

스테레오 영상 인식에 기반한 3D 물체의 부피계측방법

정 윤 수[†] · 이 해 원^{††} · 김 진 식^{†††} · 원 종 운^{††††}

요 약

본 논문에서는 스테레오 영상 인식에 기반한 직육면체형 물체의 부피를 계측하는 한 방법이 제안된다. 제안된 방법은 두 대의 CCD(charge coupled device)카메라로부터 획득된 영상에 대하여 관심영역추출, 특징 추출, 그리고 스테레오 정합에 기반한 꼭지점 인식의 과정을 통하여 3D 물체의 부피를 계측한다. 제안된 방법은 3D물체의 특징을 나타내는 꼭지점 후보들을 영상처리과정을 통해 추출한 후, 이들 꼭지점들에 대해서만 스테레오 정합을 수행함으로써 고속의 부피 계측이 가능한 이점이 있다. 실험을 통하여, 본 논문에서 제안한 방법이 직육면체형 물체의 고속 부피계측에 효과적으로 사용될 수 있음이 보여진다.

A Stereo Image Recognition-Based Method for measuring the volume of 3D Object

Yun-Su Chung[†] · Hae-Won Lee^{††} · Jin-Seok Kim^{†††} · Jong-Un Won^{††††}

ABSTRACT

In this paper, we propose a stereo image recognition-based method for measuring the volume of the rectangular parallelepiped. The method measures the volume from two images captured with two CCD (charge coupled device) cameras by sequential processes such as ROI (region of interest) extraction, feature extraction, and stereo matching-based vertex recognition. The proposed method makes it possible to measure the volume of the 3D object at high speed because only a few features are used in the process of stereo matching. From experimental results, it is demonstrated that this method is very effective for measuring the volume of the rectangular parallelepiped at high speed.

키워드 : 부피 계측(cubing), 특징 추출(feature extraction), 스테레오 정합(stereo matching), 벡터화(vectorization)

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 들어 경제 발전과 더불어 택배 및 소포와 같은 화물의 비중이 증가함에 따라 화물의 운송을 위한 물류비용이 급격히 증가하고 있으며, 경제비용에서 이러한 물류비용 또한 나날이 증가하고 있다. 물류비용의 증가는 물류업체들에 대해서는 효과적인 운송 체계의 수립을 위한 방법을 요구하고 있으며, 이와 함께 물류 대행업체에 대해서는 합리적인 운송비용의 책정을 요구하고 있다.

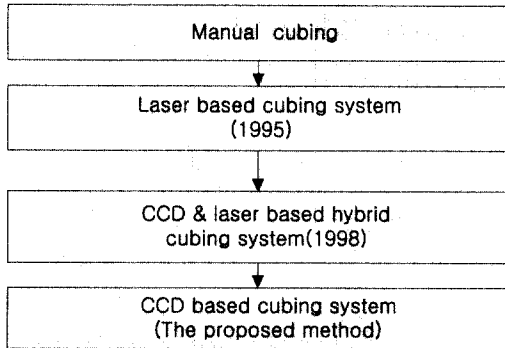
특히, 해운이나 항공 운송의 경우 한번의 운송 과정에서 장거리, 장시간의 운송을 수행해야하며, 한 번의 화물 선적을 위해 최적화된 선적 방안을 절실하게 필요로 하고 있다. 이러한 요구와 필요는 확대 증가되고 있는 것이 현실이

며, 이러한 요구 및 필요에 부응하기 위하여, 많은 물류 대행업체들은 기존의 거리 및 무게에 따른 요금 체계에서 화물의 부피 정보를 포함한 요금 체계를 도입하고 있으며, 이와 함께 운송의 최적화를 위해 개개 화물의 부피 정보를 함께 활용하고 있다. 이러한 화물의 부피 정보를 획득하기 위해서는 3D 물체의 치수 정보를 획득하는 것이 선결과제이며, 일반적으로 이러한 시스템은 치수 정보를 획득한다는 의미에서 치수 측정 시스템(dimensioning system) 또는 부피 정보를 산출한다는 의미에서 부피 산출 또는 부피 계측 시스템(cubing system)이라고 한다.

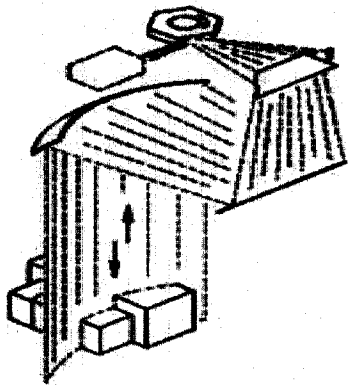
이러한 부피 정보의 획득과 관련된 기술 동향을 살펴보면 (그림 1)과 같다. (그림 1)에서와 같이 수작업에 의한 부피 정보의 획득은 상당히 고전적이면서도 오래된 방법이다. 하지만, 이러한 수작업 처리는 소량의 개개 화물을 처리할 때 사용하는 방법으로 대량의 화물, 즉 컨베이어 위에서 대규모로 이송 처리되는 물체에 대해서는 효과적이지 못한 문제를 가지고 있다. 이러한 수작업 처리의 한계를 극복하고자 제안된 시스템이 Mettler Toledo사의 Cargoscan이다

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 선임연구원
†† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 선임기술원
††† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 책임연구원
†††† 준 회 원 : 경북대학교 대학원 전자공학과
논문접수 : 2001년 3월 20일, 심사완료 : 2002년 1월 23일

