

□ 특 집 □

컴퓨터 비전을 이용한 혼잡도 측정 시스템†

한국과학기술원 이광호 · 정순기 · 김주환 · 원광연*

● 목	차 ●
I. 개 요	3.5 출력 인터페이스
II. 혼잡도 측정 알고리즘	3.6 비디오 콘트롤러 인터페이스
2.1 프레임간 차이 방법	3.7 카메라 스케줄링
2.2 참조 영상 방법	3.8 상황 감시
2.3 Optical flow 방법	IV. 혼잡도 산출
III. 시스템 구성	4.1 정보 융합
3.1 시스템 개요	4.2 혼잡도 맵으로부터 혼잡도의 산출
3.2 실시간 영상처리	4.3 장면별 혼잡도 vs. 지역별 혼잡도
3.3 기준영상 및 데이터베이스 관리	4.4 혼잡도 측정 알고리즘의 성능
3.4 입력 인터페이스	V. 결 론

I. 개 요

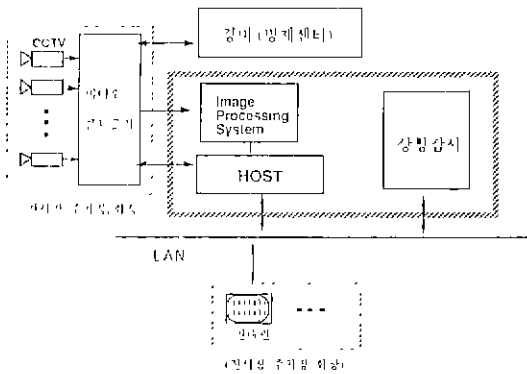
본 논문은 1993년 대전 세계 박람회(대전 엑스포 '93)의 박람회장 운영시스템의 부속 시스템인 “컴퓨터 비전을 이용한 혼잡도 측정 시스템”의 개발을 다룬다. “혼잡도 측정 시스템”은 대전 엑스포 '93 박람회장의 혼잡이 예상되는 전시장, 회장내의 광장 및 주요 지역에 설치된 카메라로부터 얻어지는 영상을 영상 처리 및 컴퓨터 비전 기술을 이용, 분석하여 각 지역에 대한 관람객의 밀집정도를 ‘혼잡도’라는 수치로 산출한다. 이 ‘혼잡도’ 정보는 관련 시스템에 온라인으로 제공됨으로써 혼잡을 사전에 방지하고 관람객을 분산 유도할 수 있도록 하여 박람회 전체의 운영이 순조롭게 진행될 수 있도록 지원

함을 주목적으로 한다. 또한 간접적으로는 종합 정보 서비스 시스템 등의 운영시스템에서 첨단 영상 처리 기술을 관람객들에게 소개함으로써 박람회의 목적에 기여하며, 영상 처리 기술의 축적을 통하여 해당 분야 및 관련 분야의 기술 선진화에 기여한다. 전체 시스템의 개략적인 설명은 다음과 같다. 먼저, 측정 대상 장면에 대한 혼잡도 측정의 기준 데이터로 사용될 양질의 영상 데이터 베이스를 작성, 이들에 대한 혼잡도를 다단계(5-10단계)로 나타낼 수 있는 측정 알고리즘을 개발하고, 외부 시스템에서 혼잡도 측정 정보를 쉽게 이용할 수 있도록 하는 인터페이스를 개발한다. 혼잡도 측정 시스템은 (그림 1)과 같이 구성된다.

비디오 콘트롤러에 의해, 기 설치된 25대의 CCTV 카메라로부터의 입력 영상이 혼잡도 측정 시스템에 제공된다. 영상 처리 모듈에서는 영상을 capture하여 이를 디지털화하고 본 시스템에

† 본 연구는 한국과학기술연구원 시스템공학연구센터로부터의 개발용역으로 수행되었음

* 정회원



(그림 1)

서 필요한 여러가지 영상 처리를 한다. 본 시스템에서 사용하는 컴퓨터는 영상 처리 시스템의 구입과 관리 등의 용이성을 고려, PC486을 platform으로 하고 주로 혼잡도 측정 알고리즘을 위한 수치적 계산, 영상 데이터 베이스의 관리 및 운영, reasoning, 그리고 영상 capture 간격의 조절, 카메라의 각도 및 조리개 등 카메라의 파라미터 조정 작업을 수행한다. 실제 사용자를 위한 출력 인터페이스로는 박람회장의 조감도 상에 측정된 혼잡도를 그래픽으로 표현한다. 따라서, 본 과제에서는 영상 처리 및 컴퓨터 비전 등의 첨단 기술을 응용함으로써 관람객들의 편의를 도모하고, 컴퓨터 마인드를 확산하는 한편, 대전 엑스포 '93 전산 시스템의 복잡하고 다양한 운영 업무의 원활한 수행에 기여할 수 있는 박람회 운영 지원 시스템의 설계 및 개발을 목표로 하며, 다음과 같은 특징을 가지도록 설계 원칙의 기본 방향을 잡았다.

- flexibility : 설치된 카메라의 촬영 각도나 여러가지 파라미터를 수정할 수 있어 주위 상황의 변화에도 능동적으로 대처한다.
- robustness : 혼잡도를 측정하기 위하여 여러가지 (최소 세가지 방법 채택)의 방법으로부터 나온 결과를 종합함으로써 시스템의 신뢰도를 극대화한다.
- user friendliness : 그래픽 사용자 인터페이스(graphic user interface)를 사용하여 컴퓨터에 익숙치 않은 일반 운영요원이 쉽게 조작할 수 있게 한다.

II. 혼잡도 측정 알고리즘

이 부분은 본 시스템의 성능을 좌우하는 가장 핵심되는 중요한 부분이다. 문제의 복잡성 및 다변성에 대처하기 위해서는 근본적으로 어느 특정한 알고리즘만으로는 문제해결이 불가능하므로 다음의 여러가지의 독립적인 방법을 동시에 사용, 그 결과를 정보 융합한다. 이렇게 함으로써 혼잡도 측정 알고리즘의 robustness가 보장된다. 혼잡도 측정을 위한 알고리즘으로는 카메라의 여러가지 파라미터들이 수시로 변하기 때문에 기준 영상을 사용하는 방법은 사용하기가 어렵다. 기준 영상 외에 현 상황에서의 motion을 분석하거나 여러종류의 특징(feature)의 시간에 따른 변화를 분석함으로써 혼잡도를 측정한다. 또한 본 시스템에서는 시간에 따른 변화의 분석을 용이하게 하기 위해 시간에 대한 multi-resolution(various time intervals) 영상들에 대한 특징을 분석, 통합하여 가장 합당한 최종 결과를 구한다.

