pos (lines 7, 8)

- SV10 서비스에서 수집한 AIS 정보 통계 (2017/10)

mo/yr	ship_no	r_pos_no	inv_pos	inv_csog	dup_err	int_err	inc_err
10/17	284,863	648,408,793	15,591,104	10,586,624	34,949,859	9,381,554	399,561

Philipp Last et. al (2014) 연구 (계속)

- AIS 정보에 기반한 선박의 이동 추정

$$x_t = \begin{bmatrix} lat \\ lon \\ COG \\ ROT \\ SOG \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$x_t = f_{Motion}(x_{t-1}, t) \quad (2)$$

$$x_t = f_{Motion}(x_{t-1}) = \begin{bmatrix} lat_{x_{t-1}} + \Delta t \frac{1}{60} \cos(COG_{x_{t-1}}) \cdot SOG_{x_{t-1}} \\ lon_{x_{t-1}} + \Delta t \frac{1}{60} \sin(COG_{x_{t-1}}) \cdot SOG_{x_{t-1}} \\ COG_{x_{t-1}} + \Delta t \cdot \frac{ROT_{x_{t-1}}}{60} \\ ROT_{x_{t-1}} \\ SOG_{x_{t-1}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

AIS와 CPA 계산 (계속)

- AIS 메시지 수집과 TS

440705030,	126.393030,	34.786958,	0.0,	53.5,	511,	-128,	2
440335170,	126.331027,	34.788708,	13.1,	89.0,	81,	-127,	59
440334910,	126.352152,	34.795618,	0.1,	202.1,	55,	0,	3
440100340,	126.197613,	34.782105,	0.0,	258.0,	511,	-128,	3
440135000,	126.363217,	34.790317,	0.0,	145.0,	311,	0,	2
440012520,	126.348980,	34.787578,	4.5,	80.9,	511,	-128,	3
440304800,	126.364787,	34.735515,	2.4,	314.0,	340,	127,	3
440332060,	126.356945,	34.803052,	0.1,	227.7,	511,	-128,	2
440109630,	126.380370,	34.826315,	0.0,	322.7,	135,	0,	3
440318740,	126.362402,	34.806243,	0.1,	213.9,	511,	-128,	2
440007370,	126.311207,	34.759617,	18.4,	293.6,	297,	0,	3
440319370,	126.362708,	34.801890,	0.0,	38.7,	511,	-128,	3
440144680,	126.134383,	34.760133,	0.0,	315.4,	218,	0,	4
440500119,	126.102083,	34.878683,	2.1,	235.5,	236,	-127,	2
440108060,	126.387530,	34.784808,	0.0,	9.6,	511,	-128,	3
440052730,	126.351780,	34.794650,	0.1,	239.3,	317,	7,	3
440301160,	126.406928,	34.784618,	0.0,	288.7,	511,	-128,	3
440333830,	181.000000,	91.000000,	102.3,	360.0,	511,	-128,	60
440323420,	126.026983,	34.768583,	9.9,	91.9,	92,	-127,	58

Philipp Last et. al (2014) 연구 (계속)

- ROT의 영향
- ROT와 HDG의 중요성 강조

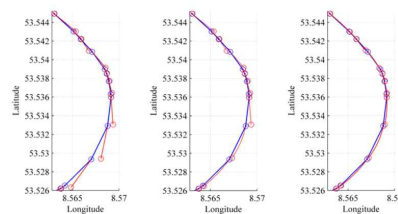


Figure 10. Impact of absent ROT information.

- 제한된 식은 SOG는 유지된 상태에서 변침만이 이루어지는 상황

Ling-zhi Sang et al. (2016) 연구

- "CPA Calculation Method based on AIS Position Prediction"
- 기존 AIS 기반 CPA 계산 방법들이 일반적으로 COS(change of Speed), ROT(Rate Of Turn)을 사용하지 않아 부정확하다고 지적
- 4가지 요소를 활용한 위치 추정 계산식 제안

$$\begin{cases} dx_{n(m)} = \sum_{k=1}^m \int_{t_{k-1}}^{t_k} \left[v_{k-1} + (v_k - v_{k-1}) \frac{t - t_{k-1}}{t_k - t_{k-1}} \right] \sin \left[c_{k-1} + (c_k - c_{k-1}) \frac{t - t_{k-1}}{t_k - t_{k-1}} \right] dt \\ dy_{n(m)} = \sum_{k=1}^m \int_{t_{k-1}}^{t_k} \left[v_{k-1} + (v_k - v_{k-1}) \frac{t - t_{k-1}}{t_k - t_{k-1}} \right] \cos \left[c_{k-1} + (c_k - c_{k-1}) \frac{t - t_{k-1}}{t_k - t_{k-1}} \right] dt \end{cases} \quad (8)$$
- 지수 평활 모델(exponential smoothing model)을 적용하여, SOG, COG 추정
 - Triple exponential smoothing model 사용



