

도시원격탐사에서 베리오그램을 이용한 최적의 분석범위 구역화

류희영*† · 이기원** · 권병두*

*서울대학교 지구과학교육과, **한성대학교 정보시스템공학과

The Optimized Analysis Zone Districting Using Variogram in Urban Remote Sensing

Hee Young Yoo*†, Kiwon Lee**, and Byung-Doo Kwon*

*Department of Earth Science Education, Seoul National University

**Department of Information System Engineering, Hansung University

Abstract : Recently, a considerable number of studies have been conducted on the high resolution imagery showing the boundaries of objects clearly. When urban areas are analyzed in detail using the high resolution imagery, the size of analyzed zone is apt to be decided arbitrarily. Sufficient prior information about study area makes the decision of analysis zone possible; otherwise, it is difficult to determine the optimized analysis zone using only satellite imagery. In this study, the variograms of artificial simple images are analyzed before applying to the real satellite images. As a result of the analysis of simple images, the sill has an effect on the density of objects and also the size of objects and spacing influence the range. The variograms of real satellite images are analyzed with reference to the result of model test and are applied to determining the optimized analysis zone. This study shows that variogram can be applied to determining effectively the optimized analysis zone in case of no prior information on study area; moreover it will be expected to be used for an index to express the characteristics of urban imagery as well as conventional kriging and simulation.

Key Words : high resolution imagery, the optimized analysis zone, urban, variogram.

요약 : 최근에 개체의 경계가 분명하게 나타나는 고해상도 위성영상을 분석하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 고해상도 영상을 이용해 도시지역을 세분화하여 연구하려고 할 때 분석의 범위는 임의로 결정되는 경우가 많다. 연구지역에 대한 사전정보가 충분하다면 임의로 결정하는 것이 가능하지만 그렇지 않을 경우 영상만을 이용해 연구 지역의 최적 분석범위를 결정하는 것은 쉽지 않다. 이 연구에서는 실제 위성영상에 적용하기에 앞서 간단한 가상 모델의 베리오그램을 분석하였다. 모델 테스트 결과, 문턱값은 개체들의 밀도에 영향을 주고 개체의 크기와 간격은 상관거리에 영향을 준다. 이 모델 테스트의 결과를 도시지역을 촬영한 실제 위성영상의 베리오그램에 반영하여 분석하고 이론적 베리오그램의 상관거리를 이용해 최적의 분석 단위를 결정하였다. 이 연구는 베리오그램이 연구지역에 대한 사전자료가 없는 경우 효과적으로 기본 분석단위를 결정하는데 도움을 줄 수 있을 것이라는 것을 보여주었다. 또한 베리오그램은 기존의 전통적인 크리깅이나 시뮬레이션뿐만 아니라 도시 영상의 특성을 정의하는 정보로 활용 가능할 것으로 기대된다.

1. 서론

최근에 위성영상을 이용하여 국토를 모니터링하거나 분석하는 사례가 증가하고 있다. 이전에는 이용 가능한 위성영상 대부분이 해상도가 낮았기 때문에 도시지역을 연구할 때 도시 내부의 각 개체를 구분하는 것이 불가능하였다. 그렇기 때문에 위성영상을 이용해 도시 지역 전체에 대한 복잡성을 분석하거나 도시지역과 삼림지역, 기타 여러 지역으로 구분하는 토지 피복 분류에 영상을 이용하는 것이 대부분이었다. 그러나 고해상도 영상이 이용가능하게 되면서 복잡한 도시지역을 상세하게 분석하는 것이 가능하게 되었다. 기존의 연구처럼 도시 전체와 같이 넓은 지역에 대하여 분석하는 연구도 의미 있지만 때로는 하나의 도시 안에서도 더 복잡한 지역, 덜 복잡한 지역으로 나뉘는 경우가 많으므로 도시를 좀 더 세분하여 연구하여야 할 필요성이 있다. 고해상도 영상을 이용하면서 각 개체를 구분하는 것이 가능해 졌기 때문에 도시를 지역별로 세분하여 연구할 수 있게 되었다. 도시를 세분하여 분석할 때, 분석의 기본 단위는 영상의 특성과 도시를 구성하고 있는 개체의 크기에 따라 사용자가 임의로 결정할 수 있다. 그러나 연구지역에 대한 정보를 전혀 가지고 있지 않거나 도시 분석 전문가가 아닌 경우 영상을 보고 최적의 크기를 결정하는 것이 쉽지 않다. 따라서 정량화된 방법으로 도시를 분석하기 위한 최적의 기본 단위를 결정할 수 있다면 영상 분석을 객관적으로 진행하는데 큰 도움이 될 것이다.

