

# 스프라인 곡선 근사에 의한 전자해도의 해안선 데이터 압축에 관한 연구

임정빈\*, 고광섭\*, 홍성래\*\*

A Study On the Coastline Data Compression Using Spline  
Interpolation in Electronic Nautical Chart

*Jeongbin Yim\*, Kwangsoob Ko\*, Seongrae Hong\*\**

〈 목 차 〉

요약

Abstract

1. 서론

2. 압축 이론 배경

2.1 항해실무를 고려한 절점선정

2.2 스피라인 보간의 적용

3. 압축 실험

4. 결론

참고문헌

## 요 약

스프라인 보간을 이용한 새로운 해안선 데이터 압축 방법을 제안하였다. 스피라인 보간에 적용하기 위한 노드는 항해 측면에서 현저한 해안 위치로 정하였다. 그리고, 보간은 긴 곡선 형태의 해안선에만 부분적으로 적용하였다. 여러가지 압축률에 따른 해안선 형태의 변화에 대하여 검토하고, 결과를 제시하였다.

## ABSTRACT

A new coastline data compression method using spline interpolation is proposed. In the view point of navigation, the node points to adopt spline interpolation are selected as conspicuous coast positions. Then the interpolation carried out partly to the long curved coastlines only. Some results for the influence of coastline shape according to various compression ratio are discussed and presented.

\* 해군사관학교 항해학과 교수

\*\* 군사과학대학원 석사과정

## 1. 서 론

전자해도에서 해안선(coastline) 데이터는 가장 기본적이고 중요한 정보이다. 일반적으로 해안선과 같이 복잡한 형태를 점(point)의 집합으로 처리하기 위해서는 많은 수의 데이터가 필요하기 때문에 큰 메모리 용량이 필요하고, 해안선 구성에 긴 처리 시간이 필요하다. 따라서, 적은 수의 데이터로 원래의 해안선 형태를 그대로 유지할 수 있는 해안선 데이터 압축 방법이 필요하다.

현재까지 연구 및 개발된 전자해도에서의 해안선 데이터 압축 방법은, 해안선 데이터의 샘플링 간격을 종이 해도의 축척(scale)에 따라 일정하게 조절하고, 데이터 점 사이를 단순히 직선으로 연결하는 방법이 일반적이다. 그리고, 등간격으로 샘플링한 해안선 데이터 점을 절점(node)으로 하여 다항식의 곡선으로 매끄럽게 연결하는 압축 방법도 제안되고 있다.

이러한 현재까지의 압축 방법들은 항해실무의 고려 없이 단지, 원래 해안선과 압축재생한 해안선 사이의 오차가 최소화되는데 관심을 두고 있다. 그러나, 항해자의 입장에서는 선박위치 결정에 필요한 Cape, Point, Headland, Head 등, 해안선 특징이 현저한 지점이 다른 해안선 위치 보다 중요하기 때문에 이러한 위치의 해안선이 정밀도 높게 재현될 것이 요구된다.

이 연구에서는 항해실무 측면을 우선 고려하여, 해안선 특징이 현저한 위치를 우선 정밀도 높게 재현할 수 있고, 적은 수의 데이터로 구성된 절점 위치에 스프라인 보간을 적용하므로써, 원래 해안선과의 오차를 최소화할 수 있는 새로운 데이터 압축 방법을 제안하였다.

## 2. 압축 이론 배경

### 2.1 항해 실무를 고려한 절점 선정

$M$ 개의 해안선 데이터 점,  $P_j(x, y)$  ( $j=1, 2, \dots, M$ )를 다음 식(1)과 같이 데이터 번호  $j$ 에 대한 일가 함수(one-valued function),  $x=f(y)$ ,  $y=f(x)$ 로 변환한다.

$$\left. \begin{array}{l} x_j = P_j(x) \\ y_j = P_j(y) \end{array} \right\}, (j=0, 1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

여기서,

- $x_j$ : 경도 좌표 값에 대한 일가 함수
- $y_j$ : 위도 좌표 값에 대한 일가 함수
- $j$ : 데이터 번호
- $M$ : 데이터의 수

식(1)의  $x$ 의 요소를  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_M$ 로 나타내고,  $y$ 의 요소를  $y_0, y_1, y_2, \dots, y_M$ 으로 나타내어,  $x$ 와  $y$  요소 사이의 차,  $dx$ 와  $dy$ ,

$$\left. \begin{array}{l} dx_j = x_{j-1} - x_j \\ dy_j = y_{j-1} - y_j \end{array} \right\}, (j=1, 2, \dots, M) \quad (2)$$

를 구한다. 우선,  $dx$ 만을 고려하여 식을 전개하면 다음과 같다.

