

스마트 카메라 기술동향

Technical Trends of Smart Cameras

김무섭 (M.S. Kim) 융합서비스보안연구팀 선임연구원
한종욱 (J.W. Han) 융합서비스보안연구팀 팀장

목 차

-
- I . 서론
 - II . 스마트 카메라
 - III . 스마트 카메라 기술동향
 - IV . 결론

1990년 후반 이후, 스마트 카메라가 널리 대중화되면서 비디오 감시(video surveillance) 분야와 머신 비전(machine vision) 분야의 산업에서 스마트 카메라가 사용되기 시작했다. 스마트 카메라는 단순히 영상정보를 획득하고 획득한 영상정보를 저장하는 기존의 카메라 기능에서 벗어나, 미리 정해진 여러 가지 필요한 작업을 수행하는 비전시스템으로 정의할 수 있다. 특히, 최근 들어 마이크로프로세서의 기능이 확대되면서 카메라 내부에서 지능형 영상처리나 패턴인식 알고리즘을 수행할 수 있게 되었으며, 이러한 기술을 이용해서 스마트 카메라는 움직임 감지, 오브젝트 측정, 차량의 번호판 인식뿐만 아니라 인간의 행동까지도 인식할 수 있게 되었다. 오늘날 스마트 카메라는 빌딩관리나 빌딩제어 분야 애플리케이션의 핵심 디바이스가 되었으며, 향후에는 우리 주변 곳곳에 스며들어 주변 환경에 따라 지능적으로 대처할 수 있는 유비쿼터스 환경의 핵심 기술로 자리매김하게 될 것이다. 본 고에서는 스마트 카메라의 기술적인 정의와 특징을 살펴본 후에 스마트 카메라의 기술적인 동향들을 살펴볼 것이다.

I. 서론

시각, 후각, 미각, 청각, 촉각 및 감각 등 인간의 6 가지 주요 기능 중에서 시각(vision) 분야는 인간이 가장 짧은 시간에 가장 많은 정보를 받아들일 수 있는 기관일 것이다. 스마트 카메라의 궁극적인 목표는 인간의 눈과 두뇌의 기능을 모방하여 카메라를 통해 획득한 정보를 인공지능 기능을 사용해서 해석하는데 있다. 그러나, 시각 장치를 통해 들어온 방대한 정보를 사람과 같이 정확히 이해하고 판단하려면, 엄청난 양의 컴퓨팅 파워를 필요로 할 뿐만 아니라 계산된 정보를 믿을 수 있게 처리할 수 있어야 하기 때문에 현재도 스마트 카메라와 관련하여 많은 연구가 진행되고 있다[1].

1990년대 이후, 스마트 카메라 분야는 전 세계적으로 주요 연구그룹이나 대학, 특히 비디오 감시시스템에 종사하는 산업계, 생산업체 등에서 관심을 갖고 연구를 진행하고 있다. 이는 스마트 카메라가 일반 카메라에 비해 단지 영상을 획득하는 일을 처리할 뿐 아니라 한 시스템 내에서 영상을 분석하고 이벤트나 패턴을 인식하는 일까지 함께 수행하므로 기존 카메라와 달리 다양한 응용에 적용할 수 있다는 장점을 갖고 있기 때문이다.

안전이나 보안과 같은 사회 경제적인 요구와 함께 반도체 기술의 발전에 따른 임베디드 프로세서의 성능 향상과 대용량 메모리의 가격 하락은 컴퓨터 비전 기술의 개선과 관련 제품에 대한 생산성 향상과 비용 절감의 효과를 가져오게 되었다. 이러한 기술적 변화에 따라, 최근 스마트 카메라는 다양한 분야에 응용되고 있으며, 특히 비디오 감시 분야, 산업계의 머신 비전 분야, 로봇 분야, 게임 및 장난감 분야 및 컴퓨터 인터페이스 분야 등에서 활용이 더욱 확대되고 있다.

본 고에서는 스마트 카메라의 기술적인 정의와 기

존의 카메라와 달리 스마트 카메라가 갖는 기술적인 특징을 살펴보고, 최근 스마트 카메라와 관련된 기술 동향들을 살펴볼 것이다.

II. 스마트 카메라

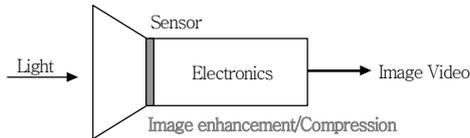
최초로 스마트 카메라가 상용으로 등장한 시점은 1980년대로 거슬러 올라간다. 초기 스마트 카메라의 센스 기능과 데이터 처리 기능은 매우 제한되어 있었다. 물론 이들의 애플리케이션 분야도 매우 제한적이어서 대부분 머신 비전과 관련된 단순한 작업들을 수행하는 것이었다. 그러나, 최근에는 스마트 카메라의 처리능력이 매우 개선되어 일부 산업계 분야의 애플리케이션에서 성공적으로 이용되고 있으며, 대학과 산업계에서 스마트 카메라에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.

1. 스마트 카메라의 정의

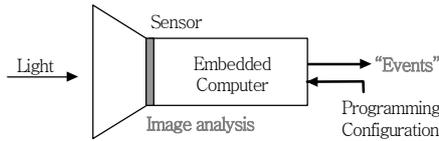
스마트 카메라는 영상정보를 획득하는 기능만을 갖고 있는 것이 아니라, 영상에 나타난 의미를 찾고 경우에 따라서는 카메라 사용자를 위한 일련의 작업 까지도 수행하는 기능을 갖고 있는 카메라를 말한다. 미디어나 인터넷 또는 카메라 제조업자나 개발자들이 스마트 카메라에 대하여 다양한 정의를 내리고 있지만 스마트 카메라의 명확한 정의로 보기는 어렵다.

스마트 카메라의 정의에 있어 대부분의 경우 스마트 카메라가 이미지 처리 기능을 갖고 있다는 것을 강조하고 있다. 그러나, (그림 1)에서 볼 수 있듯이, 디지털카메라나 소비자용 카메라, 산업용 카메라에 모두 이미지 처리 기능을 갖고 있기 때문에 이러한 정의는 정확한 기술적인 표현으로 볼 수 없다.

스마트 카메라와 다른 카메라를 구분하는 가장 정



(그림 1) 일반 카메라의 기본 개념



(그림 2) 스마트 카메라의 기본 개념[2]

확한 방법은 카메라에 내장된 프로세서가 어떤 작업을 수행하며, 스마트 카메라의 출력이 어떤 값을 가지는가를 기준으로 구별해야 한다. 따라서 이러한 기준을 기반으로 스마트 카메라를 정의하면, (그림 2)와 같이, 입력되는 이미지로부터 특정한 이벤트를 검출하거나, 지능형 시스템이나 자동화 시스템에서 사용할 수 있는 의사결정 정보의 생성 또는 애플리케이션에 적용할 수 있는 정보를 추출할 수 있는 “임베디드 비전시스템”으로 정의할 수 있다[1].

특정 이벤트의 검출 혹은 의사결정을 위한 정보를 생성하는 임베디드 비전시스템으로서의 스마트 카메라가 내포하는 의미는 다음과 같이 세분화해서 분석해 볼 수 있다[1].

