

지능형 항해 거동 이상 선박 식별 시스템 구현

Implementation of an Intelligent System for Identifying Abnormal Navigating Ships

김도연¹ · 박계각^{1*} · 정중식¹ · 김건웅²

Do-yeon Kim, Gyei-kark Park, Jung-sik Jeong, Geonung Kim

목포해양대학교 해상운송시스템학부¹

목포해양대학교 해양컴퓨터공학과²

요 약

거동 이상 선박(갈지자 항행 선박, 제자리 순회 선박 등)은 정상적인 항로를 유지하는 선박에게 심각한 영향을 미칠 수 있는 요소이며, 현재 육지에 있는 VTS 센터와 해양 경찰이 연계되어 범죄 선박 및 사고 선박을 추적하고 있다. 하지만 인적 요인에 의한 위험 요인 식별의 한계는 명확하며 그를 보조할 수 있는 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 이 연구에서는 퍼지추론을 이용하여 관제자 및 항해사를 위한 지능형 항해 거동 이상 선박 식별 시스템을 구현하고자 한다.

키워드 : 퍼지 추론, 이상 항해 판단, 충돌 위험도, 해상 교통관제(VTS), 항해 거동 이상 선박

Abstract

Abnormal navigating ships affect the ships navigating normal routes seriously. So VTS centers and Korean Coast Guard co-work(cooperate) closely to trace the ships which break the regulations and make accidents. But it is evident that there is limitations to identify the risk factors caused by men. Unfortunately there is very few of the researches on the identification of risk elements by men. This paper is to implement the intelligent system for identifying abnormal navigating ships by using fuzzy inference.

Key Words : Fuzzy Inference, Identifying Abnormal Navigation, Risk Assessment, Vessel Traffic Service, Abnormal navigating ship

1. 서 론

국내외 해상 물동량 증가 및 활발한 해상 레저 활동으로 인하여 해상 교통량이 증가함으로써 해양 사고의 발생 빈도가 높아지고 있다. 한때 국가적으로 이슈가 되었던 2007년 삼성-허베이 스피리트 원유 유출 사고나 호주 인근에서 발생한 2009년 퀸즐랜드 원유 유출 사고 등에서 보이듯이 사고 규모도 대형화 되고 있는 추세이다. 특히 선박 사고는 신속한 대처가 어려운 해양의 특수성 덕에 그 피해가 육지에서 발생하는 일반적인 교통사고보다 환경적, 인적으로 심각한 피해를 입힌다[1-2].

해상 교통사고의 주된 원인은 선박 고장에 따른 선박 조정 불능 상태, 예인선 분리에 따른 무동력선의 운항, 운항자의 선교이탈, 음주 항해 등 비정상적인 상태

에서의 선박 운항, 각종 범죄를 위한 비정상 항행 행위 등이며, 황천 등의 기상 상태도 사고를 증가시키는 원인 중의 하나이다[3-5].

거동 이상 선박은 밀수선, 도주선, 사고선박, 무동력 운항선, 조정 불능 선박 등, 비정상적 항행 선박을 의미하고, 일반적으로 갈지자 모양으로 항로 이탈과 복귀를 반복하여 항행하는 선박, 급격한 선속변화가 있는 선박, 제자리를 순회 하는 선박, 급격한 항로 변경 선박 등 정상적으로 운행하는 선박에 심각한 영향을 초래할 수 있는 선박을 말한다.

현재 해상 교통관제 센터와 해양 경찰은 긴밀한 연계를 통해서 거동이 이상한 선박을 육안으로 식별하여 밀수선, 밀입항선, 사고 선박 추적 등에 이용하고 있다. 물론 사람이 정확하게 모든 선박을 직접 감시하는 것이 이상적이지만, 인적 요인에 의한 거동 이상 선박 식별은 그 한계가 분명하다. 항해사 및 관제자를 보조하여 거동이 이상한 선박을 식별하여 안내 할 수 있는 시스템이 있다면 보다 정확한 거동 이상 선박 식별이 가능할 것이다. 하지만 그 문제를 해결하기 위한 관련 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 인공 지능 기법의 하나인 퍼지추론[6-11]을 이용하여 육상의 VTS(Vessel Traffic Service) 센터 관제자 및 선박의 항해사가 항해 거동