식(3)과 같이 부호 함수(sign function),  $Sp$ , (positive 부호 함수를 의미)와  $Sn$ , (negative 부호 함수를 의미),

$$\left. \begin{array}{l} Sp_j = +1, Sn_j = 0, \text{ if } \text{Sign}(dx_j) = \text{positive} \\ Sn_j = +1, Sp_j = 0, \text{ if } \text{Sign}(dx_j) = \text{negative} \end{array} \right\},$$

단, ( $j=1, 2, \dots, M$ ) (3)

를 구한다.  $Sp_j$ 를 조사하여,  $Sp_j$ 가 영(zero)을 포함하지 않고 연속하여 +1을 갖는 부분 구간,  $[a, b]$ 를 찾는다. 그리고,  $b$  지점에서의 데이터 번호  $j$ 에 대한 부호누적수,  $ACp_j$ 를 다음 식(4)와 같이 구한다.

$$ACp_j = \begin{cases} \sum_{m=a}^b Sp_m, \\ (Sp_a = Sp_{a+1} = \dots = Sp_b = +1) \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

식(4)와 동일한 방법으로, 식(3)에서 구한  $Sn_j$ 를 조사하여,  $Sn_j$ 가 영(zero)을 포함하지 않고 연속하여 +1을 갖는 부분 구간,  $[c, d]$ 를 찾는다. 그리고,  $a$  지점에서의 데이터 번호  $j$ 에 대한 부호누적수  $ACn_j$ ,

$$ACn_j = \begin{cases} \sum_{m=c}^d Sn_m, \\ (Sp_c = Sp_{c+1} = \dots = Sp_d = +1) \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

를 구한 후, 식(4)과 식(5)을 더하여 이 값을 경도 일가 함수에 대한 총 부호누적수  $ACx_j$ ,

$$ACx_j = ACp_j + ACn_j, \quad (6)$$

로 한다. 다음에는, 식(2)의  $dy_j$ 에 대하여 위의 식(3)에서 식(6)까지의 과정을 반복하여 위도 일가 함수에 대한 총 부호누적수  $ACy_j$ ,

$$ACy_j = ACp_j + ACn_j, \quad (7)$$

를 구하고, 식(6)의  $ACx_j$ 와 식(7)의  $ACy_j$ 를 더하여 경위도 일가 함수에 대한 전체 부호누적수  $AC_j$ ,

$$AC_j = ACx_j + ACy_j, \quad (8)$$

로 한다.

식(8)의  $AC_j$ 를 조사하므로써,  $x_j$ 와  $y_j$ 의 극값(extreme value)을 동시에 구할 수 있다.

다음에는,  $AC_j$  요소 중에서 제일 큰 값부터 작은 값에 대한 데이터 번호  $j$ 를 순서대로 구하기 위하여,  $AC_j$ 를 요소로 하는 수열,  $ACS$ 를 다음 식(9)과 같이 나타낸다.

$$ACS = \{AC_j\}_{j \in J}, \quad (j = 1, 2, \dots, M) \quad (9)$$

$J$ : 첨자 집합으로서,  $J = \{1, 2, \dots, M\}$ .

그리고, 다음 식(10)과 같이 경계값  $C_{node}$ 를 도입하여  $AC_j$ 가  $C_{node}$  이상인 값만을  $ACS$ 로 한다.

$$AC_j > C_{node} \quad (10)$$

다음에는  $C_{node}$  이상의  $AC_j$ 로 구성된  $ACS$ 에서,  $AC_j$ 의 값이 큰 것부터 작은 순서대로 선택하여 절점 수열의 후보  $ACS_{node}$ ,

$$ACS_{node} = \{AC_i\}_{i \in I} \quad (11)$$

$I$ : 첨자의 집합으로서,  $I = \{1, 2, \dots, M\}$

$N$ : 절점 수

를 만든다.

여기서, 식(9)의  $AC_j$ 를 식(11)의  $AC_i$ 로 선택하는 관계를 다음 식(12)과 같이 표현하고,

$$j = f(i) \quad (12)$$

$f(i)$ 를 선택 함수라 한다. 선택 함수  $f(i)$ 는  $i$  번째의 절점으로서, 원래 수열에서 몇 번째 요소를 선택할 것인가를 나타낸다.  $f(i)$ 를 이용하여 원래 해안선의 경위도 위치 함수,  $P_j(x, y)$ 로부터 새로 구성할 절점 위치 함수,  $P_i(x, y)$ 를 다음 식(13)과 같이 나타낸다.

$$P_i = P_{f(i)}^i \quad (13)$$

식(13)에서,  $P_{f(i)}^i$ 의 위 첨자  $i$ 는 절점 수열 후보의 순위를 나타내고, 아래 첨자는  $j=f(i)$ 에 대한  $P_j(x, y)$ 가 선택됨을 나타낸다.

