

지능형 선박운항분석을 위한 소프트웨어 아키텍처 구성에 관한 연구

Study on Software Architecture for Intelligent Vessel Navigation Analysis

문병태** · 류영하** · 조기정***

Byeong-Tae Moon[†], YoungHa Ryu, and Gi-Jung Joe

*목포해양대학교 해상운송시스템학과

**목포해양대학교 해상운송시스템학과

***GMT 기술연구소

요 약

본 논문은 항해중인 배의 위치데이터를 기반으로 대용량 선박 지능형 운항 분석을 위하여 가상서버를 이용한 메모리 관리, 전파와 데이터 분석이 용이한 데이터베이스 구축 및 여러 가지 분석상황에 모두 사용할 수 있는 아키텍처 구성, 분석결과 전파 방안 고찰 통하여 효과적인 분석을 도출하고 결과 전파를 위한 방안 제시와 해당 충돌 분석, 항로 분석, 이상 패턴 분석, 통항로 분석, 위험구역 분석등의 특화된 운항분석을 위하여 실제 구현된 알고리즘 및 공식을 담고 있다.

키워드 : 지능형, 대용량 선박분석, 알람 전파, Navigation Analysis

Abstract

This Paper contained Managing the Memory With Virtual Server, building Database for Broadcast and statistics, architecture Can Easily Build up Each Analysis algorism and How to Broadcast Analysis outcome for Inteligent Vessel Navigation Analysis System. Also concrete Algorism and formula for each navigation analysis that we studed(Collision, Patten, Traffic separation, Danger Area So on).

Key Words : Intelligence, Large Scale, Alram BroadCast, Navigation Analysis

1. 서 론

선박의 안전운항분석을 위한 알고리즘은 많이 연구되어 알려져 왔으나 현실의 실시간 대용량 선박위치정보를 처리하는 시스템으로 구현하기에는 성능상의 문제가 있어, 항계내 등 국지적인 영역에서 제한된 선박을 대상으로 서비스하는 경우가 많았다.

그러나 최근 우리나라의 경우 AIS망이 전국적으로 구축되어 각 기관에 선박위치정보를 실시간으로 제공하고 있고, 이를 이용한 전국적인 선박위치를 이용한 운항분석의 요구가 증대하고 있다.

이에 따라 본 논문에서는 엔터프라이즈 환경에서 동작하는 대용량 실시간의 지능형 선박운항분석시스템을 구현하기 위한 소프트웨어 아키텍처를 연구하고 각각의 분석을 구현하기 위하여 알고리즘을 연구 하였다.

2. 지능형 선박운항 분석 시스템

지능형 선박운항분석 시스템이란 여객선, 관광선, 화물선, 어선 등의 모든 운항 선박을 대상으로 실시간 AIS 위치정보 관련 데이터를 수신하여 충돌위험도, 운항중 이상 패턴발생, 위험구역 진출입분석, 항로이탈분석, 통항분리대향행위반분석 등의 기능을 제공하고 관계부서에 분석결과(알람)를 효율적으로 전파하는 시스템이다. 시스템개념도는 다음의 그림1과 같다.

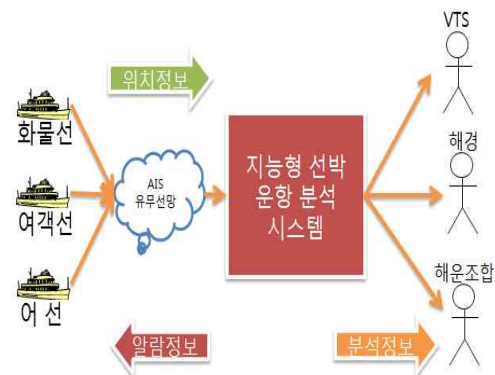


그림 1. 지능형선박운항분석 개념도
 Fig. 1. Concept diagram of Intelligent Vessel Navigation Analysis

접수일자: 2012년 4월 20일

심사(수정)일자: 2012년 9월 17일

게재확정일자 : 2012년 9월 18일

† 교신저자

다음의 표1은 시스템에서 제공하는 기능을 정리한 것이다.