접수일자 : 2011년 11월 19일

심사(수정)일자: 2011년 11월 19일

게재확정일자 : 2012년 2월 3일

* 교신저자

본 논문은 본 학회 2011년도 추계 학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

이상 선박을 기존보다 정확하게 식별할 수 있는 의사결정 지원 시스템을 구현하고 실제 사고 사례에서 시스템의 수행 결과를 보임으로써 구현하는 시스템의 타당성을 보이려 한다.

2. 항해 거동 이상 선박 식별 시스템 설계

지능형 거동 이상 선박 식별 시스템은 판단하고자하는 목표 선박의 9분간의 누적 변속량과 누적 변침량을 이용하여 이상 항행 선박을 판단한다. 누적 변속량과 누적 변침량을 구하는 식은 식 (1) 및 식 (2)에서 보인다.

$$\sum \Delta \varnothing = (|\varnothing_{t3} - \varnothing_{t2}| + |\varnothing_{t2} - \varnothing_{t1}| + |\varnothing_{t1} - \varnothing_{t0}|) \quad (1)$$

$$\sum \Delta V = (|V_{t3} - V_{t2}| + |V_{t2} - V_{t1}| + |V_{t1} - V_{t0}|) \quad (2)$$

누적 변속량과 누적 변침량에 대한 소속 함수 또한 항행 전문가의 의견에 따라 설계하였으며[12-13], 선속 값이 9분 이내에 급격하게 변하는 최고 누적 범위를 20knot로 정하였고 침로 값이 9분 이내에 급격하게 변하는 최고 누적 범위를 150도로 설정했다. 그 소속 함수는 그림 1., 그림 2.와 같다.

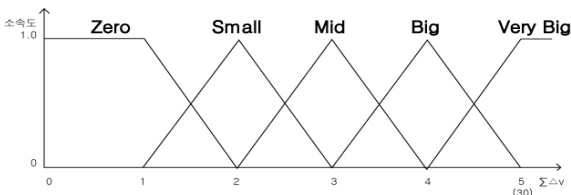


그림 1. 누적 변속량의 소속 함수.

Fig. 1. Membership function of cumulative variation speed.

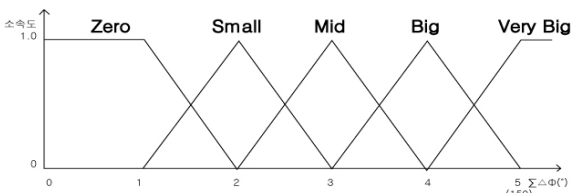


그림 2. 누적 변침량의 소속 함수.

Fig. 2. Membership function of cumulative variation angle.

누적 변속량과 누적 변침량을 입력받은 후, 지능형 거동 이상 선박 식별 시스템은 지식베이스와 출력 소속 함수를 이용하여 0-100의 범위의 하나의 실수형 숫자로 이상 항해 정도를 판단한다. 항해 이상 정도 소속 함수는 그림 3.과 같으며 지식베이스는 표 1.에 보인다.

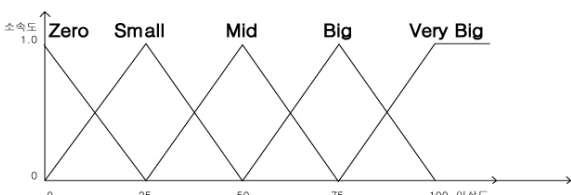


그림 3. 항해 이상 정도 소속 함수.

Fig. 3. Membership function of Abnormal navigation level.

표 1의 지식베이스에 나타나있는 VB는 Very Big을 의미하며 해당 선박의 위험도가 매우 높음을 의미한다. 표 1에서 행측과 열측은 각각의 입력인자를 의미하고 행 열이 만나 만들어지는 표의 내부가 추론 결과를 나타낸다. 언어로 나타낸 지식베이스의 일부 내용을 표 2.에서 보인다.

