

지능형 영상보안을 위한 고성능 컴퓨팅

이 명 호*

CCTV 기반의 기존의 영상보안 시스템은 카메라를 통해 얻어진 영상정보를 저장한 후 사후 검색을 통하여 보안 요구사항을 충족하는 수동적 시스템에 머물고 있다. 최근 실시간 영상정보를 활용한 능동적인 지능형 영상보안 시스템이 교통, 군사시설, 응급상황 대처 등의 분야에 적용되고 있다. 이러한 지능형 영상보안은 엄청난 계산요구량을 갖고 있어, 이러한 영상정보의 실시간 처리를 위하여 고성능 컴퓨팅 기법들의 적용이 필수적이다. 본 원고에서는 지능형 영상보안 분야에 고성능 컴퓨팅 기법들의 적용의 예를 알아보고, 앞으로의 발전 전망 등을 살펴보도록 한다.

1. 서 론

CCTV 기반의 전통적인 영상보안 기술은 카메라를 통하여 얻어진 영상을 네트워크를 통하여 중앙 감시센터로 전송하고, 중앙센터에서는 모니터를 통하여 상황을 사람이 직접 감시 또는 DVR 등으로 저장한 후, 사후에 저장된 영상을 검색하는 수동적인 물리적 보안 시스템을 말한다. 이러한 전통적인 영상보안 시스템은 실시간 감시 시

템에 대한 소비자들의 증대된 요구를 수용한 지능형 영상보안 시스템으로 진화해 가고 있다[2,5]. 이러한 지능형 영상보안 시스템에서는 CCTV 카메라를 통하여 얻어진 영상정보를 실시간으로 분석하여 자동으로 목표물 또는 이동물체를 탐지, 추적, 식별, 행위분석 및 검색하여 식별된 객체의 행위나 상호작용을 해석한다[5,13]. 이러한 과정에는 영상처리 및 컴퓨터 비전, 패턴분석, 인공지능 및 데이터 관리 기술들이 사용된다[2]. 지능형 영상보안 기술은 교통, 빌딩, 경기장, 응급상황, 군사시설 감시 등에 이르기까지 매우 다양한 분야로 그 영역을 확대해 나가고 있다.

지능형 영상보안 시스템은, 앞서 언급했듯, 자동 영상분석 및 해석 기술을 기반으로 이동물체 검출, 분류, 추적 및 행위인식 등의 기능을 수행한다. 이러한 지능형 영상보안 분야의 기술개발은 (i) 영상기반 이동물체 검출 및 추적, (ii) 영상기반 개인인식 및 식별, 등으로 분류할 수 있다[13]. 영상기반 이동물체 검출 및 추적 기술은 사전 정의된 환경에서 이동물체 검출, 추적 및 시각화 등의 기능을 수행하는 것을 말한다. 검출된 이동물체를 사람, 차량, 등으로 분류하기도 한다. 영상기반 개인인식 및 식별 기술 관련하여 원거리 걸음걸이 인식 등 다양한 시도들이 진행된 바 있다[13]. 그림 1은 지능형 영상보안 시스템의 일반적인 모델

* 교신저자(Corresponding Author): 이명호, 주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 (449-728), 전화: 031-330-6783, FAX: 031-330-6783, E-mail: myunghoi@mju.ac.kr
* 명지대학교 컴퓨터공학과 부교수

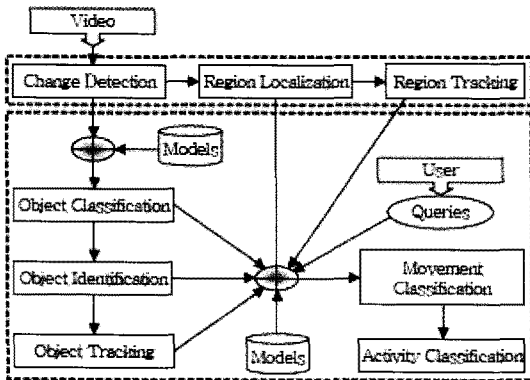


그림 1. 지능형 영상보안 모델(2)

을 나타내고 있다. 지능형 영상보안 시스템은 특정 응용영역에 관계 없이 공통적으로 필요한 움직임 검출(change detection), 영역 검출(region localization), 영역 추적(region tracking) 모듈들과 응용에 따라 기능의 변화가 필요한 객체 분류(object classification), 객체 인식 및 추적(object identification and tracking) 등 가변적 모듈들로 구분할 수 있다. 움직임 검출은 입력되는 영상에서 이전 영상과 다른 영역을 찾아내는 과정이며, 그에 따른 특징을 이용하여 영역검출 및 추적을 가능하게 할 수 있다. 객체 분류는 사전에 분류 및 정의된 객체 모델들을 이용하여, 객체를 분류하고 인식 및 추적 과정을 통하여 움직임을 분류해 낼 수 있다. 움직임의 분류 또한 사전에 정의해 놓은 행위 모델 등을 이용할 수 있다.

