

고해상도 영상에서 도시내의 직각도로추출

(Extraction of Regular Roads from High Resolution Urban Imagery)

조동민^(*), 박찬용^(*), 박은철^(*), 최준수^(*), 한광수^(*), 김천^(**), 이상무^(†)

Dong-Min Jo^(*), Chanyong Park^(*), Eunchul Park^(*),

Joonsoo Choi^(*), Kwang-Soo Hahn^(*), Cheon Kim^(**), Sang-Moo Lee^(†)

(*) 국민대학교 자연과학대학 컴퓨터학부

(**) 국민대학교 삼림과학대학 산림자원학과, (†) 정보통신부

서울특별시 성북구 861-1 국민대학교 자연과학대학 컴퓨터학부

인공위성 영상이나 항공영상에서 도로를 추출하는 시스템을 구현하는 연구는 지난 20년 동안 많이 진행되어 왔다. 본 논문은 해상도가 1m-2m 정도되는 도시영상에서 직각으로 구성된 도로를 추출하는 시스템의 구현에 관한 것이다. 도시영상에서는 도시내의 가로수나 건물들이 도로를 가리게 되고, 또한 높은 건물의 그림자에 의하여 도로의 많은 부분이 가려지게 되는데, 이러한 경우에 도로를 추출할 수 있는 기법에 대하여 기술한다. 또한 도로상의 중앙 분리선이나 차선 분리선은 건물의 외곽선에 비하여 매우 약하게 나타나므로 영상에서 상대적으로 약하게 나타나는 이러한 도로의 표식을 검출하여 도로를 추출하는 기법에 대하여서도 기술한다.

1. 서론

지리정보시스템(Geographic Information System)에서 관리하고 있는 데이터는 현재의 시점에서 정확한 데이터이어야 하며 이를 위해 항상 데이터를 수집하고, 지리정보시스템에서 관리하는 데이터와 비교, 검증 및 수정하여야 한다. 이를 위하여 1970년 중반 이후에는 위성영상이나 항공영상으로부터 도로나 건물과 같은 인공구조물을 추출하고, 그 위치나 크기를 파악하여 지리정보시스템의 데이터를 효율적으로 수정하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

도로추출을 위한 연구의 대부분은 영상으로부터 선분을 추출하고 이 선분들을 연결하여 도로를 찾거나[BT76], 영상에서 도로의 프로파일에 해당된다고 생각되는 영역들을 연결하여 도로를 찾아내는 방법[G82]에 기반을 두고 있다. 이러한 기본적인 기법에 도로의 기하학적인 형태나, 영상에 나타나는 광-복사도에 따른 형태, 혹

은 도로의 위상에 대한 여러 가지 조건을 주어서 도로를 추출하는 다양한 연구가 진행되어 왔다.

현재까지 개발된 시스템은 사용자가 도로 추출시스템에 관여하는 정도에 따라, 사용자와의 상호작용에 의하여 도로를 추출하는 반자동(semi-automatic) 방식의 추출방법과 사용자와의 상호작용이 전혀 없는 완전자동(automatic) 방식의 추출방법으로 나누어진다.

반자동 추출방식으로 [FTW81]에서는 기존에 연구가 많이 수행된 저해상도 영상에서 직선이나 선분을 추출하는 알고리즘을 종합하여 도로를 추출하는 기법을 제안하였으며, [MD88]에서는 항공영상으로부터 도로를 추출하는 도로추적시스템 ARF(A Road Follower)를 개발하였다.

[CR00]에서는 해상도가 비교적 높은 도시지역의 도로의 외곽선은 평행하다는 도로모델과 영상의 다중해상도(Multiresolution)를 이용하여 도로를 추출하는 기법을

제안하였다.

자동 추출방식으로 [HSM95]에서는 도로와 같은 물체의 여러 가지 다른 특징들은 같은 영상의 다른 해상도를 가지는 영상에서 추출할 수 있다는 사실을 이용하여, 자동적으로 도로를 추출하는 기법을 제안하였으며, [SMR97]에서는 두드러지는 도로의 중심들을 연결하여 영상 전체의 도로망을 분석하며 이를 이용하여 도로를 연결하거나 제거하도록 하는 방법을 제시하였다. 이와는 달리 [BSM99]에서는 도로 조각 주위의 국부적인 영상에서 기하학적이거나 광-복사적인 특성에 관한 정보들을 고려하여 도로조각들을 연결하는 기법을 제시하였다.