표 1. 제공 기능 리스트
Table 1. List of Provide function

항로이탈 분석	항로와 항로 폭을 지정하여 얼마나 떨어져 있는가에 따른 위험도 계산
위험운항패턴 분석	선박의 변침빈도, 변속, 급정거 등의 데이터를 분석하여 선박의 이상 유무와 사고여부를 계산
충돌 분석	퍼지 및 벡터 연산을 통하여 상호 선박간 충돌 위험도를 계산
구역 진출입분석	정해진 구역과 선박간의 위치 관계를 통하여 이탈 혹은 침입 여부를 계산
통항분리대 운항위반분석	통항 분리대 같은 정해진 방향이 있는 구간이나 통항이 빈번한 구간에 대하여 위험도 계산.

3. 아키텍처 구현을 위한 고려사항

- 대상 선박이 기존의 분석 시스템에 비하여 월등히 많고 분석 범위 또한 넓으므로 효과적인 선박 및 구역 정보 관리가 필요함.
- 확장성을 고려하여 분석서버를 플러그인 방식으로 구성하여 개별 서버로 나뉘므로 각각의 분석 서버에 실시간 위치를 전송하는 과정에서 네트워크 부하가 심각할 수 있음.
- 다량의 연산을 필요한 분석 시스템이기 때문에 연산을 줄이고 더 빠른 연산을 하기위한 설계가 필요.
- 분석이력을 저장하고 효과적으로 조회하는 데이터 베이스 설계가 필요하고 분석 결과를 해당기관에 전송시 각 기관의 정보를 보호하기 위하여 라우팅 테이블 구성이 필요.

4. 아키텍처 구현 및 결과고찰

4.1 전체 시스템 구조 설계

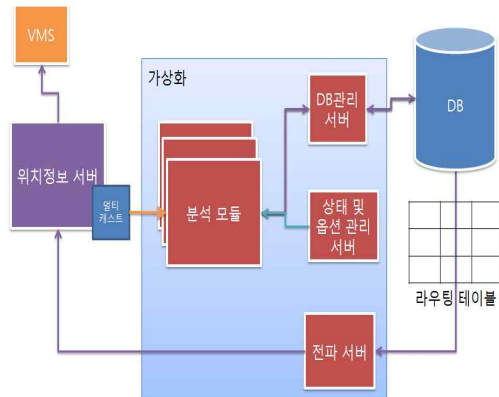


그림 2. 전체 시스템 구조 설계도
Fig. 2. Blueprint of system structure

4.2 분석모듈의 프레임워크 아키텍처

선박의 단순 위치정보를 RTree에 저장하고 속도, Heading, Couse의 동적 정보를 균형이진트리에 저장하여 MMSI로 서로의 값을 매칭한다.

R-Tree는 높이형(height-balanced) 트리이며, 각 노드와 객체는 mbr(minimum bounding region) 또는 mbb(minimum bounding box)에 의해서 표현된다. 동적 인덱스 삽입과 삭제가 탐색과 함께 서로 사용되고 주기적인 재구성이 필요하지 않다. 객체는 단말노드에서 단 한번 나타나지만 비 단말 노드를 표현하는 디렉토리 사각형은 서로 겹칠 수 있음을 고려해야 한다

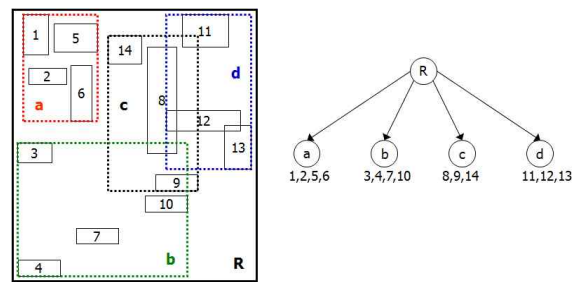


그림 3. R-Tree
Fig. 3. R-Tree

선박간의 충돌분석은 일반 ARRAY 데이터 구조 또는 HASH구조로 선박을 관리하는 경우, 분석대상선박을 중심으로 모든 선박과 비교해야 한다. 그러나 선박용 항행분석시스템이 아닌 육상용 관제시스템에서는 전국의 전체 선박을 대상으로 충돌 분석을 수행하기에, 많은 계산부하가 발생한다. 이러한 분석의 계산 부하를 줄이기 위하여, 지역적으로 분리하여 충돌 분석을 수행하는 방안이 필요하며 본 연구에서는 선박을 R-Tree로 관리하여 효율적으로 검색할 수 있는 방안을 연구하였다.

