

새로운 하이브리드 스테레오 정합기법에 의한 3차원 선소추출

| |
|---------|
| 論 文 |
| 53D-4-9 |

3D Line Segment Detection using a New Hybrid Stereo Matching Technique.

李 東 勳* · 禹 東 玟** · 程 泳 基***
(Dong-Hoon Lee · Dong-Min Woo · Young-Kee Jung))

Abstract - We present a new hybrid stereo matching technique in terms of the co-operation of area-based stereo and feature-based stereo. The core of our technique is that feature matching is carried out by the reference of the disparity evaluated by area-based stereo. Since the reference of the disparity can significantly reduce the number of feature matching combinations, feature matching error can be drastically minimized. One requirement of the disparity to be referenced is that it should be reliable to be used in feature matching. To measure the reliability of the disparity, in this paper, we employ the self-consistency of the disparity. Our suggested technique is applied to the detection of 3D line segments by 2D line matching using our hybrid stereo matching, which can be efficiently utilized in the generation of the rooftop model from urban imagery. We carry out the experiments on our hybrid stereo matching scheme. We generate synthetic images by photo-realistic simulation on Avenches data set of Ascona aerial images. Experimental results indicate that the extracted 3D line segments have an average error of 0.5m and verify our proposed scheme. In order to apply our method to the generation of 3D model in urban imagery, we carry out preliminary experiments for rooftop generation. Since occlusions are occurred around the outlines of buildings, we experimentally suggested multi-image hybrid stereo system, based on the fusion of 3D line segments. In terms of the simple domain-specific 3D grouping scheme, we notice that an accurate 3D rooftop model can be generated. In this context, we expect that an extended 3D grouping scheme using our hybrid technique can be efficiently applied to the construction of 3D models with more general types of building rooftops.

Key Words :area-based stereo, feature-based stereo, disparity, 3D line, rooftop model

1 장 서 론

항공영상이나 위성영상과 같은 고 해상도의 디지털 영상은 3차원 지형 복원과 지도 제작 등에서 그 활용도가 매우 증대되고 있다. 3차원 지형복원 과정에서는 스테레오 정합이 가장 중요한 부분으로 정합기법에는 크게 영역기반(area-based stereo) 방법[1-4]과 특징기반(feature-based stereo) 방법[5-7]으로 구분된다.

영역기반방법은 영역의 모든 격자 내에서 수치고도(digital elevation) 정보를 구할 수 있는 장점이 있으므로 3차원 모델을 발생하는데 유용하게 사용 될 수 있다. 계층화 기법[2], NCC(Normalized Cross-Correlation), NSSR(Narrow Search Sub-pixel Registration)[1] 등을 이용한 현재의 영역기반 스테레오 기법의 기술 수준은 매우 정교한 3차원 모델을 구성할 수 있는 수준에 도달해 왔다. 그러나 건물의 모서리나 외곽선과 같은 건물의 경계선에서는 영역기반에서 사용되는

correlation 이나 SSD(Sum of Squared Difference)에 의한 정합특성상 smoothing된 형태의 고도가 발생되어 건물이 많이 포함되는 도시 지형의 3차원모델 발생에는 적합하지 않다. 특징기반 방법은 꼭지점, 경계선[5], zero-crossing 점[6], 선소 등의 특징을 기반으로 하여 정합이 이루어지므로, 도시 지형에 자주 나타나는 건물의 3차원 모델발생에 적합하다. 그러나 복잡한 도시지형 영상에서는 영상 내에 나타난 특징의 개수가 너무 많으므로, 그 정합의 경우의 수가 매우 많다. 따라서 정합오류의 발생 가능성이 매우 높으므로 실제적인 3차원모델 발생에 이용하는 데는 어려움이 많다. 이러한 이유로 특징기반과 영역기반이 서로 보완된 방법이 필요하다.

영역기반과 특징기반이 보완된 연구는 이 2가지 방법을 조합한 형태의 하이브리드 정합 형태로 주로 연구되어 왔다. Kanade[8]는 영역기반을 사용되는 정합창을 건물의 외곽선과 같은 경계선 특징이 있는 부분으로 확장하는 적응적 크기의 정합창을 사용하였다. 이 기법은 건물의 외곽선 부분이 smoothing 되는 현상을 어느 정도 감소시킬 수는 있었다. Han[9]에 의한 하이브리드 스테레오 정합 기법은 Kanade의 적응적 크기 정합창 기법에 기반하여, 정합오류의 통계적 분포에 의한 relaxation 방법에 의해 불연속 지점에서 불일치 값의 정확도를 개선하는 기법을 연구하였다. 이러한 방식의 영역기반과 특징기반의 조합은 2개의 영상에서 추출된 특징

* 正 會 員 : 明知大學 情報工學科 碩士

** 正 會 員 : 明知大學 情報工學科 教授 · 工博

*** 正 會 員 : 湖南大學 컴퓨터工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2003年 12月 10日

最終完了 : 2004年 2月 24日

이 거의 유사하게 나타나야 한다는 현실적으로 실현이 어려운 전제 조건을 만족해야 한다. 또한 정합창에서 correlation이나 SSD를 사용하므로, 정합창을 이용하는 영역기반 방법의 문제점인 정합창의 중심이 정확히 정렬되었다 하더라도 정합창 내의 다른 화소들은 정렬되지 않는 현상인 투영왜곡(perspective distortion)을 피할 수 없다.[4] 따라서 도시영상의 3차원 모델 발생에 필요한 경계선과 같은 특징 부위의 정확한 불일치 값을 구하는 데는 적합하지 않다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해, 본 논문에서는 영역기반 방법과 특징기반 방법의 협조에 의한 새로운 하이브리드 스테레오 정합 기법을 제안하였다. 특징기반 스테레오 정합에 있어서 한 영상에서 나타난 선소를 다른 영상에서의 선소들과 정합할 때, 그 선소를 구성하는 점들에서 영역기반에서 구해진 불일치(disparity) 값을 참조하면 선소정합의 경우의 수를 현저히 감소시킬 수 있으므로, 정확한 선소의 정합을 가능하다. 따라서 제안된 기법은 정확한 3차원 모델의 구성에 매우 효율적으로 적용될 수 있다.

본 논문에서는 정합되는 특징의 대상을 선소(line segment)로 적용하였다. 제안된 새로운 하이브리드 스테레오 정합을 이용하면 정확한 선소의 정합이 가능하며, 결과적으로 정확한 3차원 선소를 추출할 수 있다. 또한 선소정합의 경우의 수 감소에 따라서 탐색에 필요한 연산량도 현격히 감소되어, 신속한 3차원 선소를 추출할 수 있는 장점도 있다.