위의 식(1)에서 식(13)까지가 해안선의 형태가 현저한 위치를 절점으로 선정하기 위한 과정이다.

그리고,  $M$ 개의 원래 해안선 데이터를  $N$ 개의 절점으로 재구성한 해안선 데이터의 압축률,  $CR$ (Compression Ratio의 의미)은 다음 식(14)과 같이 정규화된 압축률(%)로서 나타냈다.

$$CR = \frac{M-N}{M} \times 100(\%), \quad (M > N) \quad (14)$$

또한, 원래 해안선에 대하여  $N$ 개의 절점으로 압축하여 재구성한 해안선의 근사 오차  $E$ 는 다음 식(15)와 같이  $x-y$  좌표에서의 공간 거리로서 계산하였다.

$$E = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \sqrt{(x_j - x_j')^2 + (y_j - y_j')^2} \quad (15)$$

$x_j$ 와  $y_j$  : 원래 해안선 데이터의 좌표 값

$x_j'$ 와  $y_j'$  : 보간한 해안선의 좌표 값

## 2.2 스프라인 보간의 적용

$M$ 개의 원래 해안선 데이터에서  $N$ 개 ( $M > N$ )로 압축한 데이터 점 사이는 3차 스프라인 함수를 이용한 보간과 직선 연결을 혼합 적용하였다. 해안선 데이터 압축에 적용하기 위한 스프라인 보간 이론을 고찰하면 다음과 같다[3].

실수 축을,  $-\infty = t_0 < t_1 < \dots < t_n < t_{n+1} = \infty$  과 같이  $(n+1)$ 개의 구간으로 분할할 때, 다음의 조건을 만족하는  $S(x)$ 를  $p$ 차의 스프라인 함수라고 한다.

조건 1). 각 구간  $[t_i, t_{i+1}]$  ( $i=0, 1, 2, \dots, n$ )에서  $S(x)$ 는  $p$ 차 또는, 그 이하의 함수이다.

조건 2).  $S(x)$ 의  $(p-1)$ 차까지의 도함수는 전구간에서 연속이다.

여기서,  $t_1, t_2, \dots, t_n$ 을 스프라인 함수의 절점(node)이라 한다. 일반적으로,  $(n+1)$ 개의 전구간을 1개의 다항식을 이용하여 근사하게 되면, 변화가 작은 영역에서의 근사 정밀도는 낮게 된다. 그러나, 스프라인 함수를 이용하게 되면, 구간마다 서로 다른 다항식을 이용하여 근사하기 때문에 변화가 작은 영역에서도 근사 정밀도는 높게 된다.

$a = x_0 < x_1 < \dots < x_m = b$ 로 주어진  $[a, b]$ 구간에서,  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_m$  ( $x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_m$ )에 대한 함수 값,  $y_j = f(x_j)$  ( $j=0, 1, 2, \dots, m$ )가 주어졌을 때,  $S(x_j) = f(x_j)$ 를 만족하는 스프라인 함수  $S(x)$ 를 구하는 문제를 스프라인 보간이라 한다.

이 연구에서는 기존의 스프라인 함수를 이용한 곡선 근사 연구[1,2]등을 참고하여 3차의 스프라인 함수를 보간에 적용하였다.

그리고, 식(16)과 같은 경계 값,  $C_{Spline}$  을 도입하여,

$$AC_i > C_{Spline} \quad (16)$$

$C_{Spline}$  이상의 값  $AC_i$ 에 대한  $i$ 에서의 위치 함수,  $P_i$ 와  $P_{i-1}$  사이는 3차 스피라인 보간을 적용하고, 그 외의 절점 사이는 직선으로 연결하였다. 또한,  $P_i$ 와  $P_{i-1}$  사이에 스피라인 보간을 적용하기 위하여  $P_i$ 와,  $P_{i-1}$  위치 사이의 2등분 위치 즉,  $\frac{f(i)+f(i-1)}{2}$ 에 대한  $P_i(x, y)$ 를 새로운 절점으로 추가하였다.

이와 같이 절점 구간을 분리하는 이유는, 부호 누적 수,  $AC_i$ 가  $C_{Spline}$  이상인 부분 즉, 절점 사이의 공간 거리가 긴 부분에는 스피라인 보간을 적용하고, 그외의 절점 사이는 직선으로 연결하므로써, 스피라인 보간에 요구되는 시간을 가능한 줄이기 위한 것이다.

