

소나 방정식 성능지수의 지능형 거리 판단기법

Intelligent Range Decision Method for Figure of Merit of Sonar Equation

손현승* · 박진배** · 주영훈**

Hyun Seung Son, Jin Bae Park[†], and Young Hoon Joo

*연세대학교 전기전자공학과, **국립군산대학교 제어로봇공학과

[†]School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

School of Control and Robot Engineering, National Kunsan University

요 약

본 논문은 소나 방정식내의 성능지수를 판단하는 지능형 접근방법을 제안한다. 알 수 없는 수중표적의 거리와 고정적이지만 신호초과량은 추적과정에 대해 불확실성을 증가시킨다. 탐지거리와 연관된 신호 초과량의 입력 데이터들을 이용하여, 퍼지집합의 규칙을 세우고, 소나의 수신기로부터 얻어지는 데이터를 퍼지화 된 데이터 집합으로 변화시킨다. 알 수 없는 데이터들에 의해 발생하는 오차값들을 감소시키기 위하여 퍼지 집합으로 변환된 새로운 데이터를 이용한다. 구간별 최소값, 최대값 그리고 평균값이 계산되어, 수중 표적의 거리를 추정하는데 사용된다. 데이터들의 증감에 대한 분석을 통해 표적의 위치와 기동특성을 예측할 수 있다. 제안된 기법의 성능과 효과를 보여주기 위하여 몇 가지 예를 보였다.

키워드 : 성능지수, 퍼지이론, 수중표적, 기동, 표적추적.

Abstract

This paper proposes a intelligent approach on range decision of figure of merit. Unknown range of the underwater target and the non-fixed signal excess make the uncertainty for the tracking process. Using the input data of signal excess related to the range, we establish the rule of the fuzzy set and the original data acquired by sonar can be transformed to the fuzzified data set. To reduce the error arisen from the unexpected data, we use the new data transformed in fuzzy set. The piecewise relations of the min value, max one, and the mean one are calculated. The three values are used for the expected range of the underwater target. By analysing the fluctuation of the data, we can expect the target's position and the characteristics of the maneuvering. The examples are presented to show the performance and the effectiveness of the proposed method.

Key Words : Figure of merit, Fuzzy theory, Underwater target, Maneuvering, Target tracking.

1. 서 론

수중환경은 에너지 미개척분야 일뿐만 아니라, 군사분야에서도 매우 중요한 대상이다. 항공 또는 수상표적에 의한 위협 보다 수중표적은 그 운용환경 때문에 더욱 치명적일

다. 따라서 은밀성을 중시하는 잠수함은 대표적인 비닉/전략 무기체계 및 비대칭전력으로 인식되고 있다. 잠수함은 추진체계 기술의 발전에 따라 잠항지속시간이 증가하고 정속도가 향상되고 있다. 또한 잠대함 유도탄, 중어뢰 등 무기의 사정거리와 명중률이 향상되어 위협도는 증대될 것이다.

이에 대응하는 대잠전력은 해양감시용 저주파 음탐체계(Surtass)를 이용한 광역탐색, 대잠초계기 및 대잠헬기의 탐색능력 향상 그리고 다양한 무인체계에 의한 대잠전 능력 향상 등을 추구하고 있다. 또한 잠수함의 스텔스 성능을 좌우하는 음향신호와 전자기신호를 총칭하는 수중신호 감소를 위하여 수동제어와 함께 능동제어 기술을 잠수함에 적용하고 있으며, 기술발전이 가속화되고 있다. 여기에 최근 남북 주요사건을 계기로 수중감시체계의 중요성이 더욱 부각되어 우리나라의 정세 상황에 부합하고 지형적 특성에 특화된 소나체계 연구개발의 필요성이 대두되었다. [1].

더 나아가 미래 해양 전장의, 네트워크 중심전, 비대칭/비정규전에 효과적으로 대응하고 저비용으로 군사적 우위를 확보하기 위해 해양무인체계의 개발이 적극적으로 활용될

접수일자: 2013년 3월 31일

심사(수정)일자: 2013년 4월 7일

게재확정일자 : 2013년 6월 12일

[†] Corresponding author

본 논문은 한국연구재단 중견연구자지원사업(No.2012-0008726)에서 지원하여 연구하였습니다. 연구비 지원에 감사드립니다. 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.