영역기반 기법에서 구해진 불일치 값은 정합오류를 포함하고 있으므로, 그 중 정확한 값을 가진 불일치만이 선소정합을 위한 참조에 적용되어야 한다. 이를 위해 자기 일치성(self-consistency)의 개념[10]을 불일치 영역에 확장하여[11], 불일치에 대한 자기 일치성을 구한다. 이는 기준 영상과 목표 영상의 역할을 교환했을 때 발생하는 2개의 불일치간의 일관성의 정도로서 각 불일치가 참조될 수 있는 신뢰도를 나타낸다. 본 논문에서 제안된 하이브리드 방법에 의한 3차원 선소검출의 정확성을 입증하기 위해서 도시지역에서의 3차원 모델 발생에 적용하여 실험을 수행하였다. 도시지역 영상의 특성상 건물의 외곽선에서는 스테레오 방법으로는 해결될 수 없는 가려짐(occlusion) 현상이 발생되므로 다 영상(multi-image) 스테레오 기법이 적용되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 새로운 하이브리드 정합기법을 설명하고, 3장에서는 3차원 선소추출에 대해 설명하며, 4장에서는 실험의 과정과 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문에서 제안된 기법의 기여도 및 앞으로의 연구 방향에 대해 언급한다.

2장 불일치 참조에 의한 하이브리드 정합기법

2.1 하이브리드 정합기법의 구성

자연 지형과 인공물이 혼재된 도시영상으로부터 정확한 3차원 선소를 추출하기 위해서 본 논문에서는 서로 상호보완적인 영역기반 기법과 특징기반 기법의 협조 체제를 이용한 하이브리드 스테레오 정합 기법을 제안하였다. 제안된 하이브리드 기법의 핵심은 영역기반 기법에서 발생된 불일치

(disparity) 값을 특징기반 기법의 선소정합에 참조하는 것이다. 실제로 영역기반 기법에서 발생되는 불일치 값은 outlier일 가능성을 배제할 수 없으므로, 신뢰도가 높은 불일치 값만이 참조되어야 한다. 제안된 하이브리드 시스템에 의한 3차원 선소 추출 과정은 그림 1과 같이 나타난다.

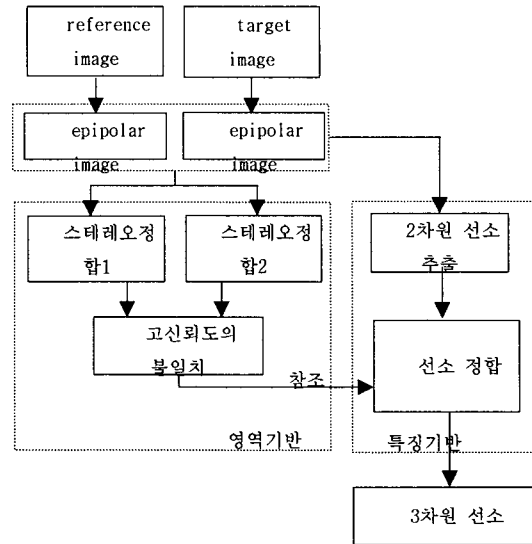


그림 1. 하이브리드 기법에 의한 3차원 선소추출 과정
Fig 1. 3D line segment detection procedure based on hybrid technique

2개의 겹쳐져 취득된 영상을 일반적인 영역기반 스테레오 방법에서와 같이, reference 영상 및 target 영상으로 하여 제안된 3차원 선소검출이 시작된다. 이 과정의 첫 번째 단계는 스테레오 영상 해석 과정에서 보편적으로 사용되는 epipolar resampling으로, 이는 epipolar geometry를 이용하여 reference와 target의 영상 간의 y축 방향 불일치가 없도록 다시 sampling하는 것이다. 이 결과 발생된 epipolar resampling된 영상에 대해서 상기 약속된 하이브리드 정합 기법이 수행된다. 제안된 새로운 하이브리드 정합을 이용한 선소정합의 결과에 3차원 triangulation을 적용하면, 3차원 모델 구성에 직접적으로 이용 가능한 3차원 선소가 추출된다.

2.2 불일치참조

검출된 선소 간의 특징기반 정합을 위해 영역기반에 의해 발생된 불일치 값이 참조된다. 특징기반으로 선소를 정합하기 위해서는 영상 내에 존재하는 모든 선소들 간에 정합이 시도되어야 하는데, 도시지형과 같이 많은 선소를 포함하는 영상에서는 선소들 간의 정합의 경우의 수가 너무 많아 처리속도가 늦어질 뿐 아니라, 정합 오류의 요인이 발생할 가능성이 매우 크다.

실세계에서 같은 지점의 선소는 영상을 획득하는 지점에 따라서 각각의 영상 내에 서로 다른 곳에서 맺히게 된다. 서로 다른 지점에서 획득한 영상 내에서 같은 지점의 선소는 불일치 값을 참조하면 쉽게 찾을 수 있다. 그림 2의 refer-

ence 영상 내의 한 선소 A를 구성하는 점을 각 점의 epipolar 선분을 따라 target 영상으로 불일치 값 d_1, d_2 를 각각 더하여 이동하면, target 영상의 선소인 B 선소에 근접한 위치로 이동되어 B 선소에 정합될 수 있다. 불일치 값 d_1, d_2 가 실제값에 근접할수록 그 정합은 더욱 간단히 수행된다.

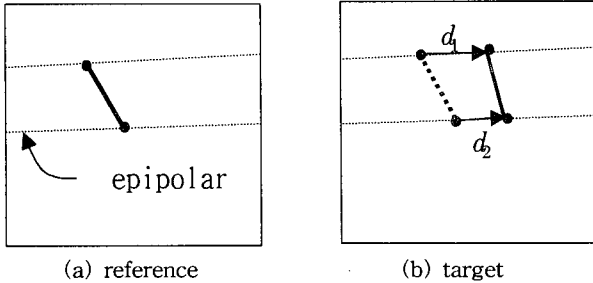


그림 2. 불일치 참조
Fig 2. Disparity reference

2.3 불일치의 신뢰도 평가

불일치 값을 참조하여 신속하고 정확히 선소를 정합하기 위한 조건은 참조될 불일치 값의 신뢰도가 높아야 한다는 것이다. 그러나 영역기반 기법에 의해 발생된 불일치는 정합 오류에 따라 잘못된 값인 outlier일 수도 있다. 따라서 제안된 하이브리드 정합 기법은 불일치 값의 신뢰도를 측정하여, 높은 신뢰도의 불일치 값만이 선소정합에 참조되어야 한다.

