

웨이블릿 변환과 다중해상도분석을 이용한 고해상도 위성영상에서의 도로망 추출

정인철¹ · 손지연¹

Extraction of Road Networks from High Spatial Resolution Satellite Images by Wavelet Transform and Multiresolution Analysis

In-Chul JUNG¹ · Ji-Yeon SOHN¹

요 약

본 연구에서는 고해상도 영상을 도시 도로망 자료 갱신에 이용하기 위한 새로운 반자동적 방법을 소개하고 이를 부산광역시 일부 지역의 KVR-1000 영상에 적용하여 그 결과를 평가하였다. 이 기법은 웨이블릿 변환을 이용하여 다중해상도 분석을 수행하는 것으로, 도시의 다양한 유형의 도로망을 추출 가능하게 해준다. 본 연구에서는 “à trous” 알고리즘을 이용하여 다중해상도 분석 작업을 수행하였으며, 도로는 대로, 중로, 소로로 구분하여 추출하였다. 추출 결과는 매우 양호하여 8 m 해상도의 경우 전체 정확도는 80.5%이었다. 또한 도로의 형태별로도 정확도를 평가하였는데, 직선도로의 정확도가 곡선도로 및 교차로에 비해 우수하였다. 따라서 곡선도로 추출의 정확도를 높이는 기법이 보완된다면, 본 연구는 우리나라의 도시 도로망 데이터베이스 구축에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 고해상도 영상, 웨이블릿 변환, 다중해상도분석, 도로망 추출, “à trous” 알고리즘, 부산광역시

ABSTRACT

This paper presents a new method to extract semi-automatically roads from high spatial resolution satellite imagery. This method is based both on wavelet transform and on multiresolution analysis combined in the “à trous” algorithm. As an urban road network consists on different classes of streets, multiresolution processing allows to extract the streets class by class. The method was applied to a KVR-1000 image on a part of Busan Metropolitan City. The method was carried out for the road extraction of three different widths and it succeeded in extracting good fitted strips. The accuracy analysis for three types of streets was also performed. The overall accuracy in 4 pixels of width is 80.5%. The result suggests that this method can be used to update road networks in the studied

2001년 9월 2일 접수 Received on September 2, 2001

¹ 부산대학교 사회교육학부 지리교육전공 (icjung@pusan.ac.kr, shonji13@pusan.ac.kr)
Dept. of Geography Education, Pusan National University

urban network. In summary, the multiresolution approach based on the wavelet transform, used in this study, is regarded as one of effective methods to extract urban road network from high spatial resolution satellite images.

KEYWORDS: *High Resolution Satellite Image, Wavelet Transform, Multiresolution Analysis, Road Extraction, "à trous" algorithm, Busan Metropolitan City*

서 론

위성영상에서 도로망을 추출하여 지리정보 체계 구축에 사용하려는 많은 연구가 시도되어 왔다. 그러나 도로망 추출에 관한 기존의 대부분의 연구는 연구대상 지역이 농촌 또는 도시 근교 지역에 한정되어 이루어져 왔다. 이는 농촌과 도시 근교지역의 경우는 도로 주변의 식생과의 명확한 밝기 값 차이로 인해 30 m 해상도의 Landsat TM 영상이나 20 m의 SPOT XS 영상으로도 도로망 추출이 가능하기 때문이다. 그렇지만 도시지역의 경우는 중간선도로는 Landsat 영상이나 SPOT 영상과 같은 중해상도 영상으로도 추출이 가능하지만, 소로와 중로는 도로 주변의 건물과 각종 도로 시설물들의 혼재로 인한 혼합화소의 문제 등으로 인해 고해상도 영상도 영상을 이용하지 않으면 추출이 불가능한 실정이다.

그러나 공간해상도가 높다고 도로망의 추출이 반드시 용이한 것은 아니다. 건물 사이의 공간이 도로로 인식되거나, 넓은 폭의 도로가 면으로 나타나는 등의 문제 등이 도로망 추출의 장애 요인으로 작용한다. 따라서 여러 가지 유형의 도로 추출에 적합한 공간해상도의 선정이 중요하다 (Benjamin과 Gaydos, 1990; Cleyenbreugel 등, 1990).

다중해상도분석은 위성영상의 공간해상도를 변환하여 각각의 해상도에서 정보를 추출 분석하는 방법으로 근래에 도로망 추출을 위하여 사용되기 시작한 비교적 새로운 방법이다. 이렇게 다중해상도 분석을 도로망 추출에 사용하게 된 것은 고해상도 영상을 도로망 추출에 이용할 수 있게 되면서이다. 고해상도 영

상을 중·저해상도로 변환하는 것은 가능하지만 역은 불가능하기 때문이다.