것으로 예상된다 [2].

지상에서 정보를 전달하기 위한 반송파로 흔히 사용되는 전파를 수중에서 사용할 경우, 송신한 에너지는 산란, 굴절, 흡수 등의 물리적 현상에 의해 거리에 따라 급속히 감쇄되는 특성이 있다. 이에 따라 수중에서는 음파를 주로 사용하는데, 고려해야 하는 주요한 물리적 현상으로 음파의 전달, 해양잡음, 음파간향 등이 있고 이와 같은 현상들의 본질을 밝히려는 다양한 연구가 진행되고 있다 [3],[4].

수중표적의 추적은 크게 능동형 방식과 수동형 방식으로 분류된다. 능동형 소나는 송신기에서 방사되고 표적에 의해 반향되는 음향을 수신기에서 받아 그 특성에 의해 결정된다. 수동형 소나는 음향의 방사 없이 수신되는 표적의 음향 신호에만 의존한다. 이와 관련하여 소나방정식을 구성하는데, 그 기본적인 신호잡음비율($SNR : Signal-to-Noise Ratio$), 성능지수($FOM : Figure of Merit$), 그리고 신호초과량($SE : Signal Excess$)이다. 표적의 위치는 관측자와 표적의 상대적인 방위-거리에 따라 결정되는데, 상대방위는 자함의 자이로스코프에 의해 계산되고, 상대거리는 위의 값들의 상관관계에 따라 결정된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 보조적인 기법들이 사용되고 있지만, 직접적인 해결책은 되지 못하고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 보다 더 직접적이고, 적응성이 강한 퍼지이론을 이용하여 복잡한 패턴을 탐지확률 50% 거리 추정을 구하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련된 이론을 살펴보고, 3장에서는 제안된 기법을 이용한 탐지거리 추정을 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통한 현실성을 보여주고, 결론을 5장에 기술한다.

2. 이론적 배경

2.1 소나방정식

앞에서 간단히 소개한 소나방정식은 일반적으로 다음과 같이 성립된다. 식 (1),(2)는 각각 수동형 소나와 능동형 소나의 신호잡음비율(SNR)을 나타낸다 [4].

$$SNR_{Passive} = SL - TL - NL + DI \quad (1)$$

$$SNR_{Active} = SL - 2TL + TS - NL + AG \quad (2)$$

여기서, SL (Source Level)은 방사신호 수준을 의미하고, TL (Transmission Loss)은 전달손실, NL (Noise Level)은 잡음수준을 각각 의미한다. DI (Directivity Index)는 방향성지수, TS (Target Strength)는 표적강도, AG (Array Gain)는 dB 단위의 수신기의 신호이득을 각각 의미한다.

탐지와 추적을 위한 구체화 된 함수가 정의되는데, 어떤 신호의 수준을 만족하기 위한 신호잡음비율의 요구량으로서 신호초과량(SE)이 정의된다.

$$SE_{Passive} = SL - TL - NL + DI - DT \quad (3)$$

$$SE_{Active} = SL - 2TL - NL + AG - DT \quad (4)$$

여기서, DT 는 방사신호 수준을 의미하고, TL 은 탐지 문턱값을 의미하며, dB 로 나타난다.

식 (3)과 (4)를 기반으로 신호초과량(SE)을 0으로 만드

는 전달손실의 양이 정의되는데, 이것을 성능지수(FOM)라 정의하고 다음과 같이 표기한다. 성능지수는 신호초과량이 0이 되는 전달손실에 대한 소나 방정식의 해를 구함으로써 얻어진다.

$$FOM_{Passive} = SL - NL + DI - DT \quad (3)$$

$$FOM_{Active} = SL - NL + AG - DT \quad (4)$$

위의 각 식들의 관계에서 알 수 있듯이 소나 방정식을 이용한 수중표적의 위치 탐지 및 추적 시, 신호와 잡음의 비율, 거리와 전달손실의 상관관계에 따라 구하고자 하는 표적의 거리를 추정하게 됨을 알 수 있다.

