

프랙탈에 기초한 해저지형의 보간

이현식* · 박동진** · 진강규†

*국방기술품질원 선임연구원, **한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자통신공학부 교수

Fractal-Based Interpolation of Sea Floor Terrains

Hyun-Shik Lee* · Dong-Jin Park** · Gang-Gyoo Jin†

*Defense Agency for Technology and Quality, Busan 641-160, Korea

**Graduate School of KMU, Busan 606-791, Korea

† Division of Computer, Control and Electronic Communications Engineering, KMU, Busan 606-791, Korea

요 약 : 저해상도 3D 해저 디지털 지형 모형(Digital terrain model: DTM)의 이미지를 컴퓨터 화면에 확대 표시할 때 데이터가 없는 픽셀은 인위적으로 보간해서 표시할 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 기존의 선형 보간법의 문제점을 개선하기 위해 저해상도 DTM으로부터 지형정보를 추출하고 이로부터 보간하는 방법을 다룬다. 이를 위해 DTM을 다수의 패치로 분할하고 프랙탈 이론(Fractal theory)을 이용하여 프랙탈 차원을 추정하고, 추정 정보와 원래의 데이터를 근간으로 패치 지형을 Midpoint Displacement법으로 보간하고, 보간된 이미지의 국부적인 기복을 완화해 자연스런 해저지형을 만들기 위해 미디언 필터(Median filter)를 이용한다. 가상의 프랙탈 지형 맵을 이용하여 제안된 알고리즘의 그 유효성을 검증한다.

핵심용어 : 프랙탈 이론, 해저지형, 보간, Midpoint Displacement법

Abstract : In this paper, we presents an algorithm which generates its high-resolution DTM using a low-resolution DTM of the sea floor terrain and fractal theory. The fractal dimension of each patch region divided from the DTM is extracted and then with this information and original data, each cell region in the patch is interpolated using the midpoint displacement method and a median filter is incorporated to generate natural and smooth sea floor surface. The effectiveness of the proposed algorithm is tested on a fractal terrain map.

Key words : fractal theory, sea floor terrain, interpolation, midpoint displacement method

1. 서 론

최근 해양자원의 탐사와 해난구조의 중요성이 인식되면서 탐사선, 드릴선, AUV의 사용이 늘고 있으며 또한 수중 군사 작전의 중요성이 부각되면서 잠수함을 이용한 작전 수행이 빈번해지고 있다. 해당 지역을 안전하면서도 효과적으로 탐사하고 또 주어진 임무를 성공적으로 완수하기 위해서는 사전에 정확한 지형을 파악하는 것이 필수적이다, 이를 위해 선진국들은 자국의 항만이나 주요 항로, 연안의 해저지형, 암초의 위치와 모양 등을 규명하는 조사를 실시해 왔을 뿐만 아니라 이해관계가 있는 해역의 자원을 탐사하기 위하여 해저지형을 조사하고 이를 이용해 해저 디지털 지형 모형(Digital terrain model: DTM)을 구축해 왔다(국립해양조사원, 2009).

해저지형의 측심은 주로 음향측심기(수심측정기)에 의존하고 있으며, 음향측심기는 10~200kHz의 초음파를 해저로 발사하여 반사파의 되돌아오는 시간을 측정하여 수심을 재는 원리를 이용한다. 최근에는 음향탐지 기술의 급속한 발달로 송·수신 범위

안에서 해저 횡단면을 동시에 측정할 수 있는 다중빔 음향측심기가 개발되어 탐사선이 이동하면서 다중음향신호를 발사하고, 이를 다시 수신함으로써 DTM을 구축하게 된다.