표 1의 지식베이스는 입력변수의 연관성 때문에 일반적으로 사용되는 지식베이스와는 다른 형태를 지닌다. 거동 이상 식별의 경우 침로가 안정적이더라도 속도의 변화가 크면 이상 항해로 판단해야하고, 반대의 경우에도 마찬가지기 때문에 각 입력 변수(침로, 속도) 간 연산에 대해서 and 연산이 아닌 or 연산으로 구현되었다.

표 1. 항해 거동 이상 식별 지식베이스.

Table. 1. Knowledge base for identifying abnormal navigation.

| $\Sigma \Delta V$ \ $\Sigma \Delta \varnothing$ | Zero | Small | Mid | Big | Very Big(VB) |
|---|-------|-------|-----|-----|--------------|
| Zero | Zero | Small | Mid | Big | VB |
| Small | Small | Mid | Big | VB | VB |
| Mid | Mid | Big | VB | VB | VB |
| Big | Big | VB | VB | VB | VB |
| Very Big(VB) | VB | VB | VB | VB | VB |

표 2. 항해 거동 이상 식별 지식베이스 일부의 언어적 표현.

Table. 2. Linguistic presentation of the knowledge base for identifying abnormal navigation.

| 규칙번호 | 전건부 | 후건부 |
|------|--|------------------------------|
| 1 | IF 누적침로 is Zero or 누적속도 is Zero | Then 이상 항해 정도 is Zero |
| 2 | IF 누적침로 is Small or 누적속도 is Zero | Then 이상 항해 정도 is Small |
| ⋮ | | |
| 25 | IF 누적침로 is Very Big or 누적속도 is Very Big | Then 이상 항해 정도 is Very Big |

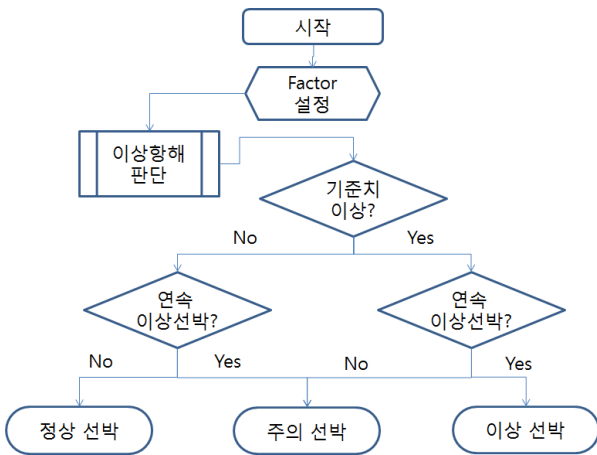


그림 4. 이상 항해 판단 순서도.

Fig. 4. Flow chart of identifying abnormal navigation.

그림 4는 이상 항해 판단 시스템의 순서도이다. 먼저 시스템은 시스템에 사용될 요소(누적 변침량, 누적 변속량)들을 현재 시점을 기준으로 하여 설정한다. 그 후 퍼지 추론을 이용하여 선박의 이상 항해도를 계산하고 그 값이 사용자가 설정한 기준치 이상인지, 연속으로 이상도가 높은 선박으로 계산되었는지를 판단하여 정상 항해 선박, 이상 항해 주의 선박, 이상 항해 위험 선박 등으로 분류하게 된다.

3. 항해 거동 이상 선박 식별 시스템 적용

3.1 과거 해양 충돌 사고

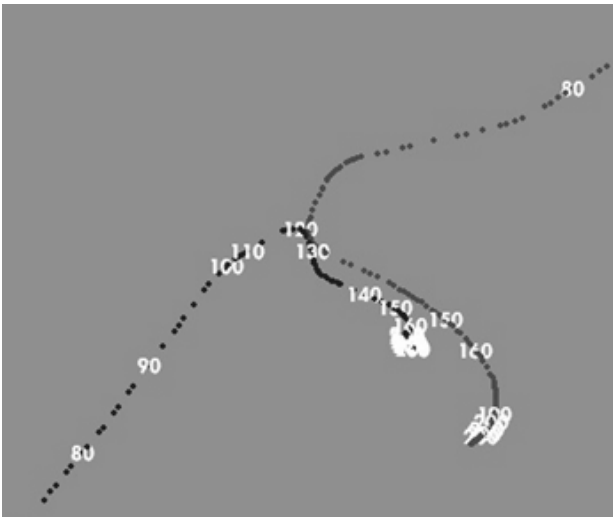


그림 5. 과거 해양사고 내역 1.