- 비전시스템: 카메라가 사물을 보는 기능을 갖고 있거나, 영상정보를 획득하는 기능을 갖고 있음을 뜻한다. 일반적으로 “비전”의 영역은 가시광선 영역으로만 제한되지 않고, 적외선(infrared)과 열 영상(thermal imaging)과 같은 스펙트럼 영역의 빛도 포함한다. “시스템”이란, 엄격히 말하자면 카메라를 구성하는 모든 부품이 물리적으로 단일 카메라 케이스 내부에 실장되어 있는 경우뿐만 아니라, 카메라 기능을 제공하는 모듈들로 구성된 시스템까지 포괄적으로 의미한다.
- 임베디드: 카메라에 마이크로프로세서와 메모리, 전원 및 통신용 인터페이스와 같은 모든 부품들

이 포함되어 있다는 의미로서, 스마트 카메라가 임베디드 시스템으로써 독자적이고 주어진 환경에서 자율적으로 동작할 수 있음을 의미한다.

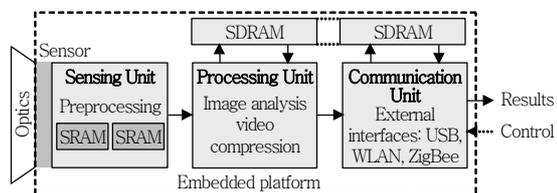
- 특정 이벤트의 검출 또는 의사결정 정보의 생성: 일반적인 카메라와 달리 스마트 카메라의 주된 기능은 사람들이 볼 수 있는 이미지나 비디오 영상의 품질을 개선하는 데 있는 것이 아니라, 사전에 정의해 둔 특정 이벤트가 일어났는지 여부를 탐지하고 그 이벤트에 대하여 미리 정해진 대응 과정을 수행하는 것을 의미한다.

위의 분석을 통해 이미지를 처리할 수 있는 프로세서가 내장되어 있는지 여부가 스마트 카메라가 되기 위한 조건이 아니라, 내장되어 있는 프로세서의 사용 목적이 무엇인가에 따라 스마트 카메라 여부가 결정된다는 사실이 명확해짐을 알 수 있다.

2. 스마트 카메라의 구성

스마트 카메라의 구조를 기능별로 구분하면 (그림 3)에서와 같이 크게 센서 부문(sensor unit), 데이터 처리 부문(processing unit) 그리고 인터페이스 부문(communication unit)으로 구별 할 수 있다.

- 센서부문: 입력되는 빛을 효율적으로 포착하기 위한 렌즈와 반도체 이미지 센서 및 빛을 디지털 데이터로 변환해주는 이미지 어레이로 구성된다.
- 데이터 처리 부문: 데이터 처리 부문은 스마트 카메라에서 가장 핵심적인 부분으로 보통 애플리케이션



(그림 3) 스마트 카메라의 기본 구조[2]

이션 지향 정보처리(ASIP) 부문으로 알려져 있다. ASIP는 사람이 볼 수 있는 이미지나 프린트 출력의 품질을 개선하는 데 있는 것이 아니라, 지능형 컨트롤 시스템에서 의사결정을 더 잘할 수 있도록 판단할 수 있게 이미지에서 어떤 일이 일어나는지를 자율적으로 탐지해내고 이를 통보하거나 미리 정해진 조치를 수행할 수 있도록 한다.

- 인터페이스 부문: 사용자나 호스트 시스템으로부터 커맨드나 명령코드를 수신하거나, 스마트 카메라의 데이터나 이벤트에 대한 의사결정사항을 사용자나 다른 시스템으로 전송한다.

하드웨어 측면에서 보면, ASIP는 하나 이상의 마이크로프로세서와 이와 연관된 메모리, 통신버스 및 기타 회로와 컴포넌트들로 구성되어 있다. 데이터 처리 부문의 구조와 구성되는 하드웨어에 따라 스마트 카메라를 몇 가지로 구분할 수 있다. ASIP에 있는 마이크로프로세서는 일반적으로 CPU나 DSP, FPGA, 미디어 프로세서 또는 임베디드 시스템의 목적에 부합되도록 구성된 특수 목적의 프로세서 중에서 어떤 것이라도 사용할 수 있다.

소프트웨어 측면에서 보면, 스마트 카메라의 ASIP는 이미지 정보를 분석하여 유용한 정보를 추출해 내고, 특정 패턴이나 이벤트를 탐지하여 의사결정을 위한 정보를 생성하기 위해 여러 가지 비디오분석 알고리즘을 동작시킨다. 비디오분석을 위한 소프트웨어의 복잡도는 적용하는 애플리케이션에 따라 달라진다. 때로는 단순히 모션을 탐지할 정도로 간단할 수도 있지만, 인간의 움직임을 인식해서 행동을 표시할 정도로 복잡한 경우도 있다. 일반적으로 스마트 카메라를 설계하고 개발할 때 가장 중요한 사항은 적용할 알고리즘을 효율적으로 동작시킬 수 있는 데이터 처리 부문의 하드웨어 플랫폼을 결정하는 것이다.

3. 스마트 카메라의 특징 및 장점

스마트 카메라를 일반 CCTV 카메라, 웹 및 IP 카메라, 산업용 비디오카메라, 일반 목적 카메라와 비교하면 외형은 서로 비슷하겠지만, 스마트 카메라는 아래와 같이 구별되는 특징을 가진다.

- 스마트 카메라를 분명하게 구분할 수 있는 요소는 (그림 3)에 보인 데이터 처리 부문, 즉 ASIP이다. ASIP에는 하나 이상의 마이크로프로세서가 내장되어 해당 애플리케이션에 대해 이미지를 실시간으로 처리하고, 특정 이벤트의 검출을 위한 알고리즘을 구동한다. 예를 들어, 차량번호 인식의 경우 ASIP는 자동차 번호판을 인식하고, 번호판에 있는 숫자와 글자를 인식하기 위한 알고리즘을 DSP나 프로세서 또는 코-프로세서 형태의 FPGA를 이용하여 실시간 수행한다.
- 스마트 카메라의 주요 기능은 사람들이 볼 수 있는 이미지와 비디오 품질을 향상시키는 데 있는 것이 아니라, 이미지에서 정보를 추출하여 의사결정을 할 수 있도록 하는 데 있으며, 이로 인해 스마트 카메라의 출력에 사용하는 데이터 대역은 대체로 작다. 예를 들어, 자동차 번호판을 인식하게 되면 스마트 카메라의 출력은 단지 숫자와 글자를 표현하는 몇 바이트 정보로 수 초 동안만 표시되면 충분하다. 이처럼 낮은 출력 대역폭은 영상 센서로 사용되는 무선 스마트 카메라의 경우에 아주 중요한 특성이 된다.
- 일부 스마트 카메라는 재프로그램 가능한 구조를 갖고 있어, 특수한 애플리케이션에서는 필요에 따라 프로그램을 바꿔 다른 작업을 수행하도록 할 수도 있다. 예를 들어, 비디오 감시 애플리케이션에서 사용하는 스마트 카메라의 프로그램을 변경하여 침입 탐지, 도난물체 탐지 등으로 사용

할 수 있다. 이와 같은 재프로그램 기능은 ASIP 부문에 있는 마이크로프로세서의 기능을 이용하기 때문이다.