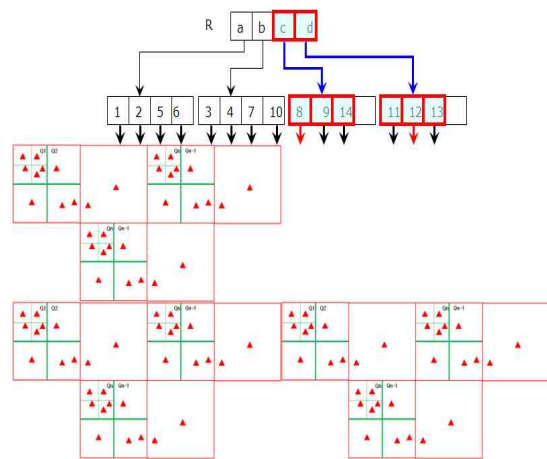


그림 4. R-Tree의 적용
Fig. 4. Apply of R-Tree

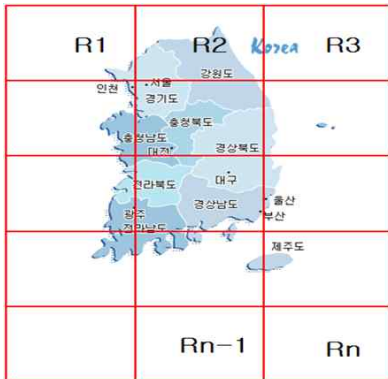


그림 5. R-Tree를 이용한 분석지역관리
Fig. 5. Analysis area management using R-Tree

하나의 연산에는 인접한 RTree 내부의 선박수 만큼의 연산이 이뤄지고 삼각함수 값을 Look up Table로 구성하여 연산의 속도를 높였다.

또한 사고 위험이 없는 구역을 제외하거나 통항분리대나 유조선, 여객선 통항로 등의 특수한 구역을 세심하게 모니터링 하기 위하여 해도에서 구역 데이터를 추출하여 분석에 활용하였다.

이러한 동적정보를 활용하여 충돌, 패턴, 항로이탈, 구역진출입, 통항분리대 분석에 파라미터로 활용하게 되는데

이렇게 만들어진 플러그인 구조에 연산 알고리즘만 바꿔 넣음으로서 효과적인 기능확장과 관리가 가능하다는 이점이 있다.



그림 6. 분석 모듈 프레임워크 아키텍처
Fig. 6. Framework architecture of analysis modul

각각의 응용 분석 알고리즘은 아래와 같이 구현되었다.

4.2.1 충돌분석

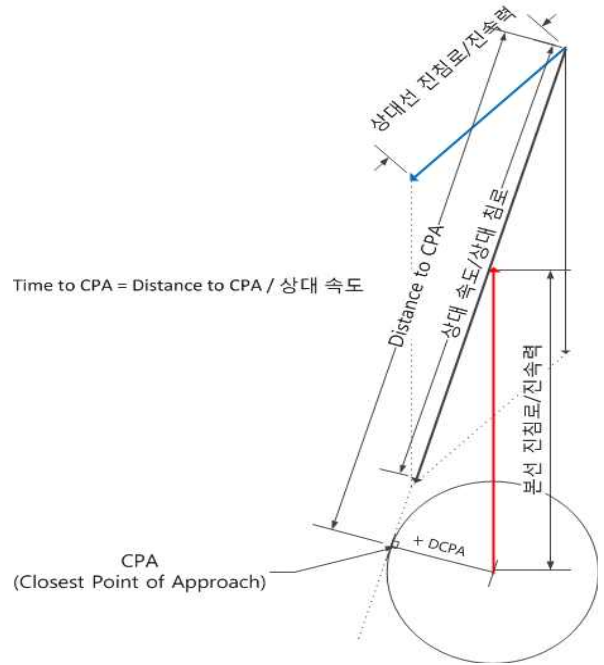


그림 7. 운항상의 충돌 위험
Fig. 7. Danger of collision During navigate

선박간 충돌위험 거리는 CPA로 계산한다. CPA는 Closest Point of Approach로서 최근접점을 의미한다. TCPA는 Time of CPA로서 상대선이 본선의 최근접점까지 도달하는 시간을 의미하며, 특정 계산 시점에 상대선의 위치로부터 최근접점까지의 거리(Distance to CPA)를 상대속력으로 나누어 계산한다. DCPA는 Distance of CPA로서 최근접점에서 본선까지의 거리를 의미하며 상대선이 본선을 통과하는 최근접거리이다.