Fig. 5. The past marine accidents : Case 1.

그림 5., 6., 7.은 과거에 실제 발생했던 해양사고를 (주)GMT의 자체 개발된 선박 시뮬레이터를 통해 복원한 결과이다. 그림에 나타나있는 숫자는 시간을 의미하며, 같은 숫자는 같은 시간에서의 위치를 의미한다. 예를 들어 그림 5.를 보면 왼쪽 아래에서 1시 방향을 향

해 항행하는 선박 A와 오른쪽 위에서 8시 방향을 향해 항행하는 선박 B는 양쪽 그림 끝에 위치한 80에 시점에서 출발하여 두 선이 만나는 120의 시점에서 충돌한다. 그림 6., 7.도 그림 5.와 같이 그림에 나타나있는 숫자는 양 선박의 같은 시점을 의미한다.

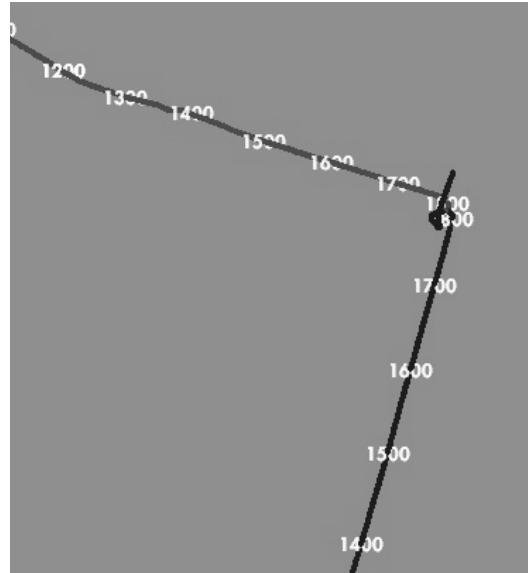


그림 6. 과거 해양사고 내역 2.

Fig. 6. The past marine accidents : Case 2.

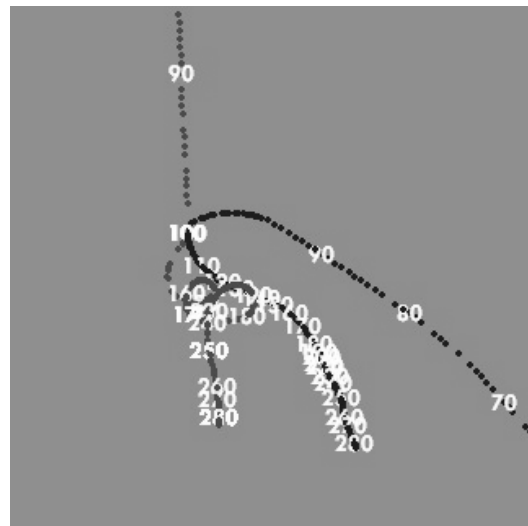


그림 7. 과거 해양사고 내역 3.

Fig. 7. The past marine accidents : Case 3.

그림 5., 6., 7.에서 모든 선박은 충돌 상황이 발생하며 우리가 제안한 시스템은 충돌 방지 시스템이 아닌 이상 항해 선박 식별 시스템이기 때문에 충돌 이후 선박의 비정상적인 항행상태를 인지할 수 있을 것이다.