또한, 위의 식들은 수중환경이 어떤 조건인가에 따라 잡음에 연관된 경우와 반향신호에 연관된 경우에 따라 식이 다르게 전개 되는데, 본 논문에서는 간단히 잡음에 연관된 경우에 한하여 진행하도록 한다.

2.2 퍼지 중심-평균 클러스터링 기법

패턴인식 분야에서 사용되는 퍼지 중심-평균 클러스터링 기법($FCM : Fuzzy c-means clustering$)은 1981년 Bezdek 에 의해 제안되었다 [5]. 퍼지 중심-평균 클러스터링 기법은 하나의 클러스터에 속해져있는 각각의 데이터 점을 소속 정도에 의해서 클러스터에 대한 데이터의 소속 정도를 일일이 열거한 데이터 분류 알고리즘이다. 이 기법의 주된 장점은 기존의 클러스터링 기법($HCM : Hard C-means Clustering$)에 비해 유연성과 적응성이 높은 점이다. 본 논문에서는 대상 곡선의 증감에 영향을 주는 외부입력을 추정해내기 위하여 곡선의 증감패턴을 분석하고 그 값을 추정하기 위한 방법으로 사용된다. 그 계산과정은 다음의 4단계를 거친다. 세부적인 내용은 참고문헌 [5]에 따른다.

- 1단계 : 소속함수의 초기화 및 파라미터 결정
- 2단계 : 퍼지 클러스터 중심 계산
- 3단계 : 소속함수 갱신
- 4단계 : 임계값 비교 및 반복

3. 지능형 성능지수 거리 판단기법

3.1 문제의 인식

2장에서 설명한 세 가지 값을 이용하여 탐지거리에 따른 신호초과량 값을 그려보면, 서로 반비례하는 형태의 곡선을 보일 수 있는데, 여기서 탐지확률이 50%가 되는 지점이 표적과 관측자가 가지는 상대거리로 추정할 수 있다. 하지만, 이 그래프에 영향을 주는 전달손실(TL), 잡음수준(NL) 등의 영향에 따른 곡선의 형태는 단순하지 않고 그림 1에서 보는바와 같이 그 증감을 반복하며 점차 감소하는 형태를 갖는다.

앞에서 설명한 정의에 의하여 거리에 대한 신호초과량 값은 감소하여야 하나, 먼 거리에 비해 가까운 거리에서 그 값이 더 작은 경우가 발생한다. 또한 곡선의 형태는 불연속 구간이 발생하여 그 형태를 수식화가 쉽지 않다.

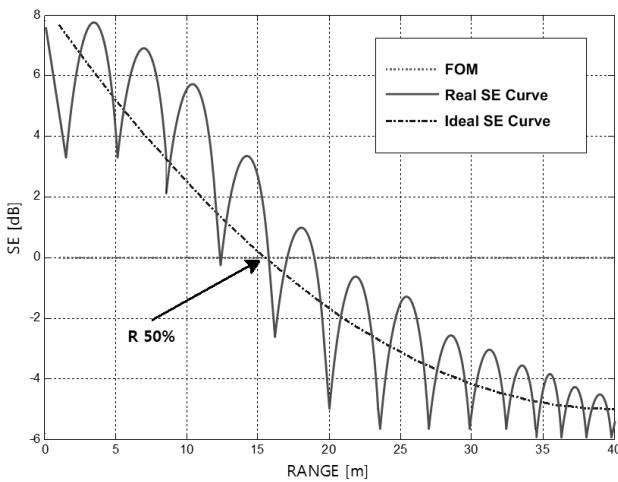


그림 1. 관측된 신호초과량 곡선

Fig. 1. The ideal and the measured signal excess curves and the FOM

그 이유는 음향에 기반을 둔 전달손실 곡선이 탐지확률 50% 거리를 판단하는 지점에 대해 복수의 값을 얻는다는 점이다.