다중해상도분석을 이용하여 도로망을 추출하는 기법에는 여러 가지가 존재하지만, 그 중 가장 널리 사용되고 있는 것은 웨이블릿 변환을 이용하는 것이다. 이 기법을 이용한 도로망 추출은 Couloigner 등(1998)에 의해 처음 시도되었는데, 이들은 직교형 도시인 사우디아라비아 제다(Jedda)시의 KVR-1000 영상에 적용하였다. 그러나 이들은 질적인 측면에서만 도로망 추출의 결과를 평가하였으며, 계량화된 평가치는 제시하지 않았다(Couloigner과 Ranchin, 2000). 국내에서는 권금선(1999)에 의해 시도되었는데, 서울과 성남 지역의 공간 해상도 5.8 m의 IRS-1C Panchromatic 영상과 20 m의 SPOT XS 영상에 적용하였다. 연구 결과 1:25,000 수치지도의 도로와 추출한 도로의 길이를 비교하여 각각 55%와 61% 정도의 정확성을 가짐을 확인하였다. 그리고 도로망 추출의 정확성을 높이기 위해서는 고해상도 영상의 사용이 필요하다고 제안하였다.

본 연구의 목적은 두 가지이다. 첫째, 웨이블릿 변환을 이용한 다중해상도 분석을 도로망 추출에 이용하기 위한 이론적 배경을 고찰하는 것이다. 둘째, 이 기법을 직선형 도로망이 아니라 여러 가지 유형의 도로망이 혼재하는 부산광역시 금정구 일대의 도로망 추출에 적용하여 보고 그 정확도를 평가하는 것이다.

연구 범위, 연구 방법 및 연구 자료

1. 연구 범위 및 연구 방법

본 연구에서는 다중해상도분석을 위해 웨

이블릿 변환 기법을 사용하였다. 이 기법들은 원격탐사에서는 최근에 사용되기 시작한 기법이다. 따라서 먼저 웨이블릿 변환과 다중해상도 분석에 관해 소개하였다. 그러나 웨이블릿 변환은 매우 복잡한 수학적 이론이므로 본 연구에서는 웨이블릿 변환에 대한 상세한 소개는 하지 않으며, 웨이블릿 변환을 도로망 추출에 적용하는 과정에 반드시 필요한 이론적 내용에 한정하여 소개하였다.

그리고 웨이블릿 변환과 다중해상도 분석을 이용한 도로망 추출기법을 소개하였다. 그리고 이 기법을 적용하여 도로망을 추출하고 평가하였다. 그러나 도시에 존재하는 모든 종류의 도로를 폭에 따라 세밀히 구분하는 것은 현실적으로 불가능하므로, 본 연구에서는 도로를 부산광역시 도시계획편람(부산광역시, 2000)에 의거하여 폭에 따라 광로(40m 이상), 대로(25m 이상에서 40m 미만), 중로(12m 이상에서 25m 미만), 그리고 소로(12m 미만)로 구분하였다. 그러나 본 연구지역에는 광로가 존재하지 않으므로, 실제 추출 대상은 대로, 중로, 그리고 소로로 한정하였다. 또한 길이 10m(5 화소) 이하의 도로는 추출 대상에서 제외하였다.

도로망 추출의 정확성에 대한 평가는 이론적 측면이 아닌 실질적 측면에서 수행하기로 하고, 대로, 중로, 소로의 분절을 구하여 분절 길이의 80% 이상이 추출된 것을 정확하다고 판단하였다. 또한 실제 도로 길이보다 20% 이상 과다 추출되면 부정확한 것으로 간주하였다. 이와 같은 정확도 분석은 실제 도로의 길이와 정확하게 추출된 도로의 길이를 비교하는 확인정확도(identification accuracy) 및 도로의 중심선을 비교하는 것과 같은 이론적 비교에 비해 정교하지 않지만(Gan, 1996), 측량 작업을 하지 않고도 평가가 가능한 장점이 있다. 실제로 고해상도 영상으로 추출한 도로망을 실제 도로의 길이와 비교하는 것은 현실적으로는 거의 불가능하다. 도로망 화소를 골격

화(skeletonization) 하여 추출한 도로의 길이를 실제 도로의 길이를 비교하는 것은 추출 과정에 수행되는 골격화 알고리즘 선택 및 실제 도로 길이 측량의 정확성 문제 등이 존재하기 때문이다. 그리고 실제 측량 작업을 생략하고 수치지도의 도로 길이와 비교한다 하더라도 중심선 확인 등의 문제가 여전히 존재한다.