아래 표 3.은 선박 시뮬레이터에서 발생시키는 데이터형식이다. COG는 Course of ground의 약자로 대지 침로를 의미하며 SOG는 Speed of ground의 약자로 대지 속도를 의미한다. Head는 침로를 의미한다. 표 3.의

데이터는 그림 7.의 위에서 아래 방향으로 항행하는 선박의 데이터 중 일부이다.

표 3. 선박 시뮬레이터의 데이터 형식.
Table. 3. Output data of shipping simulator.

| No. | COG | SOG | Head |
|-----|-------|-----|-------|
| 1 | 174.2 | 9.5 | 167.0 |
| 2 | 175.6 | 9.3 | 167.0 |
| 3 | 174.2 | 9.5 | 167.0 |
| 4 | 174.4 | 9.6 | 166.0 |
| 5 | 173.6 | 9.5 | 166.0 |
| 6 | 173.6 | 9.5 | 166.0 |
| 7 | 174.1 | 9.5 | 166.0 |
| 8 | 173.5 | 9.6 | 167.0 |
| 9 | 175.0 | 9.6 | 167.0 |
| 10 | 174.9 | 9.7 | 168.0 |
| 11 | 176.7 | 9.5 | 169.0 |
| 12 | 176.5 | 9.4 | 168.0 |
| 13 | 175.3 | 9.6 | 167.0 |
| 14 | 176.3 | 9.6 | 167.0 |
| 15 | 175.5 | 9.5 | 168.0 |
| | : | | |

3.2 과거 해양 사고 내역에서의 시스템 적용 결과

과거 해양사고 시뮬레이션에서 제안하는 시스템의 수행결과는 그림 8.과 같다. 그림 8.에 나타나있는 이상 항해 정도 그림 5.의 해양사고 내역 1의 왼쪽아래에서 위로 진행하는 선박의 이상 항해 정도이다. 제안하는 이상 선박 식별 시스템은 추후 구현될 해양 안전을 위한 소형 단말기에 단위 모듈로 포함될 예정이기 때문에 독자적인 GUI환경을 구현하지 않았다. 상세한 결과는 표 4.에서 상세히 나타낸다.

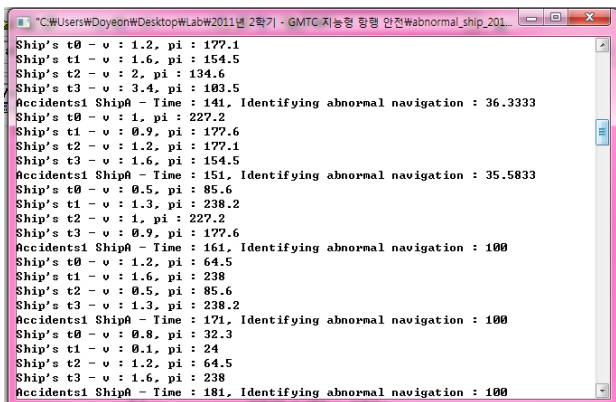


그림 8. 사고내역 1에서의 시스템 수행 결과
Fig. 8. Execution result in accident case 1.

표 4.에 나타난 수행 결과에서 한 번의 식별 주기는 약 2분 간격이며 2분마다 과거 5분간의 선속과 침로를 판단하여 선박의 항해 이상도를 식별한다. 표 4.를 상세

히 설명하면 "Ship's -" 로 시작하는 문장은 선박의 현재 이상 상태를 식별하기 전, 입력 데이터를 사용자에게 안내하는 문장이다. t0은 현재 데이터를 의미하며 t3은 현재로부터 3 단계 이전 시점의 데이터를 의미한다. 그 후 시스템은 사용자에게 선박의 항해 이상 정도를 안내한다. 모든 수행결과를 일일이 소개하는 것은 비효율적이므로 수행결과를 그림 9., 10., 11.과 같이 사고 내역에 직접 표시하여 보인다.