2.1 프레임간 차이(interframe difference) 방법

영상 프레임들 사이에 존재하는 차이점으로부터 움직임 검출하는 방법으로서 연속된 다섯개의 영상을 이용하는 방법을 채택하였다[1].

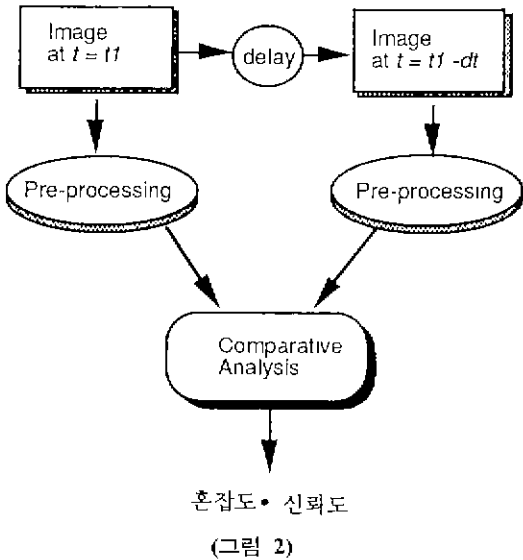
2.1.1 밝기차이(intensity difference) 방법

0.5초에서 1초 이하의 시간 간격으로 얻어진 두 영상의 밝기를 비교, 분석하여 관람객이 움직인 영상 부분을 추출해냄으로써 영상의 혼잡 정도를 계산한다(그림 2).

2.1.2 특징차이(feature difference) 방법

medium time-interval에 유용한 방법으로 두 영상의 특징을 추출하고 이들을 비교 분석하는 방법이다. 본 시스템에서 사용되는 특징들로는 edge magnitude, edge direction, Laplacian 등이다(그림 3).

2.2 참조 영상 방법

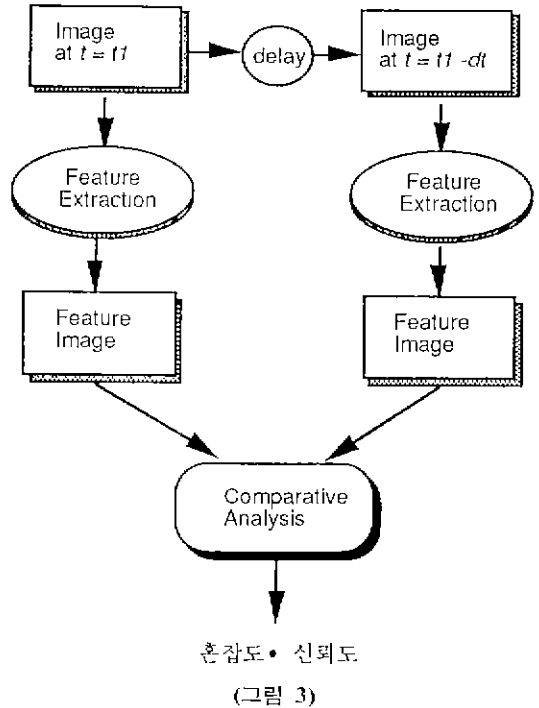


2.2.1 참조밝기(reference intensity) 방법

이 방법은 카메라의 여러가지 파라미터들이 수시로 변하는 환경에서는 적당하지 않지만 카메라의 선정계획이 바뀌는 경우를 대비하여 알고리즘을 개발하였다. 우선, 관람객이 없는 시간에 영상을 capture하여 혼잡도 '제로'인 참조 영상을 얻는다. Capture된 영상은 데이터베이스에 수록되어 혼잡도 측정 알고리즘에서 사용되며, 현재의 영상과 참조 영상과의 차이를 혼잡도의 척도로 삼는다. 한편, 이와 같은 방법의 가장 큰 단점은 참조 영상을 결정하는 문제가 쉽지가 않다는 점이다. 즉, 날씨 및 시간에 따라 참조영상 자체가 바뀌며 참조 영상을 이루고 있는 지형, 지물에 따라서 서로 다른 밝기 변화를 보이는 등 여러가지 난점이 존재한다는 사실이다. 이에 대한 해결책으로써 시간에 따라 여러가지의 다른 참조영상을 이용하는 방법 대신에, 하나의 참조 영상을 이용, 영상 전체의 밝기에 따른 정규화(normalization) 작업을 수행함으로써 현재의 영상과 참조 영상을 비교하는 방법을 취한다. 이때 참조 영상 부분에서 시간 및 밝기 변화에 민감한 부분은 비교시 제외함으로써 비교작업을 좀더 의미있게 한다(그림 4).

2.2.2 참조특징(reference feature) 방법

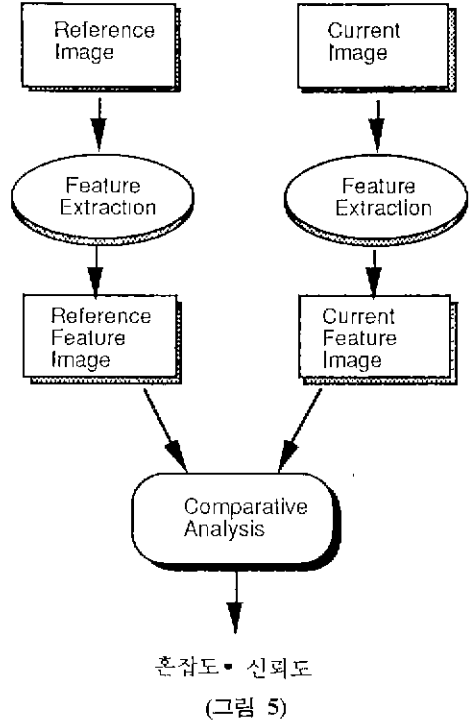
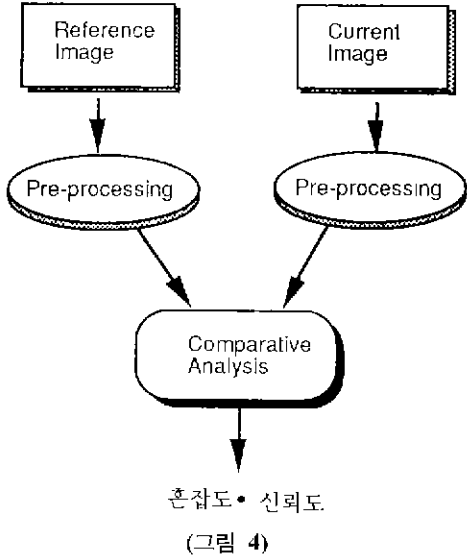
영상 밝기의 절대치는 날씨, 일조량 등에 의해