이전 연구에서는 도시의 개체 크기를 고려하여 영상을 분할하고 구역 단위로 분석을 시도하는 경우가 거의 없었다. 일부 논문에서 특정 지역을 연구할 때 어느 정도의 해상도를 갖는 영상을 사용해야 하는지 결정하기 위한 연구가 이루어져왔다. 평균 지역 분산(average local variance)을 이용하여 연구에 적합한 공간해상도를 결정하고 (Woodcock and Strahler, 1987; Jupp *et al.*, 1988, 1989) 웨이블릿 분석을 통한 공간 변화를 살펴보는 연구가 수행되었다 (Van de Wouwer *et al.*, 1999; Chen and Blong, 2003). 최근에는 지구통계학을 이용한 텍스처 계산을 통해 공간을 분석하는 기초자료로 활용하는 연구가 이루어지고 있다 (Lloyd *et al.*, 2005). 이와 같은 연구에서 사용된 방법을 도시 분석 단위 결정하는 연구에 적용하기 위해서는 어려운 점이 있

다. 계산량이 많거나 값의 변화 양상이 영상에 따라 다른 경우도 있기 때문에 모든 영상에 적용하기에 어려운 점이 있을 수 있다. 따라서 이 연구에서는 영상전체의 특성을 간단한 함수로 표현할 수 있는 베리오그램 모델링을 이용하여 도시 내부를 세분화하여 자세히 분석하고자 할 때 분석의 기본단위를 결정할 수 있는지 가능성을 살펴보고자 하였다. 베리오그램은 지구통계학의 크리깅에서 야외에서 불규칙적인 간격으로 획득된 자료를 이용해 원하는 지점에서의 값을 추정하는데 주로 사용되었다. 1980년대 이후 여러 연구에서 베리오그램을 위성영상에 적용하여 연구지역의 특징을 설명하려는 시도가 있었다(Li and Li, 2001; Colombo *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2006). 이들 연구에서는 중, 저해상도 영상을 이용해 연구지역 전체의 특징을 베리오그램의 문턱값과 상관거리로 표현하거나 분류정확도를 평가하고 토지이용분류를 하는데 베리오그램을 사용하였다. Yoo *et al.* (2006)의 연구에서는 베리오그램이 고해상도 영상에서 어떤 특징을 보이는지 살펴보고 베리오그램이 영상 내부의 개체들의 크기와 공간분포를 반영하고 있다는 사실을 확인할 수 있었다.

이 연구에서는 일정한 크기와 간격을 갖는 개체들이 배열되어 있는 간단한 모델을 이용해 개체의 크기와 간격이 베리오그램에 어떤 영향을 미칠 수 있는지 확인해보고 그 결과를 이용해 실제 영상에서 베리오그램 모델링 수행하였다. 베리오그램 모델링으로부터 얻는 정보로부터 개체의 크기를 추정하여 연구지역의 실제 위성영상을 이용해 베리오그램을 작성한 후 상관거리 분석을 통해 도시 분석의 기본 범위를 결정하도록 하였다.

2. 베리오그램의 기본 이론

베리오그램은 지구 통계학의 한 방법으로 일정한 거리에 있는 화소의 유사성을 알려주는 지표이다. 베리오그램을 계산하는 수식은 식(1)과 같다. 전체 수식을 2로 나눈 것은 반베리오그램 (semi-variogram)이라 한다 (최종근, 2004).

$$2\gamma(h) = E[(z(x) - z(x+h))^2] \quad (1)$$

정의된 수식에서 알 수 있듯이 h만큼 떨어져 있는 자료들의 베리오그램은 일정거리 h만큼 떨어진 두 자료들

간의 차이를 제공한 것의 평균, 즉 기댓값이다. 여기서 h 를 지연거리 또는 분리거리라 하며 두 자료간의 떨어져 있는 거리를 말한다. 위성영상에서 베리오그램을 작성할 때에는 h 는 화소사이의 거리가 되고 $z(x)$ 는 특정 위치에서의 화소값이 된다. Fig. 1은 전형적인 반베리오그램의 형태로 거리가 가까우면 그 값들이 비슷하므로 베리오그램은 일반적으로 작게 나타나고 거리가 멀어질수록 그 값이 크게 나타나는 것이 일반적 경향이다. 일반적인 경우, 분리거리가 증가하여 일정한 거리가 되면 자료 값들은 아무런 관계를 나타내지 않게 되어 반베리오그램이 일정한 값을 나타내는데 이 값을 문턱값 (sill) 이라고 하고 그 문턱값은 자료의 분산을 나타낸다. 이와 같이 자료들이 상관관계를 보이는 최대 분리거리를 구간, 구간거리, 또는 상관거리(range)라 한다. 실제 자료를 이용해 계산된 실험적 베리오그램을 실험적 베리오그램이라 하고 실험적 베리오그램을 잘 대표하고 사용한 자료의 특성을 잘 표현할 수 있는 수식적으로 나타낸 베리오그램을 이론적 베리오그램이라 한다. 이론적으로 분리거리가 0이면 베리오그램 정의에 의하여 그 값이 0이지만, 실제 계산된 실험적 베리오그램을 이용하여 이론적 베리오그램을 찾아내는 경우에는 분리거리 0에서도 베리오그램이 0이 아닌 상수값을 나타낼 수 있는데 이를 너깃(nugget)이라 한다. 너깃의 값은 주어진 자료가 짧은 분리거리를 나타내는 자료의 불확실성을 나타낸다.