그렇기 때문에 곡선의 형태를 비선형 값으로 인식하고 부분적인 증감 현상에 대한 적절한 해결을 필요로 한다.

3.2 신호 초과량 곡선의 모델링

그림 1에서 보는바와 같이 신호초과량 곡선은 증감을 지속적으로 반복하는 형태와 거리가 증가함에 따라 점차적으로 감소하는 형태의 두 가지를 합쳐놓은 모습을 보인다. 이 형태를 임의의 이동체가 음의 방향으로 기동하는 운동과 증감의 가속도 입력을 반복적으로 받는 기동, 두 가지 기동표적의 문제로 바꾸어 생각할 수 있다.

$$m_1 = y = x_{k-1} + \frac{b}{\Delta k \cdot x} + c \quad (6)$$

$$m_2 = \dot{x} = a_{k-1} + \alpha \cdot \Delta k + \beta \quad (7)$$

식 (6)은 파동이 없는 일관된 신호초과량의 흐름을 의미하고, (7)은 그 흐름에 영향을 주는 속도 성분을 결정하는 부분이다. 여기서 α 는 주어진 함수에 입력된 외부입력, 즉, 가속도를 의미하고 β 는 수반되는 잡음을 의미한다. k 는 샘플링 시간이다. 두 식을 결합하게 되면, 다음과 같다.

$$m_1 + m_2 = x_{k-1} + \frac{b}{\Delta k(a_{k-1} + \alpha \cdot \Delta k + \beta)} + c \quad (8)$$

위 식을 각 항별로 주는 의미를 해석해보면 곡선의 흐름은 다음의 세 가지 항의 합으로 이루어진 복잡한 형태를 가지는 것을 알 수 있다.

첫 번째 항은 이전 샘플링 시간의 위치 값이며, 두 번째 항은 일정시간동안 속도를 구성하는 값들의 곱이다.

여기에 현재의 속도는 이전 시간의 속도에 가속도의 입력이 더해지고 시간에 대한 오차가 추가된다. 마지막으로 세 번째 항은 곡선의 형태에 더해지는 위치조정 값이다.

3.3 최대·최소점을 이용한 이상적인 곡선의 재구성

위에서 구분한 두 가지 패턴 중에서 전체적인 곡선의 흐름을 재구성하는 방법으로 m_1 의 형태는 최대·최소점의 관계에서부터 시작한다. 본 방법의 장점은 그림 1의 곡선의 형태가 불연속 구간을 갖기 때문에 직접적으로 곡선을 모델링 하는 것 보다 특징점들을 선별하여 그 형태를 추정하는 것이 유리하다.

먼저, 최대·최소점을 선별하는 방법은 다음과 같다. 연속되는 두 거리 값을 각각 r_k, r_{k+1} 로 두고, 이에 대응하는 신호 초과량을 s_k, s_{k+1} 로 두면, 거리값이 증가함에 따른 신호 초과량 증감을 판단한다. 이때, 곡선의 간격이 좁고, 순간적인 차이가 크다면 다음과 같이 한 점을 사이에 둔 두 점을 선별한다.

$$\Delta m_{k+1|k-1} = \frac{s_{k+1} - s_{k-1}}{r_{k+1} - r_{k-1}} \quad (9)$$

$\Delta m_{k+1|k-1}$ 은 0을 중심으로 한 음의 값과 양의 값을 갖게 될 것이다. 이때, 그 값이 음의 값에서 양의 값으로 변하는 순간의 신호 초과량은 구간별 최소값이 되고, 반대로 양의 값에서 음의 값으로 변하는 시점의 신호 초과량은 구간별 최대값이 된다.

$$s_k = \begin{cases} \text{Local min} : \Delta m_{k+1|k} \text{이 감소에서 증가로 변할 때} \\ \text{Local max} : \Delta m_{k+1|k} \text{이 증가에서 감소로 변할 때} \end{cases} \quad (9)$$