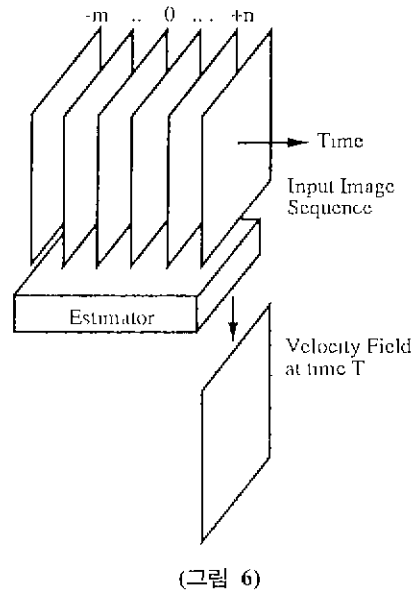
크게 변하는 반면, 영상의 특징들은 주위 환경의 변화에 비교적 둔감하다는 장점이 있다. 다시 말하면, 특징---예를 들면 밝기의 gradient, 물체의 boundary, shape 등---들은 단순한 밝기의 변화보다는 비교적 영상의 고유한 특성이므로, 이 방법은 참조 영상을 사용하는 방법의 단점을 어느 정도 보완하는 방법이다. 그림 5의 참조특징 영상은 혼잡도를 구하는 과정에서 매번 구할 필요가 없이 참조 영상과 함께 영상 데이터 베이스에 저장되며, 비교 분석 모듈에서 참조되어 사용된다.

2.3 Optical flow 방법

Optical flow는 시간의 변화에 따른 영상의 변화 양상을 나타낸다(그림 6). Optical flow를 이용하는 방법에서는 0.5초 이하의 매우 짧은 시간 간격 동안의 순간 운동을 추출하여 움직이는 물체를 추출함으로써 영상의 혼잡도를 측정한다. 혼잡도가 큰 상황에서의 optical flow가 그렇지 않은 상황보다 크게 산출되는 경향을 염두에 둔 방법이다. 물론 이 방법은, 관람객의 숫



자는 많지만 그 움직임이 매우 작은 특수한 환경, 또는 박람회장의 넓은 부분을 포함시키기 위하여 카메라를 매우 높이 설치함으로써 결과적으로 영상의 변화가 극히 작은 경우에는 적용이 쉽지 않다는 단점이 존재한다. 관람객의 움직임이 영상에 반영될 때의 optical flow는 단순한 translation과 같은 2차원 운동 벡터만이 아니므로 이 알고리즘에서는 이동(translation), 회전(rotation), 및 축소 확대(scaling)를 포함하고 있는 동영상으로부터 optical flow를 검출하여 그 결과를 혼잡도 측정에 사용한다. Optical flow를 이용한 방법에서는 시간 및 공간에 따른 영상의 변화로부터 운동벡터를 구하는 gradient 이용 방법과, 각 프레임마다 edge를 구하고 이를 수집하여 Contour로 연결하고 이들로부터 연속된 두 프레임에서의 Contour를 match하는 특징정합(feature matching) 방법을 동시에 이용한다. 일반적으로 optical flow를 이용하여 혼잡도를 측정할 경우에는 움직임이 느린 부분에 대한 운동 포착이 불가능하므로 이에 대한 보완이 필요하다.

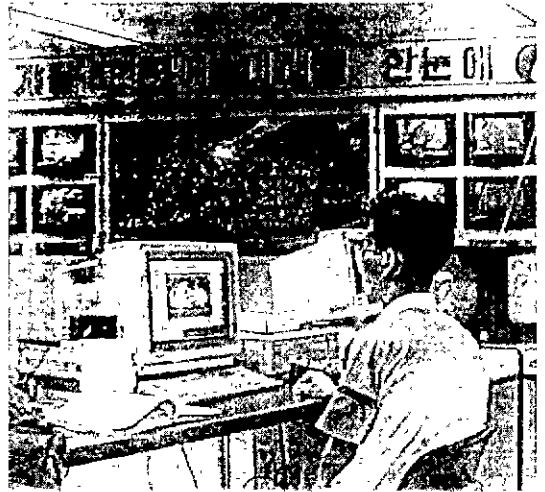


III. 시스템 구성

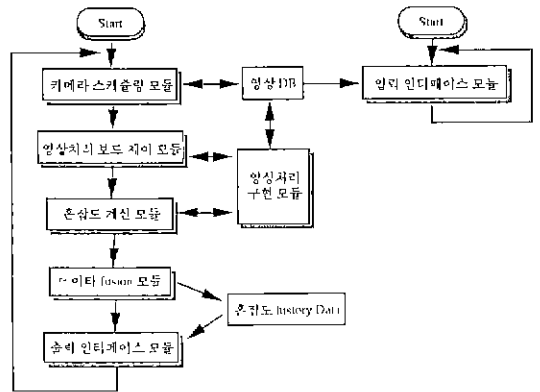
3.1 시스템 개요

본 과제에서 개발하는 혼잡도 측정 시스템은 입력 영상에 나타난 전시장 및 광장의 인파 및 주요 지역의 혼잡도를 측정하고 이를 다단계(5-10단계) 지표로 나타낸다. 혼잡도 측정을 위한