이제까지는 상대적으로 복잡하지 않은 시골지역을 대상으로 해상도가 낮은 인공 위성 영상이나, 혹은 상대적으로 해상도가 높은 항공영상으로부터 도로를 추출하는 연구가 많이 진행되어 왔다. 그러나 최근에는 해상도가 높은 도시지역 영상에서 도로를 추출하는 시스템에 관한 연구가 많이 진행되고 있다

본 연구에서는 큰 건물들이 밀집하여 존재하는 대도시 지역의 고해상도 영상에서 자동차, 건물, 가로수 등과 같은 도로주위의 다른 물체와 도로와의 상관관계를 정의하고, 도로의 일반적인 특성을 이용하여 도로의 모델을 만들고, 이를 기반으로 도로를, 특히 수직도로를 추출한다.

2. 도로 모델링

도로 모델링은 기하요소(Geometry), 광복사도(Radiometry), 위상구조(Topology), 주변상황(Context) 등과 같은 여러가지 도로에 관한 정보로 구성되며 다음과 같이 크게 두 부분으로 나눌 수 있다.

첫째로는 실제 순수하게 도로에 관한 특성과 이들 특성에 의하여 도로가 영상에서 나타나는 특징 등을 표현하는 그림 1과 같은 도로모델(Road Model)이다.

두 번째로는 영상에서 도로가 가려지는

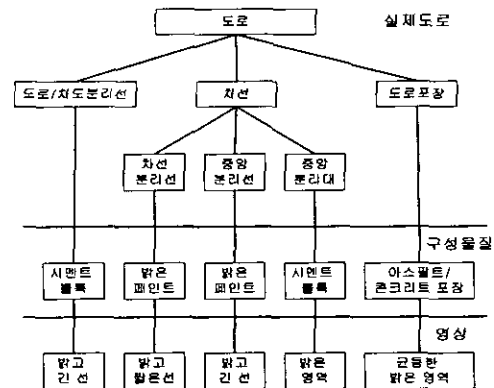


그림1. 도로모델 (Road Model)

데 영향을 줄 수 있는 도로 주변의 인공물과 도로와의 관계를 표현하는 도로 주변상황 모델(Context Model)이다. 이런 도로와 주위물체의 관계는 주로 도로 주위에 한하여 표시된다.

본 논문에서는 위의 두 가지 모델을 기반으로 높은 건물이 밀집하여 존재하는 대도시 영상에서 비교적 규칙적이고 서로 수직인 도로를 추출하고자 한다.

그러나 대도시 영상은 시골영상에 비해 구조가 복잡하고 다양한 물체들이 존재하고, 물체들간의 관계가 복잡하기 때문에 인공위성 또는 항공사진 영상으로부터 도로를 직접 추출하기가 어렵다.

본 연구에서 사용하고자 하는 영상은 주로 해상도가 1m인 IKONOS 위성영상이거나, 앞으로 우리나라에서 보유하게 될 해상도가 1m-2m인 KOMPSAT 위성영상이다.

3. 도로 주변상황에 의한 수직도로 검출

도시영상에서 도로는 그림 2(가)와 같이 건물의 그림자나, 건물 자체에 의하여 가려져서 도로의 특징들이 사라지므로, 도로를 추출하기 힘들다. 그러므로 본 연구에서는 영상에서 도로를 식별하기보다는 영상에서 도로가 가려지는데 영향을 줄 수 있는 도로 주변의 인공물로 인식되어진 부분들을 제거함으로써 도로로 인식하는 방법을 제안한다.

대도시 영상에서 직선성분을 검출하면 많은 부분이 이들 건물의 윤곽선이 검출

되며 이들 대형건물의 방향은 거의 대부분 도로의 방향과 일치한다. 그림 2(나)는 도시 영상(그림 2(가))에 소벨 연산자를 적용시켜 직선성분을 검출한 결과이다.