불일치의 신뢰도를 측정하기 위해 본 논문에서는 Leclerc가 제안한 자기일치성의 개념[10]을 채용하였다. 자기 일치성의 개념은 원래 DEM(Digital Elevation Model)의 간접적인 정확도 측정에 사용되었던 것으로, 한 지점에 여러 수치고도 값들이 존재할 때, 이들이 이 지점의 정확한 3차원 고도 값을 반영한다면, 이 값들이 일치된다. 하나의 스테레오 영상 쌍으로부터는 기준 영상과 목표 영상의 역할을 달리하면, 동일 지점에 대해 2개의 수치고도가 생성된다. 이때 특정 지점의 2개의 수치고도가 일치되면 그 수치 고도는 정확하다고 간주될 수 있다. 여기서 이 2개의 수치 고도의 차가 자기 일치성이 된다.

그러나 본 연구에서는 불일치가 발생하는 좌표계인 epipolar resampling 영상좌표 영역에서 불일치의 신뢰도가 측정되어야 한다. 따라서 이러한 불일치 영역에서 자기일치성을 구하기 위해 불일치 영역에서 불일치의 자기일치성을 구하는 방법[11]이 채용되었다. Epipolar 스테레오 영상 쌍의 영상 I1와 영상 I2로부터 영역 기반 스테레오 정합을 수행하여 얻은 불일치를 획득한 $D12$ 라고 하면, 기준 영상과 목표 영상의 역할을 바꾸어 영역 기반 스테레오 정합을 수행하여 $D21$ 을 구할 수 있다. 여기서 $D12$ 는 I1의 영역에서 정의되고 $D21$ 은 I2의 영역에서 정의된다. 따라서 이 두 불일치의 일치성을 비교하기 위해서는 I2 영역에서의 $D21$ 을 I1 영역으로 resampling하여 $D12'$ 를 구해야 된다. 이를 위해 불일치 값을 역산한 resampling 하는 과정에 의해 $D12'$ 가 계산된다. I1의 영역에서의 불일치 $D12$ 와 $D12'$ 의 차이가 불일치 영역에서의 자기일치성의 정도로서 사용되었다. 실제로 불일치의 신뢰도

가 큰 경우는 $D12$ 와 $D12'$ 의 차가 대부분 epipolar 좌표계에서 1 픽셀 이하로 관측되었다.

매우 드물게 나타나지만 불일치에 정합오류가 같은 값으로 나올 경우가 있을 수 있으며, 이 경우에는 자기일치성이 신뢰도를 반영 못하는 경우가 발생할 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 불일치의 자기일치성이 높은 경우에 대해서 영역기반 스테레오 정합에서 발생된 정합점수(match score)인 NCC(Normalized Cross-Correlation) 값에 의해 다시 한번 불일치의 신뢰도를 검증하였다. 이 값은 두 개의 정합창 내의 영상의 형태가 동일할 때 최대값인 1을 갖는다. 따라서 이 값이 1에 근접한 값을 가지면 정합 오류가 없이 구해진 불일치라고 판정될 수 있다.

불일치의 자기 일치성에 의해 신뢰도가 높다고 판정되고, NCC 값에 의해 최종적으로 검증된 불일치 값은 참조될 수 있는 불일치로 결정된다. 이때 참조되는 불일치 값은 $D12$ 와 $D12'$ 의 평균치인 $(D12+D12')/2$ 를 사용한다.

3장 3차원 선소추출

3.1 경계선 및 선소추출

Epipolar 영상에서 선소를 추출하기 위하여 여러 가지 추출 알고리즘을 적용해 볼 수 있다. 하지만 검출된 경계선의 두께가 1픽셀 정도로 검출되어야 선소추출 알고리즘을 적용할 수 있으며 구현하기 비교적 간단하지만 좋은 결과를 보여주는 알고리즘을 위하여 Canny 알고리즘을 채용하였다.

Canny 알고리즘을 통하여 구하여진 경계선에서 직선 선소를 검출하기 위해 Boldt[13]가 제안한 token에 근거한 직선 선소 검출 방법이 채용되었다. 이 방법은 경계선으로부터 가장 기본적인 선소인 token을 선소의 속성에 의해 검출하고, 수평/수직/대각 성분 제거, 인접점 제거, 각도 일치점 제거 등의 grouping 과정을 통해 최대한 큰 구조물을 이루는 선소를 추출하는 방식으로 도시 영상에 나타나는 건물의 선소 추출에 매우 효과적이다. 따라서 채용된 선소추출 방법을 이용하여 건물의 2차원 선소 추출을 수행하며, 선소 추출 알고리즘의 수행 결과는 추출된 선소의 시작점과 끝점으로 구성되어, 제안된 하이브리드 기법에 의한 3차원 선소 추출의 기초가 된다.

3.2 2차원선소 정합

Epipolar 영상 내에서 검출된 2차원 선소 중에서 선소를 구성하는 각 점의 불일치의 신뢰도가 높은 부분에 대해 선소의 정합이 수행된다. 그러나 고 신뢰도의 불일치라 하더라도 실제값과는 약간의 차이가 나타난다. 그림 3에서 나타난 2차원 선소의 정합을 보면 reference epipolar 영상의 선소 A를 구성하는 선상의 n 개의 점 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ 에 신뢰도가 높게 판정된 불일치가 존재하고, 그 불일치 값이 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ 이면 식 (1)에 의해 각 선소의 n 개의 점이 target 영상의 점으로 변환된다.

$$a'_i = a_i + d_i \tag{1}$$

Target epipolar 영상으로 변환된 n개의 점, $a_1', a_2', a_3', \dots, a_n'$ 을 연결한 선을 A'라고 하면, 고 신뢰도의 불일치라 하더라도 약간의 오차가 포함되므로, A'는 하나의 직선을 형성하지는 않는다. 그러나 A'를 형성하는 점은 B를 형성하는 점과 매우 근접하므로, 각 지점의 오차는 불일치를 더하여 추정된 점 a'_i 와 정합되는 점 b_i 와의 거리로서 정의되어, 각각의 오차는 식 (2)와 같이 2 점간의 Euclidean distance로 표시된다.

