

논문 2010-47SC-4-3

스테레오 카메라를 이용한 3차원 정보의 가시화

(Visualization of The Three Dimensional Information Using Stereo Camera)

이 남 호*, 박 순 용**, 이 승 민***

(Nam-Oh Lee, Soon-Yong Park, and Seung-Min Lee)

요 약

스테레오 카메라에 의해 취득된 대상물체의 좌, 우 영상을 이용하여 3차원 형상 정보를 추출하여 가시화 하는 기법 및 주시각 제어 알고리즘을 적용하여 입체감 있는 영상으로 출력하는 기술에 관한 연구이다. 효율적인 3차원 형상 정보 추출을 위해, 카메라 렌즈의 왜곡 보정 및 에너지 함수를 적용한 정합을 실시하였다. 특히, 다 방향 시차영상에 정합선 최적화 기법을 적용하여 정합 방향에 따른 다방향성 방법과 신뢰확장 방법의 약점을 보완하였다. 정합된 관심영역에 대한 3차원 형상정보를 VRML(virtual reality modeling language)을 사용하여 나타내었고, 주시각 제어를 통하여 입체감 있는 영상을 출력하였다. 이는 관측자에게 보다 향상된 3차원 정보를 제공할 수 있을 것이다.

Abstract

The three dimensional information is extracted and visualized using by stereo images of the object and the method for a 3D stereoscopic image is presented by the vergence control algorithm. The matching, which is applied a undistortion of lens and the energy function, is executed for the efficient extraction three dimensional information. Especially, applying the optimized method of matched line to the multi direction of the disparity images. The disadvantages of multi directional method and reliability expansion method is collected. The matched interesting range of the three dimensional information is visualized using by VRML and more 3D stereoscopic image is visualized through the vergence control according to distance of the object. more improved three dimensional information is provided to observer by visualizing both of them at the same time.

Keywords : 스테레오, 3차원정보, 왜곡보정, 영상처리, 주시각 제어

I. 서 론

일반적으로, 인간이 물체를 입체적으로 느낄 수 있는 것은 양안시차에 의한 것으로, 두 눈은 각기 다른 시점의 영상을 관측하고 인간의 뇌가 이 두 영상의 차이를

통해 3차원 물체로 인식하게 된다. 이러한 인간의 시각 시스템(HVS: human visual system)^[1]을 모방하여 다양한 형태의 양안식 입체 디스플레이 시스템이 구현되어 왔다. 이러한 입체 시스템은 다수의 산업 및 의료분야에 이용되고 있으며 스테레오 카메라를 이용한 입체 디스플레이뿐만 아니라, 3차원 정보의 추출을 통해 다양한 형태로 형상정보를 제공하는 연구가 활발히 진행되고 있다.^[2] 특히, 국내외에서 복강경 시술시 이용되는 다빈치 시스템은 시술자에게 스테레오 카메라의 영상을 제공하여 시술에 많은 도움을 주고 있지만 시술자가 관심을 가지고 있는 영역에 대한 3차원 정보는 제공하지 못하는 단점이 있다.

* 정희원, 한국원자력연구원
(KAERI)

** 정희원, 경북대학교 컴퓨터공학과
(Kyunpook National University)

*** 정희원-교신저자, 충남대학교 전기전자통신공학과
육과
(Chungnam National University)

접수일자: 2009년12월16일, 수정완료일: 2010년6월26일

본 논문에서는 입체 복강경 시술시, 스테레오 카메라를 통하여 입력된 영상에 대하여 렌즈의 왜곡 보정을 실시한 후 유사성 알고리즘을 적용하여 대상물체까지의 거리를 산출하고 주 시각 제어 기법을 이용하여 입체영상으로 출력하여 시술자로 하여금 실감나는 3차원 입체 정보를 시각적으로 제공함과 동시에, 에너지 함수 기반의 다방향 정합선 최적화 기법을 적용하여 산출된, 신뢰성 있는 정합 정보를 VRML로 2차원 출력장치에 다양한 형태로 출력함으로써 시술자가 관심영역에 대한 자세한 정보를 인식할 수 있게 할 수 있다는 점에서 큰 의의가 있겠다.