해양은 지구 표면적의 70% 이상을 차지할 만큼 넓고 방대하고 또 선박을 이용한 탐사는 많은 비용과 시간을 필요로 하므로 대개 수 미터 또는 수십 미터의 해상도로 측정하게 되는 경우가 있어 당연히 해상도가 낮은 DTM을 만들 수밖에 없다. 이 경우에 DTM 이미지를 축소하여 컴퓨터 화면에 표시하면 한 픽셀에 여러 개의 지형정보(수심)가 사상(Mapping)되긴 해도 별 문제가 되지 않지만, 반대로 관심 지역이 좁아 이미지를 확대할 경우에는 데이터가 없는 픽셀에는 인위적으로 보간해서 표시할 수밖에 없다.

전통적인 방법은 인접 픽셀간의 정보를 근간으로 새로운 픽셀 값을 선형 보간(Interpolation)하게 되는데 이 경우에는 화면이 불투명하고 부예지는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이미지 확대 시 더 현실성 있는 지형을 보여주기 위해서는 해당 지형의 특성을 추출해서 이를 사용하는 것이 필요하다.

* 대표저자 : 이현식(정회원), tino29@empal.com 011-570-4924

** 정회원, puredongjin@hotmail.com 051)403-7797

† 교신저자 : 진강규(정회원), ggjin@hhu.ac.kr 051)410-4341

Mandelbrot(1967)는 지형, 강, 구름, 나무 등과 같은 자연현상들이 불규칙하게 보이지만 그 안에 어떤 법칙과 규칙성이 내재되어 있음을 착안하여 기하학적 복잡성을 정량적으로 표현할 수 있는 프랙탈 이론과 프랙탈 차원(Fractal dimension: FD)을 제안하였다. FD는 우리가 직관적으로 느끼는 지형의 기복 양상과 밀접한 연관성을 갖기 때문에 그 기복 정도를 측정하는 합리적인 도구로 사용되어 왔다. 이와 관련하여 프랙탈 이론을 질감 이미지(Jin et al., 1995), 파도(Paramanathan and Uthayakumar, 2008), 야지(Huajun et al., 2004)에 적용하여 FD를 추정하는 연구와 단순 수식을 사용하여 이미지를 보간하는 Lambert Shading법(Pokorny, 1994), 셀과 셀사이의 오프셋(Offset)을 이용하여 보간하는 법(Pumar, 1996), 지형의 FD를 추정하고 이를 기반으로 보간하는 법(Yokoya and Yamamoto, 1989; Arakawa and Krotkov, 1996) 등의 연구가 제안되었다. 이와 같이 지형정보 추출에 프랙탈 이론을 이용하는 예를 찾아볼 수 있으나, 대부분 육상지형에 국한되어 있다. 따라서 본 연구에서는 해저지형을 대상으로 하여 해저지형 DTM 이미지를 확대할 때 프랙탈 이론으로 지형의 FD와 표준편차를 추정하고 추정된 정보와 Midpoint displacement법(Saupe, 1988)으로 이미지를 보간한다. 한편 해저지형은 침식, 운반, 퇴적작용 등으로 육상지형에 비하여 국부적인 기복이 적고, 경사가 완만한 특징이 있으므로 보간된 이미지의 국부적인 기복을 완화하도록 미디언 필터(Median filter)를 이용한다. 제안한 방법은 가상의 프랙탈 DTM에서 그 유효성을 검증한다.

2. 해저지형의 해석

2.1 DTM의 분할

본 연구에서는 음향측심기로부터 계측된 수심 데이터를 전처리하고 생성한 저해상도 DTM이 주어진다고 가정하였다. Fig. 1은 3D 해저 DTM 이미지의 한 예를 보여준다.