$$e_i = |b_i - a'_i| \tag{2}$$

선소 A와 B가 정합될 기준은 식 (2)에서 구해진 오차의 평균치를 선소의 길이에 따라 정규화해야 한다. 따라서 정합되는 선소 B를 나타내는 벡터 b 가 $b_n - b_1$ 이라하면, 정합의 기준 J 는 오차의 평균치를 선소의 길이인 $|b|$ 로 나누어 준 식 (3)과 같이 구해지며, 이 값이 임계치와 비교되어 선소 A와 B가 정합되는 지가 판정된다.

$$J = \frac{1}{|b| \cdot n} \sum_{i=1}^n e_i \tag{3}$$

그러나 reference epipolar 영상의 선소를 target epipolar 영상의 동일 선상에 존재하는 모든 선소와 정합의 가능성을 식 (3)에 의해 판정할 필요는 없다. 그 이유는 고 신뢰도의 불일치는 매우 작은 값을 가지므로, 한 두개의 점에 의해 후보가 되는 target 영상의 선소가 거의 결정되기 때문이다. 본 논문에서는 reference epipolar 영상의 선분의 시작점과 끝점을 변환하여 target 영상의 정합될 후보의 선분을 구하여 정합이 신속히 수행되게 하였다.

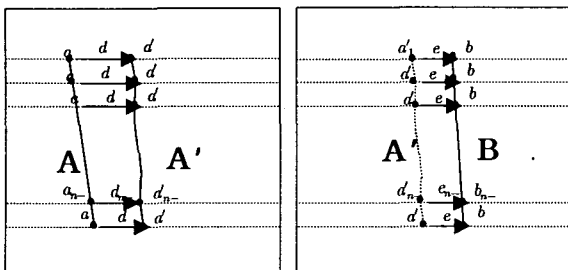


그림 3. 2차원 선소 정합
Fig 3. 2D line segment matching

3.3 선소 정합결과의 개선

앞 절에서 기술된 2차원 선소 정합 결과 선소의 일부분에서만 신뢰도 있는 불일치가 나타나는 경우에는 선소의 일부

분만이 정합의 결과로 나타난다. 또한 한 영상의 선소가 다른 영상에서는 끊어진 경우가 발생되어, 하나의 선소로 나타나야할 정합 결과가 별개의 선소들의 정합 결과로 나타나기도 한다. 이를 위해 본 논문에서는 2차원 선소정합의 결과를 개선하기 위해, 선소 정합 결과의 연장(extension) 및 연결(linking) 과정을 수행하였다.

하나의 선소를 구성하는 시작점과 끝점이 항상 신뢰도가 높은 불일치를 보이지는 않으므로, 선소의 일부분만이 정합될 수 있다. 선소의 연장은 이렇게 2개의 선소의 일부분이 정합되면, 나머지 선소의 부분 중에서 epipolar 선분 상에서 2개의 영상에서 동시에 존재하는 선소의 시작점과 끝점을 정합된 선소로서 연장하는 것이다. 그림 4 (a)에 나타난 경우는 선소 A의 시작점 a_0 부터 a_1 까지는 신뢰도가 높은 불일치 값이 나타나지 않고, 점 a_1 부터 a_n 까지는 신뢰도가 높은 불일치가 나타난 경우이다. 만일 점 a_1 부터 a_n 까지의 선분이 B의 일부분인 점 b_1 부터 b_n 까지의 선분에 정합이 된다면, 정합되는 선소의 연장에 의해 a_0 부터 a_n 까지의 선소가 b_0 부터 b_n 까지의 선소로 연장되어 정합의 결과로 나타난다. 그림 4 (b)의 경우는 선소 A의 시작점 a_0 부터 a_x 까지는 target 영상에서 대응되는 선소가 없는 경우이다. 이때는 2개의 영상에서 최대 중복된 지점인 a_x 부터 a_n 까지의 선소가 b_x 부터 b_n 까지의 선소로 축소되어 정합의 결과로 나타난다.

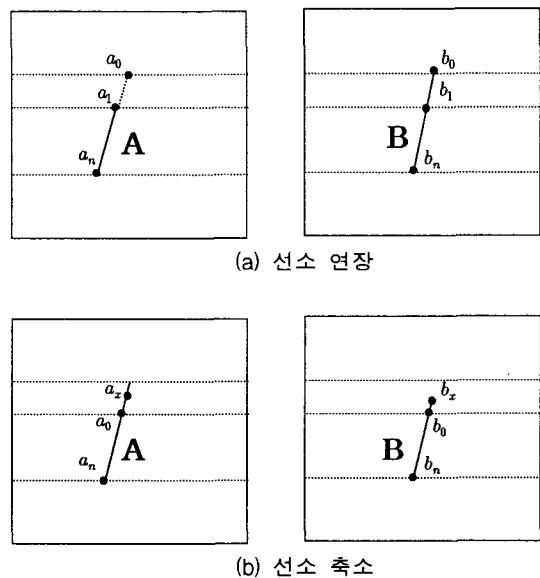
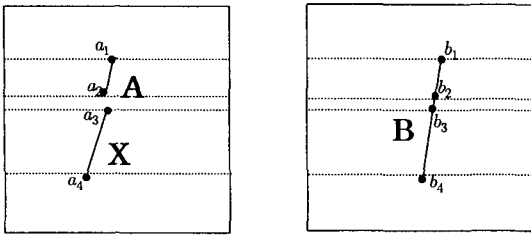


그림 4. 정합된 선소의 연장 및 축소
Fig 4. Extension and reduction of matched line segments

영상에서 경계선을 검출하고 선소를 추출하면 선소가 끊어지는 경우가 발생된다. 이 경우에는 한 영상의 2개의 선소가 다른 영상의 하나의 선소에 정합되면, 이를 2개의 선소를 하나의 선소로 합쳐줄 수 있는데 이를 선소의 연결이라고 한다. 그림 5는 reference 영상의 선소 A와 X가 target 영상의 선소 b의 부분과 정합된 경우이다. 이때는 선소의 연결에 의해 a_1 부터 a_4 까지의 선소가 b_1 부터 b_4 까지의 선소로 연결된 정합의 결과가 나타난다.



(a) 선소의 불연속 (b) 선소 연결

그림 5. 정합된 선소의 연결

Fig 5. Linking of matched line segments

3.4 3차원선소 발생

2차원 선소정합의 결과에 선소의 연장 및 연결과정을 수행하면 개선된 2차원 선소정합의 결과가 발생된다. 정합 결과로 나타난 선소의 시작점과 끝점들을 스테레오 triangulation을 수행하면 3차원 선소가 발생된다.