위 과정에 따라 구해진 구간별 최대·최소점은 거리가 증가함에 따라 최대점, 최소점이 아래와 같이 반복적으로 나타난다.

$$S_{Lmin} = \{s_1, s_3, \dots, s_{k-1}, s_{k+1}\} \quad (10)$$

$$S_{Lmax} = \{s_2, s_4, \dots, s_{k-2}, s_k\} \quad (11)$$

다음, 거리를 증가시키면서 위의 두 집합의 최대·최소점의 평균점을 구한다.

$$\bar{S} = \left\{ \bar{s}_1, \bar{s}_2, \dots, \bar{s}_k \right\} = \left\{ \frac{s_1 + s_2}{2}, \frac{s_2 + s_3}{2}, \dots, \frac{s_{k-1} + s_k}{2}, \frac{s_k + s_{k+1}}{2} \right\} \quad (12)$$

구해진 평균점을 계산과정의 두 거리 중간지점과 대응하여 다시 2차원 평면에 도시하면 그림 2에서 보는 바와 같이 원만한 곡선의 형태를 만들어 낼 수 있다.

$$C_{\bar{S}} = \left\{ \left(\frac{r_1 + r_2}{2}, \bar{s}_1 \right), \left(\frac{r_2 + r_3}{2}, \bar{s}_2 \right), \dots, \left(\frac{r_k + r_{k+1}}{2}, \bar{s}_k \right) \right\} \quad (13)$$

3.4 퍼지 중심-평균 클러스터링 기법을 이용한 외부 입력의 해석

지금까지 관측된 신호초과량 곡선을 바탕으로 변동폭이 큰 요소들을 제거하여 원만한 흐름을 유도했다. 반대로 변동폭을 만드는 요소들에 대해 생각해보면, 크게 세 가지로 생각할 수 있다 [6].

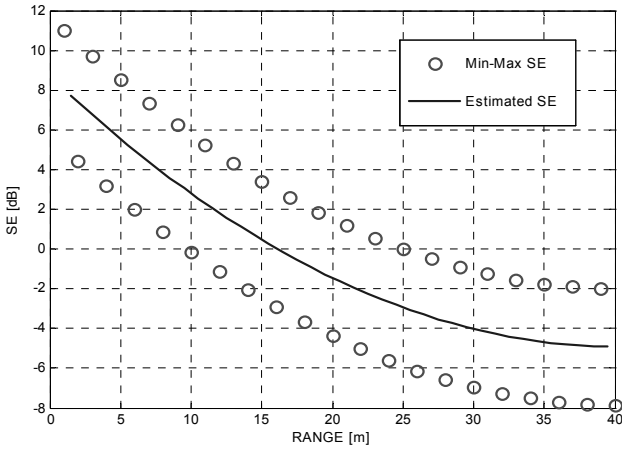


그림 2. 추정된 신호초과량 곡선
Fig. 2. The estimated signal excess curves

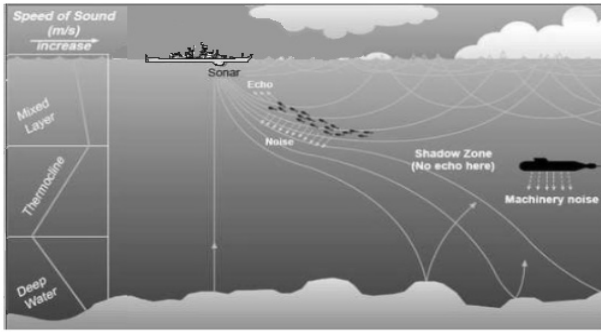


그림 3. 수층별 음속구조 및 음파전달 양상
Fig. 3. The water layer assortative sonic structure and acoustic propagation aspect

첫째는 주변환경에 의해 소나의 음향이 영향을 받는 경우이다. 이 경우는 알 수 없는 매질에 의한 음향의 굴절, 반향, 흡수 등이 있다. 주요 원인으로는 생물체의 이동, 기포, 생물체의 파편 등이 있다.