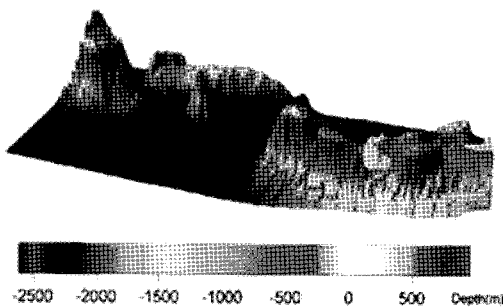


Fig. 1 A 3D sea floor DTM

DTM은 횡단면으로 같은 크기의 다수의 셀(Cell)로 분할되고, 각 셀은 위치 정보 (x, y)와 수심 정보 z를 포함하고 있다. 편의상 DTM은 Fig. 2(a)와 같이 동일한 크기의 여러 개의 정사각형, 즉 패치(Patch)로 분할되고 패치는 Fig. 2(b)와 같이 n×n 셀로 구성된다. 이 때 셀의 크기는 DTM의 해상도를 의미한다.

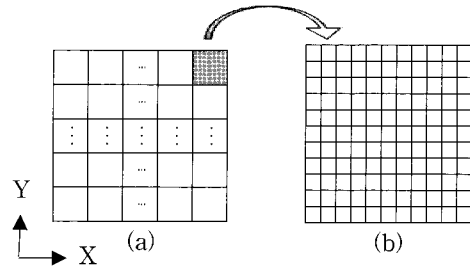


Fig. 2 Transverse section of a DTM and its patch

2.2 프랙탈 차원

Mandelbrot(1967)가 제안한 프랙탈 구조는 부분이 전체와 비슷한 형태로 끝없이 되풀이되기 때문에 자기유사성(Self-affinity)과 순환성(Recursiveness)을 그 특징으로 하고 있다. Fig. 3은 주위에서 흔히 볼 수 있는 프랙탈 구조의 예를 보여준다.

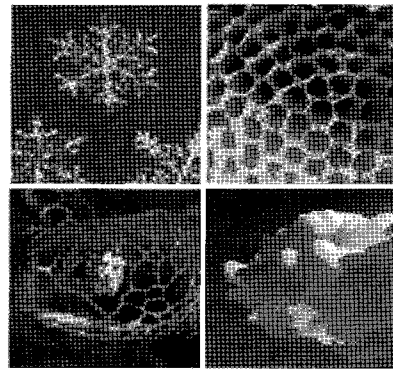


Fig. 3 Natural fractal shapes

프랙탈을 정의하기 위해 고전(유클리드) 기하학에서 빌려온 유용한 개념 중 하나가 차원이다. 유클리드 기하학에서는 차원이 다른 도형을 축소하거나 확대하면 그 크기가 각각 달라진다. 가령 1차원에서 하나의 선분을 m등분하면 원래 길이의 1/m 배인 선분이 m개가 생기고, 2차원에서 정사각형의 각 변을 m등분하면 변이 1/m배 줄어든 자기 유사도형(작은 사각형) m²개가 생긴다. 마찬가지로 3차원에서 정육면체의 각 변을 m등분하면 변이 1/m배 줄어든 자기 유사도형(작은 정육면체) m³개가 생긴다.

이로부터 등분수 m (또는 축소율 r= 1/m)과 유사도형의 수 N과 차원 D와의 관계는 다음 식으로 쓸 수 있고

$$N = m^D = (1/r)^D \quad (1)$$

즉, 차원 D는 다음 식으로 주어진다.

$$D = \log(N)/\log(m) = \log(N)/\log(1/r) \quad (2)$$

이것을 일반화시켜 앞서 설명한 직선, 정사각형, 정육면체와 같은 단순 도형이 아닌 복잡한 도형에 적용하여 FD를 구할 수 있다. 프랙탈 기하학의 핵심은 도형의 특징을 비정수(Non-integer) 차원이라는 개념으로 인식한다는 것이며, FD가 커질수

록 도형이 복잡해지고 거칠어진다는 사실이다. 하지만 프랙탈 도형이 속한 유클리드 차원보다는 크지 않는 특징을 가지게 된다.

