

토지정보관리체계의 수치지형정보에 활용되는
보간법에 대한 비교연구
The Survey of Interpolation Methods for the Digital
Terrain Model in the Geographic Information System

이 규 석* 이 환 응**
Kyo-seock Lee* Hwan-yong Lee**
서 혜 진***
Hye-jin Seo***

要 旨

토지정보관리체계에 있어서 지형표고를 나타내는 수치지형정보는 각종 계산 및 출력을 위하여 큰 간격으로 추출된 원래자료로부터 조밀한 자료로 바꾸어 주어야 할 필요가 있다. 이때 보간법을 사용하게 되는데, 여러 보간법 중 선형적인 평균에 의한 방법, 그레고리-뉴턴 보간법에 의한 방법, B-Spline에 의한 보간법을 실제로 지형에 적용시켜 봄으로써 각 보간법에 의한 결과를 비교 분석하였다.

ABSTRACT

The Digital Terrain Model(DTM) data in the Geographic Information System(GIS) needs to be interpolated for various purposes. Three interpolation methods-Bilinear, Bicubic Spline, and Gregory-Newton interpolation-were used, compared, and analyzed in terms of the visual comparison and numerical analysis in the hilly terrain and relatively flat terrain.

1. 서 론

토지 정보 관리체계(Geographic Information System, GIS)에 있어서 지형 표고를 나타내는 수치지형정보(Digital Terrain Model, DTM)는 활용목적상 단위 격자의 크기를 변화시킬 필요가 있다. 예를 들면 매 50미터마다 추출된 표고 자료 위에 인공위성에서 수신된 자료를 이용하고자 할 때는 인공위성의 영상소에 단위격자를 맞추어 주어야 한다. 또는 어떤 지점의 표고가 필요한 경우, 주위의 실제 존재하는 표고 자료로부터 보간법에 의해 구해야한다.

현재 알려져있는 보간법에는 매우 많은 종류

가 있으나, 대부분 수치해석 분야에서 사용하는 것으로서 다항식으로 근사되는 보간법이다. 이에 반하여 토지정보, 특히 표고정보는 이론적으로 무작위함수로 보아야 하며 다항식으로 표현하기에는 많은 어려움이 있다. 하지만 자료의 간격이 충분히 가깝고 어느정도의 오차를 허용한다면 수치해석에서 사용하는 방법을 사용할 수 있다.

본 논문에서는 여러 보간법 중에서, 선형적인 평균에 의한 방법, 그레고리-뉴턴 보간법에 의한 방법, B-Spline에 의한 방법, 세가지를 구현하여 비교해 보고자 한다.

2. 연구 대상지 및 연구 방법

(1) 연구 대상지

연구 대상지는 지형의 기복이 심하고 한국적

* 성균관대학교 조경학과 조교수
** 포항공과대학 전산학과 대학원생
*** 한국과학기술원 전산학과 조교

인 산악의 특성을 갖추었다고 판단된 계룡산 국립공원의 산악 지형과 계룡산 국립공원 남쪽의 비교적 평탄한 지형 2곳을 대상지로 선정하였다.

(2) 수치지형모델 추출 방법

지형자료에 보간을 했을 때 그 결과가 어떻게 나타날 것인가를 살펴보기 위하여 건설부 국립지리원 발행 축척 1:5,000 지도를 사용하여 내삽법(bilinear interpolation)을 이용하여 격자간격 매 50 m 마다 표고정보를 추출하였으며, 면적은 산악지형의 1:5,000 지도 16장(4×4)을 이용 1장당 46×56의 격자를 추출, 총 181(x)×221(y)의 자료를 추출하였다.

(3) 보간 방법

가. 선형적인 평균에 의한 방법(Bilinear Interpolation Method)

가장 쉽게 생각할 수 있는 방법으로 보간할 위치에서 가장 가까운 4개의 점으로부터 거리에 반비례하는 가중치를 자료에 곱해서 평균한 값으로 보간하는 방법이 있다. 이 방법은 그 단순함으로 여러가지 장점을 가지고 있다. 처리속도가 매우 빠르고 기억장소도 거의 차지하지 않는다.

나. 그레고리-뉴턴 보간법에 의한 방법
(Gregory-Newton Interpolation Method)

그레고리-뉴턴 보간법은 수치해석 분야에서 많이 사용하는 방법으로 N개의 기준점(control point)에 대하여 N-1 차의 다항식을 N-1 계 미분값으로 구해낸다.