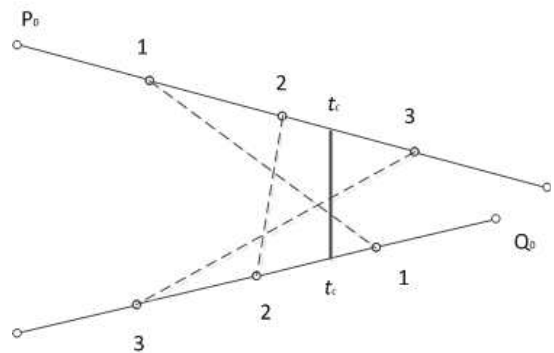


그림 8. CPA/TCPA
Fig. 8. CPA/TCPA

두 선박의 초기 위치 P_0 와 Q_0 가 있는 경우, 각 선박의 속력과 침로는 벡터 u, v 로 표현된다. t 시간 후의 각 선박의 위치는 $P(t), Q(t)$ 로 표현된다. t 시간 후의 선박위치는 $P(t) = P_0 + tu, Q(t) = Q_0 + tv$ 로 표현된다. 시간 t 에서의 두 선박간의 위치 차이, 즉 거리는 $d(t) = |P(t) - Q(t)| = w(t)$ 이다. 여기서 w 는 상대속력과

상대침로는 나타내는 벡터이다. 여기서 $D(t)$ 가 최소가 되는 거리를 $d(t)$ 라 하면, $D(t)$ 는 $D(t) = w(t) = (u-v) \cdot (u-v)t^2 + 2w_0 \cdot (u-v)t + w_0 \cdot w_0$ 가 되고 최근접거리 $d(t)$ 는 $D(t)$ 를 미분하여 0이 되는 점이므로, $0 = \frac{d}{dt}D(t) = 2t[(u-v) \cdot (u-v)] + 2w_0 \cdot (u-v)$ 가 된다.

그 때의 시간 t 는 $t_c = \frac{-w_0 \cdot (u-v)}{|u-v|^2}$ 이 된다. (단, $|u-v|$ 는 0이 아니다.)

$|u-v|$ 가 0인 경우는 평행하게 같은 속력으로 향해하는 경우이다. 또한 t_c 가 0보다 작은 경우는 이미 최근접점을 지나갔다는 의미이다. t_c 일 때의 두 점간의 거리가 최근접거리 d_{CPA} 가 되며, $d_{CPA}(P(t), Q(t)) = |P(t_c) - Q(t_c)|$ 으로 계산된다.

경보를 발생하기 위한 조건은 일정 시간 간격 T 에서 d_{CPA} 값이 점점 줄어드는 것이다. 이를 식으로 표현하면, $\frac{d}{dt}(d_{CPA}) < 0$ 이 된다.

4.2.2 항로 이탈 분석

통상 항로 이탈은 항로 이탈인 Drift와 침로각 이탈인 Deviation ($d\theta$) 두 가지로 계산한다.

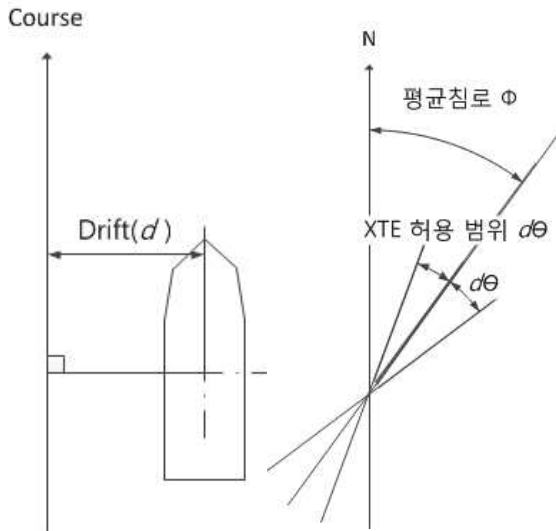


그림 9. 항로 이탈 분석 요소
Fig. 9. Factor of Course out

시간 t 에서의 Drift와 Deviation을 각 $d(t)$, $d\theta(t)$ 라 하면 일정 시간 간격 T 에 대해 그 총합이 지정한 값 X 를 넘으면 항로 이탈로 간주한다. w_d, w_v 는 Drift와 Deviation에 대한 반영 가중치이다.