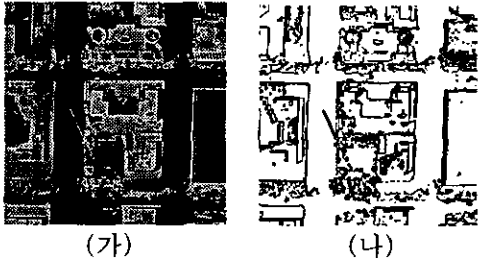


그림 2. 소벨 연산자 적용

그림 2(나)에서 윤곽선은 도로의 윤곽선이 아닌 대형건물의 윤곽선이지만 대형건물은 도로의 방향과 일치한다는 정보를 바탕으로 허프(Hough) 변환을 이용하여 선성분을 추출함으로 도로의 윤곽선을 검출할 수 있다.

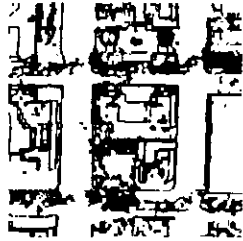


그림 3. 허프 변환 결과

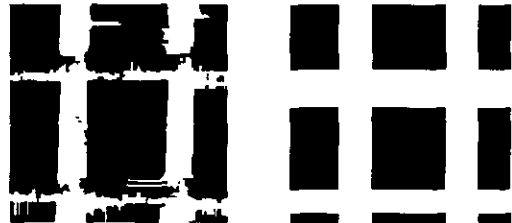
그림 3은 가장 빈도수가 높은 기울기인 0도와 90도(-90도 포함)만을 허프 변환식에 의해 사상하였으며 화소가 집중된 누적 픽셀들의 값을 조사하여 그 값이 특정 값 이상인 픽셀들만을 선택한 후에 완전한 건물의 외곽을 추출하기 위해 거리가 지정된 길이 이내의 픽셀들을 연결한 결과이다.

하지만 도로위의 차량, 건물의 그림자 그리고 사진이 찍힌 건물의 경사도에 따라서 잡음이 발생함으로 이 결과를 도로의 윤곽선이라고 판단할 수는 없다.

허프 변환한 영상을 대상으로 행과 행 방향으로 각각의 픽셀을 검사하여 각각의 합을 2개의 1차원 행렬로 나타낸다. 이 행렬에서 픽셀의 합이 작은 값들을 일정한 비율로 찾아내어 이를 도로의 위치로 추

측한다. 여기서는 일정한 비율 이내의 행과 열의 위치를 갖고 두 가지의 방법으로 도로를 유추하려고 한다.

그림 4(가)는 위에서 정한 값들의 위치를 기준으로 허프 변환 영상을 행 방향 또는 열 방향으로 진행하면서 건물의 윤곽선까지의 지역을 도로로 유추한 것이다. 이것은 짧은 거리의 도로를 추출하기 위한 것이다. 그림 4(나)는 건물의 윤곽선까지의 거리를 평균으로 일정한 넓이의 도로를 유추한 결과이다. 이것은 건물이나 도로 주위의 인공물로부터 도로가 가려질 수 있기 때문에 도로를 일정한 넓이로 추출하기 위한 것이다. 이 방법은 원 영상에서 나타나 있는 도로의 실제 넓이가 아닌 추측에 의한 방법이기 때문에 이것을 도로로 판단하기는 부적합하지만 이 두가지 방법을 사용하여 도로로 추측되어진 부분을 제외하고는 모두 건물 또는 도로 주위의 인공물이라고 판단할 수 있다.



(가)도로에 근사한 방법 (나)일정한 사각형이 되도록 하는 방법

그림 4. 도로 유추

다음으로는 영상처리 기법 중에서 모폴로지의 열림과 닫힘 연산을 사용하여 그림 4(가)를 그림 5로 변형하였다. 이는 도로가 단절되었거나 혹은 도로로서 갖고 있는 얇는 성질인 불규칙적인 선을 제거하려는 목적으로 사용하였으며 일부 잡음을 제거하는 역할을 하기도 한다.