그레고리-뉴턴 식은 아래와 같다.

$$f(x) = f(0) + \frac{x}{h} \Delta f_0 + \frac{x(x-h)}{2!h^2} \Delta^2 f_0 + \frac{x(x-h)(x-2h)}{3!h^3} \Delta^3 f_0 + \dots$$

그레고리-뉴턴 보간법 역시 비교적 빠른 처리속도를 가지고 있고 기억장소도 적게 사용한다.

다. B-Spline 에 의한 방법(Bicubic Spline Interpolation Method)

B-Spline 은 그래픽이나 CAD에서 주로 사용하는 방법으로 몇개의 기준점으로부터 부드러운 곡선을 만들어내는 함수이다.

그 함수는 다음과 같다.

$$P(u) = \sum_{k=0}^n \rho_k N_{k,t}(u)$$

$$N_{k,1}(u) = \begin{cases} 1 & \text{if } u_k \leq u < u_{k+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{k,t}(u) = \frac{u-u_k}{u_{k+t-1}-u_k} N_{k,t-1}(u) + \frac{u_{k+t}-u}{u_{k+t}-u_{k+1}} N_{k+1,t-1}(u)$$

$$u_j = \begin{cases} 0 & \text{if } j < t \\ j-t+1 & \text{if } t \leq j \leq n \\ n-t+2 & \text{if } j > n \end{cases}$$

3. 결과 및 분석

(1) 산악 지형

〈Fig 1〉은 산악 지형의 총 181(x)×221(y)의 자료를 3차원으로 표현, 출력한 것이다. 한편 실험용 기본자료를 이용하여 매 200 m 마다 추출한 다른 하나의 지형모형을 만들어냈다. 이를 가상자료 1이라 하자. 〈Fig 2〉는 가상자료 1을 출력한 것이다. 가상자료 1로부터 선형적인 보간법에 의해 나온 표고정보를 출력하여 〈Fig 3〉과 같은 그림을 얻을 수 있었다. 이 그림에는 본래의 능선이 남북 방향으로 단순화되어 나타난 것을 알 수 있다. 이는 보간되는 점이 인근 4개의 기준점에서만 영향을 받기 때문에 생긴 결과로 볼 수 있다. 이러한, 능선의 방향이 남북으로 단순화되는 것을 피하기 위하여 B-Spline 방법을 사용하여 보간을 하여보면 〈Fig 4〉와 같은 결과를 얻을 수 있었다. B-Spline의 특성 때문에 지나치게 지형이 부드러워졌다. 뿐만 아니라, 200 m 마다 추출된 본래의 표고가 변화된 결과를 가져왔다. 이러한 단점을 해결키 위해 그레고리-뉴턴 보간법을 사용한 결과 〈Fig 5〉와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이 그림을 보면, B-Spline의 smoothing 효과에서는 사라졌던, 지형의 미세한 기복이 나타남을 알 수 있다. 보간된 결과가 실제 지형에 얼마나 근사하느냐

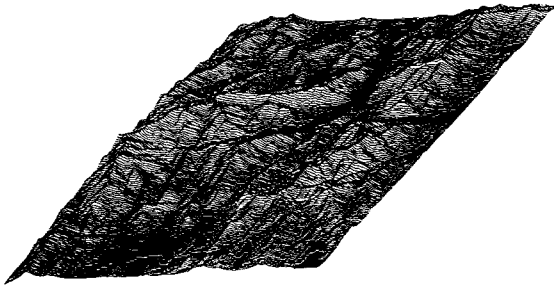
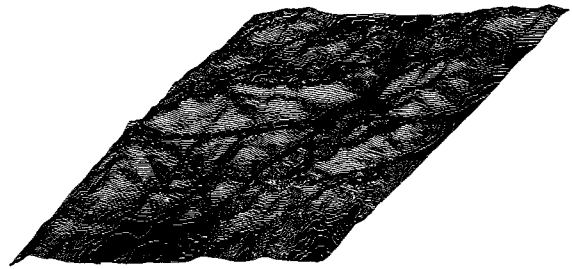


Fig. 1 Sample 1 original



ig. 4 Sample 1 (Interpolated by B-Spline)

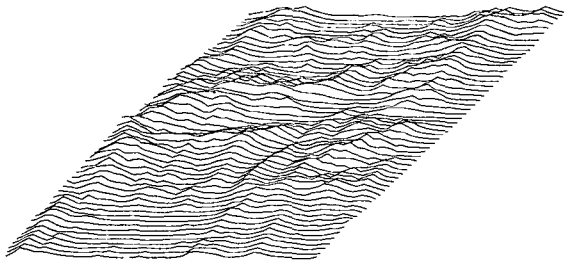


Fig. 2 Sample 1 (Sampled)