자기 유사성을 갖는 프랙탈 도형으로는 여러 가지가 있지만 대표적인 것이 Koch의 눈송이 도형이다. Fig. 4(a)의 직선을 3등분한 다음 중간 선분을 없애고 여기에 같은 길이의 두 변을 정삼각형 모양으로 연결하면 Fig. 4(b)의 도형을 만들 수 있고, Fig. 4(b)의 각 선분에 이 과정을 반복하면 Fig. 4(c)를 만들 수 있다. Fig. 4(b)와 Fig. 4(c)의 경우 각각 $N=4$, $m=3$ 이고, $N=16$, $m=9$ 이므로 Koch의 눈송이 도형은 $D = \log(4)/\log(3) = \log(16)/\log(9) = 1.26$ 의 차원이 된다. 여기서 알 수 있는 것은 이 도형은 유클리드 기하학의 1차원과 2차원 사이의 공간에 속한 도형으로 인식되며, 선분을 축소하거나 확대하더라도 또 전체 중에 부분을 취하더라도 FD는 같다는 사실이다.

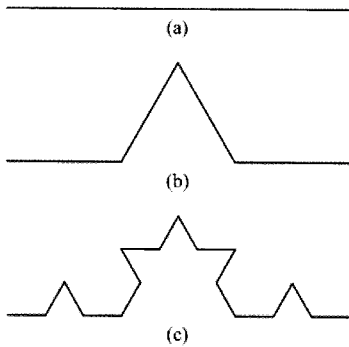


Fig. 4 Koch's snowflake curve

2.3 FD의 추출

프랙탈 기하학은 유클리드 기하학으로는 다루기 어려운 불규칙적이고 비예측성 형상을 가지는 자연현상을 더 잘 기술할 수 있기 때문에 그 응용분야는 공학, 건축, 예술, 컴퓨터 그래픽 등 다양하다. 특히 FD는 우리가 직관적으로 느끼는 해저 지형의 기복 양상과 밀접한 연관성을 갖기 때문에 기복 정도를 측정하는 합리적인 도구로 사용될 수 있다.

지형의 FD를 추정하는 대표적인 방법으로는 Box-counting 법, ϵ -blanket법, Spectral 해석법과 프랙탈 브라운 함수 접근법 등이 있으며(Saupe, 1988), 본 연구에서는 프랙탈 브라운 함수를 이용한다(Pentland, 1984). 프랙탈 브라운 함수 $f(q)$ 는 식 (3)을 만족한다.

$$P\left\{\frac{f(q+\Delta q) - f(q)}{\Delta d^H} < t\right\} = F(t) \quad (3a)$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_B}} \exp\left(-\frac{s^2}{2\sigma_B^2}\right) ds \quad (3b)$$

여기서 $q = (x_i, y_j) \in \mathbb{R}^2$ 와 $q+\Delta q = (x_i+\Delta x_i, y_j+\Delta y_j) \in \mathbb{R}^2$ 는 X-Y 평면상의 두 점, $\Delta d = \|\Delta q\| = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_j^2}$ 는 두 점간의 거리, H는 0과 1 사이에서 값을 가지는 자기유사성 상수(Self-affinity

parameter), $F(t)$ 는 $N(0, \sigma_B^2)$ 을 따르는 확률변수 T의 누적분포 함수이다. $f(q+\Delta q) - f(q)$ 는 통계적으로 자기유사성을 가지는 함수로서 Δd 에 대하여 평균을 취하면 다음 식을 얻을 수 있다 (Pentland, 1984).

$$E\{|f(q+\Delta q) - f(q)|\} = \Delta d^H C \quad (4)$$

여기서 $C = 2\sigma_B / \sqrt{2\pi}$ 로 정의되는 상수이다.

식 (4)를 log-log 공간으로 변환하면 선형 식으로 표현할 수 있다.

$$\log E\{\Delta z_{\Delta d}\} = \log C + H \log \Delta d \quad (5)$$

여기서 $\Delta z_{\Delta d} = |f(q+\Delta q) - f(q)|$ 로 정의되고, $E\{\Delta z_{\Delta d}\}$ 는 Fig. 5와 같이 패치 중심점의 수심과 원의 중심으로부터 스케일 Δd 원주상의 수심 차이의 절대치를 평균한 값이다. 이 때 원과 원 사이에 위치하는 점들은 더 가까운 쪽으로 포함시켜 계산할 수 있다.