[1]. 1995년에 소개된 이 시스템은 레이저 기반의 부피계측 시스템으로 DHL, TNT 그리고 Fedex 등 많은 물류업체들에서 사용되고 있다[2]. PILAR(parallel infrared laser rangefinder)기술을 채택하고 있는 이 시스템의 부피 계측 방법을 상세하게 설명하면 다음과 같다. (그림 2)와 같이 소포와 같은 직육면체형의 물체가 이송됨에 따라 병렬 레이저 발생 장치에서 발생된 레이저 신호가 물체의 표면을 스캔하고 스캔된 레이저 신호의 응답 특성에 따라서 이 시스템은 물체의 높이 프로파일을 생성한다. 이러한 높이 프로파일이 물체의 끝까지 모두 획득되면, Cargoscan은 높이 프로 파일에 대한 신호처리 및 해석을 통해 물체의 최대 높이, 폭, 및 길이 정보를 획득하게 된다[3].



(그림 1) 부피계측시스템의 기술 동향



(그림 2) PILAR Technology

하지만, 이러한 레이저 기반의 기술들은 하드웨어의 구현이 까다로울 뿐만 아니라, 시스템의 설치비용 등이 고가인 단점을 가지고 있다.

이러한 레이저 기반 기술의 대안으로 나타난 시스템이 Accusort사의 DM 3000등[4-6]이 있다. DM3000은 레이저와 라인 스캔 카메라를 결합하여 구현한 기술로, 물체가 이 시스템의 아래를 지나갈 때 물체의 높이 프로파일을 획득하여 물체의 치수, 부피 및 위치를 계산한다. 이 때, 레이저와 라인 스캔 카메라는 삼각법에 의해서 물체의 높이를 계산할 수 있도록 미리 구현되어진다[5]. 이러한 시스템들은 라인

스캔 카메라와 레이저 센서를 함께 활용한 제품들로 기존의 레이저 기반의 제품에 비하여 단가를 많이 절감시키는데에는 큰 기여를 하였으나, 하드웨어의 구현이 복잡한 단점들을 여전히 가지고 있으며, 또한 라인 스캔 카메라를 이용하기 때문에 이송 중인 물체에만 전용인 한계를 가진다.

1.2 제안된 부피계측방법

일반적으로 인간의 시각 체계는 서로 다른 위치에서 획득된 영상에 대한 적절한 정합을 통하여 거리 정보를 얻는 것으로 알려져 있으며, 인간 시각 체계의 이러한 거리 추출 능력을 자동화하기 위한 기술로 스테레오 정합의 방법들이 널리 사용되고 있다[7]. 또한, 논문에서 대상으로 하고 있는 직육면체형 물체의 경우 물체의 부피 또는 체적을 결정하는 주요한 특징은 물체의 형태를 결정하는 꼭지점들이라는 것을 알 수 있다. 이러한 점들에 주목하여 본 논문에서는 스테레오 영상 인식에 기반한 새로운 부피 계측 방법을 제안한다.

제안하는 방법은 직육면체형 물체의 꼭지점들을 특징점으로 추출하여, 이들 특징점들에 대해서만 스테레오 정합후 부피를 산출하는 전략을 채택함으로써, 1.1절에서 언급된, 시스템 구현의 문제, 가격절감, 정지 물체 및 이송 물체 계측 환경에의 적응성 등과 같은 기존 방법들의 문제점들을 해결하고자한다. 이러한 전략 하에, 제안된 방법은 객체의 관심 영역 추출, 특징 추출, 스테레오 정합, 그리고 부피 산출의 과정을 통해 직육면체형 물체의 부피를 계측한다. 또한, 제안된 방법은 관심영역내의 물체의 경계들에 대해 벡터화를 수행하고, 벡터화 후 직선 벡터들간의 교차점을 특징점의 후보로 추출하는 방법을 사용함으로써 효과적인 특징 추출을 가능하게 한다.

제안된 방법은 스테레오 영상 인식에 기반한 방법을 채택함으로써 하드웨어 구현을 간단하게 하였으며, 물체의 꼭지점 후보들에 대해서만 스테레오 정합을 수행함으로써 고속의 부피계측을 가능하게 하였다. 또한, 이러한 방법은 CCD 센서에 의해 획득된 영상에 대하여 부피 계산을 수행함으로써 이송 물체 및 정지 물체에도 효과적인 응용의 이점을 가진다.

2. 이론적 배경

2.1 스테레오 정합(sterео matching)

스테레오 정합은 인간 시각 체계의 거리 추출 능력을 자동화하기 위한 컴퓨터 시각 분야중의 하나이다. 이 방법은 능동적인 거리 측정 법에 비해 효과적이고 실제 응용 환경의 제약을 적게 받는다는 장점 때문에 의료 영상, 공장 자동화 및 지도 제작에 널리 이용되어 오고 있다[7]. 거리 정보를 얻기 위한 스테레오 시각의 기본 단계는 영상 획득, 특징 추출, 스테레오 정합, 변위 추정 및 거리 계산 등으로 이루어진다.

스테레오 정합은 정합 요소에 따라 크게 특징 기반(fea-

ture-based)법[8-9]과 영역 기반(region-based)법으로 나누어지는데, 본 연구에서는 특징 기반의 스테레오 정합 방법을 채택하고자 한다. 이러한 특징 기반의 스테레오 정합은 다음과 같은 방법으로 이루어진다. 좌 우 영상으로부터 영상의 주요한 특징점이 추출되었으며, 카메라 보정이 완전하게 이루어져 있다고 가정하면, 한 영상에서의 한 특징점은 스테레오 카메라의 다른 영상에서 에피폴라선상에 존재하게 된다[10]. 이러한 제한 사항을 이용하여 왼쪽 영상내의 각각의 특징점에 대하여 오른쪽 영상에서의 에피폴라선을 계산하고 이 에피폴라선상에 특징점이 나타나면 대응점으로 선택한다. 그러나 카메라 보정 오차 및 동일 선상에 우연히 다른 특징점들이 나타나는 경우가 많으므로 최종적인 결정은 다음과 같은 식에 의하여 결정된다.