- 스마트 카메라는 신호를 획득하고 신호의 품질이 최고인 상태에서 신호 처리와 이미지 처리를 수행한다. 이렇게 함으로 A/D 변환, D/A 변환을 거치는 과정에서의 감쇄현상, 네트워크 에러, 비디오 압축으로 인한 손실 등을 피할 수 있다.
- 스마트 카메라는 데이터집중 신호처리, 이미지 처리를 수행하는데 실시간 요구를 충족시키기 위해 대용량 병렬 프로세스 기능을 제공하는 고성능 마이크로프로세서(DSP, FPGA 등)를 사용할 수 있다.
- 마이크로프로세서가 내장되어 있고 자율적으로 동작하기 때문에 스마트 카메라는 특히 지능형 네트워크 애플리케이션이나 분산 비전 애플리케이션 분야에 적합하다. 스마트 카메라를 사용해서 분산프로세스를 수행하게 되면 대량의 정보를 전송할 필요가 없기 때문에 중앙처리시스템에서는 매우 큰 장점을 갖게 된다. 이러한 이유로 최근 학계나 산업계에서는 분산 스마트 카메라 네트워크에 대한 관심이 매우 높아지고 있다.

이러한 장점으로 스마트 카메라는 앞으로 더 많은 분야에 활용되는 정보시스템의 핵심 컴포넌트가 될 것으로 기대되며, 입력 디바이스나 추적 디바이스 또는 통신용 서브시스템 등으로 널리 활용될 것이다. 그러나, 스마트 카메라 솔루션을 채택하게 되면 기존 다른 비전시스템을 사용하는 것과 비교해서 아래와 같은 단점이 있을 수도 있다.

- 스마트 카메라에 대한 인기와 기술적인 프로세스가 지속해서 성장하고 있음에도 불구하고, 스마트 카메라는 일부 머신 비전 애플리케이션 분야

를 제외하고는 아직은 적절한 솔루션을 제공하지 못하고 있다.

- 아직까지도 일반 컴퓨터와 함께 전통적인 카메라를 사용한 솔루션이 스마트 카메라 솔루션에 비해 더 많은 융통성을 제공할 수 있다.
- 스마트 카메라는 기존 방식에 비해 사용자 인터페이스가 제한적이다.

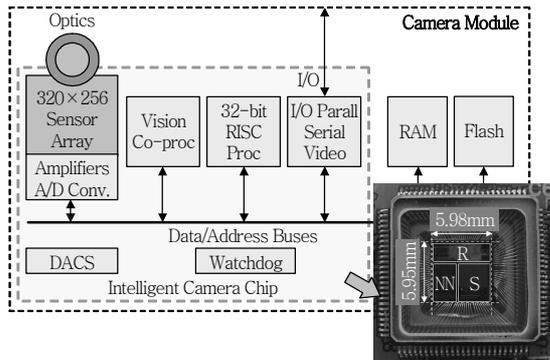
4. 스마트 카메라의 분류

앞에서 설명한 바와 같이 ASIP는 스마트 카메라에서 가장 핵심적이고 기능이 뚜렷한 컴포넌트이다. 이 모듈은 하나 이상의 프로세서와 이를 지원하는 메모리, 데이터버스와 기타 부품들로 구성되어 있으며, 지능적 이미지 처리와 관련된 알고리즘을 효율적으로 구동하기 위한 컴퓨팅 플랫폼으로 사용된다.

스마트 카메라는 임베디드 비전시스템의 특수한 타입에 속한다고 말할 수 있으며, 스마트 카메라 안에는 이미지 센서, 영상획득용 전처리 모듈, ASIP, 통신용 인터페이스, I/O 등 필요한 모든 시스템 컴포넌트가 카메라 케이스 내에 종합적으로 내장되어 있다. 그러나, 앞에서 설명했던 바와 같이 독립적인 카메라 형태를 갖추고 있지는 않지만 스마트 카메라로 분류할 수 있는 기타 임베디드 비전시스템, 특히 소형 비전시스템이 존재하며, 이러한 형태의 시스템들 대부분은 학문적으로나 연구문헌에서 스마트 카메라로 간주하고 있다. 이러한 포괄적인 개념을 고려하면 스마트 카메라는 다음과 같이 5개의 범주로 구분할 수 있다.

가. 단일 칩 스마트 카메라

단일 칩 스마트 카메라는 동일한 칩 위에 반도체 이미지 센서(대부분 CMOS 이미지 센서)와 함께 ASIP의 전체 또는 일부 기능을 구현하는 스마트 카메라를 말한다. CCD 센서에 비해 CMOS 이미지 센



(그림 4) VISoC 단일 칩 구조[3]

서가 갖는 가장 중요한 장점은 이미지 센서 어레이를 구축할 수 있는 기능을 갖고 있으며, 또한 지능형 이미지 처리 회로를 동일 칩 상에 구현하여 “스마트센서(smart sensor)”를 만들 수 있는데 있다. 또한, 각 픽셀 안에 이미지 처리 회로를 두어 스마트 픽셀을 만들 수 있으므로 이미지 처리에 대한 새로운 패러다임을 제시할 수 있다. 한 사례로 NeuriCam사에서 개발한 (그림 4)의 VISoC 단일 칩 스마트 카메라는 320×256 픽셀 CMOS 이미지 센서와 RISC 프로세서, 비전 코-프로세서, I/O 회로 등이 단일 칩 위에 구현되어 있다.

이러한 스마트 카메라는 많은 기능이 하나의 디바이스 내에 집적되어 있기 때문에 이 디바이스를 이용해서 모듈화 설계를 하기 어렵고, 표준 이미지 센서를 생산하는데 소요되는 비용에 비해 상대적으로 생산 비용이 높다는 단점이 있다.

나. 임베디드 스마트 카메라

임베디드 스마트 카메라는 휴대폰과 같이 다른 디바이스 내에 카메라가 내장되어 있는 형태를 말한다. 이러한 카메라는 내부에 숨겨져 있기 때문에 외부에서는 볼 수 없어 카메라의 존재를 인식하지 못하는 경우도 많다. 이러한 사례로는 비전 기술을 이용한 광마우스, 비전 기술을 이용한 지문인식기, 로봇이나 자

동차에서 사용하는 카메라 등이 있다. 이러한 종류의 스마트 카메라는 전용 프로세서나 디바이스 프로세서에 의해 ASIP 기능을 수행하도록 하고 있다. 특히 휴대 디바이스에 내장된 카메라를 이용하여 새로운 애플리케이션을 수행하거나 새로운 제품을 만들 수 있다.