베리오그램 분석에서 이론적 베리오그램을 찾아내는 과정은 매우 중요하다. 이 과정이 최종 결과에 가장 직접적인 영향을 미치고 모델을 선택할 때 주관적인 판단이 들어가기 때문이다. 가장 널리 사용되는 이론적 베리오그램 모델은 Fig. 2에서 볼 수 있는 것처럼 다섯 가지 모델로 너깃 모델, 선형 모델, 지수 모델, 가우스 모델,

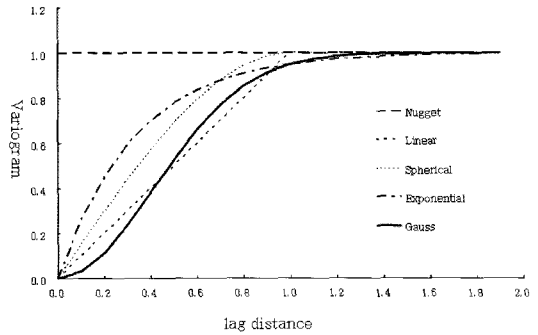


Fig. 2. The comparison of theoretical variograms in common usage.

구형 모델이 있다. 선택한 모델의 선형 조합으로 최적의 이론적 베리오그램을 찾아내게 된다. 각 모델의 수식은 수식 (2)-(6)에 나와 있는 것과 같다. 수식 (2)부터 순서대로 너깃모델, 선형모델, 지수모델, 가우스 모델, 구형 모델 순이다. 각 수식에서 C_0 는 문턱값, h 는 분리거리, a 는 상관거리를 의미 한다.

$$g(h) = \begin{cases} C_0, & \text{for } h > 0 \\ 0, & \text{for } h = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$g(h) = \begin{cases} C_0 \frac{h}{a}, & \text{for } h \leq a \\ C_0, & \text{for } h > a \end{cases} \quad (3)$$

$$g(h) = C_0 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right] \quad (4)$$

$$g(h) = C_0 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right) \right] \quad (5)$$

$$g(h) = \begin{cases} C_0 \left[1.5 \times \frac{h}{a} - 0.5 \times \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right], & \text{if } h \leq a \\ C_0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

3. 간단한 인공 모델의 베리오그램 분석

도시 원격탐사 영상에서 건물의 크기나 배열, 클래스의 변화는 베리오그램에 영향을 준다고 기존의 연구를 통해 알려져 있다(Brivio and Zilioloi 2001; Yoo *et al*, 2006). 그러나 이전의 연구는 건물의 크기나 배열이 다른 여러 영상의 상대적인 베리오그램의 특성을 비교하였고 영상의 특성에 따라 베리오그램의 문턱값이나 상관거리에 어느 정도 영향을 미치는지는 구체적으로 분석한 연구는 없었다. 따라서 이 연구에서는 먼저 개체의 크기와 거리가 일정한 간단한 모델을 만들어 개체의 크

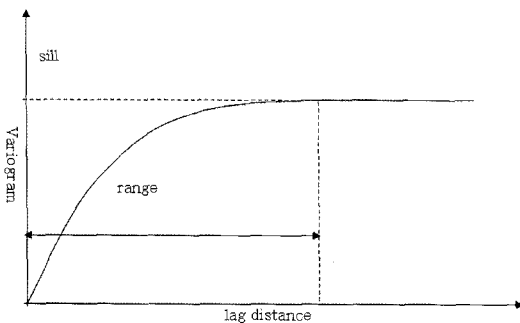


Fig. 1. A typical variogram model.

기와 배열이 베리오그램에 어떻게 영향을 미치는지 파악해 보고자 하였다. 도시 영상에서의 베리오그램 특성을 파악하기 위해 매우 간단한 임의의 자료를 만든 후 각 자료의 베리오그램을 작성하고 적합한 이론적 베리오그램을 찾아보았다. 사용된 간단한 인공 모델은 총 4가지로 Fig. 3에서 확인할 수 있다. 각 모델의 크기는 가로와 세로 모두 32 화소이다. 흰색으로 표현된 부분은 화소값이 100이고 검은 부분은 화소값이 0이다. 화소값이 100인 영역은 도시영상에서 건물을 가정한 것이고 검은 부분은 도로나 잔디, 나무와 같은 건물 이외의 지역을 표현한 것이다. 첫 번째 모델은 가로와 세로의 길이가 모두 2 화소인 정사각 개체가 화소 2의 간격으로 배열되어 있는 모델이다(Fig. 3(a)). 두 번째 모델은 개체의 크기는 첫 번째 모델과 같이 화소 2의 크기이나 개체 사이의 간격이 4 화소만큼 떨어져 있는 경우이다(Fig. 3(b)). 세 번째 모델은 개체의 크기와 개체사이의 거리가 모두 화소 4인 경우이고(Fig. 3(c)) 네 번째 모델은 첫 번째 모델과 세 번째 모델이 반씩 혼합된 경우로 절반은 개체의 크기와 간격이 모두 2이고 나머지 절반은 개체의 크기와 간격이 모두 4인 경우이다(Fig. 3(d)).