일반적인 영상처리는 ENVI 3.4 프로그램을 이용하였으며, 웨이블릿 변환과 다중해상도 분석 프로그램은 IDL 언어를 이용하여 작성하였다. 그리고 추출한 도로망을 벡터화하기 위해서는 Raster2Vector 소프트웨어를 사용하였다.

2. 연구 자료

본 연구에 사용된 영상은 1996년 5월 Russian analogic sensor KVR-1000에 의해 촬영되었으며 부산시의 일부를 포함하는 공간해상도 2m의 고해상도 영상이다. 연구에 사용된 영상의 포함지역은 부산광역시 금정구 장전동과 부곡동 일대에 해당되며 행 512 × 열 512의 크기로 지상면적 약 1km²에 해당한다(그림 1). 2001년을 기준으로 촬영 시점이 5년 경과하였지만, 연구지역에서는 1996년에 비해 새로운 도로망의 건설이나 토지이용의 변화가 거의 일어나지 않았다.



FIGURE 1. Raw image of studied area.

그림 1의 연구지역 상단에서 중심의 오른쪽부터 왼쪽으로 기울어져 내려오는 가장 넓

은 도로는 대로에 해당하며 현지 조사 결과 폭은 약 34m에 이른다. 중로에 해당하는 도로는 대로의 오른쪽과 왼쪽으로 평행한 두 세로 선과 상단의 비교적 명확하게 나타나는 가로 선으로 도로 폭은 약 15m이다. 그 외에 가는 선으로 나타나는 도로망은 대부분 폭이 7m 정도로 모두 소로에 속한다.

그리고 연구지역은 가운데 세로로 나 있는 지하철로를 중심으로 오른쪽 지역은 상당히 규칙적인 격자 형태를 보여주고 있는 반면, 왼쪽 지역은 약간 불규칙적 도로망으로 구성되어 있다. 특히 왼쪽 하단부 지역은 불규칙성이 심하며 곡선로가 많이 나타나고 있다.

웨이블릿 변환을 이용한 영상의 다중해상도 분석

1. 웨이블릿의 개념

웨이블릿은 1983년 Morlet에 의해 소개된 이후 신호를 분석하고 해석하는데 효과적인 수학적 도구로 알려져, 순수수학부터 여러 응용분야에 이르기까지 폭 넓게 연구되어 왔다. 웨이블릿 변환은 푸리에(Fourier) 변환에 기반을 둔 기존의 신호처리 알고리즘에 비해 속도가 빠르고 시간과 주파수영역에서 신호의 국소화를 효율적으로 구현하기 때문에, 최근 신호 및 영상처리 분야에 많이 응용되고 있다.

웨이블릿이란 “작은 파장형의 조각”이라는 뜻이다. 큰 파장형들도 작은 파장형들의 집합으로 볼 수 있으며, 이는 곧 작은 파장형들을 적당한 규칙에 의해 모으면 큰 파장형의 형태를 이룰 수 있다는 것을 의미한다.

웨이블릿의 기본 개념은 스케일에 따라서 분석한다는 것이다. 웨이블릿의 등장은 데이터를 처리하는데 있어서 전체적으로 새로운 관점을 제시했다. 푸리에가 다른 함수들을 표현하는데 사인과 코사인을 중첩할 수 있다는 것을 발견했을 때인 1800년 초기 이후로 함수들

의 중첩(superposition)을 사용한 근사가 존재해왔다. 그러나 불규칙한 함수를 사인과 코사인 함수로 표현하는 것은 한계가 있으므로, 불규칙한 신호를 근사하는 다른 분석법이 필요하게 되었다. 웨이블릿 알고리즘은 여러 스케일 또는 해상도에서 데이터를 처리한다. 즉 큰 “윈도우”로 신호를 조사한다면 큰 형태를 찾아낼 수 있으며, 작은 “윈도우”로 신호를 조사한다면 작은 형태를 찾아낼 수 있다. 따라서 웨이블릿 분석은 숲과 나무를 모두 볼 수 있게 한다(Prasad와 Iyengar, 1997).