접근 방식 비교 (계속)

- 2가지 요소를 반영한 선박 위치 추정과 4가지 요소를 반영한 위치 추정 방식 비교
 - 2가지 방법을 구현하여 다음 위치 추정
 - 실제로 수신된 위치 데이터로 방법 1, 2의 정확도 비교
- | | 전체 선박 수 | 어선 | 화물선 |
|-------------|---------|-----|-----|
| 방법1이 더 정확 | 2,736 | 529 | 710 |
| 방법2가 더 정확 | 999 | 222 | 254 |
| 비슷 (10% 이내) | 2,817 | 540 | 813 |
- 추후 연구 방향
 - 데이터 기반 비교 분석
 - Trajectory 기반 / 기계학습



Ling-zhi Sang et al. (2016) 연구 (계속)

- DCPA 거리 계산 시 선박 제원 반영

$$m_1 = \begin{cases} \frac{d_1}{\cos \gamma} & \gamma \in \left[-\arctan \frac{d_2}{d_1}, \arctan \frac{d_2}{d_1} \right] \\ \frac{d_2}{\cos(0.5\pi - \gamma)} & \gamma \in \left[\arctan \frac{d_2}{d_1}, \pi - \arctan \frac{d_2}{d_1} \right] \\ \frac{d_2}{\cos(\pi - \gamma)} & \gamma \in \left[\arctan \frac{d_2}{d_2}, \pi \right], \left[-\pi, -\pi + \arctan \frac{d_2}{d_2} \right] \\ \frac{d_1}{\cos(1.5\pi - \gamma)} & \gamma \in \left[-\pi + \arctan \frac{d_2}{d_2}, -\arctan \frac{d_2}{d_1} \right] \end{cases} \quad (14)$$

$$l_r = l - m_1 - m_2 \quad (15)$$

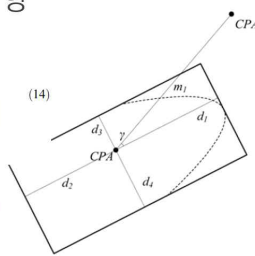


Figure 9. Diagram of DCPA calculation.

- 실제 필드 테스트
 - 양쯔강의 우한 교각 사전 경보시스템에 적용



참고문헌

- Ling-zhi Sang, Xin-ping Yan, Alan Wall, Jin Wang, Zhe Mao, "CPA Calculation Method based on AIS Position Prediction", THE JOURNAL OF NAVIGATION (2016), 69, pp.1409-1426
- Sameshima, N. (1961). "Error of the closest point of approach", Journal of Navigation, 14(2), 230-232.
- Pimontel, L.A. (2007). "A study into maritime collision probability", Delft University of Technology, Delft.
- Chin, H.C. and Debnath, A.K., "Modeling perceived collision risk in port water navigation", Safety Science (2009), 47(10), 1410-1416.
- Choi, H., Kim, Y., Lee, Y. and Kim, E.T. (2013a). "A reactive collision avoidance algorithm for multiple midair unmanned aerial vehicles", Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 56(1), 15-24.



접근 방식 비교

- 일반적으로 COG, SOG 기반하여 다음 선박 위치들을 추정하여 CPA 계산
- Philipp Last et al.의 방법은 SOG는 고정된 상태에서 ROT 반영
 - 문제는 실제로 정밀한 ROT를 제공하는 경우가 드물다는 점
- Ling-zhi Sang et al.의 방법은 4가지 요소를 고려하여 선박의 위치 추정



참고문헌 (계속)

- Philipp Last, Christian Bahlke, Martin Hering-Bertram, Lars Linsen, "Comprehensive Analysis of Automatic Identification System (AIS) Data in Regard to Vessel Movement Prediction", THE JOURNAL OF NAVIGATION 67, pp.791-809, The Royal Institute of Navigation 2014
- Felski, A. and Jaskólski, K. (2013), "The Integrity of Information Received by Means of AIS During Anti-collision Manoeuvring", TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 7, 95-100.
- 김건웅, 조기정, 박태근, "가상 디지털 항로표지 서비스를 위한 요구사항 및 관련 선행 연구 분석", 2020 한국해양과학기술협의회 춘계공동학술대회 논문집

본 연구는 2020년도 해양수산부의 재원으로 항로표지연구 개발사업(국고보조사업)의 지원을 받아 수행된 연구임