그러나 이렇게 구해진 3차원 선소도 끊어진 부분이 발생할 수 있으며, 정확한 3차원 모델 발생을 위해 이러한 선소들이 연결되어야 한다. 본 논문에서는 3차원 perceptual organization[14]의 한 부분인 3차원 선소 연결 방법을 채용하여 가능한 한 연결된 3차원 선소를 추출하였다. 추출된 3차원 선소들의 시작점이나 끝점이 3차원 실제계에서 근접되고, 그 방향이 일치되면, 이에 해당하는 3차원 선소를 연결하여 하나의 3차원 선소로 구성한다.

모든 선소는 vector 좌표계로 표현이 가능하고 두 선소의 벡터선의 내적이 일정 각도 이내이고 근접해 있는 선이면 같은 선소의 연장이라고 판정 할 수 있다. 두 선소를 벡터 \vec{x}, \vec{y} 라 하면, 선소간의 cosine 값이 식 (4)와 같이 구해질 수 있다.

$$\cos \theta = \frac{\vec{x} \cdot \vec{y}}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \tag{4}$$

두 선소의 방향이 유사하다면 $\cos \theta$ 는 1에 근접하게 된다. 따라서 두 선소의 $\cos \theta$ 가 1에 근접하고 선소의 끝점간의 좌표가 거리를 구해 인접한 지점으로 판정되면, 그 두 선소는 같은 선소라 판단되어, 하나의 3차원 선소로 연결된다.

4장 실험 및 결과 분석

4.1 실험방법 및 실험영상의 제작

본 연구에서는 모의영상 발생에 의한 3차원 선소 추출의 결과를 정량적으로 평가하는 방법을 수행하였다. 우리가 미리 확보하고 있는 DEM과 정사영상이 있다면, 이들을 가상의 실제값(pseudo ground truth)으로 가정한다. 이렇게 가상의 실제값으로 가정된 DEM과 정사영상으로부터 ray tracing 기

법에 의해 모의 영상을 제작할 수 있다[11][12]. 모의 영상으로부터 평가하고자 하는 3차원 선소추출을 수행하여 원래의 실제값 3차원 선소와 비교하는 방법을 적용하여 실험 및 결과 분석을 수행하였다. 실험에서는 Avenches 지역의 데이터를 이용하였다. 또한 제안된 3차원 선소 추출 기법의 활용도를 입증하기 위해, 3차원 모델 구성에 적용한 실험을 수행했는데, 사용된 도시지역 영상의 특성상 건물의 외곽선에서는 스테레오 방법으로는 해결될 수 없는 가려짐(occlusion) 현상이 발생되므로 다 영상(multi-image) 스테레오에 의한 3차원 모델 구성을 실험하였다.

스위스의 Avenches 지역의 Ascona 항공 영상 데이터를 기반으로 실험 환경이 설정되었다. Avenches 데이터는 정사영상 및 지형 및 건물에 대한 실제값(ground truth)을 포함하고 있으므로, 3차원 영상해석 과정에 대한 분석 및 평가에 효율적으로 사용될 수 있다. 본 연구에서는 Avenches 데이터에서 제공되는 정사영상과 지형 및 건축물의 3차원 모델을 이용하여 다양한 모의 영상을 제작 실험하였다.

Avenches 데이터에 포함된 산업 지역의 rooftop 모델을 AUTOCAD 포맷의 데이터 파일로 제공되는데, 이를 본 실험의 3차원 선소의 실제값으로 사용하였다. 그림 6은 산업지역 rooftop의 3차원 선소를 정사영상의 형태로 나타낸 것이다.

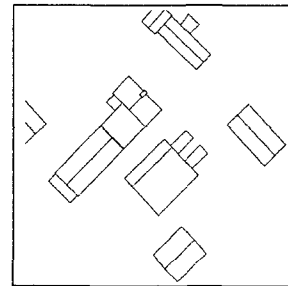
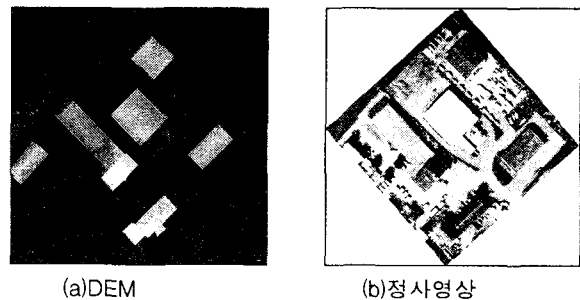


그림 6. 산업지역의 rooftop
Fig 6. Rooftop of industry area

Photo-realistic simulation에 의해 실험에 사용될 모의 영상 제작을 위해서는 실제 값으로 간주될 정사영상과 DEM이 필요하다. 정사영상은 Avenches 데이터에 포함되나, DEM은 제공되지 않는다. 따라서 그림 6에 나타난 3차원 선소 형태의 rooftop 모델을 DEM 형태로 변환하여, Avenches 데이터에서 제공되는 산업지역의 지형정보와 합성하여 실제값으로 사용될 DEM을 구성하였다. 그림 7의 (a)와 (b)는 합성된 DEM과 정사영상이다.



(a)DEM (b)정사영상
그림 7. 산업지역의 합성된 DEM 및 정사영상 발생
Fig 7. Generation of composed DEM and its ortho-image

그림 7에 나타난 ground truth DEM과 정사영상을 이용하여 photo-realistic simulator에 의해 모의 영상이 제작되었다. 모의 영상은 고도 1500m 지점에서 정사영상의 좌상, 우상, 우하, 좌하의 방향에서 취득된 것같이 총 4개의 영상이 제작되었다. 그림 8은 이렇게 제작된 4개의 모의영상 A, B, C, D를 나타낸다.