알고리즘으로는 카메라의 여러가지 파라미터들이 수시로 변하기 때문에 기준 영상을 사용하는 방법 외에 현 상황에서의 motion을 분석하거나 여러종류의 특징들의 시간에 따른 변화를 분석함으로써 혼잡도를 측정한다. 본 시스템에서는 측정 알고리즘의 robustness를 위하여 두가지의 정보 융합 방법을 이용한다. 첫째, 영상의 밝기 및 edge magnitude, edge direction, Laplacian 등의 특징들 각각에 대해 혼잡도를 분석하여 융합한다. 둘째, 시간에 따른 변화의 분석을 용이하게 하기 위해 시간에 대한 multi-resolution 영상들에 대한 특징들을 분석, 통합하여 최종 결과를 구한다. 인터페이스 모듈은 입력 부분과 출력 부분으로 구성된다. 입력 인터페이스는 사용자가 기존에 설치된 많은 카메라 중 대상 카메라를 쉽게 선택하고 혼잡도 측정 주기를 조절할 수 있게 하며, 카메라의 입력 파라미터들을 조절한다. 출력 인터페이스로는 현재의 혼잡한 상황을 모니터링 할 수 있게 혼잡도를 그래픽으로 디스플레이하고, 이러한 순간적인 상황들로부터 관람객들의 전체 흐름을 파악, 출력함으로써 박람회장의 원활한 관람 운영을 보조하며 현재의상황에서 가장 좋은 관람 장소를 제안하고 이를 출력함으로써 관람객이 다음 관람 장소를 결정할 수 있게 한다. 혼잡도 측정 시스템의 구성요소 중 소프트웨어는 PIP-4000에 고유한 명령어를 제외하면 PM(Picture Manipulation) 영상처리 패키지의 환경하에서 실험, 구현되었으며 [2], 하드웨어의 구성요소는 영상 처리를 전담하는 영상처리 모듈, 혼잡도 측정 및 시스템의 전체 작업을 전담하는 메인 모듈 그리고 사용자에게 제공해 주는 입/출력 인터페이스를 담당하는 입출력모듈 등 세 부분으로 나누어진다. 두대의 PC는 혼잡도 측정 시스템의 주된 부분으로써 혼잡도 측정 알고리즘의 수행과 다른 부분, 즉 입/출력 인터페이스 및 영상처리 전용 프로세서 그리고 EXPO 운영국과 LAN을 통하여 통신을 담당하며 비디오 콘트롤러에 제어 신호를 보냄으로써 혼잡도 대상지역을 정하고 각 지역마다 미리 정해진 카메라 제어값을 전송하여 필요한 입력 영상을 얻으며 다양한 정보들—예 : 카메라의 pan, tilt, focus, zoom 값과 혼잡도 측정



(그림 7)



(그림 8)

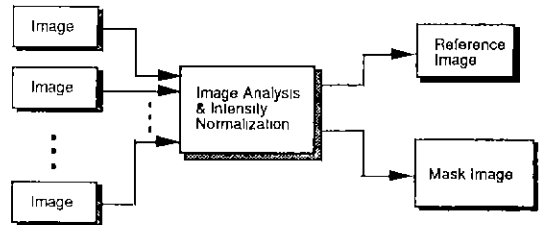
대상 지역, 현재의 기상 정보 등—을 입력하고 측정된 혼잡도를 그래픽 화면으로 출력하는 등 전체 시스템을 관장한다. 그림 7은 운영자가 혼잡도 측정 시스템을 동작시키는 환경을 촬영한 사진이다.

그림 8은 혼잡도 측정 시스템의 기능상 구성 모듈을 수행 순서별로 표현한 것이다. 수행이 시작됨과 동시에 영상 데이터베이스에 저장되어 있는 대상 장면의 리스트들 중에서 카메라를 스케줄링하고 선택된 카메라에 대한 카메라 파라미터 및 여러 정보들을 영상 데이터베이스에서 검색해 온다. 실제로 이들 값들을 이용하여 비디오 콘트롤러에게 카메라를 원하는 위치와 방향이 되도록 세어한다. 영상처리 보드에서 제어

가 끝난 카메라의 실 영상을 capture해 오면 이들 영상을 영상 데이터베이스에 저장하고 그 영상을 입력으로 혼잡도가 측정된다. Robust한 혼잡도 측정을 위하여 여러가지 방법으로 구현된 혼잡도 계산 알고리즘을 수행하며 이때 속도를 고려하여 영상 처리 보드에서 대부분의 영상 처리 연산이 수행된다. 혼잡도 계산 모듈에서 계산된 혼잡도들을 가지고 정보 융합 기법을 이용하여 최종 혼잡도를 구하며, 이 혼잡도는 대상 장면과 측정된 시간과 함께 여러가지 정보들을 추론하기 위하여 혼잡도 history 데이터베이스에 저장되고 지금까지의 혼잡도 및 여러가지 정보들과 현재의 혼잡도는 LAN을 통하여 전산센터에 있는 상황실 관리 시스템으로 전달된다. 현재 결정된 카메라의 리스트나 파라미터 등 상황에 따른 적절한 상황대치를 위하여 운영자는 입력 인터페이스 모듈에서 이들 값들을 변경할 수 있다. 이들 변경된 값들은 영상 데이터베이스에 저장되어 혼잡도 측정시 이용된다.

3.2 실시간 영상처리

앞 장에서 기술된 혼잡도 측정 알고리즘은 실시간 처리를 위해서 PIP-4000 영상처리전용 프로세서에서 처리된다. PIP-4000은 GPIB 인터페이스를 통하여 호스트와 통신을 하며 master/slave 방식으로 호스트 컴퓨터에서 모든 제어를 관장한다. 혼잡도 측정 알고리즘은 PIP-4000에서 수행 가능한 전용 언어인 PIPL로 구현되어 혼잡도 측정 시스템을 초기화할 때 download된다 [3]. 하나의 512×480 영상 메모리에 적용되는 모든 영상처리 연산들은 보드레벨의 전용처리기에 병렬로 수행되어 실시간 영상처리가 가능하게 된다. 연산으로는 영상 capture, look-up table 연산, point-wise 사칙 연산, labeling, convolution 연산 등이며 영상 capture에서부터 최종 결과인 혼잡도 맵에 이르기까지 혼잡도 측정을 위한 모든 모듈들은 호스트 컴퓨터의 제어에 의해 수행되며, 호스트와의 실제적인 전송은 최소화함으로써 데이터 전송시 필요한 load를 최소화했다. 또한, 현재 선택된 카메라로부터 들어오는 영상신호를 보여주어 혼잡도 측정 알고리즘의



(그림 9)

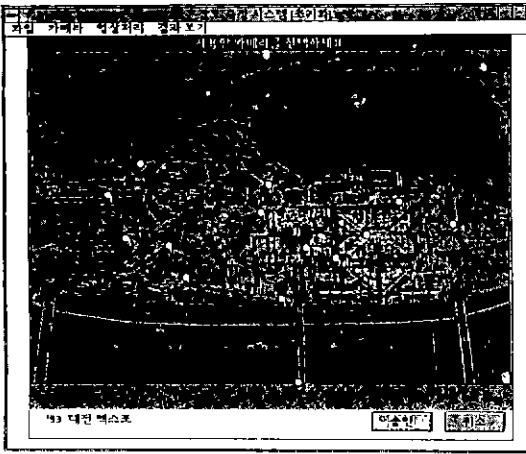
중간 과정을 모니터링할 수 있게 한다.