II. Stereo camera image processing

2.1 3차원 정보 추출 및 가시화 과정

그림 1은 스테레오 카메라에 대한 영상처리 과정을 표현한 것으로 취득된 영상에 대하여 카메라 초기화 및 렌즈 왜곡 보정 실시하고 산출된 각 카메라의 투영행렬에 카메라 원점 정보를 추가하면 산출될 수 있는 Q-행렬을 가지고 두 영상에 대한 정류화를 실시하였다.

정류화 된 두 영상을 바탕으로 유사성 알고리즘 적용하여 한 쪽 카메라에서 획득된 영상의 특정 영역이 다른 쪽 카메라에서 획득된 영상의 어느 위치에 존재하는지를 판단하고 두 영상간의 픽셀 차이 정보를 이용하여 주 시각 제어를 실시한 후 입체 디스플레이를 하게 되면 관측자에게 보다 입체감 있는 영상을 제공할 수 있게 되고, 나아가 정류화 된 영상에 대하여 에너지 함수를 적용하여 대상 물체에 위치한 임의의 한 점에 대한 3차원 거리정보를 추출하고 다수의 점에 대하여 추출된 3차원 거리정보는 조합되어 VRML 등을 이용하여 가시화된 3차원 영상으로 표현 된다.^[3]

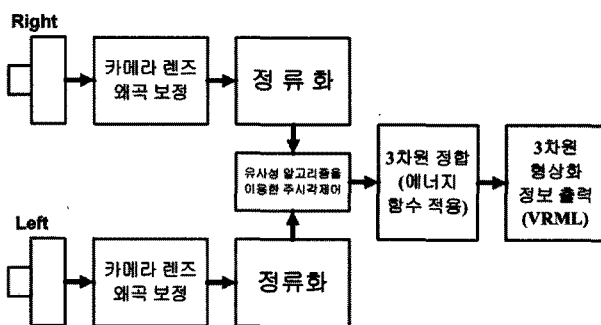


그림 1. 스테레오 카메라에 대한 영상처리 과정
Fig. 1. Imaging process of Stereo camera.

2.2 카메라 렌즈왜곡의 보정

렌즈의 왜곡은 카메라의 초점거리에 관련이 있는데, 최근에 양산되는 카메라의 경우 왜곡이 매우 적지만 특수한 렌즈를 사용하는 카메라의 경우에 있어서는 심한 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 카메라를 통하여 입력되는 영상은 카메라 내부 혹은 외부의 영향에 의해서 왜곡이 발생하여 실제와 다른 형태의 영상으로 나타날 수 있으며 카메라의 렌즈 왜곡이 적게 제작되었다고 사용하는 환경 조건에 의해서 보정이 필요하다.^[4]

그림 2는 두 가지 왜곡 성분을 표시하고 있으며, Radial distortion 성분은 영상 중심을 기준으로 방사 방향의 왜곡을 의미하고 $\Delta R_x(q) = x(k_1 r^2 + K_2 r^4)$, $\Delta R_y(q) = y(k_1 r^2 + K_2 r^4)$ 가 된다. 또한 Tangential distortion 성분은 영상점을 기준으로 접선방향의 왜곡을 나타내며, $\Delta T_x(q) = p_1 r^2(1 + 2\cos^2(\phi)) + 2p_2 r^2 \sin(\phi)\cos(\phi)$, $\Delta T_y(q) = p_2 r^2(1 + 2\sin^2(\phi)) + 2p_1 r^2 \sin(\phi)\cos(\phi)$ 로 표현된다.

따라서, $q(x, y)$ 를 왜곡점, $q'(x', y')$ 를 왜곡이 보정된 점으로 가정하면, 규정한 패턴 영상을 이용하여 방사 왜곡 보정을 위해 P1, P2를 산출하고, 접선 방향의 왜곡을 보정하기 위해서 K1, K2를 산출하게 되면 렌즈에 의한 왜곡을 보정 할 수 있다.^[5]

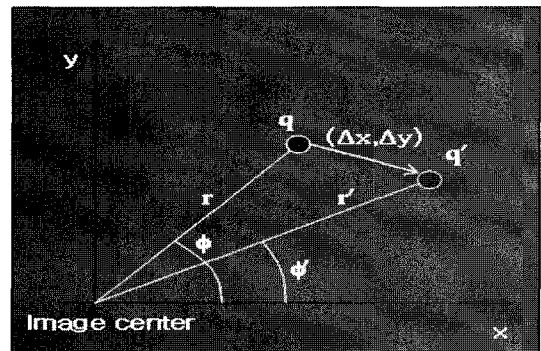


그림 2. 렌즈 왜곡 성분의 분해
Fig. 2. Discomposition of lens distortion component.