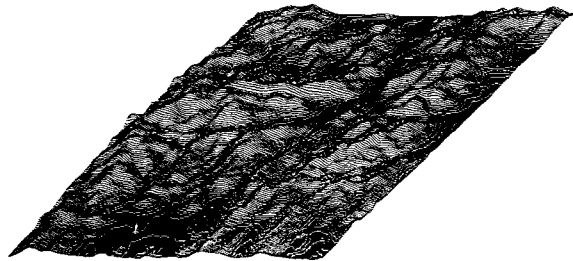


Fig. 5 Sample 1 (Interpolated by Gregory-Newton Method)

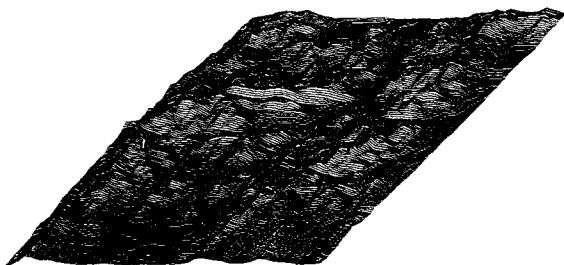


Fig. 3 Sample 1 (Bilinear Interpolation Method)

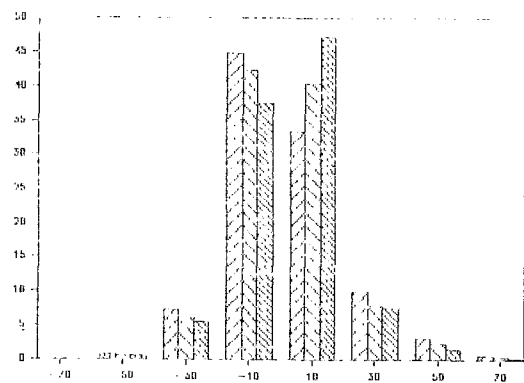


Fig. 6 산악 지형에서의 각 보간법의 오차빈도

Table 1. 각보간법의 표준편차 및 돛수분포표

방 법	산악 지형			비교적 평탄한 지형		
	선형평균	그레고리 뉴턴	B-Spline	선형평균	그레고리 뉴턴	B-Spline
표준편차	15.89	14.60	17.86	9.81	10.01	10.52
오차의 범위 20m 이내 비율(%)	61.0	63.4	53.7	78.2	77.6	75.8
구간 돛수(%) (real-inter)						
-80~-70	0(0.0)	1(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)
-70~-60	3(0.0)	5(0.0)	2(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)
-60~-50	41(0.1)	48(0.1)	50(0.1)	0(0.0)	1(0.0)	0(0.0)
-50~-40	198(0.5)	148(0.4)	232(0.6)	6(0.1)	12(0.1)	4(0.0)
-40~-30	645(1.6)	576(1.4)	774(1.9)	23(0.2)	60(0.5)	24(0.2)
-30~-20	1868(4.7)	1677(4.2)	2170(5.4)	202(1.6)	289(2.3)	202(1.6)
-20~-10	4784(12.0)	4241(10.6)	5416(13.5)	950(7.5)	950(7.5)	997(7.9)
-10~- 0	12126(30.3)	10708(26.8)	12527(31.3)	4004(31.6)	3150(24.9)	5302(41.9)
0~ 10	12267(30.7)	14644(36.6)	8960(22.4)	5899(46.6)	6669(52.7)	4284(33.9)
10~ 20	3842(9.6)	4275(10.7)	4352(10.9)	1026(8.1)	1031(8.1)	1211(9.6)
20~ 30	2051(5.1)	2000(5.0)	2544(6.4)	357(2.8)	337(2.7)	414(3.3)
30~ 40	1113(2.8)	1020(2.6)	1481(3.7)	125(1.0)	106(0.8)	128(1.0)
40~ 50	641(1.6)	428(1.1)	845(2.1)	37(0.3)	34(0.3)	59(0.5)
50~ 60	265(0.7)	144(0.4)	410(1.0)	20(0.2)	13(0.1)	24(0.2)
60~ 70	111(0.3)	64(0.1)	158(1.0)	6(0.0)	4(0.1)	6(0.0)
70~ 80	34(0.1)	17(0.1)	63(0.2)	1(0.0)	0(0.0)	1(0.0)
80~ 90	11(0.0)	3(0.0)	15(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)
90~ 100	1(0.0)	1(0.0)	2(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)