다. 독립형 스마트 카메라

독립형(stand-alone) 스마트 카메라는 외형적으로나 정의에서도 알 수 있듯이, 가장 보편적인 스마트 카메라로 볼 수 있으며 CCTV 카메라나 산업계에서 범용으로 사용하는 카메라와 비슷하게 일반 카메라 처럼 보인다. 특히 산업계 머신 비전 분야에서 가장 보편적으로 활용되고 있으며, 어느 정도 시장이 형성되어 있다. 독립형 스마트 카메라는 내장되어 있는 전용 프로세서와 그 상위에서 수행되는 지능형 알고리즘에 의해 ASIP 기능이 제공된다. 대부분의 독립형 카메라는 실시간 운영체계를 사용해서 카메라를 간단히 프로그램할 수 있으며, 사용자 인터페이스 기능도 개선하고 있다. (그림 5)는 독립형 스마트 카메라의 대표적인 사례로 꼽히는 Intelio사의 ILC-210 스마트 카메라이다.



(그림 5) 독립형 스마트 카메라의 예[4]

라. 소형시스템 스마트 카메라

일반적으로 소형시스템 스마트 카메라는 2개의 주요 부분으로 구성된 임베디드 비전시스템을 의미

한다. 한 부분은 기존의 카메라나 ASIP 부문을 포함한 본체 부문이 되며, 나머지 한 부분은 ASIP와 통신용 I/O 인터페이스를 포함하는 부분이 된다. 일반적으로, 소형시스템 스마트 카메라는 전용 케이블이나 통신 인터페이스를 통해 외부에 별도로 있는 전용 이미지 처리 유닛에 연결된다. 이들 카메라는 이미지 획득 기능을 수행하며, 때로는 전송되는 데이터의 양을 줄이거나 기능 추출을 위해 사전 처리와 같은 ASIP 기능을 수행한다. 시스템 ASIP의 나머지 기능은 외부 유닛에서 수행한다. 이러한 유형의 스마트 카메라는 값도 싸고 다른 모듈로 대체하거나 업그레이드도 용이하다. 외부 프로세스 유닛은 이용할 수 있는 메모리 및 다른 리소스들이 충분하기 때문에 더 많은 프로세스 파워를 제공할 수 있다. 보안이나 교통량분석과 같은 비디오 감시 애플리케이션에서 이러한 유형의 스마트 카메라를 사용하는 사례가 많이 있으며, 대부분의 대학이나 연구 그룹에서 이러한 형태의 카메라를 활용하고 있다.

마. 분산 스마트 카메라

네트워크 기술과 센서 네트워크, 무선 통신 기술 등이 발전함에 따라, 최근 분산 스마트 카메라 혹은 네트워크 스마트 카메라 분야에 대해 학계나 산업계에서 관심이 높아지고 있다. 분산 스마트 카메라 시스템은 여러 대의 카메라와 스마트 카메라가 네트워크를 통해 연결되어, 네트워크 전체가 하나의 단일 가상 스마트 카메라처럼 여겨질 수 있다. 특히 각 카메라마다 분리된 모습을 모아 서로 결합하고 협력하여 이벤트를 분석하거나 어떤 일을 수행하므로 전체가 마치 하나의 가상 스마트 카메라처럼 보이게 된다. 이러한 유형의 스마트 카메라를 사용함으로써 유리해지는 애플리케이션으로는 비디오 감시시스템 분야, 머신 비전시스템 분야, 자동 시스템 분야 등이 있다.

III. 스마트 카메라 기술동향

1990년대 이후 스마트 카메라에 대한 인기가 지속적으로 높아지고 있으며, 시장에서의 요구도 증가하고 있다. 저렴한 PC, 아날로그 CCTV 카메라, 비디오 프레임 등을 이용할 수 있게 됨에 따라 연구나 개발에 종사하는 사람들은 이들 디바이스와 컴포넌트에 컴퓨터 비전 방식과 기술을 개발하고 시험하고 적용한 스마트 카메라 개발 플랫폼을 손쉽게 확보할 수 있게 되었다. 스마트 카메라가 기술적으로나 시장에서 최근에 성장할 수 있었던 기술 외적인 사항을 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

- VLSI 기술과 임베디드 시스템 기술의 발전: 무어의 법칙에 따르면 이미지 센서와 마이크로프로세서의 성능은 지속적으로 개선되며 크기와 가격은 계속 떨어지게 될 것이다. 임베디드 시스템을 특수한 목적의 애플리케이션에 적용하려고 하는 경우에도 임베디드 시스템을 설계하는 기술은 날이 갈수록 발전하여 가고 있다.
- (임베디드)컴퓨터 비전 분야의 발전: 인텔에서 제공하는 OpenCV 라이브러리와 같은 컴퓨터 비전 분야의 공개 프로그램은 광범위한 분야에서 스마트 카메라 개발을 지원할 수 있으며 또 활용되고 있다.
- 산업계나 학계의 관심 고조: 컴퓨터 비전과 비디오 감시 분야에 대하여 스마트 카메라, 임베디드 컴퓨터 비전, 영상 감시시스템에 관해 다양한 워크숍이나 학술대회 등이 개최되고 있다.
- 안전 및 보안에 관한 사회적인 관심 증가: 9.11사태 이후 비디오 감시 분야에서 스마트 감시시스템을 포함한 영상 감시시스템에 대하여 산업계나 정부의 관심이 점점 높아지고 있으며, 관련 연구도 증가하고 있다.

1. 대표적인 스마트 카메라의 연구 사례

본 절에서는 그 동안 발표된 스마트 카메라와 관련해 대표적인 사례들에 대하여 시스템의 특징 위주로 간략하게 살펴 보도록 하겠다.

NXP 연구그룹(이전 Philips)의 WiCa 카메라 시스템(그림 6) 참조)에는 하나 또는 두 개의 VGA (300kpixel) 컬러 이미지 센서가 장착되어 Xetal 그룹의 IC3D SIMD 프로세서에 연결되어 있으며, 통신 인터페이스는 저전력 지그비(ZigBee) 모듈로 구성되어 있다. 시스템 동작과 통신을 관리하기 위해 AT-MEL 8051 컨트롤러를 사용하였다. IC3D 디바이스는 320개의 프로세스 요소를 갖고 있는 LPA와 3200비트의 64라인 메모리로 구성되어 있다. 이러한 구조는 각 픽셀에 대해 동일한 동작을 수행하는 하위레벨(low-level)의 이미지를 처리하는데 매우 강력한 특성을 갖고 있다. 예를 들어, QVGA 이미지 (320×240)를 다루려고 할 때에 각 라인 메모리에 행(row) 전체의 내용이 저장될 수 있어 LPA에서 각 PE마다 1픽셀을 할당하여 동시에 처리할 수 있다.

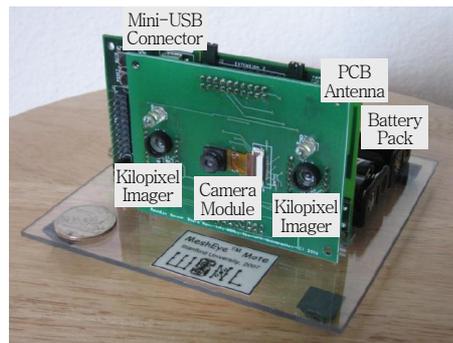
스탠포드 대학의 MeshEye 무선구조(그림 7) 참조)는 다수의 센서를 이용한 혼합 해상도(hybrid resolution) 방식을 채택하고 있는 장치로, CMOS VGA 컬러 이미지 센서와 광학마우스에서처럼 두 개 이상의 센서를 사용하여 초기 대표적인 능동 비전방식의 데이터 획득 과정을 최적화하였다. 예를 들어, 저해상도 센서 하나를 모션감지 전용으로 사용하고, 이 센서

에서 움직이는 오브젝트를 탐지하면 두 번째 저해상도 센서에서는 스테레오 매칭 작업을 수행하여 움직이는 오브젝트의 위치와 크기를 예측한다. 최종적으로는 오브젝트를 포함하고 있는 영역(WOI) 정보를 VGA 센서가 획득할 수 있도록 하고 있다. 마이크로컨트롤러와 연동을 고려하여 ARM7TDMI 프로세서와 ZigBee 인터페이스를 사용하였다.