2.3 주시각 제어알고리즘

스테레오 카메라의 주시 방향을 제어할 수 있는 기술의 개발은 관측하고자 하는 물체의 입체영상에서 시차(disparity)를 일정한 크기로 유지되도록 제어하여, 좌, 우 영상에서 동일한 물체의 위치를 추적하고 추적된 물체의 시차가 일정하게 유지되도록 주시각을 조절하는 것이 중요하다. 아래의 그림 3은 스테레오 카메라의 주시각 제어 시스템의 구성도를 나타내고 있다.

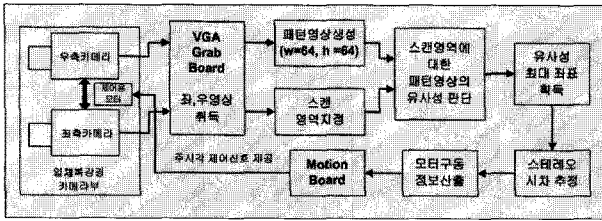


그림 3. 스테레오 카메라의 주시각 제어 시스템 구성
Fig. 3. Architecture of vergence angle control system of stereo camera.

스테레오 카메라의 주시각 제어 시스템은 크게 스테레오 영상을 취득하는 카메라부, 스캔영역에서 패턴영상과 유사성을 판단하는 부분, 유사성 판단에 의하여 획득된 좌표를 기준으로 스테레오 시차를 추정하는 부분, 추정된 시차를 보상하기 위한 모터를 구동하기 위한 부분으로 구성될 수 있으며, 스테레오 카메라의 모듈내에 주시각 제어용 모터가 포함되어 있다.

스테레오 카메라의 주시각 제어부분에서 핵심적인 알고리즘에 해당하는 부분은 유사성을 판단하는 수식을 이용하여 스캔영역에서 패턴영상 부분을 탐색하여 가장 유사한 부분을 찾아내고 스캔영역에서 임의의 좌표값으로 도출하는 것이다. 도출된 좌표와 원영상의 좌표의 차이가 시차이며, 추정된 시차정보를 바탕으로 스테레오 카메라부에 있는 시차조정용 모터를 구동하여 주시각 제어를 실시하게 된다.^[6]

2.4 스테레오 카메라를 정합을 위한 에너지 함수

스테레오 영상으로부터 시차와 깊이 정보를 얻는 방법들은 크게 영역기반, 특징기반, 위상기반, 그리고 에너지기반 방법으로 나뉜다. 이 중 에너지기반 방법은 전체의 정합 결과가 정해진 에너지 식을 최소화시키는 해를 구하므로 가장 좋은 성능을 보인다. 최근 에너지기반 방법 중에서 시차공간영상에서 최소의 비용 경로를 찾아 정합하는 방법은 비용 경로가 연속적인 특성으로 인해 기존 방법들보다 정확하고 안정된 결과를 나타낸다.^[7]

$$E(D) = \sum_p C(p, D_p) + \sum_{q \in N_p} P_1 T[|D_p - D_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} P_2 T[|D_p - D_q| > 1] \quad (2)$$

여기서,

$E(D)$: 에너지 함수

D_p, D_q : 픽셀 p와 q의 시차

$C(p, D_p)$: 픽셀 p의 시차가 D_p 가 되기 위한 정합 비용

$T[]$: return if argument is true and 0 otherwise

P_1, P_2 : 시차변화에 대한 가중치

2.5 다방향 정합선 최적화

서로 다른 방향에서 획득한 시차영상으로부터 신뢰도가 높은 초기 시차영상을 획득하고, 획득된 초기 시차영상을 바탕으로 신뢰확장을 시행하여 초기 시차영상의 공백을 순차적으로 복원하여 정합 방향에 따른 다방향성 방법과 신뢰확장 방법의 약점을 보완하는 방법을 제안하였다. 또한, 시차값에 대한 정합경로의 추정은 식 (3)을 적용하여 실시하였다.