2. 웨이블릿 변환과 다중해상도 분석

영상은 화소들의 집합이다. 따라서 영상은 화소들의 함수인 $f(x, y)$ 로 표현할 수 있다. 여기서 (x, y) 는 이산 공간 위치(discrete spatial position)에 해당한다. 그런데 다중해상도 분석에서는 영상을 $f_j(x, y)$ 로 표현하는데, j 는 축척에 해당한다.

$j=0$ 이면 축척은 $2^0=1$ 로, 이것은 영상의 축척을 변환하지 않은 원영상에 해당한다. j 가 증가할수록 소축척으로 변하는데, 예를 들어 $j=1$ 이면 축척은 $1/2$ 이 되고 공간해상도는 원영상의 절반이 된다(Starck 등, 1998).

이렇게 해상도를 변화시켜 영상을 추출하는 것이 다중해상도 분석인데, 웨이블릿 변환을 이용한 다중해상도분석은 저빈도필터(low pass filter)와 고빈도필터(high pass filter)를 영상에 적용하여 해상도를 변경하고 웨이블릿 변환 과정의 근사영상(context image)과 계수영상(coefficient image)을 이용한다. 스케일 변환은 다음과 같은 과정을 통해 이루어진다.

스케일 변환의 단계에서 영상은 $1/4$ 크기의 영상으로 분해된다. 여기서 분해의 웨이블릿 필터 구성원(component)은 수평 방향을 가진 고주파수 정보를 특징화한다. 다음에 행 분해(row decomposition)에 의해 얻어진 고빈도, 저빈도, 하위영상들은 저빈도-저빈도, 저빈도-고빈도, 고빈도-저빈도, 고빈도-고빈도 필터링

의 4개 하위영상을 얻도록 열 방향으로 필터링 된다.

위에서 묘사된 하나의 저빈도 하위영상과 세 개의 고빈도 하위영상들로의 영상분해 후 저빈도 하위영상은 j 를 증가시키면서 행-열 필터링을 반복한다. 이 과정은 저빈도 영상이 더 이상 형태를 추출하지 않을 때까지 계속 반복된다(Gilbert, 1994).

이상의 영상을 다시 재생·복원하고 변환하는 과정을 통하여 도로망 정보가 추출된다. 이러한 절차를 수행하는 웨이블릿 알고리즘으로는 여러 가지 종류가 있으나 실제 도로망 추출을 위해 사용된 것은 Dutilleux에 의해 개발된 “à trous” 알고리즘이다(그림 2). 이 알고리즘은 윤활(smoothing)에 의한 연속 근사 영상을 만들고, 웨이블릿 계수를 두 연속 근사영상의 차를 이용해 계산한다. 단 모든 근사영상과 웨이블릿 계수 영상은 동일한 크기를 갖는다(Coulogner 등, 1998).

웨이블릿 분석을 이용한 도로망 추출

1. 도로망의 특성

도로망 추출을 위해서는 도로망의 특성을 살펴보고 이러한 특성을 가진 형상을 추출해야 한다. 첫째로 고려해야 할 것이 도로의 기하학적 특성으로, 도로는 선형을 이루고 그 너비의 범위가 일정하다. 따라서 격자 구조로 좌우 또는 대각선으로 화소들이 연결되어 있다. 그러나 도로의 유형에 따라서는 너비가 달라진다.

둘째, 분광 특성으로 도로는 주변지역과 대조적인 특색을 가진다. 도로의 재질과 도로상에 위치한 자동차의 수에 따라 분광 값이 달라지지만, 하나의 도로망은 대체로 비슷한 분광 값을 가진다.

셋째, 위상 특성으로 대부분의 도로들은 서

로 연결되어 있다. 즉 막다른 길을 제외하고는 서로 연결되어 있으므로, 이러한 특성을 고려하여야 한다.

넷째, 축척에 따라 추출 가능한 도로망이 다르다. 예를 들어 SPOT Panchromatic 영상에서 추출 가능한 도로망이더라도 KVR-1000에서는 추출이 불가능할 수도 있다. KVR-1000 영상은 SPOT Panchromatic 영상에서 추출할 수 없는 좁은 도로를 추출할 수 있지만, 넓은 도로는 밝기 값의 변량이 높아서 오히려 추출이 어려울 수도 있다.