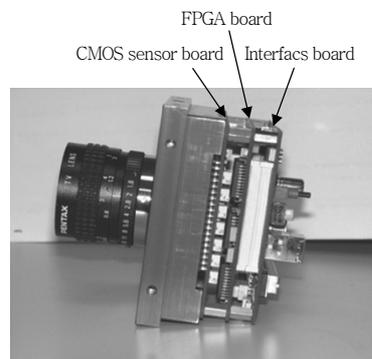
Bourgogne 대학 Le2i 연구실에서는 (그림 8)의 고속 스마트 카메라를 개발했는데, 1.3Mpixel 고속 CMOS 이미지 센서와 XILINX사의 Virtex-II FPGA, USB 2.0 인터페이스를 포함하고 있다. 이미지 센서에서는 최대 해상도 이미지를 500fps까지 수집할 수 있으며, 데이터를 6.55Gbps까지 속도로 처리할 수 있다. USB 2.0 링크(480Mbps)를 통해 비디오 정보를 전송하기 위해 FPGA에 영상압축(압축비율 30:1)과 sobel 필터와 같은 이미지프로세스 작업, 수



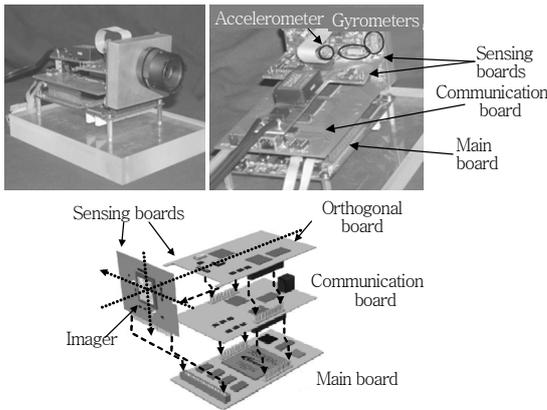
(그림 6) NXP그룹의 WiCa 플랫폼[5]



(그림 7) MeshEye 카메라 mote 플랫폼[6]



(그림 8) Le2i 카메라 플랫폼[7]



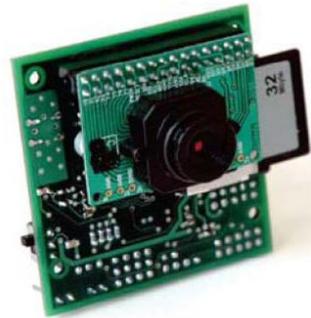
(그림 9) SeeMOS 카메라 플랫폼[8]

축/팽창(erosion/dilation) 작업 및 마커(marker) 추출을 위한 작업들을 구현하였다.

SeeMOS 구조(그림 9) 참조)는 프랑스 LASMEA에서 제안했는데, 초기 비전 알고리즘을 사용하는 애플리케이션에 적합한 플랫폼으로 제작된 스마트 카메라다. 4Mpixel의 CMOS 흑백 이미지 센서, Firewire 인터페이스와 프로세서 모듈로 ALTERA Stratix FPGA 디바이스와 TI의 TMS320C6455 DSP로 구성되어 있다. FPGA 디바이스는 사용자가 프로그램 가능한 컨트롤러 코어를 통해 전체 시스템을 제어하고 동기화하는 일을 담당하고 있으며, 다른 애플리케이션에서 사용하고자 할 경우에 HDL 프로그램만 수정하여 사용하는 방식을 사용하였다. 데이터 처리 기능은 FPGA 내에 구현된 SIMD 유닛에서 수행되거나, DSP를 이용한 소프트웨어 루틴을 통해 수행한다.

그 밖에 흥미로운 스마트 카메라 관련 연구과제로 Carnegie Mellon 대학의 CMUCam 프로젝트와 Graz 공대의 SmartCam 프로젝트가 있다.

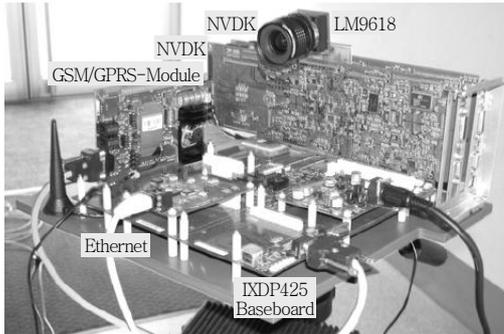
CMUCam 프로젝트는 지금까지 3번에 걸쳐 수정된 카메라 플랫폼을 발표하였다. 2002년에 처음으로 발표된 플랫폼은 CMOS 센서, Ubicom사의 SX28 마이크로 컨트롤러 및 레벨 시프트와 시리얼 통신으로 구성되는 3개의 주요 상용 칩들을 사용하여 100



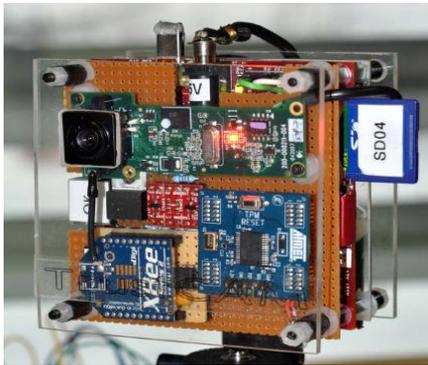
(그림 10) CMUCam3 플랫폼[9]

달러 미만의 저가로 사용 가능한 임베디드 비전 플랫폼의 제작을 목표로 하였다. 2005년에는 성능이 향상을 위하여 FIFO로 구성된 348kbyte의 이미지 프레임 버퍼와 Ubicom사의 SX52 마이크로 컨트롤러를 사용하여 199달러 미만의 2번째 플랫폼을 발표하였다. 2007년에는 오픈 소스 프로그램이 가능한 임베디드 컬러 비전 플랫폼으로써 CMUCam3를 발표하였다(그림 10) 참조). CMUCam3는 CIF 해상도의 컬러 이미지 센서(352×288)와 ARM7TDMI 코어를 이용한 프로세서 기능을 제공하며 아날로그 비디오 출력신호를 이용할 수 있으며, ZigBee 무선통신 모듈과 통합시킬 수 있다. 현재 CMUCam3 플랫폼은 오픈 소스 개발환경, 기본 이미지조작 라이브러리와 같은 소프트웨어 유틸리티 및 시제품(prototype) 형태의 도구 등을 포함하고 있는 상용 시스템으로써 240달러 정도의 가격으로 판매되고 있으며, 다양한 응용을 개발하는 개발 플랫폼으로 널리 사용되고 있다.