$$C_{x,d} = \min(C_{x-1,d-k} + M_{x,d} + \lambda_k, C_{x-1,d} + M_{x,d}, C_{x-1,d-k} + M_{x,d} + \lambda_k) \quad (3)$$

여기서,

$C_{x,d}$: x의 시차가 d가 되기 위한 누적 비용

$M_{x,d}$: x의 시차기 d가 되기 위한 정합값

에너지 함수에 의해 생성된 시차정보를 바탕으로 정합경로를 추정하는 것은 수식 3과 같이 누적 비용이 가장 작은 값을 가지는 경로로 추정되어진다.

그림 4는 에너지함수에 의해 계산되어진 두 영상의 정합 비용 값으로 이루어진 시차영상에 대하여 8가지 정합선 방향으로 정합경로를 추정한 다방향 시차영상을 나타내고 있으며, 방향성 정합 경로 추정의 단점인 정합경로 방향에 따른 선들이 나타나 있다. 이러한 문제

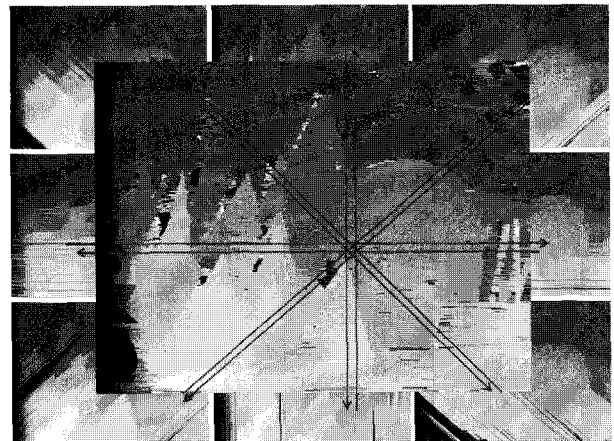


그림 4. 다방향 시차영상

Fig. 4. Multi direction of the disparity images.

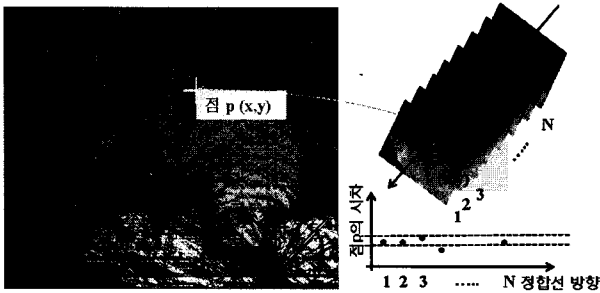


그림 5. 다방향 시차영상에서 각 점의 시차값 비교
 Fig. 5. Compare each point of disparity value.



그림 6. 다방향 정합선 최적화 결과
 Fig. 6. Result of Multi directional matching line optimization.

점을 보안하기 위하여 정합방향을 8가지 방향에 대하여 실시하고, 정합된 시차영상들의 각각의 좌표값을 기준으로 정합의 신뢰값을 판별하여 초기 시차영상을 추출하였다.

그림 5는 초기 시차영상을 추출하기 위하여 8가지 정합 방향에 대하여 각 점들의 시차값을 일정한 범위를 정한 뒤 신뢰값을 판단하는 것을 나타내고 있으며, 신뢰값으로 판단하기 위해 본 논문에서 설정한 규정은 시차값의 범위는 8개의 시차값을 평균한 값의 $\pm 5\%$ 로 하였으며, 설정된 범위내에 8개의 시차값 중 6개 이상의 값이 존재할 때 신뢰값으로 판단하고 그 평균 시차값을 저장하여 사용하였다.

그림 6은 다방향 정합선 최적화를 실시한 결과를 보여주고 있으며, 실선영역이 신뢰영역, 점선 부분이 정합의 신뢰값을 찾지 못한 부분을 나타내고 있고, 신뢰값을 판단하지 못한 부분은 신뢰영역의 끝 점을 기준으로 N회 정합선 최적화를 다시 실시하여 신뢰영역을 확장시키는 방법을 적용하였다.