베리오그램 분석에서 필수적인 것이 실험적 베리오그램을 잘 대표하는 이론적 베리오그램을 찾는 과정이다. 이 연구에서는 지수모델의 선형조합을 이용해 이론적 베리오그램을 찾았다. 위성영상에서 나타나는 베리오그램은 부드럽게 값이 변화하는 경향을 보이는 지구 과학적 자료와는 달리 경계에서 급격하게 변하는 경우가 많기 때문에 베리오그램 값이 상관거리 부근에서 급격하게 변하는 지수 모델이 가장 적합할 것으로 판단되어 지수 모델의 선형조합으로 실험적 베리오그램에 적합한 이론적 베리오그램을 찾되자 하였다(Yoo *et al.*, 2006). 이론적 베리오그램은 최소자승법을 이용해 오차를 가장 적게 하는 모델을 찾아내는 방법을 이용하였다.

네 가지 임의의 영상을 이용해 그런 실험적 베리오그램과 지수모델을 이용한 이론적 베리오그램은 Fig 4에 나타내었다. x축은 화소거리를 나타내고 y축은 베리오그램 값을 의미한다. 내부에 적혀 있는 수식은 이론적 베리오그램의 수식으로 다음과 같은 형식으로 표현된다. C_0 는 문턱값, a 는 상관거리를 의미한다.

$$\gamma(h) = C_0 \exp_a(h) \quad (7)$$

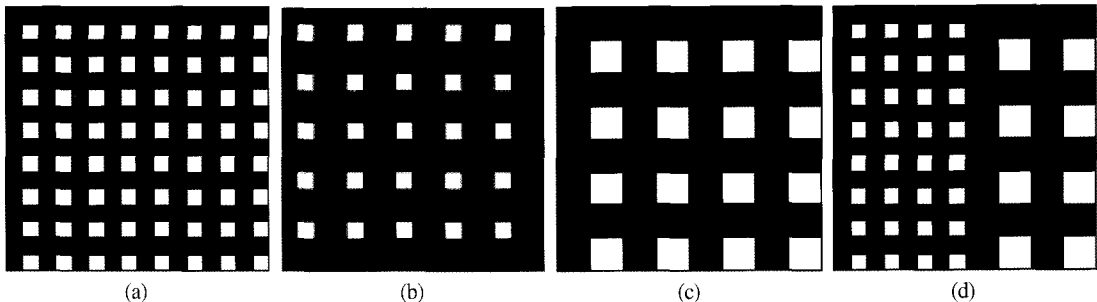


Fig. 3. The used four simple models having different object's sizes and distance between objects. (a) objects size: 2, distance: 2; (b) objects size: 2, distance: 4; (c) size: 4, distance: 4; (d) size: 2 and 4, distance: 4.

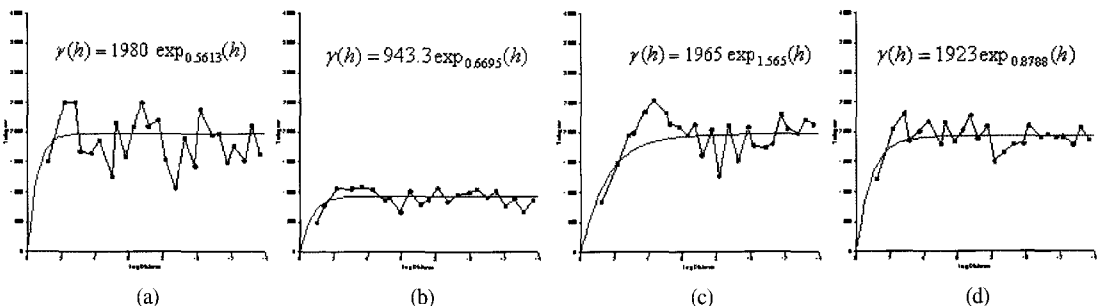


Fig. 4. The experimental and theoretical variograms of four simple models in Fig. 3. Black line with dots indicates experimental variograms and solid line means theoretical variograms.