3.3 기준영상 및 데이터베이스 관리

참조밝기 방법과 참조특징 방법에 사용될 기준 영상을 만든다(그림 9). 영상 데이터 베이스는 박람회장 내의 전시장, 광장 및 혼잡이 예상되는 주요장면의 영상을 저장, 관리하는 모듈이며 대상 장면에 대해 혼잡도가 '제로'인 기준 영상을 저장함으로써 다른 여러 정보들과 함께 출력 디스플레이될 수 있다. 카메라의 방향이 지표면과 수직하지 않고 임의의 각도를 이루고 있으므로 영상에 나타난 사람의 크기가 일정치 않으므로 이를 보정하기 위해 정규화가 필요하며 기준 영상을 생성하기 위한 여러가지 카메라의 파라미터 저장이 필요하다. 이때 영상의 보정은 카메라의 tilt 각도의 함수로써 표현할 수 있다. 또한, 각 장면의 특성에 따라 영상에서 혼잡도 측정에 사용되지 않는 부분을 추출하기 위한 mask 영상은 나무 혹은 건물 등 사람이 없다고 예상되는 부분을 제거하여 혼잡도 측정의 결과를 향상시킨다. 기준 영상, 카메라의 여러가지 파라미터들 그리고 혼잡도 측정시에 필요한 정보들은 각 장면당 하나씩 저장되며 이들 영상과 데이터는 혼잡도 측정을 용이하게 하기 위해 여러가지 영상 처리에 보조적으로 사용된다.

3.4 입력 인터페이스

시스템 가동시 간단한 점검 절차를 거치는데 이에선 카메라의 파라미터 데이터베이스, 영상 데이터베이스, 혼잡도 history 데이터 등의 초기화 작업이 포함된다. 그리고, 박람회장의 상황에 따라 카메라의 선택이나 방향의 조정이 필요할



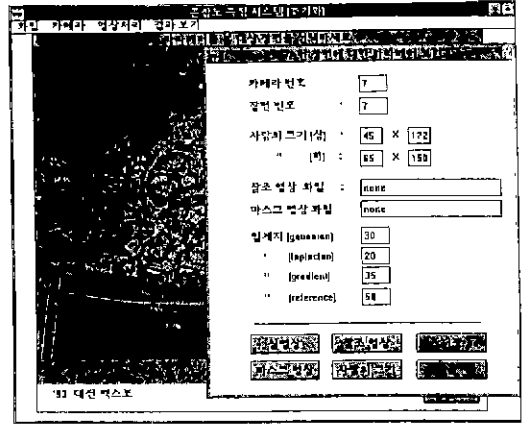
(그림 10)

경우 그림 10과 같은 그래픽 사용자 인터페이스를 이용하여 운영자가 직접 조작을 한다. 한편, 시스템 운영의 대부분은 운영국 시스템과 독립적으로 운영되지만 운영국 시스템의 상황 변화에 대해 거의 자동적으로 대처하는 기능을 갖추었다. 시스템의 운영시 운영자가 직접적으로 조작을 하여야 하는 사항들은 다음과 같다.

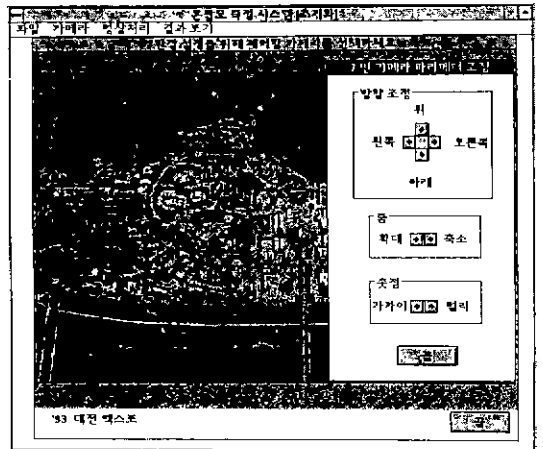
- 혼잡도에 영향을 주지 않는 부분을 제거하기 위한 mask 영상을 생성, 수정한다.
- 박람회장 내에 다목적용도로 설치된 카메라들 중 혼잡도를 측정할 필요가 있는 장면을 선택한다(그림 10)
- 선택된 장면에 대해 파라미터를 조절한다(그림 11).
- 혼잡도 측정 대상 장면을 필요에 따라 변경한다.
- 카메라로부터 입력 영상을 얻고 이를 처리하는 시간 간격을 조절한다.
- 선택된 카메라의 변수를 조절한다(그림 12). 조절 가능한 카메라의 변수로는 카메라의 각도, focus, zoom 등이 있다.

3.5 출력 인터페이스

혼잡도 측정 시스템은 세개의 출력 화면을 사용하여 사용자에게 현재의 결과를 보여준다. 영상 처리 보드에 직접적으로 연결된 비디오 모



(그림 11)



(그림 12)

니터에서는 현재 영상 처리 보드에 입력되는 중간 과정을 디스플레이한다. 각 카메라에서 나오는 영상과 혼잡도는 다음과 같은 과정으로 디스플레이 된다.

- 현재 선택된 카메라로부터 입력되는 원 영상을 출력함으로써 시스템 운영자가 해당 지역의 상황을 판단할 수 있게 한다.
- 박람회장의 평면도에 카메라의 위치 및 대상 장면을 표시하고 각 장면 및 지역의 혼잡도는 원의 크기, 색깔, 또는 수치로 나타내 현재의 혼잡도를 쉽게 알 수 있게 한다.
- 측정된 "지역 혼잡도" 정보는 LAN을 통해 전산 센터의 상황 관리 시스템으로 전달된다.

3.6 비디오 콘트롤러 인터페이스

본 시스템의 영상신호 입력원으로 고해상도 카메라는 필요하지 않으며 일반 CCTV 카메라로도 이용이 가능하다고 본다. 따라서 새로운 추가비용없이 박람회장에 이미 방재 및 경비 목적으로 설치된 CCTV 카메라들로부터 비디오 영상을 연속적으로 입력받는다. 사용된 카메라의 사양은 다음과 같다.

