ISSN : 1226-7244 (Print)
ISSN : 2288-243X (Online)
논문번호 20-02-41
290

j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.24,No.2,661~664,june 2020
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2020.24.2.661

선박 이동 경로 예측을 위한 해상 영역 분할 및 영역 단위 목적지 예측 방법

Maritime region segmentation and segment-based destination prediction methods for vessel path prediction

김 종 희*, 정 찬 호**★, 강 도 근***, 이 창 진****

Jonghee Kim*, Chanho Jung**★, Dokeun Kang***, Chang Jin Lee****

Abstract

In this paper, we propose a maritime region segmentation method and a segment-based destination prediction method for vessel path prediction. In order to perform maritime segmentation, clustering on destination candidates generated from the past paths is conducted. Then the segment-based destination prediction is followed. For destination prediction, different prediction methods are applied according to whether the current region is linear or not. In the linear domain, the vessel is regarded to move constantly, and linear prediction is applied. In the nonlinear domain with an uncertainty, we assume that the vessel moves similarly to the most similar past path. Experimental results show that applying the linear prediction and the prediction method using a similar path differently depending on the linearity and the uncertainty of the path is better than applying one of them alone.

요 약

본 논문에서 우리는 선박의 이동 경로를 예측하기 위하여, 해상 영역을 분할하고, 분할된 영역을 기반으로 선박의 목적지를 예측하는 방법을 제안한다. 해상 영역을 분할하기 위하여 과거 이동 경로를 토대로 생성된 목적지 후보들을 군집화한다. 그리고, 선박이 이동할 목적지 영역을 예측하기 위해서 현재 위치에서 주어진 경로의 선형 여부와 향후 예측 시간에 따른 불확실성에 따라 다른 예측 방법을 적용한다. 예측에 사용하는 방법에는 선형 영역에서는 등속 운동을 가정한 선형 예측 방법, 불확실성이 높은 비선형 영역에서는 과거 경로 중 유사한 경로와 비슷한 움직임을 보일 것이라고 가정한 유사 경로 이용 예측 방법을 사용한다. 실험 결과에서 해당 방법이 선형 예측, 유사 경로 이용 예측 방법을 단독으로 적용하는 것에 비해 더 우수함을 보인다.

Key words : vessel path prediction, maritime region segmentation, destination prediction, linear/nonlinear region classification, mixed prediction

* School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea. Ph.D student.
** Dept. of Electrical Engineering, Hanbat National University, Korea. Associate Professor.
*** The 3rd R&D Institute - 4th Directorate, Agency for Defense Development, Korea. Principal Researcher.
**** The 5th R&D Insitute - 1st Directorate, Agency for Defense Development, Korea. Senior Engineer.
★ Corresponding author
E-mail : peterjung@hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1095
Manuscript received May. 11, 2020; revised Jun. 14, 2020; accepted Jun. 23, 2020.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서론

해상에서는 지정된 이동 경로의 부재로 선박의 자유도가 높기 때문에 이동 경로를 예측하기가 매우 어렵다. 경로 예측을 위해 순환 신경망 기반 방법이 이용될 수 있지만 그림 1처럼 선박 이동 경로의 비선형성이 매우 큰 경우 순환 신경망의 적용이 매우 어렵다.