SmartCam 플랫폼(그림 11) 참조)은 터널 내부의 안전을 위하여 차량의 검출과 추적을 위하여 개발된 플랫폼으로 상용 모듈을 이용하여 저전력, 고성능의 임베디드 비전시스템이다. 이를 위하여 TI사에서 2개의 TMS320C6415 DSP 프로세서와 CMOS VGA 이미지 센서가 PCI 버스로 연결된 SmartCam 프로젝트용 플랫폼을 개발하였다. 또한 임베디드 네트워크 프로세서(Intel IXP425)를 사용하여 이더넷,



(그림 11) SmartCam 플랫폼[10]



(그림 12) TrustCam 플랫폼[11]

USB, RS232, WLAN, GSM 등과 같이 다양한 통신 시스템을 이용할 수 있으므로 분산 감시시스템에서도 활용할 수 있다.

최근에는 기존의 감시 기능을 제공하는 스마트 카메라의 기능에 하드웨어에 기반한 보안 기능을 제공하는 TPM 장치를 적용하여 스마트 카메라에서 전송되는 이미지나 검출 데이터의 진위 여부나 무결성을 판단할 수 있는 TrustCam 플랫폼이 개발되었다(그림 12) 참조[12]. TrustCam은 기존의 CMOS 센서와 마이크로프로세서 및 통신인터페이스를 제공하는 플랫폼에 TPM을 효율적으로 활용하기 위하여 프로세서와 TPM 간의 데이터 전송을 위하여 I2C 인터페이스를 활용하였다. TrustCam에서는 기존 플랫폼과 달리 전송되는 데이터의 암호연산을 위해 256bit의 AES 암호 알고리즘을 사용하고, 서명에는 SHA-1 알고리즘을 사용하고 있다.

〈표 1〉 대표적인 스마트 카메라 프로젝트 또는 제품 및 관련한 연구 그룹/회사[1]

조직/회사	프로젝트/제품 이름	국가
SCS-Carnegie Mellon Univ.	CMUcam Vision Sensors	미국
WSNL-Stanford Univ.	MeshEye	미국
LASMEA-Blaise Pascal Univ./CNRS	SeeMOS 프로젝트	프랑스
Vision Components	VC 시리즈	독일
Smart Systems-Austrian Research Center	Smart eye sensors	오스트리아
Le2i-Bourgogne Univ./CNRS	High-speed smart camera	프랑스
Intellio	ILC 시리즈	헝가리
Sony	XCI 시리즈	일본
National Instruments	NI 17xx 시리즈, CVS	미국
SICK IVP	IVC 2D, IVC 3D	스웨덴
Philips/NXP Research	WiCa wireless mote	네덜란드
NeuriCam	VISoC Vision System-on-Chip	이탈리아
ITI-Graz Univ.	SmartCam 프로젝트	오스트리아
INES-Klagenfurt Univ.	TrustCAM	오스트리아

〈표 1〉은 지금까지 설명한 스마트 카메라를 포함하여 대표적인 스마트 카메라 플랫폼을 정리한 것이다. 오늘날 전 세계적으로 수많은 업체와 기관에서 스마트 카메라를 개발하고 있다. 보다 많은 제조업체나 스마트 카메라 정보는 [12]의 웹 사이트에서 살펴 볼 수 있다.

2. 대표적인 스마트 카메라 애플리케이션

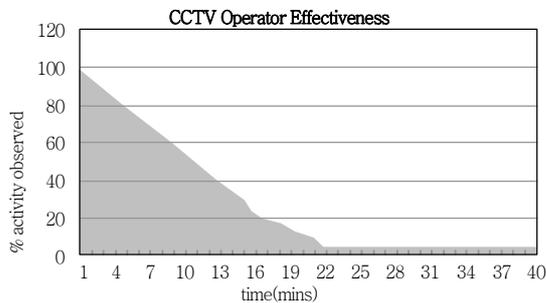
스마트 카메라는 광범위한 애플리케이션 영역을 갖고 있으며 매일매일의 일상적인 활동과도 관련이 있다. 앞에서 설명했던 바와 같이 스마트 카메라의 핵심은 인식 기능, 이미지 처리 기능 및 상호연동을 위한 통신 프로토콜의 효율적인 통합에 있다. 스마트 카메라의 특징을 이와 같이 정의한다는 것은 스마트 카메라가 고급 기능을 수행하는 이미지 센서로서 다음과 같은 대표적인 응용들에서 중요한 역할을 수행함을 의미한다.

가. 보안

최근 공항이나 정류장, 은행처럼 대중 공공 시설에서 보안(security)을 제공하는 용도로 비디오 감시시스템의 활용이 점점 증가하고 있다. 기존에 사용하던 비디오 감시시스템이 갖고 있는 근본적인 문제점은 아래와 같이 정보의 분석과 판단에서 상당 부분을 운영자에 의존한다는 사실이다.

- CCTV를 설치하는데 소요되는 비용이 저렴해진다고 하더라도 사람이 비디오 화면을 모니터링 하므로 추가 비용이 발생한다. 또한 사람을 통한 모니터링은 작업의 속성상 따분하고, 일정 시간이 지나면 주의가 산만해지므로 중요한 사건의 발생을 놓칠 수도 있다. (그림 13)에서 볼 수 있듯이, 일반적으로 사람이 2개 이상의 화면을 모니터링 하는 경우 12분이 지나면 위험 상황의 45%, 22분이 지나면 위험 상황의 95%를 놓친다고 알려져 있다[13].
- 사람에 의해 영상을 관찰하고 기록하는 과정에서 개인정보(생체 데이터)를 이용하는 일이 발생하는 경우, 또는 보호받거나 제한구역을 관찰하는 일과 같이 민감한 정보를 사용하는 경우에는 윤리적인 문제가 제기될 수 있다.

이러한 경우, 기존의 CCTV 대신 스마트 카메라를 사용하게 되면 데이터를 처리하는 과정에서 효율성과 보안을 함께 제공할 수 있게 된다.



(그림 13) CCTV 감시자의 감시 효율

나. 자동화

최근 세계적으로 도시에서는, 거리, 교차로 및 고속도로에는 영상감시 시스템을 활용하여 모니터링하고 있다. 이러한 시스템은 일반적으로 다음과 같은 용도로 활용되고 있다.

- 교통량을 통제하고 최적화하기 위해 차량의 흐름을 예측한다.
- 사고나 잘못된 방향으로 진입하는 차량과 같은 위험한 상황을 탐지한다.
- 보호된 영역이나 금지된 구역(예를 들면, 주차장 또는 런던 같은 도시의 중심부)으로 특정 차량이 접근하는 것을 컨트롤한다.

이러한 용도로 일부 스마트 카메라가 개발되어 사용되고 있으며, 고성능 스마트 카메라를 사용하는 경우, 이러한 문제들을 신속하고 자동적으로 탐지할 수 있다.

다. 사람-컴퓨터 상호동작

사람-컴퓨터 상호동작 분야에서 스마트 카메라를 사용하게 되면서 대화형 시스템(interactive dialogue system)에 스마트 카메라를 활용할 수 있을 것이다. 특히, 제스처를 기반으로 하는 인식 알고리즘이 구현된 스마트 카메라는 원격제어기능과 상호동작을 가능하게 하며, 현재 MIT를 비롯한 학교와 연구 기관에서 관련 연구가 진행되고 있다.