최소자승법을 이용해 가장 오차가 적은 이론적 베리오그램을 구한 결과 전체 영역에서 밝은 개체가 차지하는 면적이 가장 작은 (b) 모델이 가장 작은 문턱값을 보였다. 문턱값은 자료의 분산을 나타내므로 (b)의 문턱값은 나머지 모델의 문턱값의 절반 정도가 된다. 두 번째 모델을 제외한 나머지 세 개의 모델은 문턱값이 모두 비슷했는데 그 이유는 밝은 지역과 어두운 지역이 차지하는 비율이 매우 비슷하기 때문에 비슷한 문턱값을 보이는 것이라 생각된다. 상관거리의 경우 개체의 크기에 영향을 받는다. 모델에서 건물로 가정된 흰 부분만 개체로 생각하기 쉬우나 베리오그램 분석 과정 측면에서 보면 모델에서 건물로 가정된 흰 부분뿐만 아니라 주위의 다른 성분으로 가정된 검은 부분도 연결된 일종의 개체가 되기 때문에 이 두 가지 개체 모두의 영향을 받게 된다. 흰 정사각형의 크기와 간격이 모두 화소 2인 경우 0.5613의 상관거리를 보였고 간격만 4인 경우는 0.6695이다. 흰 개체 크기가 유사한 경우 매우 비슷한 상관거리를 보이지만 흰 개체사이의 간격이 넓어지면 상관거리도 약간 증가하는 경향을 보인다. 그러나 흰 개체사이의 간격이 두 배가 되더라도 상관거리가 두 배로 증가하지는 않는다. 개체의 크기와 간격이 모두 4인 경우의 상관거리는 1.565이다. 따라서 흰 개체사이의 간격보다는 흰 개체의 크기가 상관거리에 더 큰 영향을 미치고 있다고 생각할 수 있다. 마지막으로 두 가지 다른 크기의 개체가 포함된 경우에는 개체 크기가 2인 경우의 상관거리와 4인 경우의 상관거리 중간 값이 나타난다. 인공적인 모델의 베리오그램 분석 결과 문턱값의 경우 얼마나 건물이 많이 분포하는지 건물의 밀집도, 복잡성을 표현하기 위한 지표가 될 수 있고 상관거리의 경우 영상 내부에 존재하는 개체들의 크기, 거리와 밀접한 관

련이 있다. 이론적 베리오그램의 상관거리가 객체의 크기와 정확하게 비례하지는 않지만 대략적으로 이론적 베리오그램의 상관거리는 객체의 크기의 약 1/4의 값을 갖는다.

4. 실제 영상의 베리오그램 분석과 최적의 분석 단위 추정

앞 서 수행한 간단한 모델 테스트를 참고하여 실제 위성 영상을 이용하여 실험적 베리오그램을 작성하고 적합한 이론적 베리오그램을 찾아보았다. 베리오그램을 이용한 최적의 분석 범위 결정을 위해 이 연구에서 사용한 위성 영상 자료는 ISPRS (<http://www.isprs.org/data/index.html>)에서 제공하는 IKONOS 영상의 일부로 촬영지역은 호주의 호버트 지역이다(Fig. 5). 사용한 영상의 해상도는 4m 컬러 영상을 그레이 스케일로 변환하여 사용하였다. 큰 건물이 있는 도심지역을 대표하는 영상 2개와 거주지를 대표하는 작은 집들이 분포하는 영상 2개를 실험 자료로 사용하였다. 각 영상의 크기는 256×256이다. Fig. 6은 Fig. 5의 각 영상의 실험적 베리오그램으로 분리거리는 화소크기 4 간격으로 베리오그램을 작성하였고 분리거리 120까지 베리오그램으로 나타내었다.

시각적으로 비교해 보았을 때 도심지를 대표하는 두 개의 영상 (a), (b)의 베리오그램에서 문턱값과 분리거리가 거주지 영상 (c), (d)의 베리오그램에서 나타나는 문턱값과 분리거리보다 크다는 것을 눈으로 확인할 수 있다.

실제 문턱값과 분리거리를 수치적으로 비교해보기 위해서는 실험적 베리오그램을 잘 대표하는 이론적 베리오그램을 찾아야 한다. 먼저 한 개의 지수모델을 이용

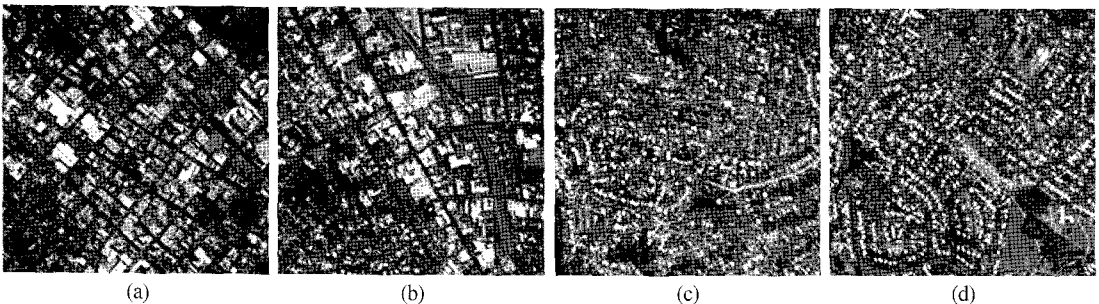


Fig. 5. The used sub-sets in Ikonos image. The spatial resolution is 4m; (a) commercial area 1, (b) commercial area 2, (c) residential area 1 and (d) residential area 2.