이를 고려하여, [1]에서는 선박의 이동을 정확한 좌표가 아닌 영역 단위로 예측하는 방법을 제안하였다. [2]에서는 선박 이동 경로 예측 작업을 위해 군집화 개념을 이용하였다. 구체적으로 선박 이동 경로의 직접적인 군집화를 통한 선박 이동 경로 예측 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 위의 방법들에서 기술적 영감을 얻어 영역별로 다른 예측 방법을 사용하는 적응적 영역 단위 선박 이동 경로 예측 방법을 제안한다. [1]에서는 그리드 기반 영역 단위에서 선박 경로 예측을 수행한다. 이와는 달리 제안하는 방법에서는, 먼저 과거 이동 경로들로부터 추출한 “목적지 후보”를 군집화하여 해상 영역을 분할한다(그림 2 참조). 실제 영역 단위 예측은 이와 같은 목적지 후보 정보를 토대로 분할된 해상 영역 단위에서 이루어진다. 또한 [1]과는 달리 그리드 기반 영역 분할 방법은 현재 선박 위치에서 움직임의 “선형/비선형 여부”를 결정하기 위해서만 사용된다. [2]에서는 직접적으로 과거 선박 이동 경로들을 군집화하여 비슷한 경로들이 하나의 군집을 형성하도록 한 후, 이를 예측에 이용하였다. 이와는 달리 제안하는 방법에서는 해상 영역 분할을 위해 앞서 말한 바와 같이 과거 목적지 후보들을 “군집화”한다(그림 2 참조). 제안하는 방법에서는 현재 선박의 위치에서 이동 경로의 선형 여부와 예측 시간에 따른 불확실성에 따라, 다른 예측 방법을 적용한다. 이 때, 사용되는 예측 방법은 등속 움직임을 가정하는 선형 예측 방법과, 과거의 유사한 경로와 동일한 움직임을 보일 것으로 가정하는 유사 경로 이용 예측 방법이다. [1]에서 이용하는 영역과는 구조가 다르기 때문에 제안하는 방법과의 직접 비교는 어렵지만 본 논문에서는 두 예측 방법들의 성능을 보이고, 선형 여부와 불확실성에 따라 다른 예측 방법을 적용하는 것이 더 우수함을 보인다.

Ⅱ. 제안하는 방법

본 논문에서는 선박 이동 경로 예측을 위한 해상 영역 분할 및 영역 단위 목적지 예측 방법을 제안한다.

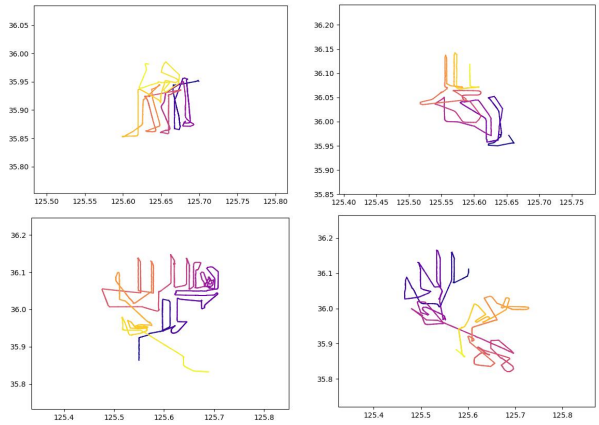

Fig. 1. Examples of vessel paths. (Vessel moves from purple to yellow).

그림 1. 선박 경로 예시(선박의 이동 시간에 따라 보라색에서 노란색으로 표시)

해상 영역 분할은 목적지 후보를 군집화하여 이루어진다. 목적지 후보는 과거 이동 경로들의 시점과 종점이다. 각 경로의 시점과 종점은, 선박이 이전에 정박하였던 위치로 목적지로 간주할 수 있다. 그림 2와 같이 선박의 목적지는 다양한 형태의 군집을 형성할 수 있고, 밀집된 후보들을 하나의 목적지로 가정하는 것이 바람직하다. 이에 따라, 밀도에 따라 군집을 생성하고, 군집의 개수를 지정하지 않아도 밀도에 따라 적응적으로 군집화하는 [3]의 방법을 이용하였다.