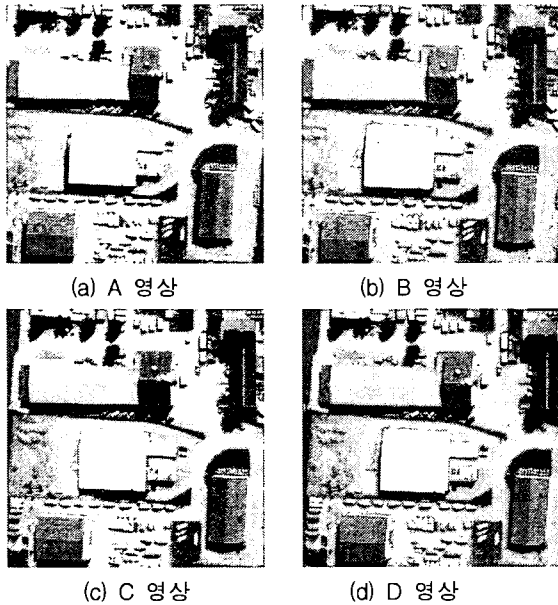


그림 8. 산업지역의 모의영상
Fig 8. Synthetic images of industry area

4.2 3차원 선소추출 실험

제안된 하이브리드 스테레오 정합을 수행하기 위해서, 영역기반 스테레오 정합의 실험이 필요하다. 영역기반 스테레오 정합의 실험의 첫 단계로서 epipolar resampling이 수행되었다. 그림 9는 모의 영상 A와 B에 대해 epipolar resampling이 수행된 결과이다. Epipolar 영상을 관측한 결과 영상에서 y축으로 불일치가 나타나지 않아 epipolar resampling이 적절히 수행되었음을 알 수 있다.

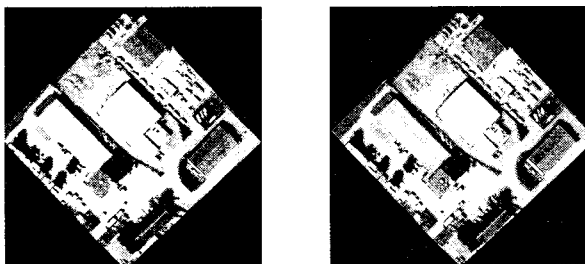


그림 9. Epipolar 영상
Fig 9. Epipolar images

그림 9에 나타난 epipolar 영상에 대해 영역기반 스테레오

정합이 수행되었다. 먼저 epipolar 영상 A를 reference 영상으로 하고, epipolar 영상 B를 target 영상으로 하여 불일치 map을 구한 결과가 DAB로서 그림 10 (a)와 같이 나타나며, reference 영상과 target 영상을 역할을 달리하여 구한 불일치 map이 DBA로서 그림 10 (b)와 같이 나타난다.

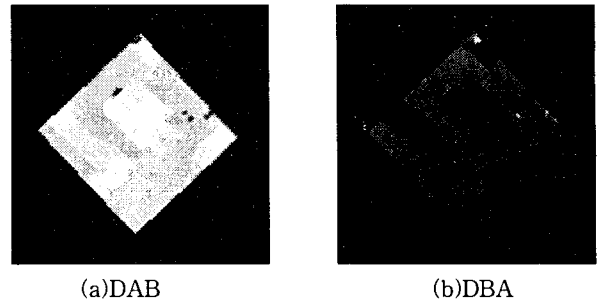


그림 10. 불일치 map
Fig 10. Disparity maps

특징기반 스테레오 정합을 위해 각각의 epipolar resampling 된 영상에 Canny 알고리즘에 의해 경계선을 검출하고, 채용된 선소추출 알고리즘에 의해 2차원 선소가 추출되었다. 그림 11은 각각의 reference 및 target 영상에 대해 추출된 2차원 선소의 결과이다.

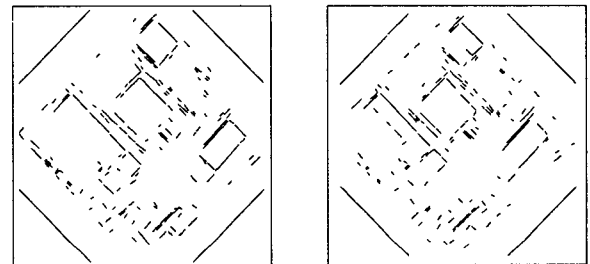
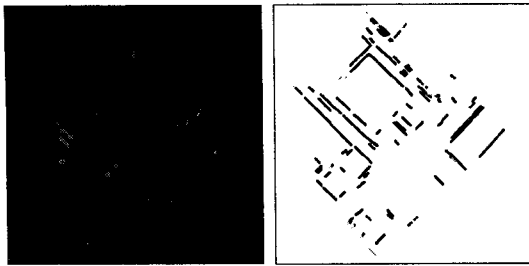


그림 11. 2차원 선소 추출 결과
Fig 11. Results of 2D line segment detection

제안된 하이브리드 정합을 위해서는 고 신뢰도의 불일치만이 참조되어야 한다. 이를 위해 불일치 영역에서의 자기 일치성인 DAB와 DAB'의 차가 계산되었다. 그림 12(a)는 DAB와 (b)DAB'의 크기의 차를 영상으로 표시한 것이다. 여기서 그 값이 어두울수록 그 차이가 작아 높은 자기일치성을 나타내며, 결과적으로 신뢰도가 높은 부분이다.

본 실험에서는 DAB와 DAB'의 차가 1 픽셀이하이면 고 신뢰도의 불일치로서 2차원 선소 정합에 참조할 수 있는 불일치로서 판정하였다. 그림 12(b)는 epipolar 영상 A의 2차원 선소 중에서 불일치 참조가 가능한 부분을 어둡게, 불일치 참조가 될 수 없는 부분은 회색으로 표시하였다. 실제로 불일치의 자기일치성이 높더라도 본 논문에서 제안된 방법에 의하면 정합점수인 NCC에 의해 신뢰도를 다시 한번 검증하게 되어 있다. 그러나 DAB와 DAB'의 차가 1 픽셀이하인 선소의 부분에서는 항상 높은 NCC 값을 보여, 자기 일치성이 높게 판정된 모든 불일치가 본 실험에서는 모두 참조되었다.



(a) 불일치의 자기일치성 (b) 고신뢰도의 선소부분

그림 12. 불일치의 신뢰도
Fig 12. Reliability of disparity

그림 13은 영상 쌍 AB에 대해 제안된 하이브리드 방식에 의해 2차원 선소정합을 수행하고, 이 결과를 선소 연장 및 선소 연결에 의해 3차원 선소 추출하여 측면에서 투시화한 영상이다. 실제로 많은 3차원 선소가 추출되었으나, 가려짐 현상으로 인해 추출되지 못한 선소도 있음을 알 수 있다. 영상쌍 AB, BC, CD, DA에 대해 추출된 3차원 선소를 정사화한 것이 그림 14이다.