먼저, 좌 우측 영상의 밝기 값을 I_l 및 I_r 이라고 한다면, 조명의 차에 의한 영향을 최소화하기 위한 좌 우측 영상의 부분 평균값 \bar{I}_l 과 \bar{I}_r 은 식

$$\bar{I}_r(x_r, y_r) = \frac{\sum_{\Delta x} \sum_{\Delta y} I_r(x_r + \Delta x, y_r + \Delta y)}{mask_size} \quad (1)$$

및 식

$$\bar{I}_l(x_l, y_l) = \frac{\sum_{\Delta x} \sum_{\Delta y} I_l(x_l + \Delta x, y_l + \Delta y)}{mask_size} \quad (2)$$

에 의해 결정된다. 또한, 에피폴라선의 방정식을 식

$$ax + by + c = 0 \quad (3)$$

과 같다고 할 때, 에피폴라선과 한 꼭지점사이의 거리는 식

$$d = \frac{ax' + by' + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (4)$$

에 의해 결정된다. 또한, 부분 영상간의 상호 상관을 나타내는 C를 식

$$C = \sum_{\Delta x} \sum_{\Delta y} ((I_l(x_l + \Delta x, y_l + \Delta y) - \bar{I}_l(x_l, y_l)) - ((I_r(x_r + \Delta x, y_r + \Delta y) - \bar{I}_r(x_r, y_r))) \quad (5)$$

과 같이 나타낼 때, 대응점은 식

$$F = rd + (1 - r)C \quad (6)$$

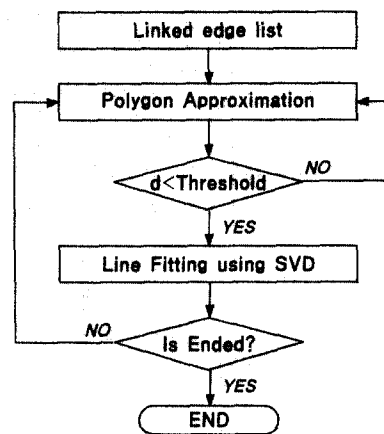
를 최소로 하는 점의 선택을 통해 결정된다. 이 때, r은 두 조건 사이의 적용 도를 나타낸다.

2.2 선분 벡터화(line vectorization)

일반적으로 영상의 내부에 존재하는 경계 선분의 벡터화를 위한 방법으로는 다각형 근사화[11] 및 허프 변환[12-13] 등의 방법이 널리 사용된다. 허프 변환의 경우에는 처리 시

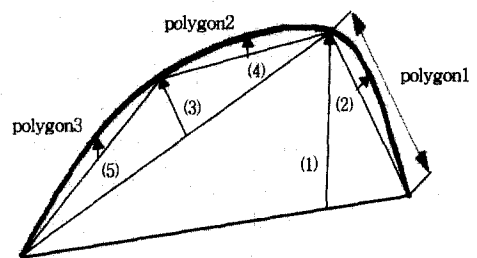
간이 많이 걸리는 단점이 있으므로, 본 논문에서는 알고리즘이 간단하며, 그 적용이 용이한 다각형 근사화 방법을 이용하여 영상 내에 존재하는 경계 선분을 벡터화한다. 이러한 다각형 근사화를 이용한 직선 선분의 벡터화 방법은 다각형 근사화를 통하여 직선 벡터를 추출하는 과정과 추출된 직선 벡터 중에서 동일 직선 상에 있는 두 직선을 한 개의 직선으로 결합하는 과정으로 이루어진다.

선분 벡터화의 첫 번째 단계인 다각형 근사화 방법을 이용한 선분 벡터의 추출 방법이 (그림 3)에 나타난다. (그림 4)는 이러한 알고리즘을 이용한 선분 벡터 추출의 예를 나타낸다. (그림 4)의 예를 참조하여 (그림 3)을 상세하게 설명하면 다음과 같다.



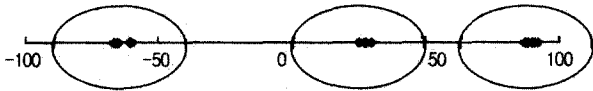
(그림 3) 선분 벡터의 추출을 위한 알고리즘의 흐름도

선분 벡터 추출을 위해서는 연결된 경계화소들의 곡선 형태와 가장 근접한 직선 벡터들로 근사화 시키는 것이다. 이러한 근사화의 첫 번째 단계는 연결된 화소들의 시작점과 끝점을 잇는 가상의 직선과 직선으로부터 멀리 떨어진 연결 화소상의 한 점과의 거리 d를 구한다. 그리고, 그 거리 d가 임계값(threshold value)보다 큰 경우에는 이러한 분할을 반복적으로 수행하고 그렇지 않은 경우에는 SVD(singular value decomposition)[14]를 이용하여 직선 벡터를 결정하는 단계로 넘어간다. 이러한 과정을 모든 경계 화소 리스트에 수행한 후에 프로세스를 마치게 된다. 이러한 다각형 근사화를 통한 직선 벡터 추출의 결과, (그림 4)의 경계 화소 곡선은 세 개의 직선 벡터로 근사화 됨을 알 수 있다.