표 4. 시스템 수행 결과의 상세 내용.
Table. 4. Detail of execution result.

| 수행결과 |
|---|
| Ship's t0 - v : 1.2, pi : 177.1 |
| Ship's t1 - v : 1.6, pi : 154.5 |
| Ship's t2 - v : 2, pi : 134.6 |
| Ship's t3 - v : 3.4, pi : 103.5 |
| Accidents1 ShipA - Time : 141, |
| Identifying abnormal navigation : 36.3333 |
| Ship's t0 - v : 1, pi : 227.2 |
| Ship's t1 - v : 0.9, pi : 177.6 |
| Ship's t2 - v : 1.2, pi : 177.1 |
| Ship's t3 - v : 1.6, pi : 154.5 |
| Accidents1 ShipA - Time : 151, |
| Identifying abnormal navigation : 35.5833 |
| Ship's t0 - v : 0.5, pi : 85.6 |
| Ship's t1 - v : 1.3, pi : 238.2 |
| Ship's t2 - v : 1, pi : 227.2 |
| Ship's t3 - v : 0.9, pi : 177.6 |
| Accidents1 ShipA - Time : 161, |
| Identifying abnormal navigation : 100 |
| Ship's t0 - v : 1.2, pi : 64.5 |
| Ship's t1 - v : 1.6, pi : 238 |
| Ship's t2 - v : 0.5, pi : 85.6 |
| Ship's t3 - v : 1.3, pi : 238.2 |
| Accidents1 ShipA - Time : 171, |
| Identifying abnormal navigation : 100 |
| Ship's t0 - v : 0.8, pi : 32.3 |
| Ship's t1 - v : 0.1, pi : 24 |
| Ship's t2 - v : 1.2, pi : 64.5 |
| Ship's t3 - v : 1.6, pi : 238 |
| Accidents1 ShipA - Time : 181, |
| Identifying abnormal navigation : 100 |

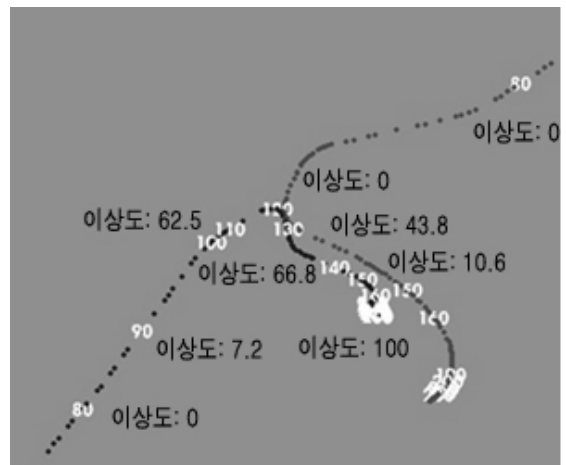


그림 9. 사고내역 1에서의 이상 항해 정도.
Fig. 9. Degree of abnormal navigation in accident case 1.



그림 10. 사고내역 2에서의 이상 항해 정도.
Fig. 10. Degree of abnormal navigation in accident case 2.

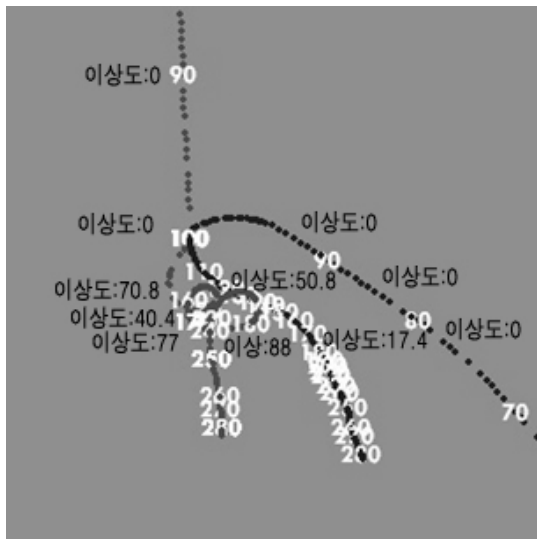


그림 11. 사고내역 3에서의 이상 항해 정도.
Fig. 11. Degree of abnormal navigation in accident case 3.