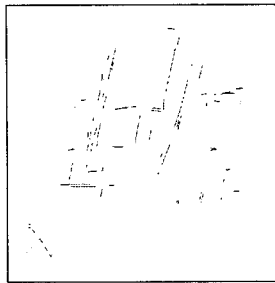


그림 13. AB 영상쌍의 3차원 선소
Fig 13. 3D line segments from image pair AB

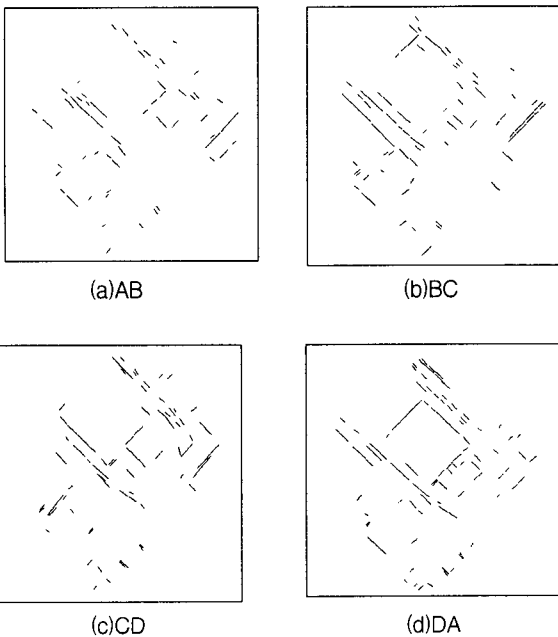


그림 14. 여러 영상 쌍으로부터 추출된 3차원 선소
Fig 14. Detected 3D line segments from various image pairs

그림 14에서 나타난 바와 같이, 한 영상 쌍의 하이브리드 정합에 의해 건물의 3차원 선소를 구한 결과, 가려짐 현상으로 인해 모든 선소를 다 검출하지는 못함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 제안된 기법의 활용도를 시험하기 위해 여러 영상 쌍에서 구한 선소를 융합하는 다 영상 하이브리드 방식을 채용하여, 3차원 모델을 구성하는 실험을 수행하였다. 여러 방향에서 구한 선소를 융합하기 위해 선소의 차를 이용하여 같은 선소들은 동일 군으로 grouping하고, 동일 군의 선소들을 LSE(Least Squared Error)에 의해 하나의 선소로서 구하였다. 그림 15는 이러한 융합방법에 의해 구해진 3차원 선소를 2개의 방향에서 3차원으로 표시한 것이다.

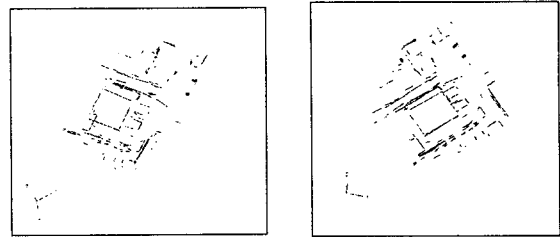


그림 15. 여러 방면에서 융합한 3차원 선소
Fig 15. Fused 3D line segments

표 1은 각 영상 쌍에 의해 검출된 3차원 선소를 그림 6에 나타난 3차원 선소의 실제값과 비교한 결과이다. 비교 결과를 정량적인 거리로 환산하기 위해 평균 3차원 거리 오차를 식 (4)와 같이 계산하였다.

$$\frac{\sum (e_{1i} + e_{2i}) \times di}{\sum di} \quad (4)$$

여기서, e_{1i} 와 e_{2i} 는 1번째 선소의 시작점과 끝점에서 실제 값으로 정의된 3차원 선소까지의 거리이고, d_i 는 1번째 선소의 길이이다.

평균오차를 계산해본 결과, 영상 쌍 BC간으로부터 구한 오차가 약 0.47m로서 가장 정확했으며, 영상 쌍 AB로부터 구한 오차가 약 0.88m로서 비교적 많은 평균오차가 검출되었다. 전체 3차원 선소들을 모두 융합한 결과는 4개의 영상 쌍의 오차의 평균과 비슷한 0.58m로 나타났다.

표 1. 추출된 3차원 선소의 평균오차 [단위 : m]
Table 1. Average errors of detected line segments [unit : m]

| | 제안된 하이브리드 기법 | 영역기반기법 |
|----------------|--------------|--------|
| AB 영상쌍의 3차원 선소 | 0.8827 | 2.1534 |
| BC 영상쌍의 3차원 선소 | 0.4664 | 2.1679 |
| CD 영상쌍의 3차원 선소 | 0.6138 | 2.1290 |
| DA 영상쌍의 3차원 선소 | 0.4738 | 2.0904 |
| 융합된 3차원 선소 | 0.5796 | N/A |

실제로 제안된 하이브리드 기법의 유효성을 검증하기 위해 기존의 기법과의 비교가 필요하다. 그러나 기존의 특징기반 선소 정합의 경우는 정합오류가 발생할 가능성이 본 기법보다는 클 수밖에 없으므로, 본 기법에 비해 부정확하게 나타날 수밖에 없다. 따라서 영역기반 기법과의 비교만을 수행하였다. 실제값으로 가정된 3차원 선소가 있는 지점에서의 수치고도를 DEM으로부터 보간에 의해 구해 수치고도의 실제값과 비교하는 방법을 사용하였다. 이 결과 평균 2.0m - 2.2m 정도의 수치고도 오차가 건물의 외곽선에서 나타나 제안된 방법에 비해 훨씬 많은 오차를 나타내었다. 또한 건물의 외곽선에서 고도 변화가 심해 3차원 모델 구성에 직접적으로 사용할 수 없는 결정적인 단점이 있다.

4.3 3차원 모델 구성 실험

건물의 3차원 모델 구성에 의한 rooftop 발생은 본 논문에서 제안된 방법의 영역 밖의 연구이나, 제안된 방법의 활용도를 입증하기 위해 가장 기본적인 기법을 이용하여 기초적인 실험을 수행하였다. 이를 위해 본 연구에서는 실험 영상의 영역에 있는 건물의 형태인 직사각형 형태의 rooftop만을 가정하였다.

이러한 가정에 기본적으로 실험적인 3차원 grouping이 수행되었다. 먼저 수평면을 구성하는 인접한 line들로부터 junction을 추출하는 junction extraction이 수행되었으며, 구하여진 3차원 선소의 rooftop검출을 위하여 본 실험에서 적용 가능한 몇 가지 조건으로 다음과 같이 rooftop을 검출하였다.