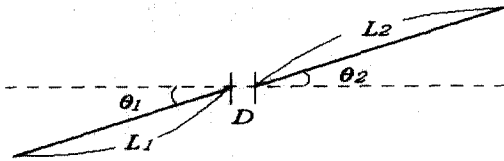
(그림 4) 다각형 근사화 방법을 이용한 선분 벡터의 추출

벡터화의 두 번째 단계는 동일 선상에 있는 직선 벡터들의 결합이다. 다각형 근사화를 통해 직선 벡터가 추출되고 나면, 직선 벡터들은 동일 선상에 있는 직선임에도 불구하고 몇 화소 정도가 떨어진 일련의 벡터들로 되는 경우가 생기므로 (그림 5)와 같이 선분 벡터의 기울기에 따라 선분들을 분류한 후에 동일 집합내의 선분들을 선분 벡터 결합과정을 통해 최소, 최적의 선분 벡터로 추출한다[15].



(그림 5) 선분 벡터의 기울기에 따른 분포 및 집합 구성의 예

이러한 선분 벡터 결합의 예가 (그림 6)에 나타난다. (그림 6)과 같이 선분 벡터간의 결합은 인접한 선분 벡터들의 각도 (θ_1, θ_2), 길이 (L_1, L_2), 그리고 선분 벡터간의 거리 D 를 구하여 각도 차와 길이비, 그리고 거리 D 가 임계값보다 작으면 두 벡터를 결합하는 방법으로써, 더 이상의 결합될 벡터가 없을 때까지 이러한 과정을 반복 수행한다.



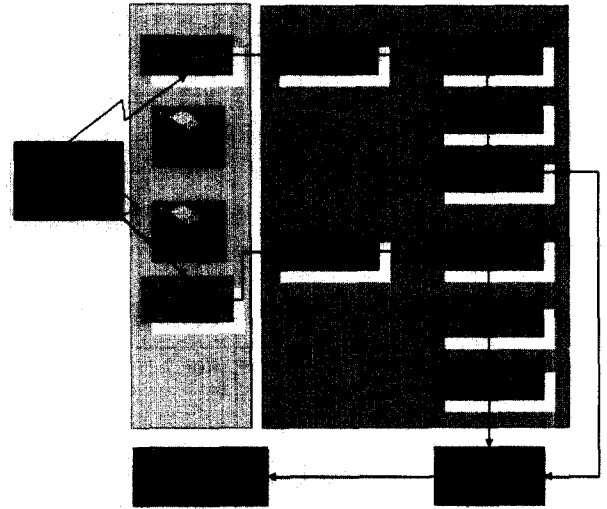
(그림 6) 인접한 두 선분 벡터

3. 제안된 스테레오 영상 인식 기반의 부피 계측 방법

서론에서 언급한 바와 같이, 제안된 방법의 기본 전략은 특징점의 후보로 직육면체형 물체의 꼭지점을 추출한 후, 좌 우 영상내의 특징점에 대한 스테레오 정합을 통해서 물체의 꼭지점에 대한 실 좌표를 획득하고, 이들로부터 물체의 부피를 산출하는 것이다.

일반적으로 2D 영상으로부터 특징적인 꼭지점을 검출하기 위한 방법으로는 꼭지점을 직접 검출하는 방법도 고려할 수 있으나, 꼭지점의 경우에는 영상 캡처 과정에서의 블러링 현상으로 인하여 직접 찾기가 어렵다. 이에 반해 선분 정보는 영상 캡처과정에서의 블러링 효과에 강인한 특성을 지니고 있으며, 실제 계측하고자 하는 물체가 직육면체의 기하학적 가정을 만족시키지 못하더라도 선분 근사화 과정을 통해 확률적으로 가장 근접한 선분정보를 추출해냄으로써 알고리즘의 강인성과 정밀도를 높일 수 있다. 따라서, 제안된 방법은 직육면체의 모서리에 해당하는 투영된 영상의 육각형의 모서리 선분을 찾고, 이들의 교차점을 구하여 꼭지점을 간접 추정하는 방법을 통해 부피 계측을 수행한다. 이러한 방법을 이용하여 제안된 부피계측 방법의 블록

흐름도가 (그림 7)에 나타난다. (그림 7)에서와 같이, 제안된 방법은 획득된 스테레오 영상 각각에 대하여 관심영역 검출, 경계검출, 선분 벡터화를 통해 영상으로부터 3D 물체의 특징점을 획득하고 획득된 특징점들에 대해 대응점 매칭을 통해 직육면체 꼭지점의 실세계 좌표를 획득한다. 따라서, 제안된 방법은 꼭지점의 획득 후 대응점에 대한 스테레오 매칭을 수행함으로써 빠른 처리 속도의 부피 계측을 가능하게 한다.



(그림 7) 제안된 시스템의 개념도

3.1 관심영역 추출

제안된 부피계측 방법의 첫 번째 단계는 입력된 스테레오 영상으로부터 물체가 포함된 관심 영역을 추출하는 것이다. 이는 영상의 크기가 커질수록 처리시간이 늘어나는 문제를 해결하기 위한 방법으로써, 본 논문에서는 물체가 존재하는 관심영역에 대해서만 이후의 계산 집약적인 영상 처리 과정을 수행한다.

본 논문에서 사용한 ROI 추출 과정에서는 미리 획득된 배경 영상을 이용하게 된다. 우선, ROI 추출을 위한 기본 영상을 얻어내기 위해 입력 영상과 미리 획득된 배경 영상 사이의 차 영상을 구한다. 이상적인 배경영상의 경우에는 정확히 물체가 있는 부분에만 값이 존재하는 차 영상이 얻어지게 되겠지만, 실제 영상의 경우에는 잡음 등에 의하여 이상적인 차 영상을 얻는다는 것은 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 물체 영역이 전체 차 영상에서는 상당히 큰 값이 연속적으로 나타나는 패턴을 가진다는 점에 주목하여, 영상의 X-Y 방향에 대한 투사 히스토그램 분석을 통하여 영역 추출을 수행한다. 즉, 식

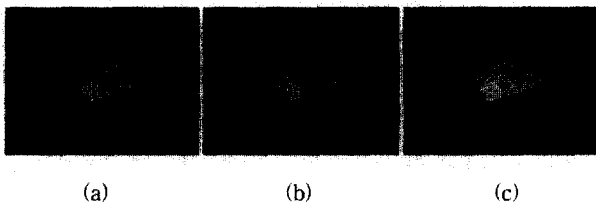
$$PH(x) = \sum_y |I(x, y)| \quad (7)$$

과 같이 X-Y 각 방향에 대한 투사 히스토그램에 의하여

전 역적인 언더 형태의 영역을 취하는 방법이다. 이 때, 관심 영역은 식

$$Area(a, b) = \int_a^b PH(x) dx \quad (8)$$

와 같은 조건에 포함되는 영역을 나타낸다. 위 영역 조건을 얻기 위해서는, 미리 설정한 하한 이상의 값을 가지는 구간 a, b를 결정하여 이 구간을 물체의 영역으로 간주한다. 이 과정을 X-Y 축에 대해 독립적으로 수행하면 직사각형 영역을 얻게 되는데 이를 ROI로 추출한다. 아래의 (그림 8)은 이러한 방법에 의한 ROI 추출의 예를 나타낸다.



(그림 8) ROI 추출의 예

물체의 관심 영역이 추출되면 관심영역내의 영상에 대하여 경계 검출이 수행된다. 본 논문에서는 일반적인 경계 검출 연산자로 많이 사용되는 소벨 연산자를 이용하여 경계를 검출한다[14].

3.2 특징 추출

제안된 부피계측방법은 영상 캡처 과정에서의 블러링등으로 인한 특징 추출의 문제를 최소화하기 위해 벡터화에 기반한 특징추출방법을 사용한다. 이러한 벡터화 기반의 특징추출은 관심영역내의 경계선분에 대하여 세선화, 선분 벡터화 및 교차점 획득의 과정에 의해서 이루어진다.

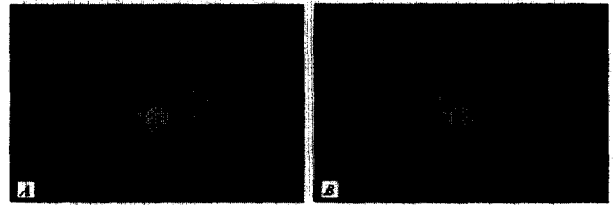
먼저, 경계 검출에 의해 관심영역내의 경계 검출이 수행되면 Chen-Hsu[16]의 세선화 알고리즘을 이용하여 경계화 소들의 골격 선을 검출한다. Chen-Hsu의 세선화 알고리즘은 2개의 부루프(sub-loop)를 가지는 병렬 알고리즘으로, 완벽한 8-방향 세선화 결과를 보인다. 세선화가 끝나면, 세선화의 결과인 골격선 또는 경계선을 벡터화 하기 위해 2장에서 언급된 벡터화 방법을 이용하여 관심영역내의 경계들을 많은 직선 벡터들로 변환한다. 이러한 직선벡터의 추출이 완료되면, 그 다음 과정은 관심 영역내의 직선들간의 교점을 찾는 것이다. 이러한 교점의 첫 번째 조건은 교점은 각 선분의 끝점에 근접해 있다는 점이다. 따라서, 이러한 첫 번째 조건으로부터 교점을 찾기 위해서는 선분 벡터화 후 각도에 따라 분류된 직선 벡터들에 대하여 식

$$D_i(x, y; s, t) = |x - s| + |y - t| \quad (9)$$

의 조건을 고려하여 교점을 찾아낸다.

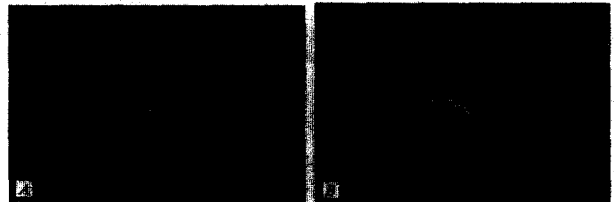
3.3 스테레오 정합에 의한 대응점인식

관심영역내의 경계선분들의 벡터화 결과로부터 교차점들이 검출되면, 이러한 교차점들에 대한 검증 과정이 수행된다. (그림 9)(b)의 예를 통해 검출된 교차점은 인접한 직선 벡터간의 근거리에 있는 점이므로, 실제 물체의 꼭지점이 아닌 경우에도 특징점의 후보로 검출되게 된다. 따라서, 실제 물체의 꼭지점은 스테레오 정합 과정을 통해 최종 확인된다. 본 논문의 경우 카메라 보정이 완전하게 이루어져 있다고 가정하고 있으므로, 한 영상에서의 한 꼭지점은 스테레오 카메라의 다른 영상에서 에피폴라선에 존재하게 된다 [10]. 이러한 제한 사항 및 (1)에서 (6)까지의 식들을 이용하여 왼쪽 카메라로부터 얻은 특징점에 대한 오른쪽 영상에서의 에피폴라선을 계산하고 이 에피폴라선상에 특징점이 나타나면 꼭지점 또는 대응점으로 선택한다.



(a) 추출된 직선벡터 (b) 벡터간의 교차점들

(그림 9) 직선벡터로부터 획득된 교차점들의 예



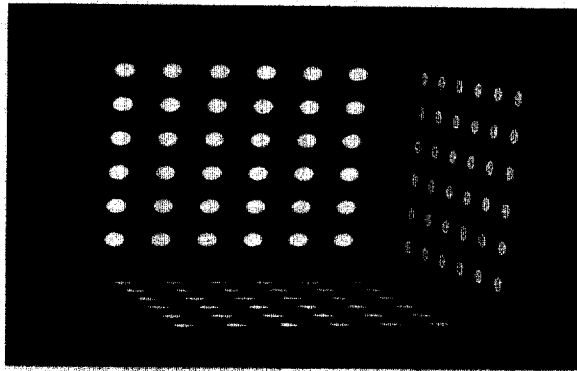
(그림 10) 에피폴라선 및 대응점 획득의 예

마지막으로 스테레오 정합을 통해 획득된 2장의 영상 각각에 대응되는 두점을 이용하여 3차원 유클리디안 공간의 좌표 값을 역으로 계산하면, 이 값이 3D 물체의 실제 꼭지점으로써 실세계의 좌표 값을 나타낸다. 제안된 방법은 이러한 좌표 값으로부터 물체의 길이, 폭, 그리고 높이 정보를 획득하여 물체의 부피를 계산한다.

4. 실험 결과 및 분석

제안한 부피계측방법의 실험을 위한 환경은 다음과 같다. 본 실험에서는 스테레오 영상의 획득을 위해 2대의 삼성 SFA-410ED 카메라를 사용하였으며, 각각 640 × 480크기의 해상도 및 256크기의 밝기를 가지는 영상을 획득한다. 이 때, 두 카메라 사이의 기저선(baseline)은 35cm의 거리이며, 각각의 카메라는 60도의 하향 각도로 물체의 영상을 획득한다. 또한, 본 실험에서 사용된 물체는 직육면체의 상자들

을 대상으로 하였으며, 일반적인 실험실 환경에서 영상을 획득하였다. 이와 함께, 펜티엄 III-700, 256MB의 램 환경의 컴퓨터에서 실행하여 그 성능을 비교 분석하였다. (그림 8)은 실험에 사용된 캘리브레이션 지그로서, 3D 물체가 놓이는 3차원 공간을 카메라 보정하기 위해 사용하였다.



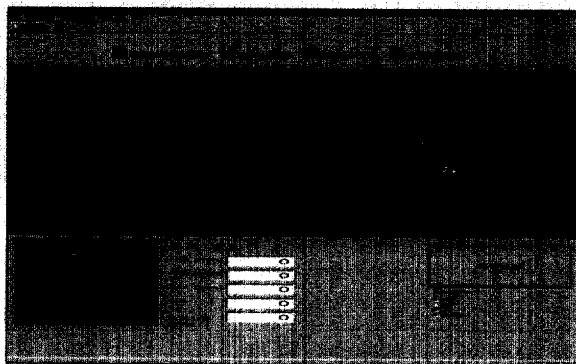
(그림 11) 실험에 사용된 캘리브레이션 지그

이 때, X, Y, Z 각각의 평면 위의 가로 및 세로의 최대 폭은 각각 35cm 이다. 본 연구의 실험에서는 Tsai의 방법을 이용하여 카메라 보정을 수행하였다[10].

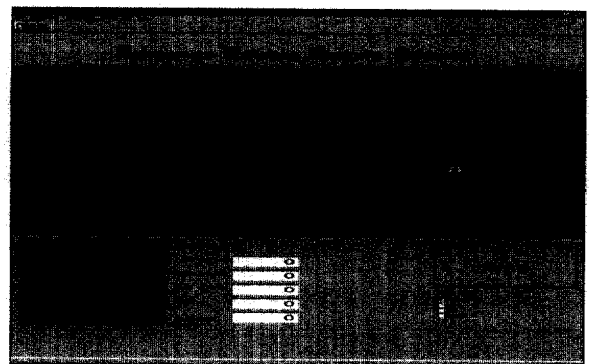
제안된 방법을 실제 소포와 같은 직육면체형 상자에 대해 적용한 결과가 (그림 12)~(그림 15)에서 나타난다. (그림 12)는 좌 우측 카메라로부터 획득된 영상의 디스플레이를

포함한 제안된 시스템의 UI환경을 함께 나타내고 있다. 이와 함께, (그림 12)는 ROI 추출의 결과를 나타내며, (그림 13)은 경계 검출의 결과를 나타낸다.

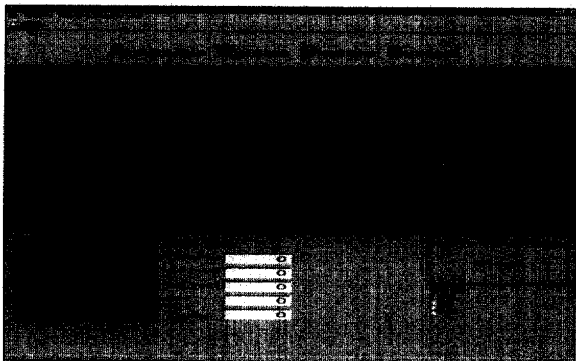
경계검출로 획득된 영상은 1개 화소의 두께를 가지는 선분들로 구성되어 있으며, 다각형 근사화(polygonal approximation)과정을 통해 직선 벡터의 추출이 이루어진다. (그림 3)에서 언급된 다각형 근사화를 위한 임계값(threshold value)의 경우에는 그 값이 클수록, 추출된 벡터의 수는 적어지지만, 3D 물체내의 경계화소의 곡선 형태를 제대로 반영하지 못하게 된다. 이에 반하여, 그 임계값이 적을수록, 곡선의 형태를 잘 반영하나, 추출된 직선 벡터의 수가 많게 되어 선분결합(line merging)단계에서의 부담이 증가하거나 검출된 교차점의 수가 많아지는 단점을 가지게 된다. 실험을 통하여 임계값의 범위가 2에서 4사이 일 때, 경계화소의 벡터화 및 교차점 검출에 효과적으로 드러났으며, 본 논문에서는 3의 값을 임계값으로 한 결과들을 실험의 예로 나타내었다. 다각형 근사화, 선분 결함을 통한 직선 벡터 추출 및 교차점 검출의 예가 (그림 14)에 나타난다. 이러한 교차점 검출은 인접한 직선 벡터사이의 관계를 고려하여 결정되기 때문에 물체의 꼭지점이 아닌 경우에도 꼭지점의 후보로 검출되어졌으며, (그림 14)는 이러한 예들을 포함하고 있다. 하지만, 이러한 점들은 (그림 15)와 같이 스테레오 정합 과정을 통해 최종 제거되어 졌으며, 획득된



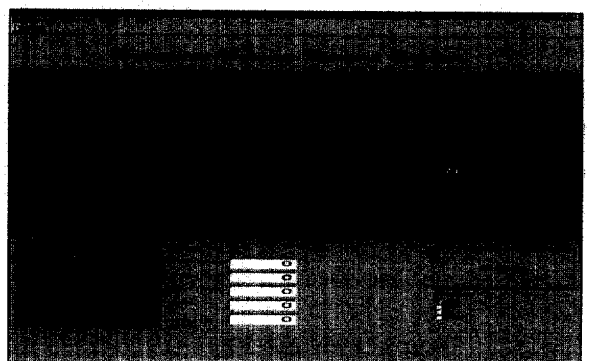
(그림 12) ROI 추출의 결과



(그림 14) 벡터화 및 교점 추출의 결과



(그림 13) 경계 검출후 세선화의 결과



(그림 15) 스테레오 정합의 결과

대응점과 카메라 보정을 통해 획득된 행렬(matrix)을 이용하여 실제 좌표를 최종 계산한다. (그림 15)는 이러한 대응점 획득의 결과를 나타내며, 이 때, 대응점을 결정하는 식 (6)의 적용도 r은 0.6으로 하였다.

(그림 12)에서 (그림 15)의 실험 결과에서 사용된 상자는 40cm × 30cm × 21cm의 실제 치수 값을 가진다. 실험을 통한 계측 결과, 시스템의 주요한 성능을 결정하는 처리속도는 평균 0.34초를 나타내었으며, 최대 허용 오차는 1cm 미만을 나타내었다. 또한, 본 실험에서는 상기의 상자 외에도 넓은 면적을 가지며, 높이가 각기 다른 세 개의 상자에 대한 추가적인 실험 및 분석을 수행하였다. 이러한 분석의 결과가 <표 1>에서 <표 3>사이에 나타난다. 직육면체형 상자의 크기가 커질수록 평균 처리 시간은 조금씩 증가하였으며, 이와 함께, 오차 또한 약간씩 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 동일한 상자에 대해 실험 결과가 약간씩 변화하는 경향을 나타내는데, 이는 획득된 영상의 특성이 조금씩 변화함을 나타내는 것이다. 이러한 문제에 대한 대안은 부피계측시스템을 위한 전용 조명을 채택하여 캡처되는 영상의 화질을 개선함으로써 가능할 것으로 사료된다.

<표 1> Box A에 대한 실험 결과 단위 : cm

Box A (50.6 × 41.0 × 23.8)	Length	Width	Height	Processing time
1	50.6	39.5	23.8	0.46sec
2	49.8	41.2	23.6	0.40sec
3	51.6	40.0	23.0	0.41sec
Error	-0.8~1.0	-0.5~0.2	-0.8~0.0	0.42sec(average)

<표 2> Box B에 대한 실험 결과 단위 : cm

Box B (50.0 × 41.0 × 36.0)	Length	Width	Height	Processing time
1	49.2	40.1	36.0	0.46sec
2	50.5	40.5	35.1	0.44sec
3	49.6	42.0	37.1	0.51sec
Error	-0.8~0.1	-0.5~1.0	-0.9~1.1	0.47sec(average)

<표 3> Box C에 대한 실험 결과 단위 : cm

Box C (54.0 × 53 × 46.0)	Length	Width	Height	Processing time
1	53.5	53.0	46.0	0.51sec
2	53.5	53.4	44.8	0.57sec
3	53.5	51.9	45.0	0.52sec
Error	-0.5	-1.1~0.4	-1.2~0.0	0.53sec(average)

이러한 부피계측방법의 주요한 성능척도인 정확도 또는 허용오차의 경우에, 기존의 레이저 기반 시스템이나 레이저 및 라인스캐너를 혼합한 시스템들은 0.7cm 정도의 허용 오차를 나타내고 있다. 제안된 시스템과는 계측 결과의 성능 면에서 0.3cm 정도의 차이를 나타내고 있는데, 이러한

부분은 전용 조명을 통한 영상 캡처 환경의 개선을 통해 정확도에서의 충분한 개선이 가능할 것으로 보인다. 또한, 연구 배경에서 언급한 바와 같이 소포 나 택배와 같은 물류 영역에서의 활용을 위해서는 현재의 성능으로도 효과적인 활용이 가능할 것이다. 하지만, 더 좋은 정확도를 필요로 하는 응용 시스템의 구현을 위해서는 현재의 카메라에 비해 고해상도인 카메라를 이용함으로써 정확도의 추가적인 개선을 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 스테레오 영상 인식에 기반한 직육면체형 물체의 부피 계측을 위한 한 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 영상 획득과정에서의 블러링등에 강한 특징 추출을 위해 벡터화에 기반한 특징 추출의 전략을 채택하였으며, 추출된 특징점들에 대해서만 스테레오 영상 정합을 수행하여 물체의 실세계 꼭지점의 좌표 및 부피 정보를 획득함으로써 고속의 부피 계측을 가능하게 하였다. 실험을 통하여 제안된 방법이 기존의 레이저 기반 시스템에 필적하는 성능을 나타냄을 확인하였다.

실험 결과의 분석을 통해서 살펴 본바와 같이 본 연구와 관련된 추가적인 연구로는 전용 조명을 채택한 영상 캡처 환경의 개선이 필요하며, 이와 함께 이송 환경에서의 제안된 방법의 효과적인 활용을 위한 실험 및 분석 등이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] HTTP : //www.cargoscan.com/cs5200.HTM.
- [2] "Postal Technology International," *UK & International Press*, pp.170-172, 1999.
- [3] Bradley J. Stringer and Michael K. Elwood, "Laser Based Dimensioning System," *U. S. Patent 5850370*, Dec. 1998.
- [4] HTTP : //www.acusort.com/products/dm3000.HTML.
- [5] Albert Wurz, John E. Romaine and David L. Martin, "Dimensioning System," *U. S. Patent 5661561*, Aug. 1997.
- [6] HTTP : //www.vitronic.com/.
- [7] U. R. Dhondand and J. K. Aggarwal, "Structure from stereo : a review," *IEEE Trans. Sys. Man Cybern.*, Vol.19, No.16, pp.1498-1510, 1989.
- [8] W. Eric L. Grimson, "Computational Experiments with a feature based stereo algorithm," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, Vol.7, No.1, pp.17-34, 1985.
- [9] Gerard Medioni and Ramakant Nevatia, "Segment-based stereo matching," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.31, pp.2-18, 1985.
- [10] G. Xu and Z. Zhang, "Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition," *Kluwer Academic Publishers*,

1996.

- [11] R. Jain, R. Kasturi and B. G. Schunck, "Machine Vision," *McGraw Hill*, 1995.
- [12] N. Guil, J. Villalba and E. L. Zapata, "A Fast Hough Transform for Segment Detection," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.4, No.11, pp.1541-1548, Nov. 1995.
- [13] H. K. Aghajan and T. Kailath, "Sensor Array Processing Techniques for Super Resolution Multi-line-fitting and Straight Edge Detection," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.2, No.4, pp.454-465, Oct. 1993.
- [14] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. "Digital Image Processing," *Addison-Wesley Publishing Company*, pp.486-488, 1992.
- [15] A. Jonk and A. W. M. Smeulders, "An axiomatic approach to clustering line-segments," *Proceedings of the Third ICDA*, pp.386-389, 1995.
- [16] Y. S. Chen and W. H. Hsu, "A modified fast parallel algorithm for thinning digital patterns," *Pattern Recognition Letters*, Vol.7, No.2, pp.99-106, 1988.

정 윤 수

e-mail : yoonsu@etri.re.kr

1993년 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1995년 경북대학교 대학원 전자공학과
 (공학석사)
 1998년 경북대학교 대학원 전자공학과
 (공학박사)

1999년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야 : 영상처리 및 압축, 컴퓨터 비전, Automatic ID-
 entification, RFID(Radio Frequency IDentification)

이 해 원

e-mail : hewtee@etri.re.kr

1989년 한밭대학교 전자 전자계산학과
 졸업(학사)
 1999년 대전대학교 대학원 컴퓨터공학과
 졸업(공학석사)
 2001년 대전대학교 대학원 컴퓨터공학과
 박사과정 수료

1983년~현재 한국전자통신연구원 선임기술원
 관심분야 : 객체지향 분석설계(OOAD), CBD기반 재사용 시스템, 분산객체 미들웨어

김 진 석

e-mail : kimjs@etri.re.kr

1982년 울산대학교 전자계산학과 졸업
 (공학과)
 1988년 동국대학교 대학원 전자 계산학과
 졸업(공학석사)
 1992년 정보처리 기술사

1982년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : CSCW, 멀티미디어 데이터베이스, 소프트웨어공학

원 중 운

e-mail : bestwon@palgong.knu.ac.kr

1996년 한국해양대학교 제어계측공학과
 (학사)
 1998년 한국해양대학교 대학원 제어계측
 공학과(석사)
 2001년 경북대학교 대학원 전자공학과
 박사과정 수료

관심 분야 : 컴퓨터 비전, 패턴 인식, 비디오 인덱싱