둘째, 음향이 음영구역에 빠졌을 경우이다. 음향의 이동 특성 상 미치지 못하는 구역이 발생하는데, 음향의 전달 양상은 그림 3에서 보는 바와 같다.

셋째는 실제 표적이 비선형 기동을 함에 따라, 표적강도가 증가하거나, 가속도 입력에 따른 기동으로 인해 표적의 속도가 증가하는 경우이다. 만약 표적의 강도가 증가하여 일정한 수준으로 유지할 경우, 관측자와 표적은 수직적 (Perpendicular) 기동을 하고, 반대로 표적의 강도가 감소하여 일정한 수준으로 유지할 경우, 관측자와 표적은 평행한 (Parallel) 기동을 함을 의미한다. 그리고 위 두 가지 경우 모두 변환 후 일정한 수준이 점차 증가할 경우, 서로 접근하는 기동으로 함수(Bow Aspect)를 마주하고 있는 경우이고, 일정한 수준이 점차 감소할 경우, 서로 멀어지는 기동을 하는 경우로 함미(Stern Aspect)를 마주하고 있는 경우이다. 위의 조건별 판단은 표적의 예상위치를 구하는데 도움이 될 수 있으며, 신호초과량 곡선의 예상치 못한 값을 획득 시 현실적인 판단에 도움이 된다.

그림 2에서 파란색 실선으로 표시한 추정된 곡선을 기준이 되는 임의의 물체의 이동선으로 두고, 붉은색 원으로 표

기한 최대·최소점을 외부입력에 의해 변경된 물체의 이동선으로 가정할 때, 두 선은 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$X_r(k+1) = FX(k) + 0 \quad (14)$$

$$X_a(k+1) = FX(k) + G[a(k) + w(k)] \quad (15)$$

여기서 $X(k)$ 는 임의의 물체의 위치와 속도 성분을 같은 표적정보이고, $a(k)$ 와 $w(k)$ 는 입력가속도와 오차를 의미한다. (14)는 외부입력과 잡음이 배제된 순수한 물체의 자체이동만을 의미하고, (15)는 물체의 이동에 외부입력과 잡음에 영향을 받아 이동물체가 순간적인 편향을 나타내며 원래의 진행방향을 유지하는 기동형태이다. 관련된 시스템행렬 F 와 이득행렬 G 는 다음과 같다.

$$X = \begin{bmatrix} x \\ \cdot \\ x \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} 1 & k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} \frac{k^2}{2} & 0 \\ k & 0 \\ 0 & \frac{k^2}{2} \\ 0 & k \end{bmatrix}$$

표적의 속도는 (12)과 (13)에 의해 인접한 두 점의 거리를 통해 구하고, (14)와 (15)의 차이를 레이더의 게이팅 개념에 맞추어 생각해보면 그림 4와 같은 관계를 찾을 수 있다 [6].

그림 4에서 볼 수 있듯이 마지막 두 점의 차이를 (14)와 (15)의 차이로 볼 때, 그 차이는 가속도와 잡음의 영향 때문이다. 그 차이를 다음과 같이 설정하고, 그 분포도를 알아본다.

$$\hat{e}(k) = [10](X_a(k) - X_r(k)) \quad (16)$$

$$E = \{\hat{e}_1, \hat{e}_2, \dots, \hat{e}_k\} \quad (17)$$

식 (17)의 분포도를 그려보면 그림 5와 같은 형상을 보이게 된다. 이 데이터를 입력값으로 한 퍼지 중심-평균 클러스터를 거치면 그림 6과 같은 3개의 클러스터로 구분해 볼 수 있다. 그림에서 나타난 중심의 큰 클러스터는 (15)에서 설정한 잡음총합 $w(k)$ 에 의한 불확실성의 정도이고, 양쪽으로 편향된 작은 클러스터들은 외부입력에 의해 위치 자체가 이동한 정도를 의미한다. 퍼지 중심-평균 클러스터링에 관한 세부적인 계산과정은 참고문헌 [5],[7]에 따른다.