3차원상에서 건물의 특징점들을 그림 16 (a)와 같이 찾을 수 있다. 건물의 특징점으로는 건물의 L-Corner 와 T-Corner를 찾을 수 있으며 이러한 특징점들은 3차원 모델발생을 위하여 가정하였던 건물의 지붕은 직사각형이라는 것을 참조하여 특징점들의 조합으로 건물 지붕의 가설을 그림 16 (b)과 같이 구할 수 있다.



(a) 특징점 (b) 가설 (c) rooftop
 그림 16. 실험적인 3차원 grouping 결과
 Fig 16. Experimental 3D grouping result

구하여진 가설은 가설이 건물의 지붕이 될 수 있는 여러 가지 조건을 검색한 결과 그림 16 (c)와 같이 구해질 수 있다. 제한적인 방법이기기는 하지만 본 실험에서 구한 3차원 선소의 결과를 좀더 시각적인 표현을 위하여 구하여진 결과를 측면에서 표시할 수 있다. 이를 위해 구해진 건물의 모델을 AUTOCAD 데이터 포맷에 맞게 변경하여 3차원으로 나타낸 결과가 그림 17에 나타난다. 이러한 실험적인 3차원 grouping을 통해 제안된 방법에 의해 추출된 3차원선소가 3차원

모델 구성에 직접적으로 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

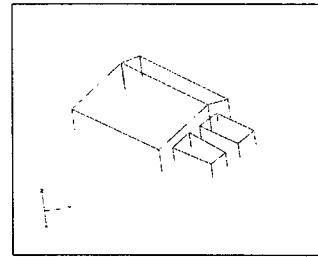


그림 17. 검출된 3D rooftop 모델
 Fig 17. Detected 3D rooftop model

5장 결론

새로운 하이브리드 정합기법에 의한 영역기반 방법과 특징기반 방법의 협조가 연구되었다. 영역기반에서 발생된 불일치 참조에 의한 제안된 하이브리드 정합기법에 의해 선소의 정합에 적용한 결과, 오류가 없는 선소의 정합이 수행 되어, 보다 정확한 3차원 선소의 추출이 가능하였다.

본 논문 결과를 도시지형의 3차원 모델 구축에 적용하기 위해 다영상 하이브리드 스테레오 시스템을 제시하고, 기본적인 실험을 수행하였다. 건물의 rooftop 구성을 구하기 위해 건물의 형태를 직사각형으로 가정한 간단한 실험적인 방법을 사용한 결과 원래의 건물모델과 거의 일치하는 3차원 rooftop 모델을 구성하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 향후 일반적인 건물의 rooftop 모델의 구성이 본 연구의 후속연구로 수행되어야 한다. 기존에 많이 연구되었던 2차원 perceptual organization 기법을 3차원 선소에 적용한 3차원 perceptual grouping[14] 방법의 심도있는 연구가 앞으로 필요하며, 이러한 일련의 연구들이 본 연구결과와 함께 도시 지역의 3D 모델 구성에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

감사의 글
 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구
 (과제번호: R01-2002-000-00336-0)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] D. J. Panton, "A flexible approach to digital stereo mapping", Photogram. Eng. Remote Sensing, vol. 44, no. 12, pp. 1499-1512, 1978.
 [2] M. J. Hannah, "A system for digital stereo image matching", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 55, no. 12, pp. 1765-1770, 1989.
 [3] Y. Hung, C. Chen, K. Hung, Y. Chen and C. Fuh, "Multipass hierarchical stereo matching for generation of digital terrain models from aerial images", Machine Vision and Applications, vol. 10, no. 5/6, pp. 280-291, 1998.

- [4] H. Mostafavi, "Image correlation with geometric distortion. Part II: Effects on local accuracy", IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, vol. 14, no. 3, pp. 494-500, 1978.
- [5] W. E. L. Grimson, "Computational experiments with feature based stereo algorithm", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 7, no. 1, pp. 17-34, 1985.
- [6] D. Marr and T. Poggio, "A computational theory of human stereo vision", Proc. Roy. Soc. London B204, pp. 301-328, 1979.
- [7] D. De Vleeschauwer, "An intensity-based, coarse-to-fine approach to reliably measure binocular disparity", CVGIP: Image Understanding, vol. 57, no. 2, pp. 204-218, 1993.
- [8] T. Kanade and M. Okutumi, "A Stereo matching algorithm with adaptive window: theory and experiment", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. vol. 16, No. 8, pp. 920-932, 1994.
- [9] K. Y. Han, T. M. Bae and Y. H. ha, "Hybrid stereo matching with a new relaxation scheme of preserving disparity discontinuity", Pattern Recognition. vol. 33, pp. 767-785, 2000.
- [10] Y. Leclerc and Q. Luong, "Self-consistency: A novel approach to characterizing the accuracy and reliability of point correspondence algorithms", DARPA Image Understanding Workshop, Monterey, CA, Morgan Kaufman, 1998.
- [11] H. Schultz, A. Hanson, E. Reisman, F. Stolle, Z. Zhu and D. Woo, "A self-consistency technique for fusing 3D information", Processing of 5th Int. Conf. on Information Fusion, pp. 1106-1112, 2002.
- [12] H. Schultz, D. Woo, E. Reisman and F. Stolle, "Error detection and DEM fusion using self-consistency", 7th IEEE Int. Conf. on Computer Vision, 1999.
- [13] M. Boldt, R. Weiss, and E. Reisman, Token-based extraction of straight lines, IEEE Trans. Systems Man Cybernet. vol. 19, no. 6, pp.1581-1594, 1989.
- [14] C. Lin, A. Huertas and R. Nevatia, "Detection of buildings using perceptual grouping and shadows," Proceedings of IEEE CVPR, pp. 62-69, 1994.

저 자 소 개



이 동 훈(李東勳)

2002년 명지대 전자통신공학과 졸업
2004년 명지대 정보제어공학과 졸업(석사)



우 동 민(禹東旻)

1958년 2월6일생
1980년 연세대 공대 전자공학과 졸업
1982년 연세대 공대 전자공학과 졸업(석사)
1987년 미국 Case Western Reserve University 전기공학과 졸업(Ph.D.)
1987년-1990년 LG산전(주) 연구소 선임연구원
1990년- 현재 명지대학교 정보공학과 교수



정 영 기(程泳基)

1986년 서울대학교 전기공학과 (학사)
1994년 한국과학기술원 전기및전자과(석사)
2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 (박사)
1986년-1999년 LG산전 연구소 선임 연구원
1999년-현재 호남대학교 컴퓨터공학과 조교수