$$\sum_{t=0}^T (w_d d(t) + w_v d\theta(t)) \geq X$$

4.2.3 위험 패턴 분석

1) 갈지자 운행

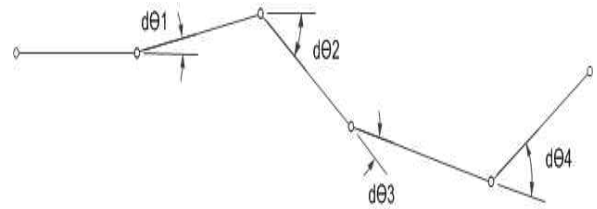


그림 10. 불규칙적인 변침
Fig. 10. Irregular veering

갈지자 운행 또는 지그재그 운행을 판단하기 위해서는 단순 선수가 회두하는 Yawing인지 의도된 변침인지를 구분하는 것이 중요하다. 예를 들어 5° 미만을 단순요잉의 판단 범위라 하더라도 황천시에는 yawing 범위가 5°가 쉽게 넘어갈 수 있다. 하지만 황천시 의도되지 않는 과도 yawing의 경우도 사고를 일으키는 원인이 될 수 있으므로, 기상을 고려하지 않고, 일정 시간 간격동안 선수방위의 변화 $d\theta$ 를 합한 값이 일정 값 (X) 이상 되면 갈지자 운항이라고 판단한다. 또한 과도한 선수방위 변화 횟수를 일정시간 간격 합산하여 일정 횟수(N) 이상이 되면 갈지자 운항이라고 판단한다. 또한, 누적선수방위변화값(CUM_θ)과 과도선수방위변환횟수를 합산한 값(OVR_θ) 모두를 고려하여 판단 기준(Π)으로 삼을 수 있으며, 이는 실제 데이터 시험을 통하여 CUM_θ 에 대한 가중치 값 w_c 와 OVR_θ 에 대한 가중치 값 w_o 를 결정하도록 한다.

1) 누적 선수방위 변화(CUM_θ) 판단식

$$CUM_\theta = \sum_{t=0}^T d\theta_t \geq X$$

2) 과도선수방위변환누적(OVR_θ) 판단식

$$OVR_\theta = \sum_{t=0}^T N d\theta \leq N$$

$d\theta$: 구간평균침로차
 $Nd\theta$: $d\theta$ 가 15°보다 크면 1, 아니면 0인 변수

1)과 2)에 가중치 적용한 판단식

$$w_c CUM_\theta + w_o OVR_\theta \geq \Pi$$

으로 구할수 있다.

2) 급감속·증속 여부

급감속 및 증속 여부의 판단은 일정시간 간격 T 동안 각 항적 구간별로 속도차 dV_n 을 합산하여 항적 구간 별

평균 속도 V_{avg} 의 10%가 넘으면 급감속이라 판단한다.

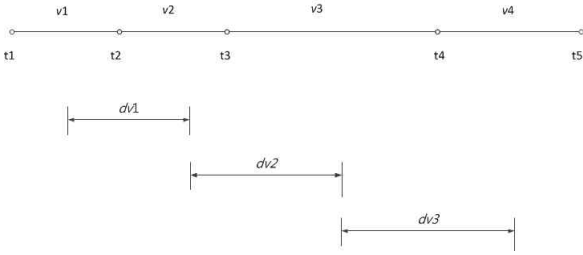


그림 11. 선속의 변화
Fig. 11. Changes of Sog

$$\sum_{t=0}^T |dV_n| \leq 0.1 V_{avg}$$

- t : 시간
- $V_1 \dots V_n$: 항적구간별속도
- dV_n : 구간별 속도차
- V_{avg} : 전구간평균속도

급정지는 일정 계산 시간 간격 T 를 작게 5분 미만으로 하여 분당 감속률 또는 가속도가 $\pm 2kts/h$ 이상이면 급정지로 판단한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{dV}{dt} \leq \pm 2kts$$

3) 소각도 변침

$Pd\theta_n$ 을 항적의 각 점 P_{n-1} 과 P_n 과의 침로각 차라 하면, 일정시간간격 T 에 대해, 같은 변침방향인 $Pd\theta_n$ 을 더하여 변침회수 $\sum_{t=0}^T Nd\theta$ 로 나눈 평균변침각이 5° 보다 크고 10° 보다 작으면 잦은 소각도 변침이라 판단한다.