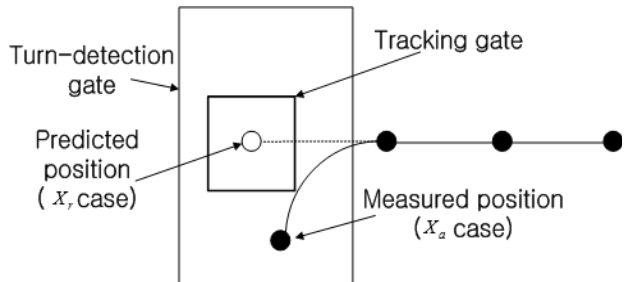


그림 4. 추적 게이팅과 선회-탐지 게이팅 관계
Fig. 4. The relation of the tracking gate and the turn-detection gate

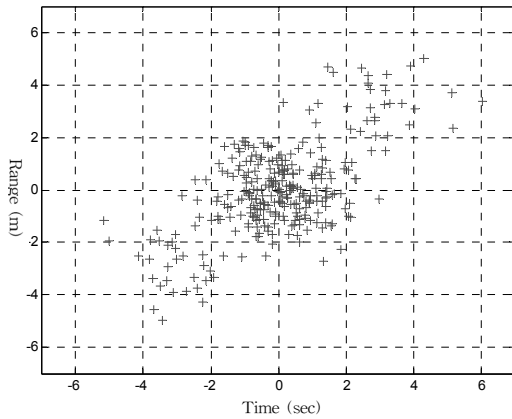


그림 5. 외부입력 유무에 따른 기동거리 차이 분포도
Fig. 5. The distribution of maneuvering distance where external input included or not

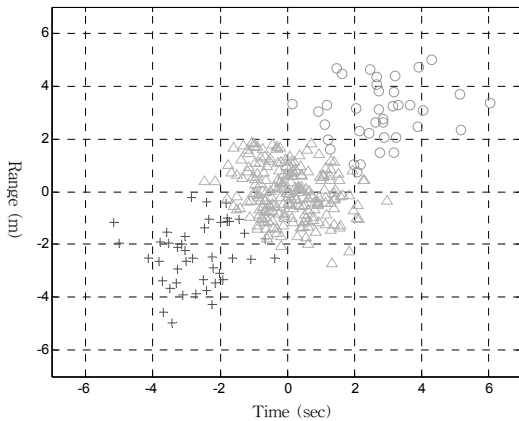


그림 6. 퍼지 중심-평균 클러스터링의 분리 결과
Fig. 6. The clustering result of fuzzy c-means clustering

3.5 소나 성능지수 곡선의 분석

지금까지 소나 성능지수 곡선의 해석하기 어려운 형태에 대하여 해결방안을 살펴보았다. 3.2절에서는 곡선을 두 개의 형태로 구분하여 모델링하였고, 이를 바탕으로 3.3절에서는 최대·최소점을 이용하여 이상적인 곡선의 형태를 추정했고, 3.4절에서는 변동폭을 형성하는 외부입력에 대한 문제를 퍼지 중심-평균 클러스터링을 이용하여 재해석하고 그 값을 추정하는 과정을 보였다.

1차적으로 표적의 신호초과량은 3.3절에서 얻은 이상적인 곡선을 이용하여 거리추정을 한다. 2차적으로 (16)에서 구한 오차값이 속하는 클러스터가 거리가 증가함에 기동의 어떤 경우인지 표. 1의 조건에 따라 선택을 한다.

4. 모의실험

본 장에서는 수중표적이 기동하는 모의환경을 묘사하여 주어진 조건에 따른 신호초과량 곡선을 그리고, 그 값을 기반으로 제안된 기법에 의해 재해석하는 과정을 보인다.

모의실험을 위한 기본적인 조건은 다음과 같다.