### 3. 압축 실험

실험에 사용한 해안선 데이터는, 진해만

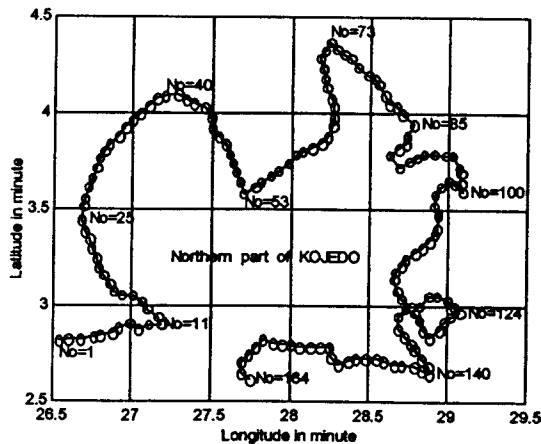


그림1. 164샘플 데이터의 재구성(거제도 북부 해안선)

(Chinhae Bay)의 한국 해도 No.204에서, 위도 35-02.82N, 경도 128-26.54E에서 위도 35-02.62N, 경도 128-27.75E에 형성되어 있는, 거제도 북부 해안선을 0.05'(=3")의 등간격으로 164점 샘플링한 후, 수치화한 데이터를 사용하였다.

그림 1은, 그림 1의 실험 장치를 이용하여 얻은 164개의 해안선 데이터 점 사이를 단순히 직선으로 연결하여 구성한 해안선이다(이하 원래 해안선이라 한다). 여기서, 'o'으로 표시한 위치는 164개의 경위도 데이터 각각의 위치를 나타낸다. 그림 1의 경위도 단위는, '도-분(degree-minute)'에서 '도(degree)'를 제외할 분(minute)만을 나타낸 것이다.

그림 1의 원래 해안선은 다양한 형태를 갖고 있다. 이러한 형태에서, 완만한 곡선이나 직선이 끝나는 돌출 부분, 곡각진 부분 등이 항해에서 위치 기점으로 사용되는 현저한 지형으로 고려할 수 있다. 그림에 표시한 데이터 번호, 11, 25, 40, 53, 73, 85, 100, 124, 140 등이 그 예이다.

그림 2는,  $C_{node} = 2$ ,  $C_{spline} = 4$ 로 했을 때 계산된 절점 위치,  $P_i(x, y)$ 를 그림 1의 원래 해

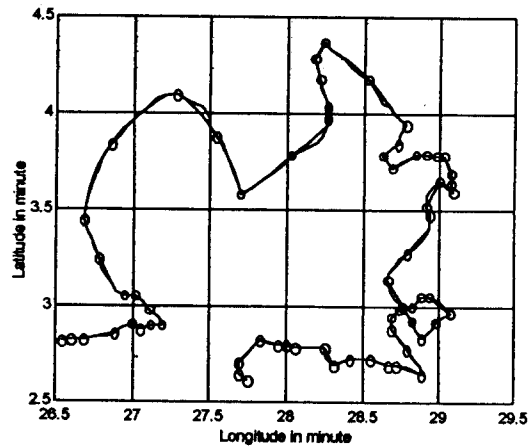


그림2. 이 연구에서 제안한 방법으로 재구성한 해안선(원래 해안선에 겹쳐서 표시)



법은, 적은 수의 데이터로서 현저한 해안선의 위치 정밀도가 높은 전자해도 제작에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

앞으로 이 연구는, 우리 나라 전역에 대한 디지털 해도의 해안선을 정밀도 높게 재현하기 위한 실용화 연구가 지속적으로 필요하다.

## 참고문헌

- [1] H. Wake and S. Takaoka, "On the Display Method of Electronic Chart," *J. Navigation Soc. of Jpn.*, Vol.79, pp.47~53, 1988.
- [2] N. Ishimura, "A Study On the Point Reduction in Digital Maps-1," *J. Navigation Soc. of Jpn.*, Vol.68, pp.129~137, 1983.
- [3] Erwin Creyszing, *Advanced Engineering Mathematics*, Fifth Ed., Vol.2, pp.781~785, John Wiley and Sons, 1983.
- [4] 임정빈외 1인 "디지털 해도의 데이터 압축에 관한 연구," 해군해양연구소 97년도 최종연구보고서, 1997. 12.
- [5] 임정빈외 2인, "현저한 해안 위치를 절점으로 선정하는 디지털 해도에서의 해안선 데이터 압축," 해양안전학회 제4권, 제1호, pp.13~20, 1998. 1.