모든 그림에서 선박들은 충돌 이전 낮은 항해 이상도를 나타내다가 충돌 이후 높은 항해 이상도를 나타내고 있다. 이 결과는 VTS 센터의 관제자나 항해사에게 매우 유용한 정보로 활용 될 수 있을 것이다. 그리고, 그림 10.에서 충돌 이후에도 높은 항해 이상도가 나타나지 않는 결과를 보이고 있는데, 이는 연구를 위해 사용한 시뮬레이터의 이상으로 충돌 이후 두 선박의 침로나 선속의 변화량이 매우 낮게 계산되었기 때문에 그 이상도가 낮게 나타난 것으로 보인다. 실제 그림 10에서 발생한 위 선박의 시간 1800에서의 데이터는 아래 표 5와 같다.

표 5. 사고내역 2의 선박 시뮬레이터 출력 결과.
Table 5. Shipping simulator output in accident case 2 .

| No. | COG | SOG | Head |
|------|-------|------|------|
| 1787 | 225.0 | 10.5 | 11.0 |
| 1793 | 225.0 | 10.5 | 12.0 |
| 1800 | 226.0 | 10.4 | 12.0 |
| 1801 | 226.0 | 10.4 | 11.0 |
| 1813 | 227.0 | 10.5 | 11.0 |
| 1822 | 226.0 | 10.5 | 12.0 |
| 1823 | 226.0 | 10.5 | 12.0 |
| ⋮ | | | |

표 5.에서 보이듯이 충돌 이전 상황인 1700-1800부터 충돌 상황인 1800 이후 까지 COG, SOG 그리고 심지어 Head까지 거의 변하지 않고 있는 결과를 보인다. 그 결과로 제안하는 시스템은 해당 선박의 항해 이상도를 그림 10.과 같이 낮게 측정하게 된다.

또한, 본래 시스템은 매 시점의 항해 이상도를 하나의 리스트로 관리한다. 타겟 선박의 항해 이상도를 계산한 이후 누적된 값을 판단하여, 10분 간격 이전의 가장 높게 계산되었던 항해 이상도를 현재 이상도로 선택하게 된다. 하지만 그림 9., 10., 11.에서 시스템은 추론 항해 이상도의 타당성을 보이기 위하여 누적 값을 배제한 결과를 보인다. 현재 모든 그림에 나타난 이상도 식별결과는 누적 값에 영향을 받지 않은 매 시점마다의 실시간 항해 이상도이다.

4. 결론

이 연구에서는 관제자 및 항해사를 돕기위한 지능형 항해 거동 이상 선박 식별 시스템을 제안하여 퍼지 추론을 이용해 설계 및 구현하였다. 그리고 과거 발생했던 실제 해양사고를 선박 시뮬레이터를 통해 재구성하여 제안하는 식별 시스템이 항해 거동 이상 선박을 정확하게 식별하는 결과를 보였으며, 그를 통해 이상 항행 선박 식별 시스템의 유효성을 확인 할 수 있었다.

이 연구는 단일 시스템으로 VTS 센터 등에 이상 선박을 적발하는 시스템으로 적용되어 기존 관제자들의 업무를 줄여줌으로써 보다 나은 항행 안전 상황을 제공할 수 있을 것이며, 기존에 제안된 다른 충돌 위험도 평가 시스템 등과 함께 적용되어 더욱 더 효율적인 항행 안전 지원 시스템 구축에 이용될 수 있을 것이다.

향후 실용적인 응용을 위해서는 운항 선박의 실시간 데이터를 이용한 거동 이상 선박 판별 시스템의 구현이 연구과제로 남는다.

참 고 문 헌

- [1] 신현출, 이정호, 임경훈, "암반조간대 대형저서동물군집에 대한 씨프린스호 유류 유출사고 영향 평가", 한국환경생물학회지, Vol.26, No.3, pp.159-169, 2008,
- [2] 김건위, 현승현, "위험거버넌스(Risk Governance) 관점에서 본 해양오염사고의 재난관리행태 분석 -태안 허베이 스피리트호 사고를 중심으로-",

Vol.19, No.4, pp.353-378, 2011.