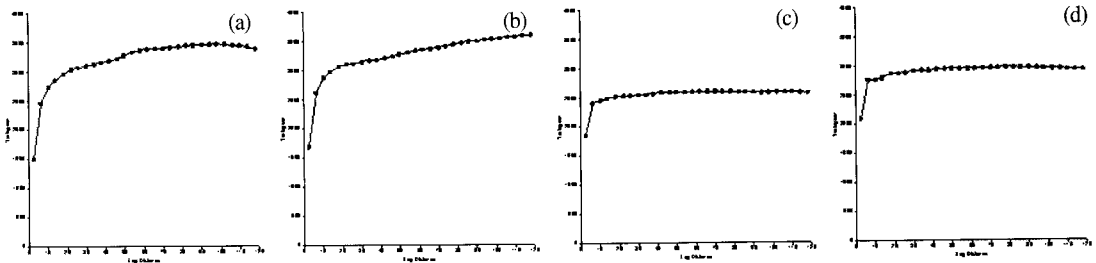


Fig. 6. The experimental variograms of real satellite images in Fig. 5.

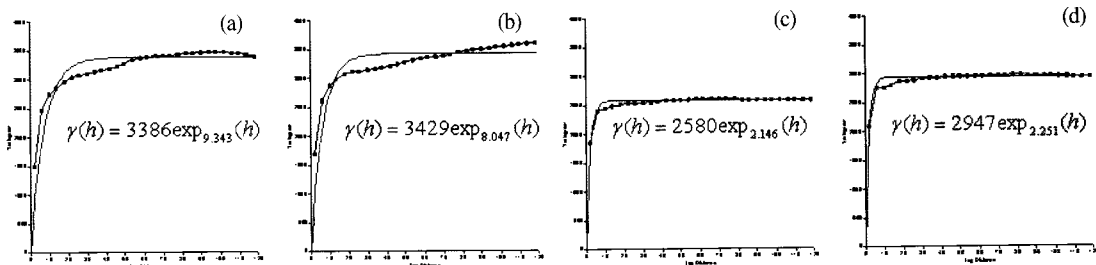


Fig. 7. The theoretical variograms fitted with one exponential model. The solid line without dots indicates theoretical variogram.

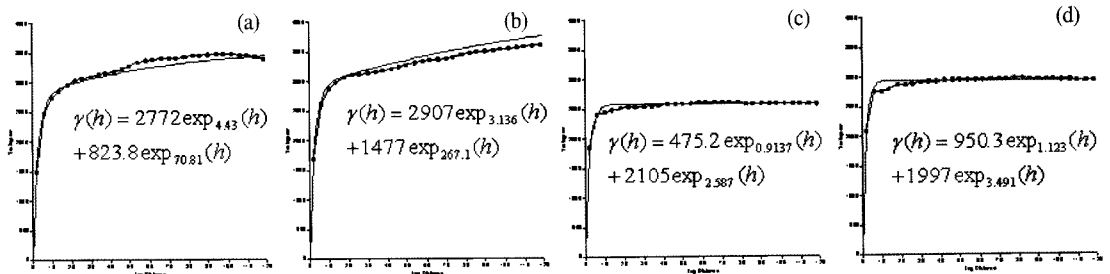


Fig. 8. The theoretical variograms fitted with the sum of two exponential models.

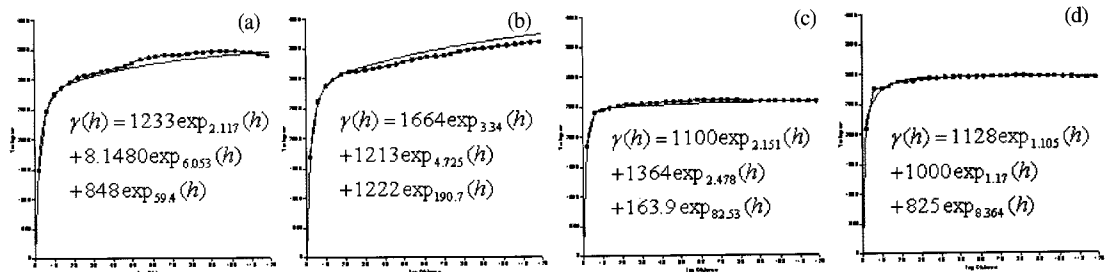


Fig. 9. The theoretical variograms fitted with the sum of three exponential models.