다섯째, 도로는 주변의 밝기 값과의 차이를 가진 일종의 에지(edge)이다. 에지는 영상에서 영상 분광의 변화에 의해 표현된다. 분광 변화는 한 점에서 갑작스럽게 발생하지 않으며 일정한 간격을 두고 발생한다. 에지의 넓이는 분광 변화가 일어나는 스케일에 따라 달라진다. 따라서 스케일에 따른 영상 분광의 변화를 분석하기 위해서 적절한 빈도의 필터로 영상을 윤활해야 한다.

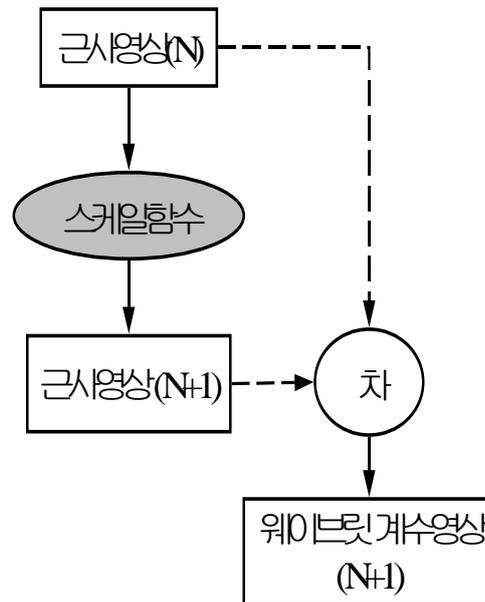


FIGURE 2. The “à trous” algorithm

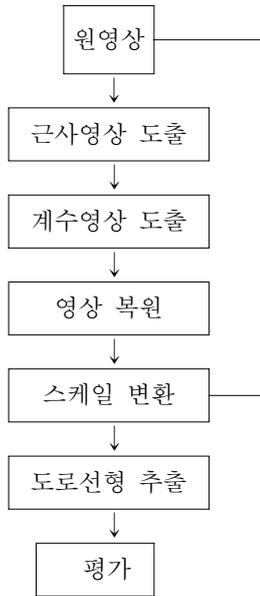


FIGURE 3. Flow chart of the road extraction for study area

2. 도로망 추출 절차

위에서 소개한 도로망의 영상에서의 특성과 본 연구에서 사용하는 “à trous” 알고리즘을 적용하여 도로망을 추출하는 방법은 다음과 같다 (그림 3). 첫째, 원 영상에 저빈도 필터를 적용한다. 저빈도 필터링된 영상은 분광 변화가 발생하는 스케일이 감소하게 된다. 이 하위 샘플링된 영상은 그 스케일의 범위 내에서 발생하는 분광 변화를 조사하게 된다. 이 과정은 영상 분광 변화의 다중해상도 분석을 얻을 때까지 반복된다. 고해상도가 도시공간의 작은 객체들도 세세하게 표현해 내는 장점이 있기는 하나, 이러한 세세함이 오히려 도로망 객체를 추출하는데 방해 요인이 되기도 한다. 따라서 원 영상에 저빈도 필터링을 적용하는 것은 2m라는 고해상도의 장점을 유지하면서 도로망 추출 목적에 방해가 되는 요인을 제거하는 과정이다.

둘째, 저빈도 필터를 적용한 영상에 웨이블릿 변환을 적용하여 근사 영상을 만든다. 이것은 영상에서 필요 없는 정보들을 제거하고, 또

한 영상이 가지고 있는 중요한 정보들이 더욱 집약적으로 나타나도록 하는 역할을 한다.