- 초점 거리 : 16~160 mm
- field of view: 43.0°×32.6° at 16 mm, 4.6°×3.5° at 160 mm
- 영상 크기 : 12.6×9.6 mm

모든 카메라 unit은 줌렌즈 및 상하좌우 회전 조정기(Zoom lens and P/T controller)가 부착되어 카메라 콘트롤러의 제어를 받는다. 이는 카메라의 focus, iris 및 카메라의 방향 등을 조절하여 시시각각으로 변화하는 박람회장의 상황에 능동적으로 대처할 수 있다. 카메라 콘트롤러는 American Dynamics사의 AD1650A matrix system으로써 키보드 및 본 시스템을 비롯한 컴퓨터에서의 제어 기능을 가지고 있다. 카메라의 제어권은 콘트롤러 키보드에서 먼저 점유하지 않는 한 본 시스템이 소유할 수 있으며 필요한 모든 파라미터를 전송하여 원하는 지역으로 카메라를 제어한다. 또한 콘트롤러는 CCTV 카메라로부터 입력되는 다수의 비디오 신호 중 한개를 선택하여 영상처리 시스템에 공급한다. 현재 약 1분 20초 간격으로 비디오 신호를 switching하는 방식을 채택했으며 이렇게 할 경우 25대의 카메라를 이용할 경우, 약 30분마다 어느 한 지점의 혼잡도가 측정, 갱신되는 효과를 얻는다. 비디오 콘트롤러 인터페이스에서는 다음과 같은 업무를 수행한다. 우선, 대상 카메라를 선택하고 카메라의 pan, tilt, zoom 등을 조절하기 위하여 혼잡도 측정 시스템의 입력 인터페이스에서 선택된 카메라 리스트를 저장하고 특정 카메라의 혼잡도 측정의 횟수, 측정 순서 등을 관리한다. 본 시스템에서는 현재 측정하려는 카메라와 그에 따른 여러가지 조절 변수들을 비디오 콘트롤러에게 넘겨주고 비디오 콘트롤러는 이러

한 요구가 있을 때 해당 카메라의 제어(pan, tilt, zoom 조절) 권한을 본 시스템에 넘겨준다.

3.7 카메라 스케줄링

설치된 카메라의 리스트로부터 혼잡도 측정 대상 지역이 선택되면 선택된 대상 지역들 중 적절한 스케줄링 알고리즘으로 측정 대상 카메라를 결정하고 미리 저장된 데이터베이스에서 카메라의 파라미터들과 mask 영상을 혼잡도 측정 알고리즘 구현 모듈에 넘겨준다. 방재센터에서 다른 목적으로 카메라를 점유하고 있을 경우 등 카메라 제어권의 충돌이 있을 경우 큐잉 기법을 적용하여 카메라의 사용을 원활하게 하는 카메라 스케줄링을 수행한다.

3.8 상황감시

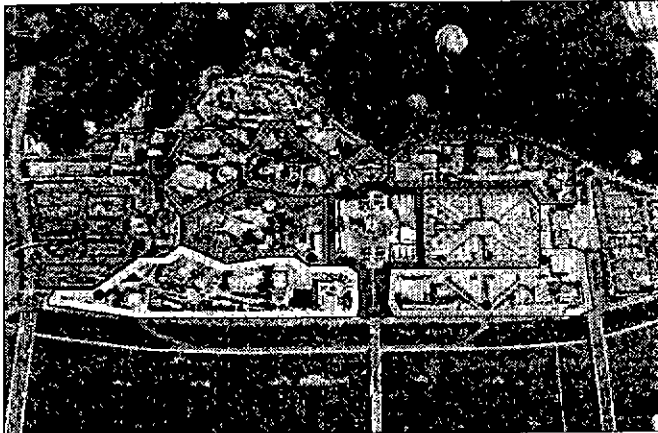
상황 감시 시스템은 혼잡도 측정 시스템의 상황을 감시하여 비상 사태시 적절한 조치를 취할 수 있도록 하는 기능을 수행한다. 폭우 등 갑작스런 일기 변화에 따라서 본 혼잡도 측정 시스템의 결과의 신뢰성이 떨어질 경우 혹은 영상 처리 프로세서 및 카메라의 오작동시 대상 지역의 혼잡도를 운영자가 직접 입력하여 관람객에게 어떠한 상황에서도 정보를 전달할 수 있도록 한다. 또한 혼잡도 측정 시스템에서 수행 중 발생 가능한 예외 상황에 대한 log 화일을 만들고 이를 운영자에게 알려줌으로써 신속한 조치를 취할 수 있도록 한다. 그리고 출력 인터페이스를 이용하여 현재 계산되는 혼잡도의 중간 과정을 수치 및 영상으로 출력함으로써 현재 시스템이 잘 작동하고 있는지를 검사할 수 있다 (그림 13).

IV. 혼잡도 산출

4.1 정보 융합(data fusion)

앞의 혼잡도 측정 알고리즘에서 설명된 방법을 적용하여 구한 각각의 혼잡도 맵들을 종합하여 최종 혼잡도 맵을 구하는 과정에서 정보 융합

혼잡도 측정 시스템 상황감시



현재 측정 중인 장면 ●

혼잡도 정도

30분 이상 사용을 하지 못한 카메라 ■

현재 시각 23시 41분

혼잡도 측정상황

```

16시 14분 19번 카메라 release
16시 14분 5번 정면 카메라 lock
16시 11분 3번 카메라 lock
16시 14분 3번 정면 측정서지
16시 14분 3번 카메라 release
16시 11분 10번 카메라 lock
16시 14분 3번 카메라 release
    
```

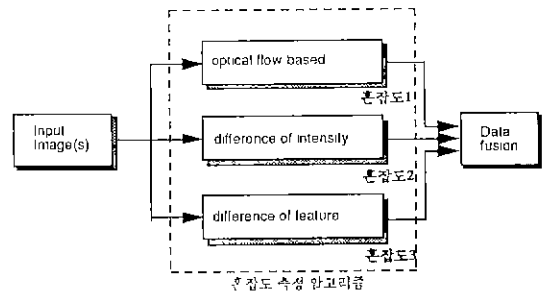
지역1 (혼잡도2)	지역2 (혼잡도3)	지역3 (혼잡도1)	지역4 (혼잡도4)	지역5 (혼잡도3)	지역6 (혼잡도2)	지역7 (혼잡도1)
장면 3 (35%)	장면 7 (77%)	장면 5 (0%)	장면 13 (88%)	장면 19 (92%)	장면 26 (55%)	장면 23 (90%)
장면 7 (77%)	장면 12 (50%)	장면 10 (0%)	장면 17 (58%)	장면 24 (45%)		장면 20 (50%)
장면 17 (58%)			장면 19 (92%)			