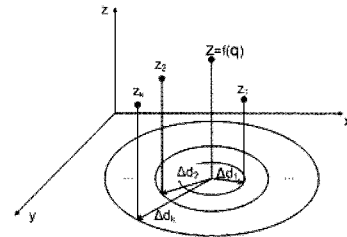


Fig. 5 Calculations of $E\{\Delta z_{\Delta d}\}$

식 (5)는 H에 대해 1차 선형 방정식으로서 최소자승법으로 H를 구할 수 있다. k가 1에서 $L = n/2$ 까지 변하는 동안의 Δd 를 Δd_k , $E\{\Delta z_{\Delta d}\}$ 를 z_k 라 하면 L개의 데이터 쌍과 식 (5)로부터 행렬-벡터 방정식을 얻을 수 있다.

$$z = Ax + \epsilon \quad (6a)$$

여기서

$$z = \begin{bmatrix} \log z_1 \\ \log z_2 \\ \vdots \\ \log z_L \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^L, \quad x = \begin{bmatrix} \log C \\ H \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^2, \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_L \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^L,$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \log \Delta d_1 \\ 1 & \log \Delta d_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \log \Delta d_L \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{L \times 2} \quad (6b)$$

ϵ 는 오차벡터로서 원소들은 서로 독립이다. 오차를 최소화하는 계수 벡터 x 를 추정하기 위해 평가함수 J를 식 (7)과 같이 정의하면

$$J = \epsilon^T \epsilon = (z - Ax)^T (z - Ax) \quad (7)$$

$A^T A$ 의 역행렬이 존재하는 경우에 $\partial J / \partial x = 0$ 을 만족하는 추정치는 다음과 같게 된다.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T z \quad (8)$$

이로부터 자기유사성 상수 $H = x_2$ 와 $\sigma_B = \sqrt{\frac{\pi}{2}} 10^{x_2}$ 를 구할 수 있으며, 지형면의 경우에 FD는 다음과 같이 계산된다 (Saupe, 1988).

$$D = 3 - H \quad (9)$$

여기서 구한 H (또는 D)와 σ_B 는 다음 절에서 다룰 지형 보간 알고리즘에 사용된다.

3. 지형의 보간과 필터링

3.1 지형의 보간

주어진 저해상도 DTM으로부터 패치를 나누고 해당 패치의 지형정보, 즉 H (또는 D)와 σ_B 를 얻게 되면 이로부터 고해상도 지형 이미지를 합리적으로 만들어내는 것이 가능하다. Fig. 6(a)는 원래의 셀을, Fig. 6(b)는 초기 4점의 수심 값을 이용하여 2배의 해상도로 보간된 예를 보여준다. 여기서 흰색이 새로 만들어진 수심을 뜻한다.

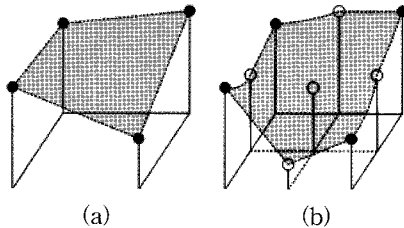


Fig. 6 Cells before and after interpolation

본 연구에서는 DTM의 값들이 등간격으로 배열되어 있다는 가정 하에 다음 2가지 조건이 만족하도록 보간한다:

- 1) 각 셀의 4모서리 수심은 원래의 값으로 유지된다.
- 2) 보간된 이미지는 국부적으로 기복이 완만하다.

인위적으로 프랙탈 지형을 만들어 내는 알고리즘으로는 Midpoint displacement법, Interpolated points법, Fourier filtering법 등(Saupe, 1988)이 있다. 본 연구에서는 Midpoint displacement법의 한 형태인 Square diamond midpoint displacement법을 조건 1)이 만족하도록 수정하여 이용하였다.