FIGURE 4. First context image



FIGURE 5. Second context image

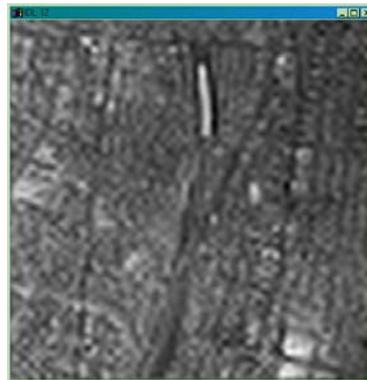


FIGURE 6. Third context image

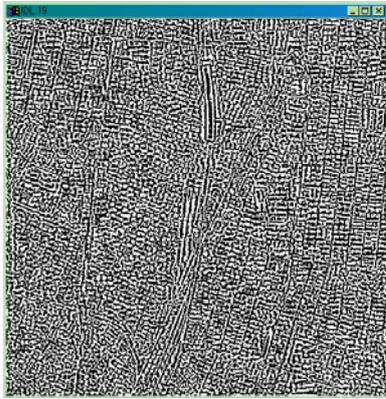


FIGURE 7. First wavelet coefficient image

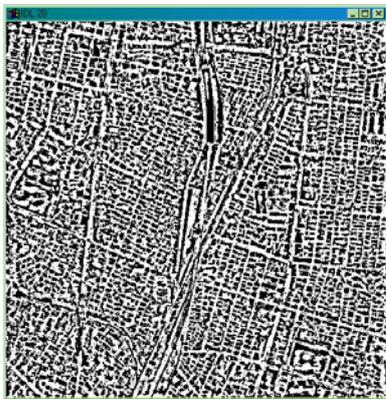


FIGURE 8. Second wavelet coefficient image



FIGURE 9. Third wavelet coefficient image

셋째, 원 영상과 첫 번째 근사 영상의 차를 이용해 첫 번째 계수 영상을 얻고, 스케일을

변화시켜 근사영상(N)과 근사영상(N+1)의 차를 이용해 계수영상(N+1)을 얻는다. 이 과정에서 각 스케일에서의 분광 변화가 감지된다. 즉 새로 생성된 계수 영상에서는 각 스케일의 범위 내에서 분광 변화를 통해 도로를 관찰할 수 있게 된다. 이와 같이 다중해상도 분석은 영상의 연속적인 근사의 차로 스케일 내 영상의 분광 변화를 추출한다.

넷째, 웨이블릿 역변환을 하여 영상을 복원한다. 다섯째, 에지 연산자를 이용해 에지를 추출한다. 여섯째, 결과에 따라 스케일을 증가시켜 처음 단계부터 반복한다.

일곱째, 영상으로부터 추출된 에지에서 도로를 구별할 임계치(threshold value)와 도로 폭을 고려하여 도로 선형을 구분해 낸다.

여덟째, 추출된 도로 선형을 벡터화한다.

연구 결과 및 고찰

1. 도로망 추출 결과

그림 4~9는 스케일 변화에 따른 근사 영상과 계수 영상을 보여주고 있다. 영상은 스케일 변화에 따라 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째(그림 4, 7)는 원 영상의 스케일을 그대로 가지며, 두 번째(그림 5, 8)와 세 번째(그림 6, 9)는 각각 스케일 함수를 한 단계씩 증가시킨 것이다. 스케일 함수의 증가에 따라 해상도가 감소하는 것을 관찰할 수 있는데, 계속 스케일 함수를 증가시켜 보았으나 더 이상의 스케일 함수 증가는 불필요함을 관찰하였다.

먼저 근사영상을 살펴보자. 그림 4와 그림 5를 비교하여 보면 첫 번째 영상에서보다 두 번째 영상에서 도로망을 주변지역과 구분해 내기가 쉬우며 특히 종로의 도로망이 더욱 선명하게 나타남을 알 수 있다. 그림 6의 세 번째 영상에서는 영상이 더욱 흐려져 소로의 도로망은 거의 형태를 알아볼 수 없으며 대로와 종로 또한 흐릿하게 형태만을 나타내고 있다.

첫 번째 계수 영상(그림 7)은 너무 복잡하여

도로망을 구분해 내기가 매우 어려우며, 도로가 아닌 빈 공간이 도로로 추출된 경우를 많이 받



FIGURE 10. Extracted roads(1 pixel width)



FIGURE 11. Extracted roads(2 pixel width)



FIGURE 12. Extracted roads (3 pixel width)

견할 수 있다. 반면 두 번째 영상(그림 8)을 보면 첫 번째보다 영상의 불필요한 부분이 많이 제거되어 도로망 구분이 훨씬 용이함을 알 수 있다. 두 번째 영상부터는 도로망의 선형이 관찰된다. 그러나 과잉추출의 문제가 여전히 존재하여 소로의 구분은 어렵다. 세 번째 영상(그림 9)에서는 두 번째 영상에서 관찰되던 영상 효과가 더욱 향상되어 나타나며 대로, 중로, 소로 모두 구분이 가능하다. 특히 두 번째 영상과 비교해 볼 때 소로 구분이 훨씬 향상된 것을 관찰할 수 있다. 그림 10~12는 각각의 계수영상에서 도로망을 추출하여 벡터화한 것이다.