나는, 보간된 자료를 다른 수치해석분야에 사용할 경우—예를 들어, 절·성토량의 산출에 따른 토공비용의 산출—오차의 크기는 중요한 의미를 지니게 된다. 시각적인 비교로써는 구체적인 비교분석에 제약이 있어, 각 보간법의 결과에 대한 오차의 표준편차와 오차의 20m 간격에 따른 돛수분포표와 이에 입각한 막대그래프(histogram)를 작성, 검토하였다. 그 결과는 <표 1>에 요약되어 있으며, 표준편차는 B-Spline에 의한 방법이 17.86 m, 선형보간법에 의한 것이 15.89 m, 그레고리—뉴턴보간법이 14.60 m로 나타나 B-Spline 방법이 가장 오차가 심한 것을 알 수 있었다. 표준편차와는 별도로 돛수분포표에 따른 막대그래프를 오차 20m 간격마다 표시한 것이 <Fig 6>으로서, 이 경우 각 등급의 막대는 B-Spline, 선형보간, 그레고리—뉴턴의 순

으로 오차빈도를 나타내며, 오차의 범위가 20m 이내의 경우는, 보간결과가 실제보다 높은 과다 추정 경우 B-Spline, 선형보간, 그레고리—뉴턴의 순서로 빈도가 높으며, 보간결과가 실제보다 낮은 과소추정 경우, 그 역순으로 빈도가 높게 나타나고 있다. 허나 오차의 범위가 20m 이상의 경우는, 과다 과소 추정 모두 B-Spline, 선형보간, 그레고리—뉴턴의 순으로 빈도가 높게 나타나고 있다. 이와 같은 결과를 종합할 때 대상지의 산악 지형에서는 B-Spline이 오차가 가장 심함을 나타내고 있다.

(2) 평탄지형

상기 세 방법의 오차를 좀더 실험하기 위해 계룡산 국립공원 남쪽의 비교적 평탄한 지형에서는 어떻게 적용되는지 알아보기 위해 sample

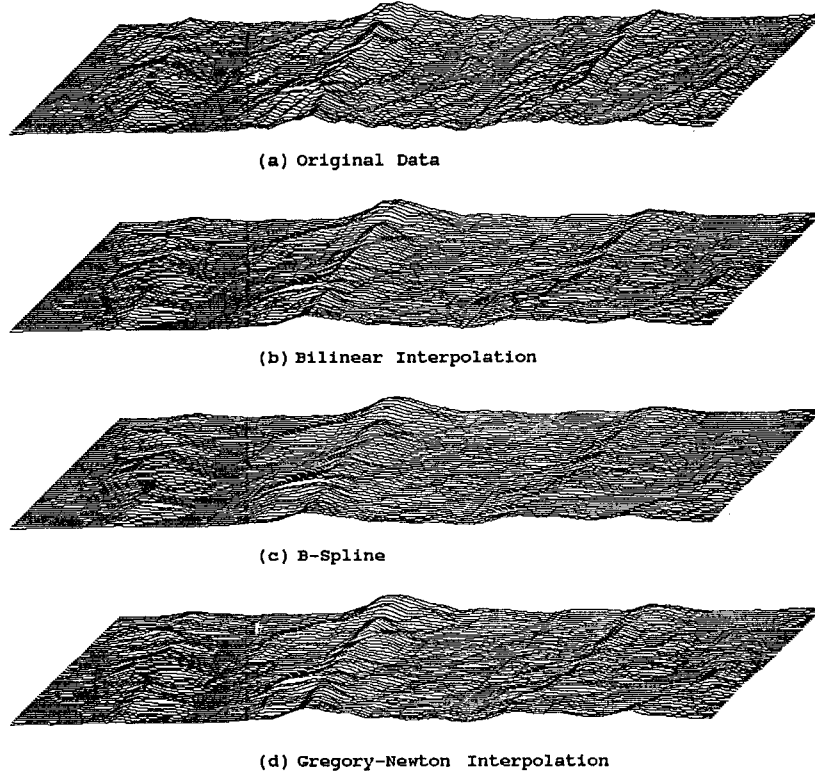


Fig. 7 Comparison of Interpolation Method using Sample 2

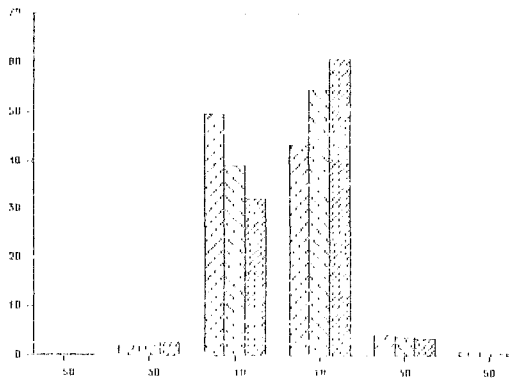


Fig. 8 비교적 평탄한 지형에서의 각 보간법의 오차빈도

2를 사용하였다. Sample 2는 매 50 m마다 추출된 가로 226, 세로 56의 자료를 가로 250 m 세로는 같게 추출된 자료로 변환한 후 이 실험용 자료로 실험하였다. 그 실험결과는 <Fig 7>로 보여지고 있다. 이때 각 보간법의 표준편차