이 방법은 Fig. 7(a)와 같이 4점을 갖는 사각형으로부터 시작하며, 다음 두 단계로 동작한다. 첫번째 단계는 사각형의 4 모서리의 수심 값의 평균을 취하고 적절한 범위 내에서 발생된 난수를 더해 두 대각선이 만나는 지점(사각형의 중점)의 수심을 발생시킨다. 이 결과 도형은 Fig. 7(b)와 같은 다이아몬드 모양이 되므로 Diamond step이라고도 한다. 두번째 단계는 Fig.

7(c)와 같이 인접한 모서리의 두 값으로부터 평균을 취해 여기에 같은 범위 내에서 발생된 난수를 더해 수심을 만든다. 이 결과로 4개의 작은 사각형이 만들어지므로 이를 Square step이라 한다. 각 사각형에 앞의 두 단계를 반복하면 Fig. 7(d)-(e)를 얻게 된다.

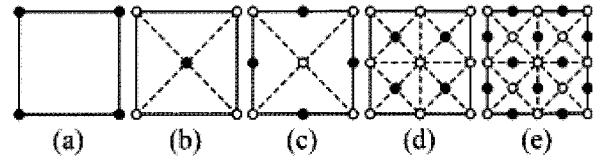


Fig. 7 Square diamond midpoint displacement method

다음 Fig. 8은 앞서 설명한 알고리즘을 요약 정리한 것이다.

```

Start with a square with the 4 given vertices, m,
H(or D)and  $\sigma_B$ ;
Factor=  $\sigma_B$ ;
For I= 1 to m do
{
Repeat over each set of 4 vertices
{
Vertex= Average(Vertices);
Vertex= AddRandom(Vertex, Factor);
Midpoints= FindMidPoint(Vertices);
Midpoints= AddRandom(Midpoints);
}
Factor=  $2^{-(H/2)} * \text{Factor}$ ;
}
    
```

Fig. 8 Square diamond midpoint displacement algorithm

3.2 필터링

앞서 간단히 언급하였듯이 해저지형은 해안면, 대륙붕, 대륙 사면, 심해저, 해구 등에 따라 다양한 모양을 가지겠지만, 오랜 기간동안 침식, 운반, 퇴적작용 거치면서 육상지형에 비하여 국부적인 기복이 적고, 경사가 완만한 편이다. Midpoint displacement법은 보간할 때 난수를 사용하기 때문에 이로 인해 국부적인 기복 현상이 만들어질 수 있다. 따라서 조건 2)를 만족하는 자연스런 해저지형을 만들기 위해 구현이 간단하면서도 효과적인 미디언 필터(Median filter)를 사용한다(Median, 2009).

미디언 필터는 윈도우의 형태에 따라 수평형, 수직형, 교차형, 블록형, X자형 등으로 구분되며, 일례로 윈도우 크기(Window size)가 3인 2D 미디언 필터는 Fig. 9와 같이 (i,j) 셀과 그 주변 8-이웃 셀의 수심 값들을 취해 오름 또는 내림차순으로 정렬하고 그 중앙값을 택하는 방식으로 동작한다. 일반적으로 필터 윈도우 크기는 홀수 값(3, 5, 9,...)을 취하며, 클수록 더 완만한 모양이 되므로 연산부담을 고려해서 적절히 선택할 필요가 있다.

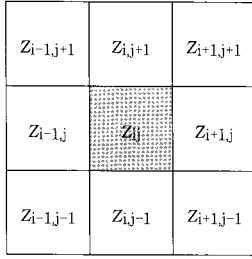


Fig. 9 3×3 mask of the depth map

4. 시뮬레이션

제안된 기법의 유효성을 검증하기 위하여 모의실험을 실시하였다. Fig. 10은 프랙탈 DTM을 보여주며 128×128 셀로 구성된다. 셀의 크기(해상도)를 2m×2m로 간주하였고 전체 지역은 256m×256m를 커버한다. 이 지형의 최저 수심은 $z_{min} = -8.53m$, 최고 수심은 $z_{max} = -11.78m$, 평균 수심은 $z_{ave} = -10.10m$ 이다. 한편 패치의 크기는 9×9셀로 간주하였다.