III. 실험

3.2 렌즈 보정 파라미터의 산출 및 보정 결과

제작된 카메라에 4mm 렌즈와 2.5mm 렌즈를 부착하고 렌즈 보정 파라미터를 산출한 결과 4mm 렌즈의 경우는 $(K_1, K_2, P_1, P_2) = (-2.69e-1, 8.03e-2, 1.35e-3, -7.07e-4)$ 값이 산출 되었으며, 2.5mm 렌즈의 경우는 $(K_1, K_2, P_1, P_2) = (-3.81e-2, 1.60e-3, 4.97e-4, 1.04e-4)$ 값이 산출되었다. 산출된 왜곡 보정계수를 이용하여 실시간으로 왜곡 보정을 실시하게 되는데, 렌즈왜곡의 보정 과정은 스테레오 카메라 영상을 취득한 후 적용하여 보정된 영상을 이용하여 스테레오 합성 및 주 시각 제어를 실시하게 된다.

그림 7은 WindowXP, Mtl, OpenCV, OpenGL, C++ 기반으로 개발된 렌즈 왜곡 보정 알고리즘을 적용하여 자체 제작된 스테레오 카메라를 이용하여 왜곡보정실험을 실시한 결과이며, 다소 왜곡도가 심한 4mm 및 2.5mm 렌즈에 대한 렌즈 왜곡 보정 실험의 결과이다.

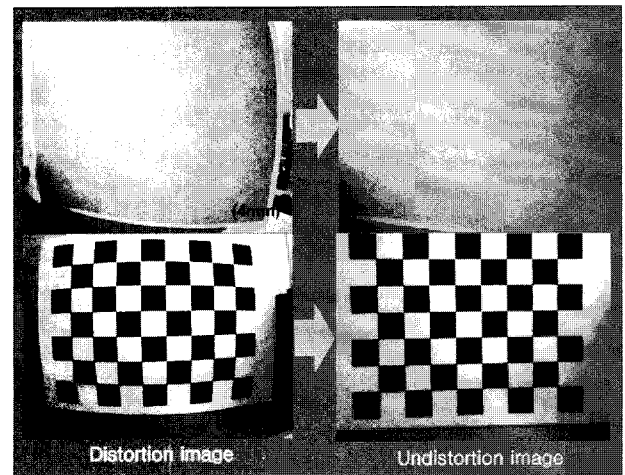
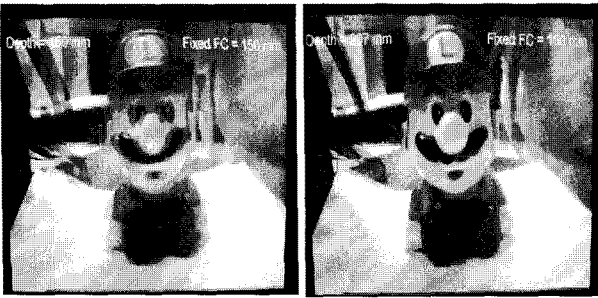


그림 7. 4mm 및 2.5mm 렌즈에 대한 렌즈 왜곡 보정 실험의 결과
 Fig. 7. Result of lens distortion correction experiment about 4mm and 2.5mm lens.

3.3 주시각 제어 알고리즘의 적용

두 번째로 실시한 실험은 개발된 주시각 제어 알고리즘을 바탕으로 스테레오 카메라에 대하여 렌즈의 왜곡 보정을 실시함과 동시에 주시각 제어를 적용하여 실시간 입체 영상으로 출력하는 실험을 실시하였다. 실험의 결과는 그림 8과 같으며, 렌즈의 왜곡이 보정됨과 동시에 주시각 제어가 적용된 3차원 입체 영상이 출력됨



(a) 주시각 제어 전 영상 (b) 주시각 제어 후 영상

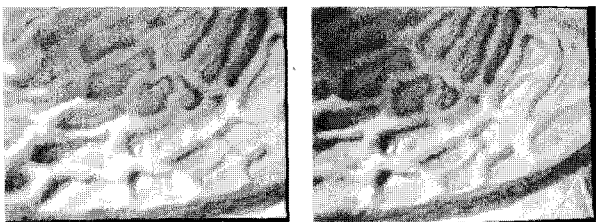
그림 8. 렌즈 왜곡 보정 및 주시각 제어 알고리즘을 적용한 3차원 입체 영상 출력

Fig. 8. 3D stereoscopic image applied lens distortion correction and vergence control algorithm.