(그림 13)

기법이 적용된다(그림 14). 구현된 방법은 각각의 방법으로부터 나온 혼잡도 맵을 각 화소당 voting기법을 이용하여 과반수의 결과만으로도 새로운 혼잡도 맵을 얻는다. 그런 다음 각각의 혼잡도 맵을, 새로 생성된 혼잡도 맵과 유사해지는 방향으로 임계치를 조정하여 다시 피이드백하여 각자의 알고리즘을 다시 적용, 변경된 혼잡도 맵을 얻은 후에 다시 voting을 한다. 이와 같은 방법을 1~2번 수행하여 결국 최종 혼잡도 맵을 얻는다.

4.2 혼잡도 맵으로부터 혼잡도의 산출

혼잡도 맵은 참조영상 혹은 영상 내의 움직임이 검출된 혼잡도 측정 알고리즘의 중요한 중간 결과로써 이진 영상의 형태이다. 이 결과로부터 시스템에서 요구되는 '혼잡도'로 수치화하는 작업은 매우 중요한 과정이며 실제 구현된 방법은 여러 가능한 방법 중의 한가지이며 또 다른 방법의 가능성도 있다고 본다. 혼잡도 맵을 이진영상이라고 보았을 때 가장 단순한 혼잡도는



(그림 14)

혼잡도 맵 이진영상의 전체 넓이에 대해 움직임이 검출된 영상 부분의 넓이의 비율이라고 할 수 있다. 그러나 카메라의 tilt 각도 때문에 실제로 움직임이 검출된 화소라고 해도 영상의 윗 부분과 아랫 부분의 의미는 다르다. 즉, 윗 부분의 한 화소가 아랫 부분의 열개의 화소에 해당되는 중요도를 가질 수도 있다는 가능성 때문이다 따라서 알고리즘에서는 혼잡도 맵에서 영상의 row별 상대적 중요도를 알 필요가 있다. 이는 카메라의 지면으로부터의 설치 높이가 사람의 신장에 비하여 상당히 크다는 가정 하에 다음과

같은 관련식으로부터 중요도를 구할 수 있다.

$$x = \frac{f * X}{-\sin \theta * Y + \cos \theta * Z}$$

$$y = \frac{f * (\cos \theta * Y + \sin \theta * Z)}{-\sin \theta * Y + \cos \theta * Z} \quad (1)$$

위 식에서 x 와 y 는 영상 내의 좌표값, X, Y, Z 는 공간 좌표값, θ 는 tilt 값을 의미하며, f 는 초점거리를 나타낸다.

위의 식으로부터 우리가 구하고자 하는 ‘중요도’는 다음과 같이 구해진다.

$$weight = \frac{dX \cdot dZ}{dx \cdot dy} = \frac{1}{J(X, Z)}$$

$$= \frac{f * Y^2}{(\sin \theta * f - \cos \theta * y)^3} \quad (2)$$

여기에서 x 와 y 의 실제값은 optical axis가 영상의 중심에 맺힌다는 가정과 영상의 실제크기와 해상도로부터 구할 수 있다. 그러나 본 혼잡도 측정 시스템의 실제 운영시 사용된 카메라 콘트롤러는 카메라의 변수들, 즉, tilt, pan, 초점 거리 등에 대한 정보를 내부적으로 저장하고 그 정보를 본 시스템에 전달해 줄 수 있는 기능을 갖추지 못한다. 따라서, 본 시스템에서는 혼잡도 측정 대상이 되는 영상에서 사람의 크기를 영상의 위와 아래에서 마우스를 이용하여 입력 받음으로써 간접적으로 카메라의 변수를 추정하는 방법을 사용한다. 사람의 크기 입력으로부터 카메라 변수를 알아내는 작업은 다음과 같은 네개의 수식을 연립하여 풀어서 구할 수 있다.

$$\frac{v_{len}}{f} \cdot \frac{v_{res}/2 - v_1}{v_{res}} = \frac{\cos \theta * Y_1 + \sin \theta * Z_{12}}{-\sin \theta * Y_1 + \cos \theta * Z_{12}}$$

$$\frac{v_{len}}{f} \cdot \frac{v_{res}/2 - v_2}{v_{res}} = \frac{\cos \theta * Y_1 + \sin \theta * Z_{12}}{-\sin \theta * Y_2 + \cos \theta * Z_{12}}$$

$$\frac{v_{len}}{f} \cdot \frac{v_{res}/2 - v_3}{v_{res}} = \frac{\cos \theta * Y_1 + \sin \theta * Z_{34}}{-\sin \theta * Y_1 + \cos \theta * Z_{34}}$$

$$\frac{v_{len}}{f} \cdot \frac{v_{res}/2 - v_4}{v_{res}} = \frac{\cos \theta * Y_2 + \sin \theta * Z_{34}}{-\sin \theta * Y_2 + \cos \theta * Z_{34}} \quad (34)$$

위 식에서 v_{len} 은 영상의 수직거리, v_{res} 는 영상의 수직해상도, v_1, v_2, v_3, v_4 는 각각 마우스로 입력된 사람의 끝점 좌표들이다. 위 식은 비선형식이며 iteration에 의해 최소오차를 구하는 방법을 이용하여 해를 구한다.