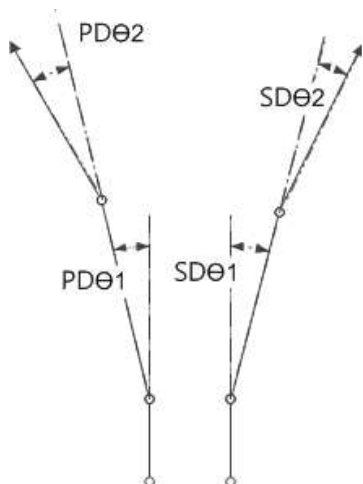


그림 12. 소각변침 정의
Fig. 12. Small Angle Veering

$$5^\circ < \frac{\sum_{t=0}^T Pd\theta}{\sum_{t=0}^T Nd\theta} < 10^\circ \quad \text{or} \quad 5^\circ < \frac{\sum_{t=0}^T Sd\theta}{\sum_{t=0}^T Nd\theta} < 10^\circ$$

단, $5^\circ < Pd\theta < 90^\circ, 5^\circ < Sd\theta < 90^\circ$
 $Nd\theta$ 는 이전변침방향과같은방향의변침이면1,아니면0인변수
 (5° 미만은 Yawing으로 간주.)

4.2.4 구역진출입 분석

암초와 같이 점으로 표현되는 위험지역을 위험점 C 라 하면, C 에 대한 접근허용한계 a 및 진입허용한계 r 과 본선의 CPA를 비교하여 접근과 진입을 판단한다. CPA가 a 보다 작고, 시간이 지남에 따라 CPA가 점점 작아지면 접근, CPA가 r 보다 작고, 시간이 지남에 따라 점점 작아지면 진입이라 판단한다.

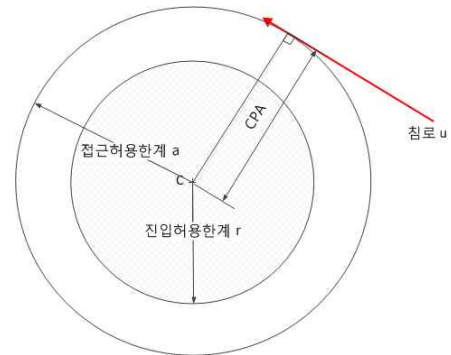


그림 13. 위험점 접근 및 진입
Fig. 13. Closing to Danger Point

만약 CPA가 접근한계 a 보다 작고, $\frac{dCPA}{dt} < 0$ 이면 접근.
 (식1)

만약 CPA가 진입한계 r 보다 작고, $\frac{dCPA}{dt} < 0$ 이면 진입.
 (식2)

미분식을 쓰는 계산식의 장점은 한계치 내에 있더라도 CPA가 커지면 경보를 울리지 않는다는 것으로, 위험에서 멀어지고 있는 지를 판단할 수 있다는 의미이다. 원 및 타원을 포함하여, 선 및 다각형으로 표현되는 객체는 양 끝점을 의미하는 시작점과 끝점인 connected points와 그 사이의 point 배열로 구성된다.

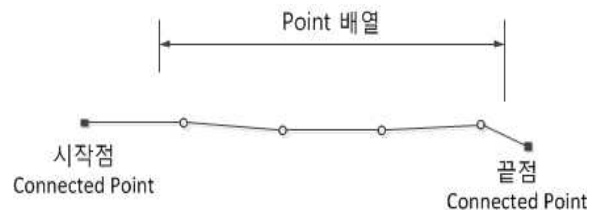


그림 14. 선 도형의 구성
Fig. 14. composition of Line

Edge로 구성된 Convex Polygon 또는 Polyline과 본선 침로선과의 최근접점을 찾아서 최근접점을 그림 12에서의 위험점으로 간주하여 식 (1) 및 식 (2)에 의해 접근 및 진입을 판단한다.