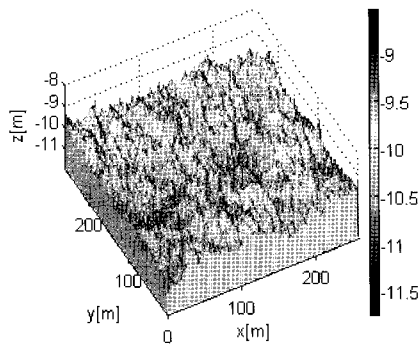


Fig. 10 A fractal DTM

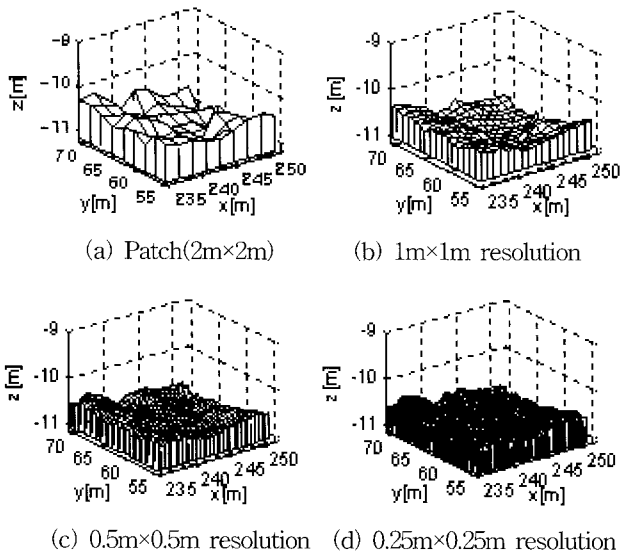


Fig. 11 A patch and reconstructed patches

Fig. 11(a)는 맵으로부터 패치 하나를 임의로 선택하고 그린 것이다. 선택된 패치 지형의 최저 수심은 $z_{min} = -10.32m$, 최고

수심은 $z_{max} = -11.26m$, 평균 수심은 $z_{ave} = -10.75m$ 이다. 식 (8)-(9)로부터 패치 지형의 정보를 추정 한 결과 $H = 0.56$ (또는 $D = 2.44$), $\sigma_B = 0.11$ 이었다. 따라서 패치내의 각 셀은 4코너의 수심, D , σ_B 와 Fig. 8의 알고리즘으로 보간하였고 미디언 필터를 사용하여 국부적인 기록을 완화시켰다. Fig. 11(b)-(d)는 각 해상도 1m, 0.5m, 0.25m로 보간한 결과를 보여준다.

유사한 방법으로 DTM으로부터 패치 하나를 임의로 선택한 것이 Fig. 12(a)이다. 선택된 패치 지형의 최저 수심은 $z_{min} = -8.95m$, 최고 수심은 $z_{max} = -10.65m$, 평균 수심은 $z_{ave} = -9.61m$ 이다.