해 각각의 이론적 베리오그램을 구하였다(Fig. 7). 같은 방법으로 다항의 지수함수를 이용하여 표현한 이론적 베리오그램은 각각 Fig. 8, 9에 나타나 있다. 실선으로 표시한 것이 이론적 베리오그램이다. 영상에 따른 이론적 베리오그램의 문턱값과 상관거리는 Table 1에 나타나 있는것과 같다. 계산된 이론적 베리오그램의 상관거

리는 영상 내에 존재하는 개체의 크기와 각 개체사이의 거리를 반영한다. 따라서 큰 건물이 분포하는 도심지 영상의 경우 상관거리가 더 크게 나타나고 주택과 같이 작은 건물이 분포하는 지역은 작은 상관거리를 보인다. 문턱값은 화소의 값의 변화와 밀접한 관계를 갖는데 명도 대비가 큰 개체들이 나타나는 경우 문턱값이 상대적으

Table 1. The range and sill in each satellite image according to theoretical variogram

모델수 및 순서	영상종류	(a)		(b)		(c)		(d)	
		range	sill	range	sill	range	sill	range	sill
1	1	9.343	3386	8.047	3429	2.146	2580	2.251	2947
2	1	4.43	2772	3.136	2907	0.0137	475.2	1.123	950.3
	2	70.81	823.8	267.1	1477	2.587	2105	3.491	1997
3	1	2.117	1233	3.34	1664	2.151	1100	1.105	1128
	2	6.053	8.1480	4.725	1213	2.478	1364	1.17	1000
	3	59.34	848	190.7	1222	82.53	163.9	8.304	825

로 크다. 일반적으로 도심지가 더 큰 문턱값을 지닌다.

하나의 지수 함수로 이론적 베리오그램을 계산해 본 결과 도심지 영상인 (a)와 (b)는 각각 9.343과 8.047의 상관거리가 나왔다. 주거지 영상인 (c)와 (d)의 경우에는 상관거리가 각각 2.146과 2.251로 도심지보다 훨씬 작은 상관거리를 갖는다. 영상 안에 있는 개체들의 크기는 매우 다양하지만 이 상관거리는 이 영상을 평균적인 개체의 크기, 대표적으로 많이 나타나는 개체의 크기를 반영하고 있다고 생각할 수 있다.

다항의 지수함수를 사용하여 이론적 베리오그램을 작성할 경우 여러 크기의 개체에 대한 상세한 상관거리를 얻을 수 있는데 각각의 상관거리 역시 다른 개체의 크기와 개체사이의 거리를 반영한다. 도심지 영상의 경우 영상 안에 주택과 큰 건물이 모두 존재하였기 때문에 세 개의 지수함수를 사용할 경우 각 상관거리는 주택의 크기, 큰 건물의 크기, 주 도로 사이의 간격, 즉 건물이 밀집되어 있는 블록의 크기를 반영하는 것으로 보인다. 주택가 영상의 경우 대부분 비슷한 크기의 건물들이 존재하므로 작은 상관거리 두 가지는 값이 거의 유사하고 가장 큰 상관거리는 개체사이의 거리나 도로 사이의 거리를 의미하게 된다. 따라서 원하는 연구 목적에 따라 베리오그램의 상관거리를 바탕으로 분석 단위를 결정하는 것이 가능하게 된다.

베리오그램 분석을 수행할 때 더 많은 함수의 합으로 표현할수록 항상 더 좋은 결과를 얻는 것은 아니므로 주의가 필요하다. 여러 개의 항으로 모델링 하더라도 상관거리가 거의 변화하지 않거나 문턱값이 매우 작게 되는 경우는 큰 의미를 갖지 못할 수 있다. 영상의 경우 상관거리의 차가 최소 한 개의 크기보다 작아지면 더 이상 구분하는 것이 의미가 없다. 화소값은 정수로 표현하기 때문에 문턱값의 차이 역시 1보다 작으면 더 이상 나누는 것이 무의미하

다. 주거지 영상의 경우 세 개의 모델을 사용한 경우 세 모델 중 두 모델의 상관거리가 2.151, 2.478과 1.105, 1.17로 거의 유사하게 나오는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 이 연구에서 사용한 주거지 영상의 경우 개체의 크기가 대부분 유사하기 때문에 두 개의 함수를 사용한 경우까지만 유의미한 결과를 갖는다. 도심지역의 경우 좀 더 다양한 크기의 개체들이 영상 안에 포함되어 있기 때문에 세 항의 지수함수의 합으로 표현하는 것이 가능하다.

이론적 베리오그램 모델링까지 마치면 이론적 베리오그램의 상관거리를 이용해 도시의 분석단위를 결정해야 한다. 도시 영상의 분석 단위는 최소한 하나의 건물 크기보다는 커야 한다. 건물 크기보다 더 작은 분석단위로 분석하면 그 지역은 변화량이 거의 없는 지역으로 구분되기 때문이다. 영상 안에 존재하는 전체 개체의 평균 크기를 고려하여 분석단위를 결정하려고 한다면 하나의 지수 함수만을 사용한 베리오그램의 상관거리를 이용할 수 있다. Fig. 5 (a), (b), (c), (d)의 영상의 베리오그램의 상관거리는 각각 9.343, 8.047, 2.146, 2.251이므로 Fig. 5에 있는 영상을 분석할 때에는 상관거리의 약 4배에 해당하는 각각 36, 32, 8, 8 이상의 분석단위를 사용해야 할 것이다. 다양한 개체의 크기를 고려하여 정하고자 한다면 여러 개의 지수함수의 합으로 표현한 베리오그램의 상관거리 중 가장 큰 상관거리를 반영하여 위와 같은 방법으로 최적의 분석단위를 결정하는 것이 가능할 것이다.