폴리곤과 직선의 최근접점을 판단하는 알고리즘은 다음과 같다.

폴리곤 P가 반시계 방향으로 저장된 Vertex인 $V_0, V_1, \dots, V_{n-1}, V_n = V_0$ 로 구성되었다 하고, e_i 를 Vertex V_i 와 V_{i+1} 에 대한 i 번째 Edge라고 하자. 본선의 침로는 vector u 로 표현한다. 폴리곤 P에 대한 투영을 $\pi: R^2 \rightarrow L$ 로 표현하면, 폴리곤의 각 점은 Vector u 에 대해 $\pi(V_n)$ 으로 표현되고, 가장 가까운 점은 $\pi(V_{min})$ 이 된다.

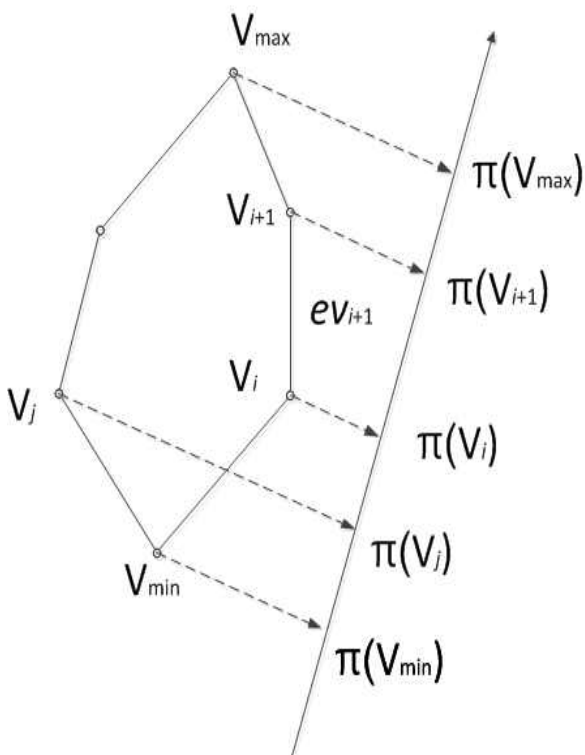


그림 15. 다각형의 구성
Fig. 15. composition of Polygon

5. 통행분리대 분석

통행분리대 (이하 TSE :Traffic Separation Zone)은 일정 지역에 대해 통행 방향이 정해진 해역을 의미한다. TSE는 통행 방향인 방위각 ϕ 를 가지고 있으며, ϕ 에 대하여 $90^\circ \pm \zeta_t$, $270^\circ \pm \zeta_t$ 인 좌우 횡방향으로 진입하면 횡단, ϕ 에 대하여 $\phi \pm \zeta_n$ 로 항행하고 있으면 정상항해, 그 외는 경우(θ)는 비스듬하게 진입하고 있는 경우로 판단한다. 단, ζ_t 는 횡단진입판단각, ζ_n 는 사행운행판단각, ζ_n 정상운행허용각이라 정의한다.