선박의 영역 단위 목적지 예측을 위하여, 선박의 이전 p분 간의 이동 경로를 이용한다. 이때, 이동 경로가 선형에 가까울 경우, 향후에도 선형으로 이동할 가능성이 크고, 비선형에 가까울 경우, 비선형으로 이동할 가능성이 크다. 또한, 예측할 시간이 길수록 불확실성이 커져 비선형으로 움직일 가능성이 더욱 커진다. 이에 따라, 본 논문에서는 경로의 선형 여부와 불확실성을 고려하여 알고리즘 1과 같이 다른 예측 방법을 적용하였다. 여기서 현재 이동하고 있는 상태에 대해서만 경로의 선형 여부를 구할 경우, 표본이 많지 않아 잘못 판단될 수 있으므로, 같은 위치에서의 과거 이동 경로들로 선형 여부를 구한다. 이를 위해, 한 영역 내에 과거 경로들의 방향을 모두 취합해 진행 방향들의 분산이 1.0 보다 클 경우에는 비선형으로, 작을 경우에는 선형으로 분류하였다. 먼저, 큰 영역 단위로 선형 여부를 확인하여 비선형으로 판단될 경우, 더 작은 영역 4개로 나누어 다시 임계값 미만인지 확인하도록 하였다. 이는 큰 영역으로 보면 비선형으로 보이더라도

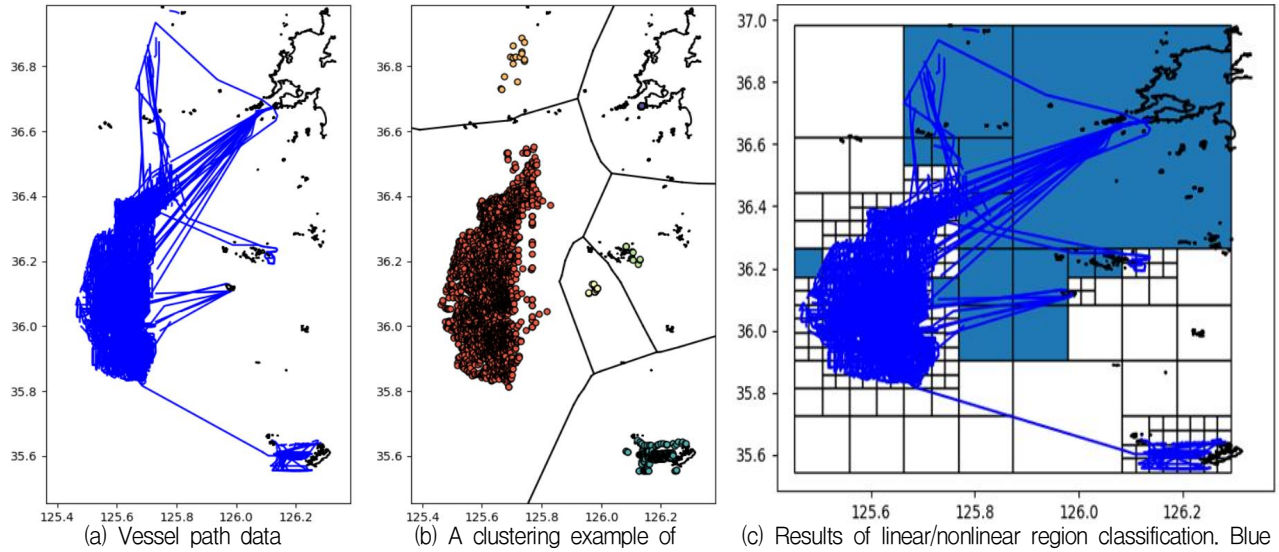

Fig. 2. Maritime segmentation and linear/nonlinear region classification results.
그림 2. 해상 영역 분할 및 선형/비선형 영역 분류 결과

작은 영역으로 나누면 각각이 선형으로 분류될 수 있음을 고려한 것이다. 이를 반복적으로 수행하다 영역의 크기가 일정 크기보다 작아질 경우, 더 이상 나누지 않고 비선형 영역으로 분류한다. 참고로, 앞의 해상 영역 분할은 목적지를 관심 대상으로 보고 분할하는 것이고, 선형, 비선형 영역 분할은 이동 상태를 관심 대상으로 하는 것이기 때문에 다른 분할 방법을 적용하였다. 앞서 말한 것과 같이 선형 영역과 근 시간 내의 비선형 영역에서는 선형 이동 가능성이 크므로 (1)과 같이 향후 속도를 설정하고, 등속 진행을 가정하여 도착 위치를 예측한다.