표 1. 기동특성 비교 조건

Table 1. The comparison condition for maneuvering characteristics

Condition (SE)	Maneuvering pattern	
Increase	Turn	Encounter with bow or stern ⇒ Convert to beam aspect
	Cruise	Speed up or down the velocity
Decrease	Turn	Encounter with beam ⇒ Convert to bow or stern aspect
	Cruise	Speed up or down the velocity

- SL_t : 100dB / 300Hz
- NL : 10dB / 300Hz
- TS : 15dB-40dB (함수~현측 면)
- SL_s : 200dB / 1,200Hz
- NL_{self} : 10dB / 200Hz
- DI : 10dB
- DT : 0dB

3장에서 설명한 과정을 거쳐 그림 2의 파란 실선과 같은 신호초과량을 얻었고, 이를 성능지수와 비교했을 때, 표적의 거리는 16m로 계산되었다. 또한 주어진 외부입력에 대한 영향은 그림 6에서 보는바와 같이 그 값이 2~3m 내외의 거리차를 두는 값으로 분석 되었으며, 이를 표적의 위치 변화와 비교하여 외부입력의 영향과 잡음에 의한 변화여부를 구분하였다.

5. 결론

논문에서는 수중환경에서 음향에 의한 탐지수단인 소나 운용 시 기본적인 요소들의 관계를 면밀히 검토하여 판단하기 어려운 상황에서의 표적 거리를 추정하는 방법을 알아보았다. 제안된 방법은 신호초과량의 최대·최소점을 활용하고, 퍼지 중심-평균 클러스터링 기법을 이용한 곡선의 분리 해석을 통해 표적의 거리, 기동패턴을 추정하는 지능형 기법이다. 불확실성이 높은 수중환경에 대하여 간단하면서도 효율성 있는 추적성능을 보여 주었다.

References

[1] -, *Defense Technical Investigation Paper*, Defense Agency for Technology and Quality, 2007.

[2] S, S, Han, H, K, Kim, "Development tendency for marine surveillance system," *Development tendency of the newest foreign weapon*, vol. 8, Defense Quality Assurance Agency, pp. 4-8, 2011.

[3] H. Cox, *Fundamentals of bistatic active sonar*, In *underwater acoustic data processing*, Kluwer Academic Publishers, London, pp. 3-24, 1989.

- [4] P. H. Richard, *Underwater acoustics: analysis, design, and performance of sonar*, John Wiley and Sons, UK, 2010.
- [5] J. C. Bezdek, *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press, New York 1981.
- [6] C. M. Payne, *Principles of naval weapon systems*, 2nd edn. Naval Institute Press, MD, 2010.
- [7] Son, H. S., Park, J. B., and Joo, Y. H., "SIMM method based on acceleration extraction for non-linear maneuvering target tracking", *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 255-263, 2012.

저 자 소 개



손 현 승 (Hyun Seung Son)

2000년 : 해군사관학교(이학사)
 2007년 : 연세대학교 전기전자공학과
 졸업 (공학석사)
 2010~현재 : 연세대학교
 전기전자공학과 박사과정

관심분야 : Fuzzy, Target Tracking, Sonar System
 Phone : +82-2-2123-3555
 E-mail : ssonhyung@yonsei.ac.kr



박 진 배 (Jin Bae Park)

1977년 : 연세대학교 전기공학과 졸업
 1985~1990년 : Kansas State University
 전기 및 컴퓨터 공학과
 졸업 (공학박사)
 1990~1991년 : Kansas State University
 전기 및 컴퓨터 공학과
 조교수

1992~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수
 2013~현재 : 제어로봇시스템학회 회장
 Phone : +82-2-2123-2773
 E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr



주 영 훈 (Young Hoon Joo)

1982년, 1984년, 1995년 : 연세대학교
 전기공학과 졸업 (공학사, 공학석사,
 공학박사)
 1986~1995년 : 삼성전자 (주) 생산기술
 센터 팀장
 1995년~현재 : 군산대학교 제어로봇
 공학과 정교수

1998~1999년 : 미국 휴스턴대학 박사후과정
 2009년 : 한국지능시스템학회 회장
 2013~현재: 대한전기학회 부회장
 2009~현재: Int. Journal of Control, Robot. and
 Systems, Editor
 Phone : +82-63-469-4706
 E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr