

Cepstral 필터를 이용한 스테레오 카메라의 운동제어

정회원 문용선*, 정남채**

Motion Control of Stereo Camera Using Cepstral Filter

Yong-seon Moon*, Nam-chaе Jung** *Regular Members*

요 약

본 논문은 cepstral 필터를 이용하여 지적인 비주얼 센싱을 위한 카메라의 운동 제어법을 제안한다. 화상은 pursuit 운동을 위하여 물체의 옵티컬 플로어가 필요하고, vergence 운동을 위하여 양안시차 정보를 필요로 한다.

그러나, 화상정보에는 올바른 정보와 잘못된 정보가 존재하기 때문에 해의 올바른 시차를 선택해야 하는데, 옵티컬 플로어의 계산에서와 마찬가지로 템플릿 매칭을 이용하여 올바른 정보를 선택한다.

그리고, 화상 중의 하나를 3 조각으로 분할한 후 각각 cepstral 필터링에 의하여 양안시차를 검출한다. 본 논문은 saccade 운동, pursuit 운동, vergence 운동에 관한 제어 알고리즘을 제안하고, 실험에 의하여 알고리즘을 비교 및 분석한다.

ABSTRACT

This paper proposes a control method of camera motion for intellectually visual sensing by use of a cepstral filter. The image needs the optical flow of objects for pursuit movement, the binocular disparity information of them for vergence movement.

But we have to select a correct disparity of solutions, because there are correct and incorrect informations in image. we select that of them by use of template matching similarly in computation of optical flow.

And we detect binocular disparity by means of cepstral filtering respectively after dividing one of images in three segments. This paper proposes a control algorithm concerning to saccade movement, pursuit movement, and vergence movement, we compare and analyze the algorithm by experiment.

I. 서 론

인간과 마찬가지로 로봇 자신의 안(카메라)이 주변을 살피면서 자신이 원하는 정보만을 효율적으로 얻는 것을 "지적인 비주얼 센싱"이라 한다. 로봇이 비주얼 센싱을 위하여 카메라의 시선 제어가 반드시 필요하다. 카메라는 그 렌즈의 중심에서 해상도가 가장 높고, 가장자리로 갈수록 해상도는 떨어지므로, 보고자 하는 대상을 해상도의 가장 높은 곳에 활상하기 위해서는 시선을 제어하여야 한다. 또한, 두 카메라의 시선을 좌우 카메라의 광축이 있는 점

에서 교차시켜, 이 교차점을 일정하게 시선 제어하면 그 궤적은 원이 형성되며, 이 원의 근방에서 양안 융합은 간단하게 이뤄진다. 또한, 2대의 고정 카메라의 경우, 한쪽의 카메라에서는 보이지만 다른 쪽의 카메라에서는 보이지 않는 死點이 발생하는데, 시선을 움직일 경우 양안의 카메라로 볼 수도 있다.^[1,2]

스테레오 비전은 2대의 카메라로 활상된 화상을 이용하여 물체의 3차원 위치를 계산하는 수동적 수법이다. 이것은 2 화상 사이에서 대응하는 점의 위치 변위(시차)를 구하기 위하여 3각 측량의 원리로

* 순천대학교 공과대학 전자공학과(yongseon@sunchon.ac.kr)

** 초당대학교 정보통신공학과(ncjung@chodang.ac.kr)

논문번호 : 00138-0501, 접수일자 : 2000년 5월 1일

* 본 연구는 순천대학교 공과대학 학술재단 1999년도 연구비에 의해서 수행되었습니다.

3차원 위치를 계속한다. 또한, 가장 핵심적인 문제는 2매의 화상 중심으로부터 동일한 점을 구하는 대응점 문제이다.

본 논문에서는 cepstral 필터를 이용하여, 지적인 비주얼 센싱을 위한 카메라의 운동 제어법을 제안한다. Pursuit(滑動性 追跡) 운동을 위해서는 화상에서 물체의 속도 벡터(optical flow)가, vergence(輻輳 開散) 운동을 위해서는 양안 시차가 필요하다. 그러나, cepstral 필터는 두 화상의 시차를 구할 때 항상 올바른 해와 다른 부호를 갖는 해 2가지가 구해지는데, 어느 쪽이 올바른 시차인가를 결정해야 한다.^[3-5] Optical flow의 계산에서 template matching을 병용하여 이러한 2가지 해 중에서 올바른 해를 찾았다. 또한, 양안시차의 계산에서 한 쪽의 화상을 3개로 분할한 다음, 각각을 cepstral 필터를 이용하여 양안시차를 검출한다. 본 논문에서는 카메라의 운동제어 중 saccade(跳躍的) 운동, pursuit 운동, vergence 운동에 대한 제어 알고리즘을 제안하고 실험에 의하여 이러한 알고리즘의 성능을 비교한다.

본 논문의 구성은 II장에서는 인간의 시각과 안구의 구조에 관해서 설명한다. III장에서는 지적인 비주얼 센싱을 하기 위한 카메라의 운동제어에 관해서 설명한다. 카메라의 운동 제어를 행하기 위해, cepstral 필터의 설명 및 알고리즘 제안, 카메라 운동 제어법에 관해서 설명한다. IV장에서는 cepstral 필터를 이용한 카메라의 운동 제어를 위한 화상처리와 몇 가지의 카메라 운동 제어의 실험에 관해서 설명한다.

II. 인간의 시각 시스템

인간의 망막 구조는 부위에 따라 다르며 시각과 색각이 그 중심에서 가장 우수하다. 또한 인간의 눈은 시선의 방향을 변환하기 위하여 적당한 원형의 눈을 갖는다. 그래서, 인간은 정보를 수집할 때, 여기 저기로 시선을 바꾸어서 보고자 하는 대상을 망막의 중심에 위치하도록 한다. 만약, 외계의 영상이 망막 위에서 움직인다면, 완만하게 변화하는 여러 가지 조건하에서는 시력이 급격히 저하된다고 한다. 그러나, 실제로는 상당한 속도로 운동하는 물체도 명확히 볼 수 있고, 격렬한 전신운동을 해도 외계는 확실하게 볼 수 있으며 시력은 저하되지 않는다. 여기서는 안구 운동의 제어에 큰 관심을 갖고 있다. 완만하게 변화하는 망막에서는 정보를 읽어 들일 수 없지만, 어느 한 점에서 다른 점으로 시선이 변화할

때는 가능한 시선의 빠른 변화가 필요하므로 빠른 안구 운동이 이루어진다. 역시 인간이 사물을 볼 때에는 물건이 천천히 이동할 때, 눈은 갑작스럽게 운동하지 않고 천천히 움직이는 것을 제외하고, 보고자 하는 곳에서 정지 상태와 다음 점으로 이동하는 빠른 도약 상태가 반복된다.

안구의 제어계에는 안구 운동계, 동공 운동계, 수정체 조절계의 3종류로 구성되어 있다. 넓은 시야로부터 정보를 읽어 들이기 위해서 먼저 안구 운동으로부터 시선을 이동해서 망막 위의 상의 위치(공간적 정보), 속도(시간적 정보)라고 하는 시각정보를 샘플링한다. 또한 머리의 운동 정보를 검출하는 vestibular(前庭性) 운동을 한다. 이 운동에 의하여 수정체는 초점 조절을 하고 동공은 축소되거나 확대된다. 이러한 동작은 각각 계의 상태를 입력의 변화에 대응하여 시각제어에서 최적 상태로 이행되는 제어 기구의 동작으로 간주할 수 있다.

안구의 최내층인 망막은 여러 종류의 세포로 구성되어 있으며 두께가 약 0.2mm의 신경조직이다.^[4,5] 외계의 광경은 안구의 광학계에 의하여 망막에 결상되지만, 망막 위에 2차원적으로 배열된 시세포에 의하여 받아들여진다. 그러나 상의 각 점의 밝은 곳이 직접 중추에 전달되지는 않고 정보의 정리와 추출이 이뤄진다. 시신경의 신호는 명암의 경계가 존재하는 곳에서 민감하게 반응한다. 이와 같은 성질에 의하여 중추에서는 특히 상의 윤곽에 관한 신호가 송출된다.

망막의 시세포는 2종류로 구성되어 있기 때문에 망막의 2元性이라고 한다. 인간의 양안 시야는 좌우 90°에 이르지만, 시력, 색각이 우수한 부분은 망막의 fovea(中心窩)라고 하는 좁은 면적으로 한정된다.^[6,9] 한편 망막 주변부는 시간적으로 변하는 자극, 예를 들면 명멸하는 빛이나 운동 물체를 검출하는 것에 비교적 우수하다.

III. Cepstral 필터를 이용한 시각 정보 처리

3.1 Cepstral 필터에 의한 시차 검출

양안시차의 측정에서 좌우 안의 데이터가 번갈아 나란히 바뀌어져 안정된다. 영장류의 시각에 나타난 주상구조의 眼優位圓柱를 화상에 응용할 수가 있다. 안우위원주의 1組를 폭으로 하는 윈도우를 가정함으로써, 이 필터를 적용하여 피크의 탐색과 시차 벡터를 측정할 수 있다. 이 알고리즘은 고정된 1개의 윈도우 내에서 적용되었기 때문에 윈도우의 크기

내에서 발생한 다른 양안시차를 검출할 수가 없지만 영상류의 입체시의 특징과 비슷하다.

이제 1組의 柱로부터 성립하는 화상 $f(x, y)$ 는 간단하기 때문에 양안시차는 없고, 데이터는 단순하게 오른쪽 눈의 화상 조각 $s(x, y)$ 와 왼쪽 눈의 화상 조각을 횡으로 묶어서 나란히 열거한 것으로 이루어진다. 시차는 없다고 가정하였으므로 좌우의 화상은 같고 각각의 화상 폭은 D 로 한다. 이 화상 쌍 $f(x, y)$ 는 2차원 중첩 적분에 의하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$f(x, y) = s(x, y) \times \{\delta(x, y) + \delta(x - D, y)\} \quad (3.1)$$

식 (3.1)의 $\delta(x, y)$ 는 dirac 델타 함수이다. 이 화상에 대한 푸리에 변환은

$$F(u, v) = S(u, v)\{1 + e^{-i\pi Du}\} \quad (3.2)$$

$F(u, v)$ 에 대수를 취하면

$$\log F(u, v) = \log S(u, v) + \log\{1 + e^{-i\pi Du}\} \quad (3.3)$$

로 된다. 식 (3.3)에 표시된 화상의 전력 스펙트럼이 쉘스트럼이다. 식 (3.3)의 우변 제 2항은 쉘스트럼 중에서 간격이 D 인 일련의 델타 함수로부터 구한다. 이것은 $z \bar{z} \leq 1, z \neq -1$ 일 때, $\log(1+z) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} (z^n/n)$ 로 확장하면 제 2항의 푸리에 변환의 값이 얻어진다.

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\pi Xu} \log\{1 + e^{-i\pi Du}\} du \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{\delta(X - nD)}{n} \end{aligned} \quad (3.4)$$

식 (3.4)를 보면, D 의 배수를 첨가한 위치에서 델타 함수를 구한다. 이러한 델타 함수의 증첩은 급속히 감소하고, 특히 간격 $[D/2, 3D/2]$ 에서 보통 1개의 델타 함수가 있다. 이 경우 이동량 ($D, 0$)인 곳에 현저한 값을 갖는다.

또한, 좌우 카메라의 시차가 없으므로 화상 쌍 1개가 좌우, 상하 어느 쪽인가에 어긋나 있는 경우에도 확장이 가능하다. 좌우 방향에 시차를 갖는 경우에는 위에서 설명한 柱의 폭에 의한 시차 D 대신에 좌우 화상의 변위에 의해서 발생한 시차를 柱의 폭에 의한 시차 D 에 가한 다음 화상쌍의 시차를 유도한다.

Cepstral 필터에 의한 시차를 구하는 순서를 요약

하면 다음과 같다.

[알고리즘 1] : Cepstral 필터에 의한 시차의 검출

- ① 같은 크기의 윈도우 $h \times w$ 인 2매의 화상을 준비하고, 그것을 횡으로 연결한 화상 $h \times 2w$ 를 만든다.
- ② 얻어진 화상을 2차원 푸리에 변환한다.
- ③ 전력 스펙트럼을 구한 결과에 \log 를 취한다.
- ④ 다시 2차원 푸리에 변환을 한다.
- ⑤ 구해진 화상으로부터 피크 값을 구한다.

피크 탐색에서 문제가 되는 것은 화상 쌍의 쉘스트럼에는 화상 쌍의 절반 크기인 화상 본래의 쉘스트럼이 존재하기 때문에, 이것이 높은 휘도치를 갖게 되어 피크 탐색에서 경합이 발생한다. 이것을 피하기 위해서는 쉘스트럼의 범위가 $[D/2, 3D/2]$ 인 시차만을 생각하면 해결할 수 있다.

Cepstral 필터의 문제점으로서 1개의 화상 쌍에서는 1개의 시차밖에 검출되지 않기 때문에 화상 내에 시차를 검출하고자 하는 대상이 크게 점유되어야 한다. 만약 윈도우의 크기를 크게 하면, 대상 이외의 물체가 윈도우를 많이 점유하게 되어 올바른 시차를 구할 수 없게 되고 계산 시간도 증가한다. 윈도우 크기를 작게 하면 계산을 하기 위한 상세한 정보가 부족하고 비교하는 화상끼리 오우버랩하는 곳이 없게 될 지도 모른다. 또한 쉘스트럼에 대해서도 피크치는 실제의 시차값과 다른 부호의 값에서 2개 존재하므로 하나를 선택해야 한다.

3.2 유틸컬 플로우의 검출

Pursuit 운동은 시선의 운동을 물체의 운동과 일치시켜 안구를 움직이는 운동이지만, 이 운동을 위해서는 물체의 속도 벡터를 알아야 한다. 화상에서 물체의 시간적인 속도 벡터의 분포를 유틸컬 플로우라 한다. 유틸컬 플로우를 구하는 방법으로는 시공간 미분법이 있지만, 밝기의 변동이나 잡음에 약하다는 결점이 있다.

본 연구에서는 앞에서 설명한 cepstral 필터를 이용하여 유틸컬 플로우를 계산하는 방법을 제안한다. Cepstral 필터는 두 화상의 변위를 구하는 것이므로 시간적인 차를 갖는 두 화상을 비교함으로써 시차인 유틸컬 플로우가 검출된다. Cepstral 필터의 계산 시간은 일정하므로 계산이 끝날 때마다 휘상된 화상끼리 비교하면, 그 때마다 유틸컬 플로우가 검출된다. 또한 cepstral 필터는 견인성(robustness)이 높기 때문에 대상이 움직이거나 자체가 움직이는

것에 의한 화상의 흔들림을 흡수하여 옵티컬 플로우 검출에 효과적이다.

그러나, 앞에서 설명한 것처럼 cepstral 필터는 부호가 반대인 2개의 해가 구해지므로 어느 것이 올바른 것인지 알 수 없다. 본 연구에서는 템플릿 매칭을 도입하여 어느 쪽이 올바른 해인가를 판정한다. 그림 3.1에서 템플릿 매칭법을 표시한다. 결국, 비교하는 2매의 화상중에서 1매에 대한 2개의 해를 cepstral 필터에 의하여 구한 다음, 다른 1매의 화상과 농담치의 차를 구한다. 농담치의 차는 곧 오차를 의미하므로 농담치의 2승 합을 비교하여 그 값이 작은 쪽을 올바른 해로 한다. 또한 2개의 해중에서 올바른 해를 결정하는 별도의 방법을 제안한다. 비교하는 2매의 화상에서 cepstral 필터링을 하기 전에 그 중 1매를 따로 놓은 화상과 원 화상의 2매를 준비한다. 준비된 2매의 화상 각각에 cepstral 필터링을 하면 각각에 대하여 시차가 2개씩 구해지며, 따로 놓은 방향은 알고 있으므로 따로 놓은 화상의 2개의 해로부터 그 값을 유도함으로써 원 화상의 결과가 추정된다. 여기서 이 결과와 원 화상의 결과를 비교하여 그것과 일치하는 것이 올바른 해가 된다.

[알고리즘 2] : 옵티컬 플로우의 검출 I

- ① 시간적인 차를 갖는 2매의 화상을 준비하여 cepstral 필터링을 한다.
- ② 2매의 화상 중 1매의 화상을 구해진 2개의 해에 맞추어 따로 놓는다.
- ③ 다른 1매를 따로 놓은 화상 2매에 대하여 템플릿 매칭을 한다.
- ④ 구해진 값이 작은 쪽을 올바른 해로 판정한다.

$$\sum (f_{ij} - g_{ij})^2$$

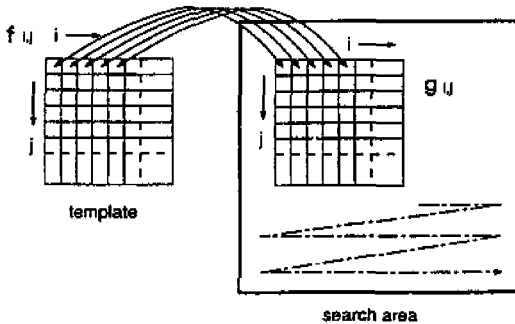


그림 3.1 Template 정합법

[알고리즘 3] : 옵티컬 플로우의 검출 II

- ① 시간적인 차를 갖는 2매의 화상을 준비하여, 그 중 1매를 임의의 방향으로 따로 놓고, 따로 놓지 않은 화상과 따로 놓은 화상에 대하여 각각 cepstral 필터링을 한다.
- ② 따로 놓은 화상에 의하여 구해진 2개의 해에서 다른 값을 구한다.
- ③ 구해진 값과 따로 놓지 않은 화상에 의해 구해진 2개의 해가 일치하는 것을 올바른 해로 판정한다.

[알고리즘 4] : 양안 시차의 검출

- ① 한쪽은 3개의 윈도우, 다른 쪽은 1개의 윈도우 화상을 준비하여 각각 섀프트럴 필터링을 한다.
- ② 각각 구해진 결과 내에서 피크값이 높은 것을 선택한다.
- ③ 선택된 2개의 해를 통하여 1쪽의 화상을 따로 놓고, 다른 쪽의 화상과 템플릿 매칭을 한다.
- ④ 구해진 값에서 작은 쪽을 올바른 해로 판정한다.

IV. 실험 및 검토

4.1 시스템의 구성

본 연구에서 사용하는 스테레오 비전 시스템의 외관을 그림 4.1에 나타낸다. 이 시스템은 인간의 시각계를 참고한 것으로 그 본체는 2대의 CCD 카메라와 4개의 DC servo motor로 구성되어 있다. 2개의 yaw motor에 의하여 2대의 카메라의 좌우 방향(pan)의 회전각을 독립적으로 제어하고, 1개의 pitch motor에 의하여 2대의 카메라를 좌우 방향으로(사람으로 말하자면 머리) 동시에 회전할 수 있고, 마지막 1개의 slide motor에 의해 비전 로봇 전체를 轉移(slide)시킬 수 있다.

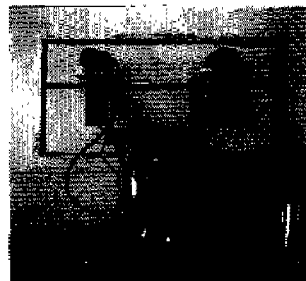


그림 4.1 이동하는 스테레오 시스템의 외관

그림 4.1에서 구현한 능동 시각시스템은 2대의 CCD 카메라와 4대의 서보 모터로 구성되어 있다. 2개 모터는 각각의 카메라의 좌우방향을 독립적으로 vergence 운동을 제어하고, 1 대의 pitch모터는 카메라의 상하 방향을 그리고 1대의 pan 모터는 카메라의 좌우방향을 제어한다.

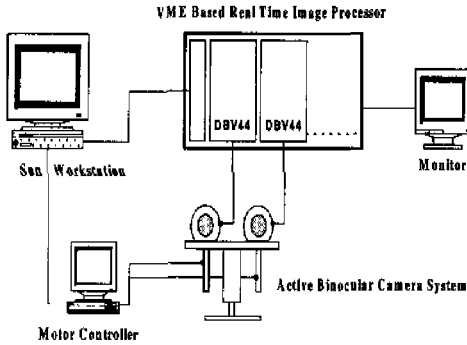


그림 4.2 비전 시스템의 구성

버전스 운동제어를 위해서 좌측카메라와 우측카메라로부터 영상은 MDC40IM 이미지 그래픽에 의해서 획득되고 획득된 영상은 MEC(OS-9168020 VME System) 버스에 장착된 4개 DSP 프로세서 TMS320C40에 의해서 병렬 실시간으로 시차정보를 획득한다. 시스템 구성은 그림 4.2에 나타낸다.

4.2 Cepstral 필터

Cepstral 필터를 사용하여 화상처리를 함으로써 그 견인성을 확인한다. 그림 4.3의 화상은 원화상이고, 원화상에 있어서 좌우의 화상은 상하, 좌우 방향으로 각각 15화소의 변위를 가지고 있다. 그림 4.4는 cepstral 필터를 사용한 결과의 화상으로 주파수축 주변부 이외에 2개의 밝은 점이 존재한다. 이것은 두 화상의 시차를 의미하는데, 어느 한 쪽은 잘못된 헤이다. 또한 cepstral 필터의 사용은 화상의 선명도나 밝기의 열화에 대한 견인성이 높다는 것이다. 그림 4.5는 견인성이 주어진 cepstral 필터를 사용하여 손상된 화상, 농담치가 변화된 화상, 선명하지 못한 화상, 크기를 변화시킨 화상을 각각 화상 처리한 결과이다.

이러한 4개의 화상은 모두 좌우의 화상 쌍이 동일하게 일정한 시차가 수평방향에 5화소, 수직방향으로 5화소이다. 이러한 화상에서 cepstral 필터를 계산하면, 모든 시차는 올바르게 검출될 수 있지만, 이러한 화상 모두에 공통적으로 올바른 시차를 구할 수 있는 범위는 좁게 제한된다.

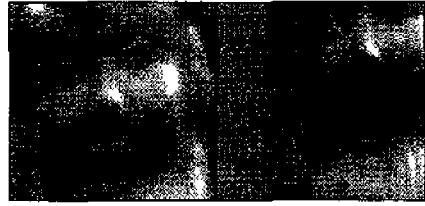


그림 4.3 원화상

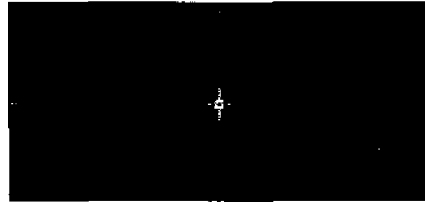


그림 4.4 Cepstral 화상



(a) Scribbled



(b) Change of intensity value



(c) Blur



(d) Change of intensity value

그림 4.5 Cepstral 필터의 견인성

4.3 카메라의 운동제어

4.3.1 단안의 pursuit 운동

물체를 움직이는데 비전 로봇의 슬라이드 기구를 이용하고, 카메라를 평행으로 전이시킴으로써 카메라가 어떤 한 점을 pursuit 운동할 수 있는지를 확인하였다. Pursuit 운동의 입력은 옵티컬 플로우이지만, 출력으로는 saccade 운동의 제어와 같이 회전각으로 하였다. SUN에서 cepstral 필터를 계산하여, 그 결과인 옵티컬 플로우를 전이의 VME(versa module euro) 버스를 거쳐 트랜스퓨터로 전송한다. 이 실험에서는 옵티컬 플로우를 구하는 알고리즘으로 알고리즘 2를 이용하였다. 또한 cepstral 필터에서 비교하는 화상의 1매는 가장 먼저 촬영한 것이고, 그 1매를 reflex 렌즈로 이용하여 남겨 두었다가 제어가 끝날 때에 촬영한 화상과 비교한다. 그러한 의미에서 cepstral 필터의 결과는 실질적인 의미에서의 옵티컬 플로우가 아니다. 이 실험에서 카메라가 항상 평행으로 이동하므로, cepstral 필터의 결과는 화상면에 평행인 성분이 수직인 성분보다도 훨씬 큰 값이 구해지므로, cepstral 필터의 윈도우 크기는 32×8 로 횡으로 긴 것이었다. 그림 4.6은 pursuit 운동하는 카메라의 동작을 나타낸다.

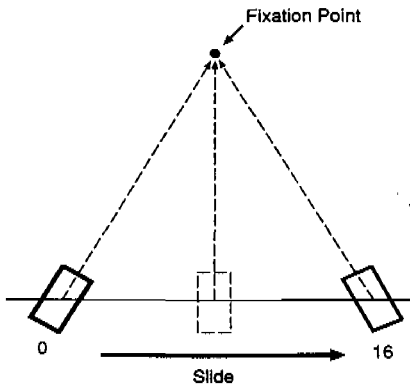


그림 4.6 카메라의 pursuit 운동

4.3.2 Vergence 운동

vergence 운동을 할 때에 좌우의 카메라를 마스터와 슬레이브로 나누면, 우측의 카메라를 마스터로 하고, 좌측의 카메라를 슬레이브로 하여 vergence 운동을 하였다. 양안 시차를 구할 때에는 수직 방향의 시차는 고려할 필요가 없으므로, 종으로 짧고 횡으로 긴 윈도우를 취한다. 이번의 실험에서 마스터는 크기가 64×8 인 윈도우를 1개 갖고, 슬레이브

측은 크기가 64×8 인 윈도우를 3개 가지고, 각각 윈도우에 대하여 마스터의 윈도우와의 cepstral 필터를 계산한다. 실험에서는 양안 시차를 구하기 위해 알고리즘 4를 이용하였으며, saccade 운동과 vergence 운동을 조합하여 자신이 보고자 하는 물체 위에서 폭주각을 교차시켜 그 물체까지의 거리를 측정하였다. 우선 자신이 보고자 하는 물체의 마스터의 화상 위에서의 위치가 화상중심으로부터 벗어나 양안의 saccade 운동을 하였다. 결국 폭주각을 일정하게 유지한 채로 마스터 카메라를 주목한 물체를 마스터의 화상중심에서 포착한다. 양안의 saccade 운동은 좌우의 카메라가 같은 방향에서 같은 각도로 회전시켜 주목하는 물체를 horopter(單視軌跡) 위에 존재시켰더라도, 슬레이브의 카메라는 마스터의 카메라와 같은 방향, 같은 속도로 회전시켜 주목하는 물체를 전부 다른 방향으로 향하지 않고, 3개의 윈도우의 어딘가에 주목하는 물체를 받게 된다. 양안의 saccade 운동이 종료되고 vergence 운동을 실행하였다. 또한 주목하는 물체 위에서 시선을 중첩시키고 3각 측량의 원리를 이용하여 그 물체의 3차원 위치를 알게 된다.



그림 4.7 고정점의 추적

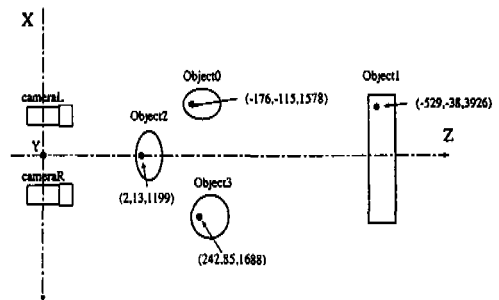
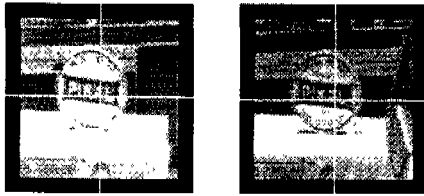


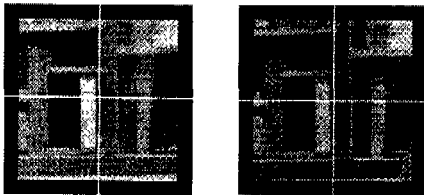
그림 4.8 환경의 변화

이 실험에서는 saccade의 운동과 vergence 운동

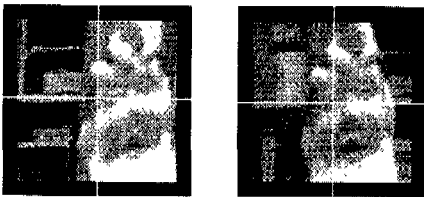
을 4회 연속하여 4개의 물체의 거리를 측정하였는데, 고정점의 제적, 고정점의 좌표, 고정점의 화상을 각각 그림 4.7~4.9에 나타내었다.



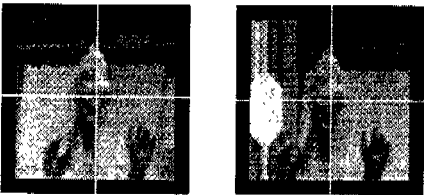
Left image 0 Right image 0



Left image 1 Right image 1



Left image 2 Right image 2



Left image 3 Right image 3

그림 4.9 고정점의 화상 배열

4.4 실험결과의 분석

표 4.1은 그림 4.7과 4.8에 나타낸 것처럼 vergence 운동을 종료할 때 좌우의 카메라로 촬영한 화상에서 그 시점의 모터 회전각에 의하여 좌우 카메라의 시선이 교차하는 곳의 3차원 위치를 계산한 값으로, (X_r, Y_r, Z_r) [mm]은 좌표축, D_r [mm]는 실거리, (X_b, Y_b, Z_b) [mm]는 측정좌표, D_b [mm]는 측정거리를 나타낸다.

표 4.2는 제안된 방법과 기존 방법에서 좌우 카메라에 의해 얻어진 운동 시차와 양안시차에 관한 대응점 후보수, 초기 융합율, 최종융합율, 계산 시간

표 4.1 화상의 3차원 위치

	(X_r, Y_r, Z_r)	D_r	(X_b, Y_b, Z_b)	D_b
Object 0	(-176,-115,1578)	1600	(-168,-111,1525)	1539
Object 1	(-531,38,3955)	4000	(-529,-38,3926)	3961
Object 2	(2,13,1199)	1200	(-13,16,1468)	1468
Object 3	(242,85,1688)	1700	(301,112,2241)	2263

을 나타내었는데, 초기 융합율이란 아무 것도 하지 않아도 대응점이 바로 결정되는 비율이다. 운동 시차는 대응점이 거의 바로 결정되어 있다는 것을 알 수 있다.

표 4.2 제안된 방법에서의 양안시차 검출

	Candidate No.	One shot Rate(%)	Fusion Rate(%)	Time(sec)
$L_0 - L_1$	1.12	99.7	99.7	3.61
$R_0 - R_1$	1.12	99.6	99.8	3.54
$L - R$	1.46	58.5	82.8	36.80
ref.[1] $L - R$	3.20	27.4	63.4	157.48
ref.[2] $L - R$	2.26	35.6	76.0	133.72

계산시간에 있어서 제안된 방법은 종래의 방법과 비교하여 현저히 개선된 것을 초기 융합율의 차이로부터 설명할 수 있는데, 제안된 방법에서는 운동 시차에 의해 대응점 후보를 한정하고 있기 때문에 초기 융합율이 높다. 이것은 가정한 대응점 후보가 적다는 것을 의미하며, 더욱 시차 후보를 한정할 때에는 적은 시간으로 거리 정보를 얻을 수 있다. 최종 융합율의 차는 그다지 크지 않았으며, 본 방법에 의해 거리정보를 고속 및 정확하게 획득할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

한편, 그림 4.7에서 고질라 오른쪽에 잘못된 거리 정보가 존재한다. 이 영역은 화상중심 부근으로 카메라의 이동에 의하여 유효한 시차 정보를 얻을 수 없고, 좌우 스테레오 비전에 있어서 고질라의 겨드랑이는 폐쇄(Occlusion) 영역으로 시차를 검출할 수 없다. 따라서 화상중심과 폐쇄 영역이 일치하면 바른 거리정보를 획득할 수 없다는 것을 나타내고 있다.

V. 결론

본 연구에서는 지적인 비주얼 센싱을 위하여 카메라의 시선 제어를 하였고, 카메라의 시선을 제어하기 위하여 필요한 정보에 어떤 옵티컬 플로우의 검출 및 양안 시차를 검출할 수 있는 cepstral 필터를 이용하였다. 옵티컬 플로우의 검출에 template mathing를 함께 이용하여 양안 시차의 검출에 화상을 3개로 분할하는 방법을 제안하였다. 또한, 카메라의 시선제어를 위해서, pursuit 운동, saccade 운동, vergence 운동의 3가지 카메라 운동에 대한 제어 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에 의하여 시선 제어 실험을 하였다. 실험의 제약 조건으로는 pursuit 운동을 간단하게 하기 위하여 reflex 렌즈로 항상 같은 화상과 비교하였고, 주목하는 물체는 정지 상태로 카메라가 주목하는 물체에 대하여 평행 운동하는 것으로 하였다.

참고 문헌

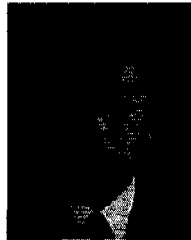
- [1] P. K. Allen et al., "Real-time visual servoing," in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automat., pp. 851-856, Apr. 1991
- [2] Y. Yeshurun, and E. L. Schwartz, "Space-variant image processing IV : Contour-based blending of multi-fixation log views of a scene," Computational Neurosci., NYU Med. Center, Tech. Rep. CNS-TR-11-86, 1986
- [3] E. Wolfson, Y. Yeshurun, and E. L. Schwartz, "Space-variant image processing II : Image-blending of multi-fixation logarithmic views," Computational Neurosci., NYU Med. Center, Tech. Rep. CNS-TR-10-86, 1986
- [4] C. Laugier, A. Ijel, and J. Troccaz, "Combining Vision based Information and Partial Geometric Models in Automatic Grasping", in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 676-682, 1990
- [5] "スペース, 知能を身に着け宇宙に飛び立つ," 日経メカニカル, pp. 18-30, 1990
- [6] 狼, "世界における宇宙ロボットの研究開発動向", 計測と制御, Vol.28, No12, pp.5-10, 1989
- [7] A. J. Koive and N. Housngi, "Real Time vision feedback for servoing of a Robotic

manipulator with self-tuning controller," IEEE Trans., Syst., ManCybern, vol. 21, no. 1, pp. 134-142, 1991

- [8] Nobuhiro OKADA and Tadashi NAGA -TA, "A Parts Picking System with a Range Finder and a Camera System," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1410-1415, 1995
- [9] J. T. Feddema, C. S. George Lee, and O. R. Mitchell. "Weighted Selection of Image Features for Resolved Rate Visual Feedback Control", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 7, no. 1, pp.31-47, 1991

문 응 선(Yong Seon Moon)

정회원



1983년 2월 : 조선대학교 전자공학과(공학사)

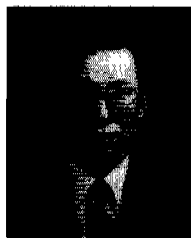
1985년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1989년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1992년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 전자공학과 부교수
<주관심 분야> Vision-based control

정 남 채(Nam Chae Jung)

정회원



1984년 2월 : 조선대학교 전자공학과(공학사)

1987년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학 석사)

1992년 8월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학 박사)

1996년 3월 ~ 현재 : 초당대학교 정보통신공학과 조교수
<주관심 분야> Digital 신호처리, Robotics, 의용전자공학