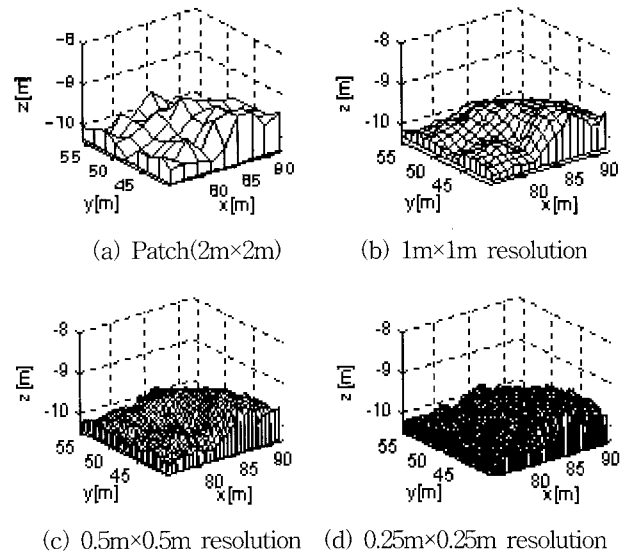


Fig. 12 A patch and reconstructed patches

이 패치 지형의 D 를 추정 한 결과 $H = 0.45$ (또는 $D = 2.55$), $\sigma_B = 0.37$ 이었다. 따라서 패치내의 각 셀은 4모서리의 수심 정보와 위의 알고리즘으로 보간하였다. Fig. 12(b)-(d)는 각 해상도 1m, 0.5m, 0.25m로 보간된 결과를 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 저해상도의 3D 해저 DTM으로부터 지형정보를 추출하고 이로부터 고해상도의 이미지를 보간하는 문제를 다루었다. 프랙탈 차원은 프랙탈 이론을 이용하여 추정하고, 이미지의 보간은 Midpoint Displacement Method를 사용하였고, 자연스런 해저지형을 만들기 위해 미디언 필터를 사용하였다. 가상의 프랙탈 DTM을 이용하여 제안된 알고리즘의 그 유효성을 검증한 결과 그 가능성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

[1] 국립해양조사원(2009), "http://www.nori.go.kr".
 [2] Arakawa, K. and Krotkov, E.(1996), "Fractal Modeling

- of Natural Terrain: Analysis and Surface Reconstruction with Range Data”, Graphical Models and Image Processing, Vol. 58, No. 5, pp. 413-436.
- [3] Huajun, L., Jingyu, Y., and Chunxia, Z.(2004), “A Generic Approach to Rugged Terrain Analysis Based on Fuzzy Inference,” Proc. of the 8th Int. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision, pp. 1108-1113.
- [4] Jin, X. C., Ong, S. H., and Jayasooriah(1995), “A Practical Method for Estimating Fractal Dimension”, Pattern Recognition Letters, Vol. 16, pp. 457-464.
- [5] Mandelbrot, B.(1967), “How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension”, Science, Vol. 156, No. 3775, pp. 636-638.
- [6] Median filter, MATLAB sources(2009), http://www-mmdb.iai.uni-bonn.de/lehre/BIT/ss03_DSP_Vorlesung/matlab_demos/index.html.
- [7] Paramanathan, P. and Uthayakumar, R.(2008), “An Algorithm for Computing the Fractal Dimension of Waveforms”, Applied Mathematics and Computation, Vol. 195, pp. 598-603.
- [8] Pentland, A.(1984), “Fractal-Based Description of Natural Scenes”, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 6, no. 6, pp. 661-674.
- [9] Pokorny, C.(1994), Computer Graphics an Objected-Oriented Approach to the Art and Science, Franklin, Beedle & Associates Inc., Wilsonville, Oregon.
- [10] Pumar, M. A.(1996), “Zooming of Terrain Imagery Using Fractal-Based Interpolation”, Comput. & Graphics, Vol. 20, No. 1, pp. 171-176.
- [11] Saupe, D.(1988), Algorithms for Random Fractals, The Science of Fractal Images, In H. -O. Peitgen and D. Saupe, Editors, Springer-Verlag.
- [12] Yokoya, N. and Yamamoto, K.(1989), “Fractal-Based Analysis and Interpolation of 3D Natural Surfaces and Their Application to Terrain Modeling”, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol. 46, pp. 284-302.

원고접수일 : 2009년 7월 16일
심사완료일 : 2009년 8월 28일
원고채택일 : 2009년 8월 31일