라. 이동장치

최근 스마트폰은 디지털 카메라 기능, 디지털 비디오 녹화 기능 및 화상통화 기능 등을 일반적으로 제공하고 있다. 이와 같이 멀티프로세서를 내장한 이동장치(mobile device)에서는 화상회의를 위한 얼굴추적 혹은 액세스 제어를 위한 얼굴인식 등과 같은 비전 알고리즘을 적용할 수 있다.

3. 스마트 카메라의 발전방향

스마트 카메라와 관련된 기술이 급격히 발전하고 애플리케이션도 다양해지면서 사용자의 요구 사항도 다양하게 변화하므로 스마트 카메라의 향후 발전방향을 예상하기에는 어려움이 있다. 앞서서도 살펴 보았듯이 스마트 카메라의 주요 특징과 장점은 통합과 지능화에 있다. 이처럼 통합과 지능화를 가능하게 하는 주요 요인으로는 임베디드 프로세서의 성능과 실제 환경에서 돌아갈 수 있는 비전 알고리즘의 신뢰도에 있다. 최근 사용되는 64비트 프로세서와 멀티코어 프로세서는 시스템 기능을 현저하게 개선시키고 있다. 본 절에서는 이러한 기술적 측면과 응용 측면을 중심으로 향후 스마트 카메라의 발전방향을 정리하고자 한다.

가. 기술적 측면

스마트 카메라에 관한 기술적 요소는 주로 전자공학 분야(이미지 기술), 컴퓨터공학 분야(임베디드 시스템), 컴퓨터 비전 분야와 관련이 있다. 현재 연구가 진행되고 있는 분야를 기반으로 하면 다음의 기술들이 스마트 카메라의 발전에 영향을 줄 것으로 보인다.

- 시스템 온 칩(SoC) 기술: 마이크로 전자 분야에서 관심 사항 중의 하나는 칩 위에 컴퓨팅-지능화 기능을 통합시켜 시스템의 각종 기능을 개선하는 일이다. 비전 센서 칩은 이미지를 획득하는 일을 담당할 뿐만 아니라 컴퓨터 비전 알고리즘을 실장해서 PC나 임베디드 컴퓨팅 기능의 도움을 받지 않고도 칩 위에서 아날로그 신호나 디지털 신호를 직접 처리할 수 있게 한다. 이러한 SoC 기술의 발달로 스마트 카메라의 가격은 더욱 낮아지고 파워 소모량도 적어져 비전 센서 기술과의 효율적인 통합을 가능하게 할 것으로 예측된다.

- 컴퓨터 비전 및 이미지 기술: 컴퓨터 비전은 컴퓨터 알고리즘을 이용해서 사람이 물체를 인식하고 이해 및 추리 등을 수행하는 과정과 동일한 기능을 수행할 수 있도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 컴퓨터를 이용해서 사람의 눈과 머리에서 처리하는 기능을 구현하는 것은 너무 복잡한 일이기 때문에 아직도 많은 부분이 연구를 지속할 필요가 있는 공개 분야로 남겨져 있으며, 현재도 다양한 연구가 진행되고 있다. 향후 컴퓨터 비전 분야에서의 연구 결과들은 스마트 카메라의 획기적인 발전을 가져올 것으로 기대되고 있다.
- 네트워크 카메라(networked camera): 스마트 카메라는 점점 더 작아지고 저렴해지면서 더욱 다양한 애플리케이션에 적용될 것이다. 메모리 디바이스의 가격은 점점 저렴해지는 반면 메모리의 용량은 빠르게 증가하고 있다. 이러한 기술동향은 유비쿼터스 컴퓨팅, 분산 컴퓨팅과 같은 분야에서 스마트 카메라를 활용하는 연구를 가능하게 하고 있다. 향후 이러한 연구결과를 이용하면 스마트 카메라의 지능화와 성능이 크게 개선될 것으로 예상된다.
- 센서융합(sensor fusion) 기술: 센서융합은 동일 유형이던 동일하지 않은 유형이던 하나 이상의 센서에서 오는 정보를 결합해서 데이터를 분석한다. 일반적으로 한 센서의 장점이 다른 센서의 단점을 보상할 수 있거나, 혹은 오브젝트를 인식할 수 있는 속도를 개선할 수 있어 여러 종류의 센서를 결합한 시스템이 신뢰도와 유용성을 개선할 수 있다. 따라서 센서융합은 매우 효율적이면서 실용적인 방법으로 스마트 카메라의 수많은 응용 분야를 창출할 것으로 기대된다.

나. 애플리케이션 측면

스마트 카메라의 성능과 사용할 수 있는 메모리의

용량 증가 및 가격의 지속적인 감소는 기존에는 적용할 수 없었던 다양한 분야에 스마트 카메라를 활용할 수 있는 계기를 마련하였다.

- 멀티미디어(multimedia): 현재 스마트 카메라는 이미지를 획득뿐만 아니라 생체인식, 개인식별, 추적과 같은 기능들을 통합하고 있다. 이러한 스마트 카메라가 이용될 주요 분야는 스마트폰 카메라, PC 카메라 등이 있다. 그 이외에도 오브젝트 인식, 검색 및 보관 등에서 스마트 카메라를 이용하는 애플리케이션을 생각해 볼 수 있다. 특히, 스마트폰 분야는 앞으로 다양한 응용에 스마트 카메라 기술을 사용할 것으로 예상된다.
- 머신 비전(machine vision): 산업계에서 생산 자동화에 따른 비전 분야의 기술적 요구가 늘어남에 따라 스마트 카메라 애플리케이션은 품질보증, 검수 등 머신 비전 업무에 많이 활용되고 있다. 최근, 머신 비전 분야에서의 경험과 기술적인 성공에 힘입어 많은 스마트 카메라 제조업자들은 애플리케이션 영역을 접근제어, 문서처리, 교통공학, 소매물류 등으로 확대하고 있다.
- 감시 및 보안(surveillance and security): 최근 공공장소나 제한구역, 비밀구역 또는 산업영역의 자율적인 감시시스템 분야에 스마트 카메라를 많이 이용하고 있다. 특히, 스마트 카메라를 이용한 객체 탐지 및 인식, 객체 추적 등은 기존에 사람이 24시간 감시와 실시간 탐지가 어려운 사건, 사고 발생의 탐지, 중요 시설에 대한 침입 탐지 등의 업무에 효율성을 제공한다. 또한 자율교통시스템(ITS) 분야는 최근 스마트 카메라를 차량 인식과 번호판 인식 등의 분야에 주로 사용하고 있다.
- 자동차 분야(automotive): 스마트 카메라를 이용하면 운전자가 인식할 수 있는 환경보다 넓고 빠르게 인식할 수 있고, 자동적인 상황 판단으로 사

람의 주관적인 판단을 배제할 수 있다. 따라서 차량 분야에 스마트 카메라 기술을 적용하는 연구가 다양하게 진행되고 있다. 최근 BMW를 비롯한 일부 차종에서 모니터링 및 탐색 기능을 위해 스마트 카메라를 사용한 내용이 발표된 바 있다.