$$v_n = \frac{1}{2}\left(v(t) + \frac{x(t) - x(t-p)}{p}\right). \quad (1)$$

여기서, $v(t)$는 시간 t에서의 선박의 속도, $x(t)$는 시간 t에서의 선박의 위도, 경도이다. 즉, 현재 속도와 p분 전까지의 평균 속도의 중간값으로 등속 이동하는 것을 가정하여 (2)와 같이 예측한다.

$$x(t) = x(0) + v_n t. \quad (2)$$

여기서 $x(0)$는 주어진 경로의 마지막 위치를 의미하고, 시간 t 동안 v_n의 속도로 등속 운동한 결과 $x(t)$를 예상 도착 위치로 정의한다. 그리고, 예상 도착 위치가 어느 군집에 가까운지를 이용하여 영역 단위의 예측을 하게 된다.

불확실성이 큰 60분 이후의 비선형 영역에서는 움직임을 예측하기 어려우므로, 동적 시간 와핑 [4] 방법을 이용하여 과거 이동 경로 중에서 이전 p 분의 경로와 가장 유사한 경로를 찾고, 이후에는 그 경로와 같은 형태의 이동을 보일 것으로 가정하고 도착 위치를 예측한다. 동적 시간 와핑 방법은 두 시계열 데이터가 주어졌을 때, 시간 간격을 임의로 조절시켜 가장 유사한 형태의 데이터로 와핑하고, 그 상태에서 두 시계열 데이터의 거리를 측정하는 방법이다. 선형 예측 방법과 마찬가지로, 예측된 위치에서 가장 가까운 군집을 찾아 목적지 영역을 예측한다.

알고리즘 1. 영역 단위 목적지 예측
입력: 목적지 후보 개수, N_d, 군집 개수 N_C, 목적지 군집 $\{C_i | 0 \leq i < N_C\}$, 목적지 후보 $\{d_j | 0 \leq j < N_d\}$, 이전 시간 p, 예측 시간 t, 선형/비선형 영역 정보, 현재 이동 경로 $X = \{x(t) | -p \leq t \leq 0\}$
출력: 도착 예상 영역 C_{pred}
1. if $x(0) \in$선형영역
2. $x(t) =$선형 예측(X)
3. else if $x(0) \in$비선형영역 and $t < 60$
4. $x(t) =$선형 예측(X)
5. else // $x(0) \in$비선형영역 and $t \geq 60$
6. $x(t) =$유사 경로 이용 예측(X)
7. $\hat{j} = \arg\min_j |x(t) - d_j|_2$
8. $C_{pred} \leftarrow d_{\hat{j}}$가 속한 군집 C_i

III. 실험 결과

제안하는 방법의 학습 및 평가를 위하여 수집한 21개의 선박의 이동 경로 데이터를 이용하였다. 이 중, 90%는 목적지 후보 기반 영역 분할, 선형/비선형 영역 분할, 유사한 이동 경로를 찾는 후보군으로 사용하였고, 나머지 10%를 평가를 위해 사용하였다.

먼저, 목적지 영역 분할 결과는 그림 2와 같다.

Table 1. Prediction accuracy (%) of the proposed method.
표 1. 제안하는 방법의 예측 정확도 (%)

Prediction time		10	20	30	60	120
Linear region	Linear prediction	**97.53**	**97.09**	**97.71**	**88.89**	**66.67**
	Prediction by using similar path	90.29	86.03	80.55	67.32	64.38
Nonlinear region	Linear prediction	**96.16**	**90.47**	**83.63**	56.53	30.46
	Prediction by using similar path	88.32	76.46	69.56	**58.84**	**40.34**
Whole region	Linear prediction	**96.38**	**91.55**	**85.88**	60.73	34.74
	Prediction by using similar path	88.64	78.11	71.33	59.92	43.01
	Mixed prediction	**96.38**	**91.55**	**85.88**	**62.66**	**45.74**