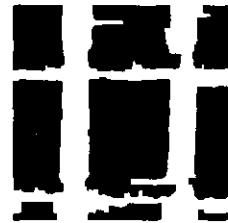


그림 5. 모폴로지 연산 결과

도로 유추후의 영상은 건물이나 인공물, 차량, 가로수 등 인공물이라고 판단되어진 부분을 제거한 영상(그림 6(가))이며 원 영상에서 이 부분을 제거한 후, 위의 방법을 반복해서 재실행함으로 도로를 추출(그림 6(나))할 수 있다.

원 영상(그림 6(다))과 도로를 추출한 후 도로와 건물의 경계를 표시한 영상(그림 6(라))이다.

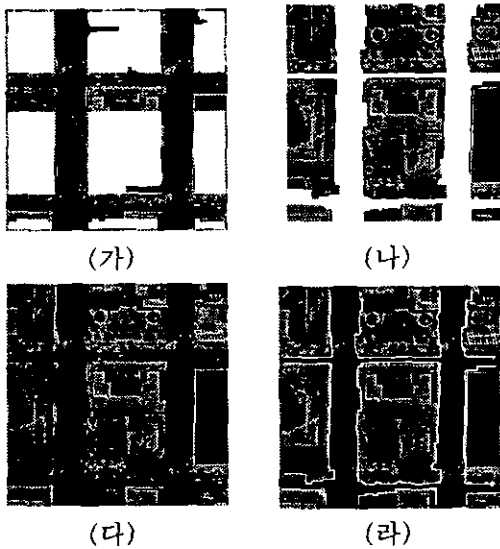


그림 6. 도로 추출 과정 및 결과

4. 프로파일에 의한 도로 추출

도로차선 중에는 점선으로 표시되는 차선분리선과 연속된 직선으로 표시되는 중앙분리선이 있는데, 이들 두 분리선이 도로차선의 외곽을 나타내게 된다. 차선과 차선 사이는 균일한 색상을 가지고, 일정한 광복사도를 가지는 도로포장을 추출하거나, 차선에 위치한 차량을 검출함으로써 추출할 수 있다. 본 연구에서는 IKONOS 위성의 대도시 영상에서 다른 물체보다 상대적으로 희미하게 표시되는 차선을 검출하여 도로를 추출하는 방법을 제안한다. 그림 7은 위성영상과 위성영상의 프로파일을 그래프로 나타낸 것이다.

이를 위하여 도로의 수평이나 수직 프로파일에서 국부적으로(locally) 최대 혹은 최소가 되는 모든 점들을 계산한다. 도로 분리선 사이의 아스팔트는 전체적으로 픽

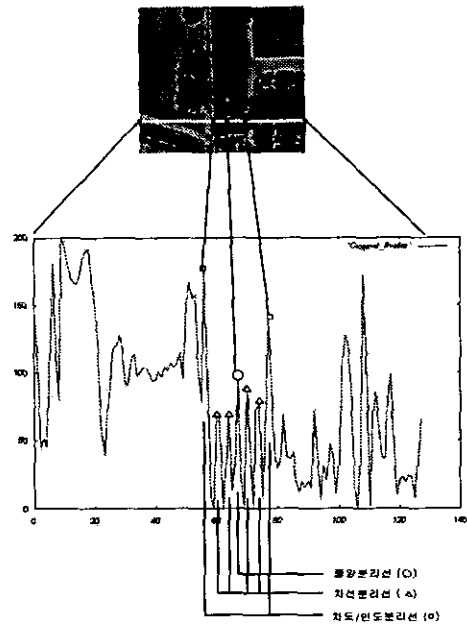


그림 7. 도로 프로파일

셀의 세기에 제한이 있을 수 있으므로, 미리 정해진 값 이상이 되는 최소값을 제거한다. 그리고 영상에서 상대적으로 약하게 표시되는 도로의 직선 표시들을 좀더 명확하게 만드는 방법으로 정규(standard) 웨이블릿 변환[M99]을 적용하여 웨이블릿 계수 중에서 상위의 큰 계수 일정부분만을 선택한 후 웨이블릿 역변환으로 영상을 복원한다. 그림 8(가)는 10% 정규 웨이블릿 계수만을 선택하여 역변환한 영상이다. 그림 8(나)는 이 영상의 프로파일에서 국부적인 최대(black), 최소(white)를 나타낸 영상이다. 그림 (나)에서는 차선이 원영상에서 보다 직선화되어 있음을 알 수 있다.