는 <표 1>에서 보듯이, 선형보간법이 9.81 m, 그레고리-뉴턴 방법이 10.01 m, B-Spline이 10.52 m로서, B-Spline 방법이 오차가 가장 심하고, 산악지형과는 달리 선형보간법이 오차가 가장 낮은 것으로 나타났다. 숫수분포표에 따른 막대그래프를 나타낸 것이 <Fig 8>로서, 이 경우 각 등급의 막대는 B-Spline, 선형보간, 그레고리-뉴턴의 순으로 오차빈도를 나타내며, 오차의 범위가 20 m 이내의 경우는, 산악 지형과 마찬가지로 과다추정 경우 B-Spline, 선형보간, 그레고리-뉴턴의 순서로 빈도가 높으며, 과소추정 경우, 그 역순으로 빈도가 높게 나타나고 있다. 그러나 오차의 범위가 20 m 이상의 경우는, 과소추정 경우 B-Spline, 선형보간, 그레고리-뉴턴의 순으로 빈도가 높게 나타나고 있는 것은 산악 지형과 같으나, 과다추정 경우 그레고리-뉴턴이 가장 빈도가 높고, 다른 두 방법이 비슷함을 나타내고 있다. 이와 같은 결과

를 종합할 때 대상지의 비교적 평탄한 지형에서는 산악 지형과 마찬가지로 B-Spline 이 오차가 가장 심함을 나타내고 있다.

4. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 사용된 세 방법중 시각적으로 선형적인 평균에 의한 방법은 본래의 능선이 적은수(4)의 기준점으로 인해 남북 또는 동서(해당지역의 기복에 의함) 방향으로 치중되는 능선의 단순한 변화가 나타나며, 그레고리-뉴튼 보간법에 의한 방법과 B-Spline 에 의한 방법은 능선을 smoothing 하는 결과를 나타내고 있으며, 이러한 변화는 B-Spline 에서 더욱 두드러지게 나타나고 있다. 수치적인 비교에 있어서는 표준편차는 산악 지형, 비교적 평탄한 지형 모두 1 : 5,000 지형도에 입각한 50 m 격자 간격 사용시, B-Spline 이 가장 나쁘고, 산지에 있어서는 그레고리-뉴튼 보간법이, 평지에 있어서는 지형의 기복이 단순한 특성으로 인해 선형적인 평균에 의한 방법이 가장 우수한 것으로 나타났다.

컴퓨터를 이용한 위 세 방법의 처리시간과 기억용량의 차이는 선형보간법, 그레고리-뉴튼 보간법, B-Spline 보간법 순으로 많이 차지하므로, 정확도와 능률면에서 B-Spline 방법이 사용한 세 기법중 본 연구의 대상지역에서 효율성이 가장

떨어졌으며, 평지의 경우는 선형보간법이 정확도가 가장 높고 자료 처리의 시간과 최소의 기억용량 차지로 인해 세 방법 중 가장 효율적이었다.

본 연구의 대상 지역은 한국의 지형 특성을 일반적으로 나타내는 산악지형과 비교적 평탄한 지형으로 가정하여 각 보간법의 결과를 실험하였으며, 두 곳의 대상지만을 선택, 지형의 기복이 중간 정도인 '구릉지'에 대한 연구가 없는 것이 본 연구의 제약점이라고 생각된다. 토지의 표고 정보는 수학적인 modeling 에 의한 보간법으로는 한계가 있으며, 지형의 특성에 따른 입력 자료를 활용, 보간의 최적화를 기할 수 있는 인공지능기법의 개발이 필요하리라고 본다.

참 고 문 헌

1. Hearn, and Baker, "Computer Graphics," Prentice Hall, N. Y., 1986.
2. Samuel D. Conte, and Carl de Boor, "Elementary Numerical Analysis, an Algorithmic Approach," McGraw-Hill, N. Y., 1980.
3. Steven Harrington, "Computer Graphics, a Programming Approach," McGraw-Hill, N. Y., 1987.
4. Robert W. Hornbeck, "Numerical Methods" Quantum Publisher Inc. N. Y., 1986.
5. David F. Rogers, "Mathematical Element for Computer Graphics," McGraw-Hill, N. Y., 1976.