그림 2에서 보는 것과 같이 밀집된 목적지들을하나의 목적지 영역으로 잘 분할하는 것을 확인할 수 있다. 선형, 비선형 영역을 분류한 결과는 그림 2(c)와 같다. 우상단에서 보이는 것과 같이 큰 영역이 하나의 선형 영역으로 분할되기도 하고, 좌상단에서 보이는 것과 같이 큰 영역에서는 비선형 영역으로 판단되어 추가로 분할되었지만 작은 영역에서 선형 영역으로 판단되는 영역도 확인할 수 있다.

표 1에서는 선형 영역과 비선형 영역에서 각 예측 방법에 향후 예측 시간에 대한 영역 단위 예측 정확도를 나타내었다. 결과를 종합하면, 선형 영역에서는 향후 예측 시간에 무관하게 선형 예측 방법(Linear prediction)이 더 좋은 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 우리가 가정한 것과 같이 선형 영역에서는 선형의 움직임을 나타내기 때문으로 보인다. 비선형 영역에서는 향후 예측 시간이 짧을 때에는 선형 예측 방법이, 길 때에는 유사 경로 이용 예측 방법(Prediction by using similar path)이 더 좋은 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 즉, 짧은 시간 내에서는 선박이 비선형 영역에 있더라도 선형의 움직임을 보이지만, 예측 시점으로부터 시간이 길어질 경우, 불확실성이 커져 선형으로 움직이지 않고, 과거의 경로들과 유사하게 비선형으로 움직이는 경향이 있음을 확인할 수 있다. 각 영역에서의 실험 결과를 통해 정확한 영역 분류와 이에 맞는 예측 방법을 적용하면, 최소 2.31%에서 최대 17.16%까지 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

그리고, 영역 구분 없이 한 가지의 방법을 선형, 비선형 두 영역 모두에 적용했을 때와 비선형 영역에서 불확실성이 큰 60분 이후를 예측할 경우에는 유사 경로 이용 예측 방법을 이외에는 선형 예측을 적용한 혼합 예측 방법(Mixed prediction)의 결과를 비교하였다. 60분 이상의 결과로 보아, 선형 영역에서는 선형 예측으로, 비선형 영역에서 긴 시간을 예측할 때에는 유사 경로 이용 예측 방법을 적용하는 것이 각 한 가지의 방법을 적용하는 것보다 우수함을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 선박의 영역 단위 이동 경로 예측을 위하여 선박의 목적지 후보를 추출하고 이를 기반으로 해상을 분할하는 방법을 제안하였다. 또한, 해상을 선형/비선형 이동 영역으로 분류하여, 각 영역의 선형 여부와 향후 예측 시간의 불확실성을 고려하여 선형 예측과 유사 경로 이용 예측 방법을 적용하면 각각을 적용하는 것 보다 더 높은 정확도로 향후 위치할 영역을 예측할 수 있음을 확인하였다.

References

[1] D. Nguyen, C. Van, and M. Ali, “Vessel Trajectory Prediction using Sequence-to- Sequence Models over Spatial Grid,” *Proc. ACM Int. Conf. Distributed and Event-based Syst.*, pp.258-261, 2018.
DOI: 10.1145/3210284.3219775

[2] S. Gan, S. Liang, K. Li, J. Deng, and T. Cheng, “Ship trajectory prediction for intelligent traffic management using clustering and ANN,” *Proc. Int. Conf. on Control,* pp.1-6, 2016.
DOI: 10.1109/CONTROL.2016.7737569

[3] M. Ester, H. Kriegel, J. Sander, and X. Xu, “A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise,” *Proc. Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp.226-231, 1996. DOI: 10.5555/3001460.3001507

[4] H. Sakoe and S. Chiba. “Dynamic Programming Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition,” *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Process.,* Vol.26, No.1, pp.43-49, 1978.
DOI: 10.1109/TASSP.1978.1163055