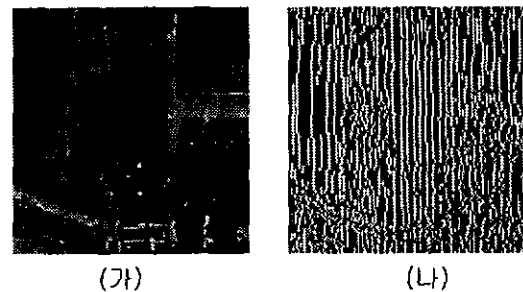


그림 8. 프로파일에서 국부적인 최대점 및 최소점 국부적으로 최대가 되는 점 중에서 도로

의 중앙분리선이나 차선분리선이 될 가능성이 높은 점은 양쪽으로 아스팔트가 있게 되므로, 프로파일에서 주위에 양쪽에 인접한 최소점을 반드시 가지는 점을 선택한다. 이는 분리선의 주변상황(context)을 고려한 것이다.

도로에서 분리선 사이의 아스팔트 부분은 분리선에 의하여 직선화 되어 있으므로, 영상에서는 분리선 보다는 상대적으로 세기가 약한 어두운 색의 선으로 표시된다. 여기서도 아스팔트 부분은 도로의 외곽선이나 도로의 분리선에 의하여 분리되어 있다.

도로의 외곽선은 도로의 분리선과 같이 다른 물체보다는 상대적으로 긴 성분을 가지고 있고, 또한 외곽선과 중앙분리선이나 차선분리선은 기하학적으로 좁고 긴 성분을 가지고 있으므로 이것만으로는 이 두 가지를 서로 분리하여 구분할 수 없다.

그러므로 외곽선을 중앙분리선이나 차선분리선으로부터 구분하기 위하여 외곽선과 인접한 점의 세기의 크기가 중앙분리선이나 차선분리선보다는 상대적으로 크다는 주위환경(context)을 이용하였다.

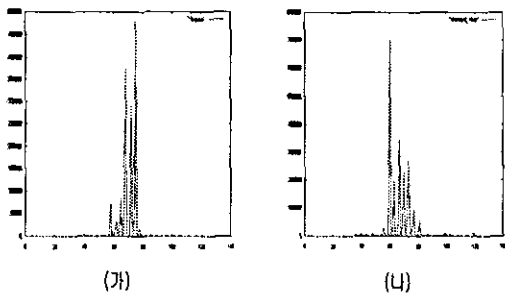


그림 9. 분리선 및 아스팔트 영역검출
그림 9는 이러한 주위환경의 성질을 이용하여 원영상 혹은 웨이블릿 변환영상에서 도로의 차선부분과 도로의 아스팔트 부분을 검출한 것이다. 이 그림으로부터 원래 영상에서 수직으로 도로 및 아스팔트 영역의 위치를 보다 정확하게 파악할 수 있다.

도로를 검출하기 위하여 위와 같은 3가지 요소를 모두 정확하게 검출하여 도로를 추출하는데 사용하는 것이 아니라, 2가지

요소를 상대적으로 정확하게 검출하면, 도로를 정확하게 추출하였다고 가정하고 나머지 하나의 요소는 다른 요소의 정확성을 검증하는데 사용한다.

이러한 프로파일을 이용하여 도로를 추출하기 위해서는 먼저 128×128 크기의 윈도우라고 부르는 작은 정사각형으로 분할하고, 또한 도시내의 도로가 양방향 8차선 혹은 10 차선 이상의 도로라고 가정하면, 이들 도로의 폭은 약 30 m 이상이 된다. 이러한 도로는 해상도가 1m 인 윈도우에서 약 30 픽셀 이상의 너비를 가지게 된다. 또한 도시에서 도로의 점유율을 고려하면 한 쪽 방향으로 약 128 m 인 영역에서 도로가 2개 이상이 존재할 가능성은 매우 낮게 된다.

그러므로 위에서 제시한 프로파일을 이용한 도로검출 기법을 이용하면 윈도우 상에서 도로가 존재할 수 있는 영역을 검출할 수 있게 된다.