2. 정확도 평가

벡터화한 최종 결과는 원 영상과의 중첩 및 현지조사를 통하여 평가하였다. 그러나 공간해상도 2m 와 4m에서 추출한 도로망은 도로가 아닌 공간이 도로로 추출되는 과잉 추출이 심하여 정확도가 매우 떨어졌다. 따라서 평가의 대상에서 제외하였고, 8m 해상도에서 추출한 도로망만 다음과 같은 방법으로 정확도를 평가하였다. 첫째, 현지 답사를 통하여 연구 지역에 분포하는 도로망을 확인한다. 둘째, 현지 답사한 결과를 바탕으로 도로 분절 표본을 결정한다. 셋째, 결정한 도로 분절 표본과 벡터화한 최종 결과에 나타난 도로를 확인·평가한다.

이상의 과정에 따라 연구 지역에 분포하는 도로망을 159개의 도로 분절 표본으로 나누어 확인하였는데, 최종 벡터화한 결과에서 각 분절 길이의 80%를 기준으로 80% 이상이 나타나는 분절은 정확한 것으로 평가하였다. 도로 분절 샘플은 대로, 중로, 소로로 나누어 표 1 과 같이 선정하였다. 표 1에서 보면 대로, 중로의 표본 수는 적고 대부분이 소로의 표본인데, 이것은 대로와 중로는 각각 하나의 긴 도로를 하나의 도로 분절로 두는 반면, 소로의 경우 각각의 교차 부분으로 끊어지는 짧은 선형들을 각각 하나의 도로 분절로 보았기 때문이다. 그러므로 대로, 중로, 소로의 도로 분절

표본의 길이를 비교해 볼 때, 대로와 중로의 도로 샘플은 하나의 긴 선형을 이루고 있는데 반해, 소로의 도로 분절 표본은 아주 짧게 끊어진 선형 조각들로 이루어져 있다.

TABLE 1. Accuracy assessment by street width

	전체 도로분절	대로	중로	소로
표본수	159	1	3	155
정확한 분절	127	1	3	123
부정확한 분절	32	0	0	32
정확도(%)	80.5	100	100	79.9

이상과 같이 평가를 수행한 결과 다음과 같은 사실들을 관찰할 수 있었다.

첫째, 대로와 중로의 정확도는 100%이다. 그러나 대로의 경우 도로의 아래 끝 부분에서 도로가 끊어짐을 관찰할 수 있다. 이것은 지하철 아래에 흐르는 온천천을 복개하여 건설한 주차장의 분광 특성이 인접한 대로의 분광 특성과 유사하여, 주차장과 도로와의 구분을 어렵게 하였기 때문이라 추정된다.

둘째, 소로의 정확도는 79.9%로 양호하다고 할 수 있다. 특히 오른쪽 하단 지역의 도로망이 다른 지역에 비해 누락되거나 끊어짐 없이 상당히 정확하게 추출되었음을 관찰할 수 있다. 이것은 다른 지역에 비해 도로망이 규칙적인 격자 형태를 이루고 있어 불규칙적인 도로망 형태를 가진 다른 지역에 비해 추출이 용이하였던 것으로 생각된다.

셋째, 중앙을 가로지르는 대로를 중심으로 왼쪽 지역보다 오른쪽지역의 추출 결과가 양호하다. 이것은 이 지역이 부산대학 지하철 역 주변에 해당하는 지역이라는 점에서 요인을 분석해 볼 때, 토지 이용 즉 상업 지역과 주거 지역의 차이에 따른 결과로 추측된다. 도로의 왼쪽 지역은 부산대학교 앞의 중심 상권으로 상가 건물이 집중적으로 분포하고 있는 지역인 반면, 왼쪽 지역은 전형적인 주택가에 해당

한다. 따라서 왼쪽 지역은 건물과 도로가 불규칙하게 분포하여 도로망 추출이 비교적 어려운 반면, 도로의 오른쪽 지역은 건물과 도로 모두 상대적으로 규칙적인 패턴으로 분포하고 있어서 도로망의 추출이 훨씬 용이하였던 것으로 사료된다.

이 도로 분절 표본을 다시 도로의 형태적 특성에 의해 정확도를 표 2와 같이 평가하였다. 형태적 특성은 직선, 곡선, 교차로의 세 가지로 구분하였다. 따라서 기존 표본이외에 교차로 표본을 추가하여 총 200개의 표본 분절을 선정하여 정확도를 평가하였다. 교차로는 좌우, 상하로 교차되는 지점을 중심으로 벡터화한 결과를 보았을 때 시각적으로 교차로인 것을 구별해 낼 수 있을 때는 정확한 것으로, 그리고 구별할 수 없을 때는 부정확한 것으로 평가하였다.