을 확인 할 수 있었다. 해당 결과에 의해 입체 안경을 착용한 시술자에게 보다 나은 3차원 입체영상을 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

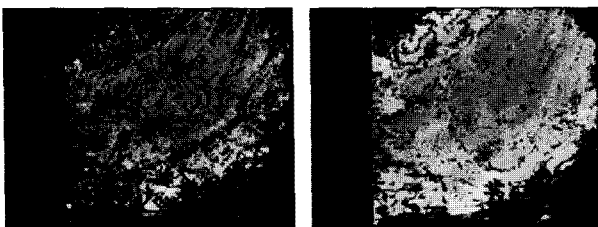
3.4 다방향 정합선 최적화 및 3차원 정보 가시화

그림 9는 정합선 최적화를 N회 실시한 결과이며,



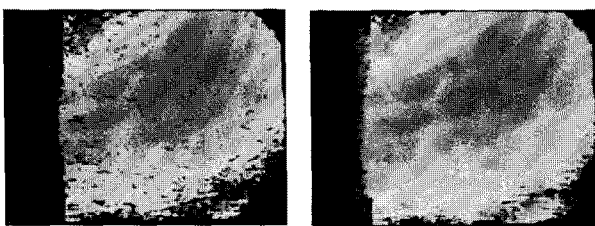
(a) 좌영상

(b) 우영상



(c) 정합선 최적화 1회

(d) 정합선 최적화 4회



(e) 정합선 최적화 7회

(f) 정합선 최적화 10회

그림 9. N회 정합선 최적화를 통한 시차영상의 획득

Fig. 9. N times through the matching line optimization of the disparity image acquisition.

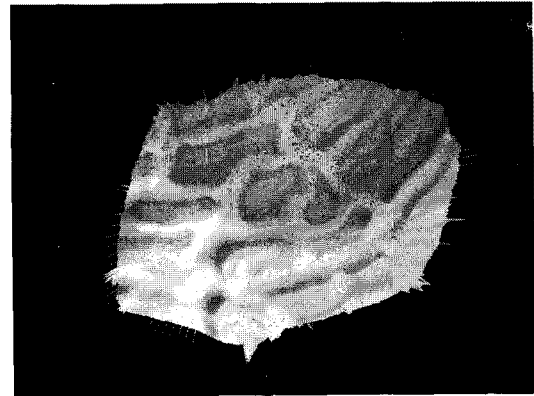


그림 10. 3차원 복원 결과

Fig. 10. Result of 3-D restoration.

(a), (b)는 스테레오 카메라에 의해 취득된 위(胃) 모형의 좌, 우 실영상이며, (c)~(f)는 정합선 최적화를 1회에서 10회까지 실시하였을 경우 시차영상의 변화를 보여주고 있다. 여기서, 정합선 최적화를 1회 실시한 최초 시차영상에 비해 정합선 최적화를 다수 실행한 결과 시차영상의 정보가 향상됨을 관측할 수 있었다. 하지만 취득된 여기서 정합선 최적화의 횟수는 3차원 정보 추출을 위한 영상처리 소요시간을 결정짓는 시간적인 요소가 되므로 적용 대상에 따라 적절한 정합선 최적화 횟수의 조절이 중요하다.