이러한 영역 내에서 기존의 직선 검출 기법을 이용하여 도로를 검출한다. 윈도우 영상 내에서 도로의 중앙분리선이나 차선분리선은 다른 건물의 외곽선에 비하여 상대적으로 약하게 나타나므로, 이러한 환경에서 분리선만을 추출하는 것은 어렵다.

그러나 도로가 존재할 가능성이 높은 좁은 영역에서는 상대적으로 세기를 비교할 물체가 없으므로 차선분리선이나, 중앙분리선을 쉽게 추출할 수 있다. 특히 이러한 영역에 존재할 수 있는 물체가 분리선이나 차량, 가로수 정도이므로, 이러한 물체들을 고려하면 보다 정확한 도로를 추출할 수 있을 것이다.



그림 10. 윈도우 영상에서 프로파일에 의한 도로의 검출

그림 10은 이러한 방법으로 윈도우 상에서 프로파일을 이용하여 도로를 검출한 예이다. 검출 대상은 도로의 특징인 도로의 중앙분리선이나 차선분리선 또는 차선/인도 분리선으로서 영상에서 흰색으로 표시되어 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 1m-2m 정도의 해상도를 가지는 위성영상이나 항공영상 중에서 각각 도로를 가지는 도시영상에서 도로를 추출하는 기법을 개발하는데 있다.

도로의 외곽선이 건물이나 가로수에 의하여 가려져 있어 직접적으로 도로를 추출할 수 없을 뿐 아니라, 건물의 그림자에 의하여 도로가 일부 또는 완전히 가려지는 경우도 있다.

이러한 환경에서 도로의 인근에 도로와 평행한 건물이 많이 존재한다는 도로의 주변환경을 정의하고, 도로 인근의 건물의 외곽선을 이용하여 도로를 검출하는 방법을 제시하였고, 또한 도시 도로 중에서 중앙 분리선이나 차선 분리선과 같은 도로의 표식을 검출하여 도로를 검출하는 방법을 제시하였다.

앞으로의 연구되어야 할 방향으로는 도로 모델에 보다 다양하고 정확한 도로의 특성을 부가하거나, 또는 도로의 주위상황을 보다 정교하게 파악해서, 도로 추출 시스템을 구현하면 보다 정확하게 도로를 추출해야 할 것이다. 또한 직선의 도로를 검출하는 작업을 기반으로 궁극적으로 도로 추출 시스템에서는 도로망을 구성할 수 있어야 한다.

감사의 말

본 연구는 정보통신부 주관 정보통신학술연구과제(지정연구 00-07)의 일부로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

[CR00] I. Couloigner and T. Ranchin, Mapping of Urban Areas: A Multires-

olution Modeling Approach for Semi Automatic Extraction of Streets, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No. 7, July 2000.

[BSM99] A. Baumgartner, C. Steger, H. Mayer, W. Eckstein, H. Ebner, Automatic Road Extraction Based on Multi-Scale, Grouping, and Context. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* (65) 7, pp.777-786, 1999.

[BT76] R. Bajcsy, and M. Tavakoli, Computer Recognition of Road from Satellite Pictures, *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, Vol. 6, No. 9, pp.623-637, 1976.

[FTW81] M. A. Fischler, J. M. Tenenbaum, and H. C. Wolf, Detection of Roads and Linear Structures in Low-Resolution Aerial Imagery, *CVGIP*, vol. 15, pp.201-223, 1981.

[G82] W. D. Groch, Extraction of Line Shaped Objects from Aerial Images using a Special Operator to Analyze the Profile of Functions, *Computer Graphics and Image Processing*, 1982.

[HSM95] C. Heipke, C. Steger, and R. Multhammer, A Hierarchical Approach to Automatic Road Extraction from Aerial Imagery. in: *Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision II*, David M. McKeown, Jr., Ian J. Dowman (Editors), Proc. SPIE 2486, pp.222-231, 1995.

[M99] S. Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, 1999.

[MD88] D. M. McKeown and J. L. Denlinger, Cooperative Methods for Road Tracking in Aerial Imagery, *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Ann Arbor, Michigan, June, pp. 662-672, 1998.

[SMR97] C. Steger, H. Mayer, B. Radig, The Role of Grouping for Road Extraction, *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II)*, Birkhauser, Basel, 245-256, 1997.