형태적 특성에 의해 평가한 결과 직선 도로의 정확도에 비해서 곡선도로와 교차로의 정확도가 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구지역의 도로망 추출에서는 “à trous” 알고리즘이 직선 추출에 비해 곡선과 교차로 추출이 미흡하다고 말할 수 있다.

TABLE 2. Accuracy assessment by street form

	직선	곡선	교차로
정확(개)	116	7	25
부정확(개)	31	3	18
정확도(%)	78.9	70	73.5

결 론

본 논문에서는 고해상도인 KVR-1000 위성영상에서 웨이블릿 변환과 다중해상도 분석 방법을 결합한 “à trous” 알고리즘을 이용하여 연구지역의 도로망을 추출하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

첫째, 본 연구에서 사용한 웨이블릿 변환과 다중 해상도 분석은 도로 폭에 따라 다소의 정

확도 차이는 있으나, 도시지역의 도로선형을 추출하는데 매우 유용함을 확인할 수 있었다. 비록 연구 지역이 좁은 지역에 국한되어 있기는 하나 중로 이상의 도로는 100% 추출하였고, 소로도 80%의 정확도로 추출할 수 있었다.

둘째, 본 연구 지역의 경우는 여러 가지 형태의 도로망이 혼재하여 직교형 도로 구조를 가진 지역에 비해 다소 정확도가 떨어지리라고 가정하였으나, 곡선형 도로도 70%의 정확도로 추출이 가능하였다. 따라서 이 기법은 곡선형 도로가 많은 도시의 도로망 추출에도 어느 정도 효과적임을 알 수 있다.

셋째, 연구 지역의 경우 다중해상도 분석에 의해 해상도 변환을 수행하여 도로망을 추출한 결과, 2m와 4m의 고해상도보다 오히려 저빈도 필터를 적용하여 유효한 8m 영상의 추출 결과가 우수하였다. 따라서 도로망 자동 추출을 위한 고해상도 위성의 유용성 문제를 제기할 수 있다. 그러나 이는 축척의 문제로, 소로의 선형까지만 추출한 본 연구에서는 고해상도 영상의 사용효과가 높지 않았으나, 주거지의 골목길과 도로 주변 및 시설물 등을 동시에 지도화하기 위해서는 고해상도 영상이 반드시 필요하다.

결론적으로 본 연구 결과를 통해 웨이블릿 변환을 이용한 다중해상도 분석은 도시정보시스템 구축에 적용 가능함을 확인하였다. 그러나 본 기법이 충분한 타당성을 인정받기 위해서는, 동일 연구 지역에 대한 다른 공간해상도를 가진 위성영상으로부터의 도로망 추출 정확도 비교 및 동일 영상에 대한 다른 도로망 추출 기법을 적용하여 비교하는 등의 후속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. **KAGIS**

참고문헌

권금선. 1999. Wavelet 변환을 사용한 도로선형 추출에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문. 38쪽.

부산광역시. 2000. 부산광역시 도시계획편람. 320쪽.

Benjamin, S. and L. Gaydos. 1990. Spatial resolution requirements for automated cartographic road extraction. *Photographic Engineering and Remote Sensing* 56(1):93-100.

Cleynenbreugel, J., F. Fierens, P. Stuetens and A. Oosterlinck. 1990. Delineating road structures on satellite imagery by a GIS guided technique. *Photographic Engineering and Remote Sensing* 56(6):893-898.

Couloigner, J., T. Ranchin and L. Wald. 1998. Extraction of Urban Network from High Spatial Resolution Imagery. In: P. Gudmandsen(ed.). *Feature Trends in Remote Sensing*. Balkema, Rotterdam, pp.213-220.

Couloigner, J. and T. Ranchin. 2000. Mapping of urban areas ; A multiresolution modeling approach for semi-automatic extraction of streets. *Photographic Engineering and Remote Sensing* 66(7):867-874.

Gan, C.T. 1996. Automated extraction of road networks from satellite images for preparing and updating road location data for geographic information systems in transportation. Ph.D. Thesis, Univ. of Florida, USA. 193pp.

Gilbert, G. 1994. *Wavelets and Other Orthogonal Systems with Application*. CRC Press. 392pp.

Prasad, L. and S.S. Iyengar. 1997. *Wavelet Analysis with Applications to Image Processing*. CRC Press. 304pp.

Starck, J.L., F. Murtagh and A. Bijaoui. 1998. *Image Processing and Data Analysis*. Cambridge University Press. 280pp. **KAGIS**