- [3] 고성덕, 김동욱, 서문석, 연제철, 홍대환, 신상무, 김우경, "우리나라 예인선 해양오염사고 현황 및 안전관리 방안", 한국해양환경공학회 추계학술대회, 11월, pp.3-291, 2011.
- [4] 김홍태, 나성, 하옥현, "해양사고조사를 위한 인적 오류 분석사례", Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 30, No. 1, pp.137-150, 2011.
- [5] 양원재, 금중수, "항해사의 피로도 평가모델에 관한 연구", 海洋環境安全學會, 春季學術發表會, pp.1- 6, 2006.
- [6] Hasegawa, K., "Automatic Collision Avoidance System for Ships using Fuzzy Control", 8th Ship Control System Symposium, Hague, pp.34-58, 1987.
- [7] S.J. Seo, "Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control for Uncertain Nonlinear Systems", INTERNATIONAL JOURNAL of FUZZY LOGIC and INTELLIGENT SYSTEMS, Vol.11, No.1, pp.1-70, 2011.
- [8] S.G. Kim, Y.G. Kim, "A Learning AI Algorithm for Poker with Embedded Opponent Modeling", INTERNATIONAL JOURNAL of FUZZY LOGIC and INTELLIGENT SYSTEMS, Vol.10, No.3, pp.165-252, 2010.
- [9] 정희, 김성곤, 김용기, "퍼지기법을 이용한 무인잠수정의 장애물회피를 위한 충돌위험도 산출", 한국지능시스템학회 논문지, Vol. 21, No. 1, pp.1-152, 2011.
- [10] 하상형, 최인찬, 김현성, 전홍태, "소프트 컴퓨팅에 의한 자율 이동로봇의 충돌 회피 및 최적 경로계획", 한국지능시스템학회, Vol. 20, No. 4, pp.159-319, 2010.
- [11] M. Negnevitsky, Artificial intelligence second edition-a guide to intelligent system, Addison-Wesley, 2005.
- [12] 안진형, "뉴로-퍼지 기법을 이용한 선박의 충돌 회피에 관한 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2005.
- [13] G.K. Park, J.L.R. Benedictos, C.S. Lee, and M.H. Wang, "Ontology-based fuzzy-CBR Support System for ship's collision avoidance", Machine Learning and Cybernetics, pp. 1845-1849, 2007.



박 계 각 (Gyei-kark Park)

1982년: 한국해양대학교 항해학과 공학사
 1986년: 동 대학원 수송공학과 공학석사
 1993년: 일본동경공업대학 시스템학과 공학박사
 2010년: 전남대학교 무역학과 경영학 박사
 1995년~현재: 목포해양대학교 교수

관심분야 : 지능형물류관리, 의사결정론
 E-mail : gkpark@mmu.ac.kr



정 중 식 (Jung-sik Jeong)

1987년: 한국해양대학교 항해학과 졸업(공학사).
 1993년: 동 대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
 2001년: 일본 동경공업대학 대학원 이공학연구과 전기전자 전공(공학 박사)
 2002년~현재: 목포해양대학교 교수

관심분야 : 해양정보통신망, 해양안전시스템, 해상교통시스템, 선박충돌회피, 통계적 파라미터 추정
 E-mail : jsjeong@mmu.ac.kr



김 건 응 (Geonung Kim)

1990년: 고려대학교 전자전산공학과(공학사)
 1994년: 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1998년: 고려대학교 전자공학과(공학박사)
 1999년~현재 : 목포해양대학교 교수

관심분야 : 통신망 프로토콜, 지능망, 정보망, 멀티미디어 통신
 E-mail : kgu@mmu.ac.kr

저 자 소 개



김 도 연 (Do-yeon Kim)

2009년: 목포해양대학교 소프트웨어과 학사
 2011년: 목포해양대학교 전자통신전공 석사
 2011년~현재: 목포해양대학교 대학원 해양정보시스템학전공 박사과정

관심분야 : 지능형 항행 정보 시스템, 해양 안전, 인공지능
 E-mail : kimdoyeoun@mmu.ac.kr