5. 결론

이 연구에서는 위성영상 자료의 이론적 베리오그램을 구한 뒤 그 상관거리를 이용하여 도시원격탐사에서 최적의 분석단위를 결정하고자 하였다. 이전의 연구에

서 베리오그램이 도시 영상 안에 있는 개체들의 크기와 배열을 반영하고 있고 이것을 수치화하여 표현하는 것을 가능하게 해준다는 연구는 있었다. 그러나 개체의 크기나 배열이 구체적으로 어느 정도 영향을 주는지 연구되지 않았으므로 이를 검증하기 위해 먼저 일정한 크기의 개체가 일정한 간격으로 배열되어 있는 간단한 실험 모델을 이용해 베리오그램을 분석하고 그 결과를 바탕으로 실제 위성 영상을 분석하였다. 도시 원격탐사 분야에서 분석단위는 최소한 영상 내부에 존재하는 개체의 크기보다는 클 필요가 있다. 따라서 개체의 크기를 수치화하여 표현할 수 있다면 매우 유용하게 이용될 수 있다. 베리오그램 분석 결과 베리오그램에서의 상관거리는 개체의 크기와 개체사이의 거리를 반영하고 개체 사이의 거리보다는 개체의 크기의 영향을 더 많이 받았다. 개체의 크기와 베리오그램의 상관거리가 정비례하지는 않으나 매우 밀접한 연관이 있기 때문에 영상에 나타나는 대표적인 개체의 크기를 베리오그램을 통해 수치화하는 것이 가능해졌다. 이를 이용하면 연구지역에 대한 사전정보가 없더라도 최적의 분석단위를 결정할 수 있게 된다. 이 연구의 결과는 각각의 개체를 구분할 수 있는 고해상도 영상을 이용해 도시를 분석하고 모니터링할 때 객관적으로 분석의 기초 단위를 결정하는데 도움을 주기 때문에 앞으로 이용 가능한 고해상도 영상이 많아지면 그 활용가능성도 높아질 것이다. 또한 위성 영상에서의 베리오그램 분석 기법은 기존에 널리 이용되던 크리깅이나 시뮬레이션뿐만 아니라 문턱값을 이용한 복잡성 분석이나 베리오그램의 이방성을 이용한 도로의 방향성 분석 등, 도시의 특성을 표현하는 다양한 인덱스로 활용 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호: 07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 최종근, 2004. 공간정보 모델링, 구미서관.
- Brivio, P. A. and E. Zilioloi, 2001. Urban Pattern Characterization through Geostatistical Analysis of Satellite Images, *Remote Sensing and Urban Analysis*, Taylor and Francis, NY, USA.
- Chen, K. and R. Blong, 2003. Identifying the characteristic scale of scene variation in fine spatial scale resolution imagery with wavelet transform-based sub-image, statistics, *International Journal of Remote Sensing*, 24(9): 1983-1989.
- Colombo, S., M. Chica-Olmo, F. Abarca and H. Eva, 2004. Variographic analysis of tropical forest cover from multi-scale remotely sensed imagery, *Photogrammetry & Remote Sensing*, 58(5): 330-341.
- Jupp, D. L. B., A. H. Strahler and C. E. Woodcock, 1988. Autocorrelation and regularization in digital images I. Basic theory, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26(4): 463-473.
- Jupp, D. L. B., A. H. Strahler and C. E. Woodcock, 1989. Autocorrelation and regularization in digital images II. Simple image models, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 27(3): 247-258.
- Li, P. and Z. Li, 2001. An evaluation of geostatistical texture for remote sensing data classification, *Proceedings of international symposium on Remote Sensing*, pp. 587-592.
- Lloyd, C., P. Atkinson and P. Aplin, 2005. Characterising local spatial variation in land cover using geostatistical functions and the discrete wavelet transform, *Geostatistics for Environmental Applications: Proceedings of the Fifth European Conference on Geostatistics for Environmental Applications*, pp.391-402.

- Van de Wouwer, G., P. Scheunders and D. D. Van, 1999. Statistical texture characterization from discrete wavelet representations, *IEEE Transactions on Image Processing*, 8(4): 592-598.
- Woodcock, C. E. and A. H. Strahler, 1987. The factor of scale in remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 21(3): 311-322.
- Wu, S., B. Xu and L. Wang, 2006. Urban Land-use Classification Using Variogram-based Analysis with an Aerial Photograph, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(7): 813-822.
- Yoo, H. Y., K. Lee and B. D. Kwon, 2006. Spatial Pattern Analysis of High Resolution Satellite Imagery: Level Index Approach using Variogram, *Korean Journal of Remote Sensing*, 22(5): 357-366.