4. 스마트 카메라의 시장평가

최근 스마트 카메라에 대한 학계의 연구가 다양하게 진행되고 있으며, 제한적이지만 일부 산업 분야에서는 성공적으로 활용되고 있다. 스마트 카메라 산업은 지난 십여 년간 연평균 13%의 성장률을 보이고 있으며, 앞으로도 계속 증가할 것으로 보인다 [14]. 스마트 카메라에 대한 시장은 앞에서 거론했던 기술적인 문제들이 개선되면 더욱 다양한 애플리케이션에 활용될 수 있으므로, 스마트 카메라 시장 규모는 앞으로도 계속 증가할 것으로 예상된다. 현재 예상되는 일반적인 스마트 카메라 시장은 자동차 분야, 생산 분야, 보안 및 군사 분야에서 찾을 수 있을 것이다. 그러나, 향후 추가로 예상되는 시장은 여러 가지 형태의 사람-컴퓨터 상호작용 분야, 장난감, 비디오게임 분야, 비디오 교육 분야, 노인의료보장 분야, 건강관리 분야에 이르기까지 광범위한 분야에서 찾을 수 있을 것이다.

IV. 결론

1990년 후반 이후, 비디오 감시 분야와 머신 비전 분야의 산업을 중심으로 사용되기 시작한 스마트 카메라는 단순히 영상정보를 획득하고 획득한 영상정보를 저장하는 기존의 카메라 기능에서 벗어나, 미리 정해진 여러 가지 필요한 작업을 수행하는 비전시스템이다. 최근 들어 스마트 카메라에 적용할 수 있는

마이크로프로세서의 기능이 확대되면서 카메라 내부에서 지능형 영상처리나 패턴인식 알고리즘을 수행할 수 있게 되었으며, 이러한 기술을 이용해서 스마트 카메라는 아직까지는 제한적이지만 움직임 감지, 오브젝트 측정, 차량 번호판 인식뿐만 아니라 인간의 행동까지도 인식할 수 있게 되었다.

본 고에서는 이러한 스마트 카메라의 기술적인 정의와 특징들을 살펴보고, 스마트 카메라의 최근 기술 동향들을 살펴보았다. 또한 기술적인 측면과 예상되는 애플리케이션을 중심으로 향후 스마트 카메라의 발전 방향을 정리하였다. 이미 해외에서는 상당수의 연구그룹과 산업체에서 스마트 카메라 기술을 개발하였고 일부는 상용화 단계에 진입하였다. 그러나 국내에서는 아직도 기존의 CCTV나 IP 카메라에 일부 제한적인 리소스를 활용하여 스마트 카메라의 일부 기능만 제공하거나, 일부 핵심 기능들이 연구소나 대학 연구실에서 개발되고 있는 실정이다. 따라서 앞으로 다가올 다양한 응용들과 잠재적 시장의 요구에 대응하기 위하여 스마트 카메라 시스템의 체계적인 연구와 핵심 기술들의 연구개발이 필요하다.

CCTV	Closed-Circuit Television
CIF	Common Intermediate Format(352×288)
CVS	Compact Vision System
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DSP	Digital Signal Processor
FPGA	Field Programmable Logic Array
FIFO	First In, First Out
GSM	Global System for Mobile communication
HDL	Hardware description Language
I2C	Inter-Integrated Circuit
ITS	Intelligent Transportation System
LPA	Linear Processor Array
OpenCV	Open Computer Vision library
PE	processing element
QVGA	Quarter Video Graphics Array
RISC	Reduced Instruction Set Computer
SHA	Secure Hash Algorithm
SIMD	Single Instruction Multiple Data
SoC	System-on-Chip
TPM	Trusted Platform Module
USB	Universal Serial Bus
VLSI	Very Large Scale Integrated circuit
VGA	Video Graphic Array
VISoC	Vision System-on-Chip
WLAN	Wireless Lan
WiCa	Wireless Camera
WOI	window of interest

● 용 어 해 설 ●

스마트 카메라(Smart Camera): 영상정보를 획득하고 영상의 화질 개선과 기본적인 영상처리 기능을 제공하는 기능을 갖고 있는 일반 카메라와 달리, 영상에 나타난 의미를 찾고 경우에 따라서는 특정 이벤트의 탐지와 판단을 포함하는 일련의 작업까지도 수행하는 기능을 갖고 있는 카메라. 일반적인 카메라의 출력이 영상 데이터인 반면, 스마트 카메라는 이벤트의 결과와 같이 판단의 도움이 되는 정보를 출력함.

약어 정리

AES	Advanced Encryption Standard
ASIP	Application Specific Information Processing
CCD	Charge-Coupled Device

참고 문헌

- [1] A.N. Belbachir, Smart Cameras, Springer, 2010.
- [2] B. Rinner, "Pervasive Smart Cameras," *Pervasive Embedded Comput. Commun. Syst. (PECCS)*, Keynote Lecture, 2011.
- [3] L. Albani et al., "VISoc: A Smart Camera SoC," *Proc. 28th Eur. Solid-State Circuits Conf.*, 2002, pp. 367-370.
- [4] Intellio Intelligent Cameras, accessed Aug. 2011. <http://www.intellio.eu>
- [5] R. Kleihorst et al., "Smart Camera Mote with High Performance Vision System," *Workshop Distrib. Smart Cameras (DSC)*, 2006.
- [6] S. Hengstler et al., "Mesheye: a Hybrid-Resolution Smart Camera Mote for Applications

- in Distributed Intelligent Surveillance,” *Proc. Int. Conf. Inf. Proc. Sensor Netw. (IPSN)*, 2007, pp. 360–369.
- [7] R. Mosqueron, J. Dubois and M. Paindavoine, “High-Speed Smart Camera with High Resolution,” *EURASIP J. Embedded Syst.*, Article ID 24163, 2007.
- [8] P. Chalimbaud and F. Berry, “Embedded Active Vision System Based on an FPGA Architecture,” *EURASIP J. Embedded Syst.*, Article ID 35010, 2007.
- [9] A. Rowe et al., “CMUcam3: An Open Programmable Embedded Vision Sensor,” Technical Report CMU-RI-TR-07-13, Robotics Institute, Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA, May 2007.
- [10] M. Bramberger et al., “Distributed Embedded Smart Cameras for Surveillance Applications,” *IEEE Comput.*, vol. 39, no. 2, Feb. 2006, pp. 68–75.
- [11] T. Winkler and B. Rinner, “TrustCAM: Security and Privacy-Protection for an Embedded Smart Camera based on Trusted Computing,” *Conf. Adv. Video Signal-Based Surveillance*, 2010, pp. 593–600.
- [12] Smart Camera manufacturers and products links, accessed Aug. 2011. <http://www.smartcamera.it/links.htm>
- [13] S. Fleck and W. Straßer, Privacy Sensitive Surveillance for Assisted Living—A Smart Camera Approach, *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*, Springer, 2010, pp. 985–1014.
- [14] European Machine Vision Association, *European Vision Technology Market Statistics*, Frankfurt/Main, Germany, 2008.