4.3 장면별 혼잡도 vs. 지역별 혼잡도

우선 사전답사를 통하여 엑스포 박람회장을 7개의 의미있는 지역으로 나누었다. 이는 ‘혼잡도’ 정보를 관람객에게 제시할 때, 각각의 카메라가 촬영할 수 있는 좁은 영역에서의 ‘장면 혼잡도’보다는 한단계 큰 단위인 ‘지역 혼잡도’가 좀더 의미가 있을 것이라는 점을 고려하였기 때문이다. 지역 혼잡도는 해당 지역을 구성하는 장면들의 장면 혼잡도와 시간의 함수로 결정된다. 각 장면당 장면 혼잡도를 종합하는데 사용된 장면 가중치는 해당 카메라가 촬영하는 장면의 넓이 정보를 이용하였으며, 시간에 의한 가중치는 최근에 측정된 데이터를 과거의 데이터보다 더 가중치를 두는 방식을 취하였다. 시간에 대한 가중치는 현재에서 과거로 갈수록 지수함수적으로 감소하는 형태를 취하였다. 예를 들어, n 개의 ‘장면혼잡도’로부터 ‘지역혼잡도’를 구할 때 장면 k 의 상대적 가중치는 다음과 같다.

$$weight_k = \frac{w_k^{area} * w_k^{time}}{\sum_{i=1}^n w_k^{area} * w_k^{time}} \quad (4)$$

4.4 혼잡도 측정 알고리즘의 성능

• 혼잡도의 정확도

Optical flow 방법, 밝기차이 방법, 특징차이 방법 등 여러 가지 종류의 서로 다른 혼잡도 측정 방식을 적용한 후 각각의 결과로 나온 혼잡도 및 신뢰도(confidence measure)를 정보 융합함으로써 최종적인 혼잡도 및 신뢰도를 측정한다. 이때, 혼잡도의 측정에 영향을 주는 요소로는 일기의 변화, 영상 채집시간의 차이, 바람의 영향(나무의 흔들림 등), 그림자에 의한 영상의 변동 등이 있는데 정보 융합 방법에서 이러한 영향을 고려, 실질적인 관람객의 움직임에 의해 유발되는 영

상의 변화로부터 이들 영향에 의한 영상의 변화를 구별, 분리해 내어 잡음을 최소화함으로써 혼잡도 측정의 정확도를 향상시킨다.

• 혼잡도 측정 속도

관람회장 내의 관람객의 움직임은 비교적 활발한 편이므로 관람회장의 일정장면의 혼잡도는 매우 순간적인 척도이다. 따라서 한시간 전의 혼잡도 상황을 가지고 관람객에게 정보를 제공한다고 하면 이미 무용한 정보가 되고 만다. 따라서 짧은 혼잡도 측정주기가 필수적인데, 이를 위해서 혼잡도 측정알고리즘 중 많은 계산시간을 요하는 영상처리 부분은 영상처리기(image processor)에서 처리하고, host는 수치적 연산, 데이터베이스 제공, 사용자 인터페이스만을 담당하게 함으로써 수행시간을 단축시킨다. 현재 구현되어 있는 알고리즘은 현대의 카메라 당 1분 20초 정도 소요된다. 따라서 25대의 카메라 이용시 약 30분의 주기를 갖고 카메라가 선택되며 지역별 혼잡도 갱신 주기는, 효과적인 카메라 스케줄링 및 장면 혼잡도의 즉각적인 지역 혼잡도로의 반영 등의 이유로 해서 더욱 빠른 속도의 갱신이 가능하다.

V. 결 론

본 혼잡도 측정 시스템이 적용된 자연 환경은 6 m 높이로 카메라가 설치되어 있으며, 카메라의 기울기 각도에 따라 변화가 있을 수 있으나 약 50×100 m의 평지를 혼잡도 측정 대상으로 한다. 평지가 아닌 계단, 경사진 면 등의 장면에 대해서는 카메라의 보정을 거친 후 혼잡도를 측정한다. 혼잡도 측정 시스템이 최대 성능을 발휘하는 시기는 일출, 일몰 간의 주간이며 그의

다른 제약조건은 없다. 예외조건 및 이의 처리에 대해서는 다음과 같은 고려가 필요하다. 기존 영상을 이용한 방법을 제외한 대부분의 알고리즘이, 기본적으로 움직이는 물체를 추출하므로 관람객이 아니면서 움직이는 물체가 가시범위에 들어오지 않는 것이 바람직하다. 즉 나무나 현수막 등의 움직임은 대상 장면의 혼잡도 측정에 많은 영향을 줄 수 있으며 이와 같은 영역에 대해서는 사전에 측정 대상 장면에서 제외시켜야 하는데 이는 혼잡도 측정에 사용될 수 있는 영상면적의 낭비를 가져온다. 카메라의 최저 조도 이하에서는 작동이 불가능하며, 일몰 후에는 성능이 저하된다. 또한, 시스템의 성능은 조명과 비례하는 경향이 있으므로 야간시 혼잡도 측정이 필요한 곳에는 밝은 조명을 설치해야 한다. 우천시 시계가 불량하고 카메라 렌즈에 빗방울이 맺히는 등의 요인이 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 이러한 여러가지 가능한 예외 조건들에 대해 이에 대비, 여러가지의 실험을 통한 알고리즘의 보완이 필요하다.

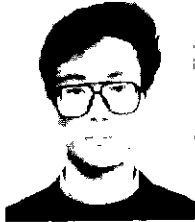
참 고 문 헌

1. R. Lenz and A. Gerhard. *Image Sequence Coding using Scene Analysis and Spatio-temporal Interpolation* NATO ASI Series, Vol. F2, 1983.
2. Unjae Sung, Soonki Jung, Kwangho Lee and Kwangyeon Wohn. *PM_XTOOL: An Integrated Environment for Image Processing and Visualization under X Windows and OSF/MOTIF*. Technical Report CAIR-TR-92-29, KAIST, Department of Computer Science, 1992.
3. ADS co. *PIP-4000* 취급설명서, *command* 설명서. 1991.



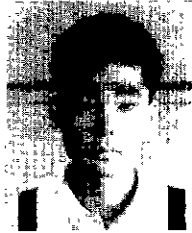
이 광 호

1987 KAIST 석사 졸업
1987 ~ 현재 KAIST 박사과정
관심 분야 : motion analysis,
영상 처리



정 순 기

1992 KAIST 석사 졸업
1992 ~ 현재 KAIST 박사과정
관심 분야 : 컴퓨터 비전, 실
시간 애니메이션, 인공
현실감, 3차원 물체 인식



김 주 환

1993 KAIST 학사 졸업
1993 ~ 현재 KAIST 석사과정
관심 분야 : 컴퓨터 비전, pat-
tern recognition



원 광 연

1984 매릴랜드 대학 졸업(이
학박사)
1984 ~ 1986 Harvard 대학
응용과학부 강사
1986 ~ 1991 Pennsylvania 대
학 전산학과 조교수
1991 ~ 현재 KAIST 전산학과
부교수
관심 분야 : 시각정보 처리,
인공 현실감, 애니메이
션, 그래픽스, 컴퓨터 음
악