그림 10은 최종 시차영상에 관심영역부분을 마스크 처리하여 3차원 정보를 복원한 결과영상이며, 각 요소들은 매쉬형태로 표현되었고, 3차원적으로 회전하여 관측할 수 있는 기능을 제공함으로써 시술자에게 향상된 3차원 정보를 제공한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 스테레오 카메라에 대한 3차원 자세 보정 및 카메라 렌즈에 대한 왜곡 보정 알고리즘을 적용하기 위하여 자체 개발된 렌즈 왜곡 보정 계수 산출용 프로그램을 이용하여 각 카메라에 대한 내, 외부 파라미터 및 렌즈 왜곡 보정계수를 산출하였고, 산출된 카메라의 내부 변수와 렌즈 왜곡 보정계수를 적용하여 획득된 렌즈 왜곡 영상을 보정 영상으로 변환하는 행렬식을 산출하였다. 이 행렬식을 각 카메라에 적용하여 렌즈 왜곡 보정 실험을 실시하였는데, 초점 거리가 짧은(왜곡도가 심한) 4mm와 2.5mm 렌즈에 대하여 적용한 실험 결과는 충분히 만족할만한 수준의 왜곡의 보정이 이루어졌다. 또한 왜곡 보정된 영상을 바탕으로 좌,

우 영상에서 특징점을 유사성 알고리즘을 이용하여 추출하여 원하는 거리에 있는 특징점의 2차원 좌표가 동일하도록 하는 주 시각 제어 알고리즘을 적용한 입체영상에서는 왜곡보정 전보다 더 입체감 있는 영상의 출력이 가능함을 확인하였다.

더불어, 정확한 3차원 정보를 추출하기 위하여 좌, 우 영상에 대하여 공간 좌표 보정을 통한 정류화를 실시하고 정류화 된 영상을 기준으로 정합에 대한 비용의 누적성분과 페널티 성분이 포함된 에너지 함수를 이용하여 취득된 영상에서 임의의 영역에 존재하는 각 픽셀에 대하여 정합을 실시하였고, 다 방향 최적화 정합경로 알고리즘을 이용하여 보다 향상된 3차원 정보를 추출하여 추출된 3차원 거리정보를 바탕으로 3차원 정보를 가시화하였다. 추후, 실제적인 사용을 위하여 관심영역 추출에 관련된 사용자 인터페이스를 개선하고, 스테레오 정합의 성능 및 속도를 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Victor S. Grinberg, Gregg Podner, M. W. Siegel, "Geometry of binocular imaging", Proc. of SPIE, vol. 2177, pp. 56-65, February 1994.
- [2] Delaigle, J.F., Devleeschouwer, C., Macq, B., and Langendijk, L., "Human visual system features enabling watermarking", ICME '02. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on Volume 2, pp. 489- 492, Aug. 2002.
- [3] 김한성, 손광훈, "다중 스테레오 카메라를 이용한 3차원 모델링 시스템", 대한전자공학회논문지, 제 44권, SP편, 제1호, pp. 1-9, 2007년 1월
- [4] Guo-Qing Wei and Song De Ma, "Implicit and explicit camera calibration: theory and experiments Pattern Analysis and Machine Intelligence", IEEE Transactions on, vol. 16, Issue: 5, pp. 469-480, May. 1994.
- [5] Zhengyou Zhang, "Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations.", Computer Vision, 1999. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on, Volume:1, pp. 666-673, Sep. 1999.
- [6] 박순용, 이용범, 진성일, "배경시차 보정을 이용한 스테레오 시각장치의 주시각제어", 대한전자공학회 논문지, 제34권, S편, 제9호, pp. 959-968, 1997년 9월
- [7] 이종민, 김대현, 최중수, "시차공간영상을 이용한 스테레오 영상 정합에 관한 연구", 전자공학회논문지, 제41권, 제6호, pp. 867-876, 2004년 11월

저 자 소 개



이 남 호(정회원)-주저자
1991년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.
1993년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.
2004년 충남대학교 전기공학과 박사 졸업.

한국원자력연구원 원자력융합기술개발부 책임연구원

<주관심분야 : 입체영상, 원격제어, 원격센서>



박 수 용(정회원)
1991년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.
1993년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.
2003년 미국 뉴욕주립대학교 전기컴퓨터공학과 박사 졸업.

경북대학교 컴퓨터공학과 조교수

<주관심분야 : 3차원 센싱 및 모델링, 입체영상>



이 승 민(정회원)-교신저자
2000년 충남대학교 전기공학과 학사 졸업.
2002년 충남대학교 전기공학과 석사 졸업.
2007년 충남대학교 전기공학과 박사 졸업.

충남대학교 전기전자통신공학교육과 초빙교수

<주관심분야 : 신재생에너지, 디지털 신호처리>