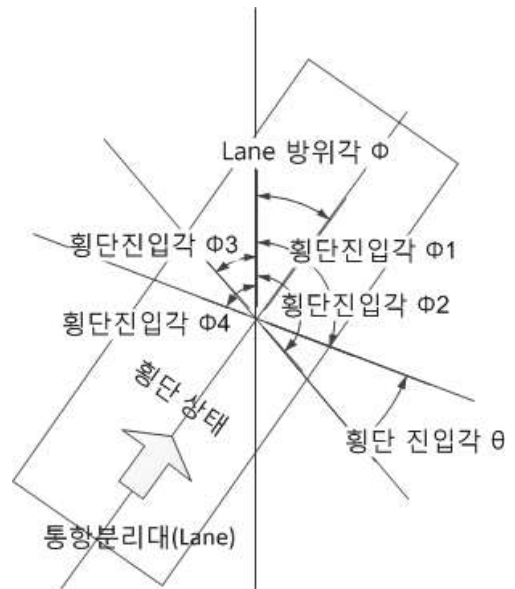


그림 16. 횡단 상태 정의
Fig. 16. state of Cross

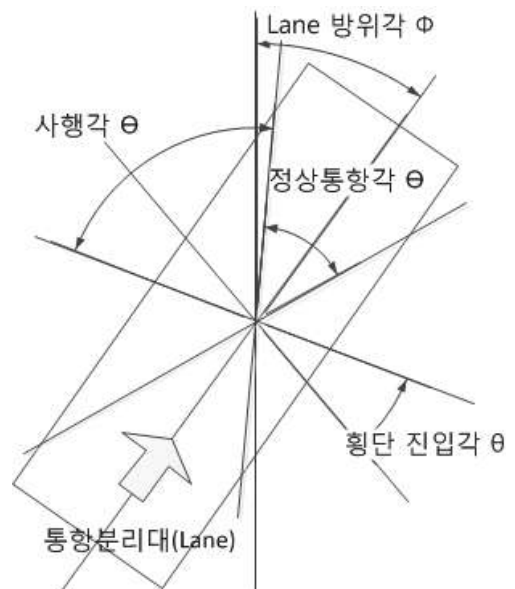


그림 17. 사행 상태 정의
Fig. 17. state of Going zigzag

판단 기준은 일정시간 간격 T 에서 횡단, 사행, 진입각의 변화량 합산하여 일정각 D 미만이면 횡단 또는 사행이라 판단한다.

$$\sum_{t=0}^T \zeta_t < D_t \text{ 이면 횡단, } \sum_{t=0}^l \zeta_t < D_l \text{ 이면 사행, } \sum_{t=0}^T \zeta_n < D_n \text{ 이면 정상운행이다.}$$

위의 5가지의 응용 분석서버를 통하여 응용단을 만들어

해당 구조별로 5개 서버를 만들어 약 4000척의 선박을 대상으로 100일 이상 테스트 해본 결과 시스템 부하 없이 정상적으로 플러그인 구조 기능과 분석 기능 DB 입력 기능, 전파 기능을 실행하는 것으로 확인 되었다. 하지만 DB 결과 분석 입력에서 병목 현상이 있는 것을 발견 DB 테이블에 인덱싱 처리 해주는 것으로 해결하였다.



조기정(Gi-Jong Jo)

1988년 : 한국해양대학교 항해학과 공학사
2011년~현재 : 한국해양대학교 대학원
해상교통학과 석사과정
2010년~현재 : GMT R&BD 센터장

관심분야 : Fuzzy, Recognition, Soft Computing
E-mail : jgj@gmtc.kr

References

- [1] Kim Chang-min, Sturdy for Maritime traffic discharge Research System Based AIS, 2008.
- [2] Lee Sang-jae, Study on applying Quad-Tree & R-Tree for building the analysis system using massive ship position data, 2008.
- [3] Kim Chang-sic, Balanced Twin Tree Algorithm 1990.
- [4] Bea Jun-sung, Lee Bong-hwan , A Virtual Machine Allocation Scheme based on CPU Utilization in Cloud Computing, 2011.
- [5] Park Gue Gak, Kim Dong gwen, Kim Young ki, Lee Mira, Jung Jong maen, "An Analysis on Ship Collision Avoidance using Game Theory," *Proceeding of KIIS Fall Conf*, vol. 20, no. 2, pp. 410-411, 2010.

저 자 소 개



문병태(Byung-Tae Moon)

2009년 : 목포해양대학교 정보통신과학사
2007년~현재 : (주)지엠티 선임연구원
2011년~현재 : 목포해양대학교 산업대학원
해상운송시스템학과 석사과정

관심분야 : 해양안전, 선박관제시스템, 지능형선박운항 분석
E-mail : moon_bt@gmtc.kr



류영하(Young-Ha Ryu)

1993년 : 인하대학교 경영대학원 석사
2008년 : 국토해양부 산해양항만청장, 연안계획과장(부이사관)
2011년 : 국토해양부 일반직 고위공무원
2011년~현재 : 한국항로표지기술협회

2010년~현재 : 목포해양대학교 대학원
해상운송시스템학과 박사과정

관심분야 : 해양정보시스템, 해양교통안전시스템, 지능시스템의 응용
E-mail : yh-ryu@hanmail.net