CCTV/DVR 기반 영상보안 기술은 기본적으로 한 대의 DVR 시스템에서 다수(보통 16대 이상)의 카메라로부터 입력 받은 영상을 실시간 압축 및 저장하는 기술을 사용하고 있다. 이에 반하여 지능형 영상보안 기술은 하나의 카메라로부터의 입력영상을 실시간 분석하는 데도 많은 컴퓨팅 파워 및 비용을 요구로 한다. 따라서, CCTV/DVR 기술과 통합된 지능형 영상보안 시스템을 구현하려면 엄청난 계산량과 하드웨어 비용의 문

제에 직면하게 된다.

지능형 영상보안에서의 높은 계산 요구량을 충족시키기 위하여 많은 연구들이 진행되고 있다. 이러한 연구는 각각의 CCTV에 장착할 고성능의 임베디드 시스템 개발, CCTV 카메라의 스마트화를 통하여 일정부분의 영상처리를 담당하고 나머지는 중앙의 고성능 컴퓨터 시스템으로 보내어 실시간 영상보안을 구현하는 기술, 등으로 나누어 볼 수 있다. 어떠한 경우이든지 고성능 임베디드 시스템의 적용을 통한 지능형 영상보안 시스템의 구축이 앞으로의 나아갈 방향이라는 것은 주지의 사실이다.

본 원고에서는 최근의 고성능 컴퓨팅 기술 중, 임베디드 시스템 및 데스크탑 시스템에서의 슈퍼 컴퓨팅이 가능해지도록 해주는 멀티-코어 CPU 및 GPU 기술들의 동향을 살펴보고 이들의 지능형 영상보안에서의 적용 예들을 알아보며, 앞으로의 발전방향을 전망해본다.

2. 멀티-코어 CPU의 활용

트랜지스터 집적도의 꾸준한 증가에 힘입어 상대적으로 넓어진 칩 영역의 사용을 최적화하기 위하여 마이크로프로세서 설계자들은 지난 10 여년 동안 많은 디자인들을 고려했다. 여러 디자인들 중 가장 두드러진 특징은 여러 개의 CPU 코어를 하나의 칩 안에 집적시키는 멀티-코어 프로세서라고 할 수 있다. 멀티-코어 이전의 디자인들은 강력한 기능을 가진 복잡한 코어 하나를 설계하여 칩에 내장시켰으나, 멀티-코어에서는 비교적 단순한 기능의 코어 여러 개를 칩 안에 집적시킴으로써 설계에 드는 시간과 비용을 단축할 수 있었다. 또한 이전의 디자인이 칩에 내장되던 한 코어의 성능을 극대화하는 것을 목표로 삼았던 반면, 멀티-코어에서는 여러 코어들의 종합적 성

능(Aggregate Performance) 또는 전체 처리량(Throughput)을 극대화하는 것을 목표로 함으로써 디자인 패러다임의 근본적 변화를 가져왔다. 즉, 멀티-코어 이전의 디자인들은 명령어 수준의 병렬성(Instruction-Level Parallelism: ILP)에 의존한 반면, 멀티-코어 프로세서 디자인은 주로 쓰레드 수준의 병렬성(Thread-Level Parallelism : TLP)에 의존한다는 점이 근본적인 차이점이라고 할 수 있다(그림 2 참조).

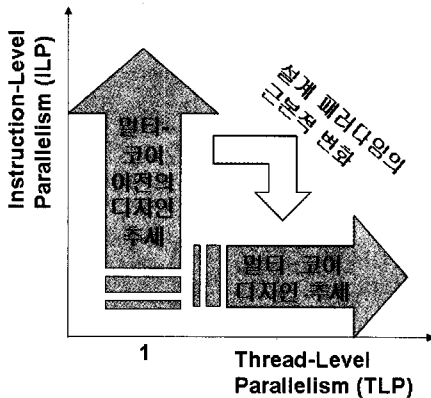


그림 2. 멀티-코어 이전의 프로세서와 멀티-코어 프로세서의 차이점

최초의 범용 멀티-코어 마이크로프로세서는 2004년 Sun Microsystems에서 출시된 UltraSPARC IV[11]로서 2002년에 개발된 UltraSPARC III-Cu CPU 코어 두 개를 하나의 칩 안에 집적시킨 Dual-코어 제품이었다. 그 이후 Intel, AMD [1], IBM, Fujitsu, 등 거의 모든 마이크로프로세서 제조업체들이 멀티-코어 제품들을 출시해왔다. Intel, AMD 등은 Dual-코어를 넘어서 2007년에 45nm 공정의 Quad-코어 제품을 상용화시켰다. 2010년 현재, Intel의 경우 4-코어에서 8-스레드의 실행이 가능한 Nehalem 칩을 출시했으며, AMD는 6-코어 칩 두 개를 하나로 packaging한 12-코어 제품을 선보이고 있다. 앞

으로도 범용 멀티-코어 마이크로프로세서는 칩 안에 집적될 코어의 개수가 크게 늘어나, 멀티-코어를 넘어 매니-코어(Many-Core) 프로세서의 시대를 열어갈 것이다.

업체들 별로 조금씩 다른 디자인을 선보이고 있지만, 현재의 범용 멀티-코어 마이크로프로세서는 최초의 Dual-코어 또는 Quad-코어 제품들과 비교하여 일반적으로 다음과 같은 개선된 설계상의 특징을 가지고 있다[11](그림 3 참조) :

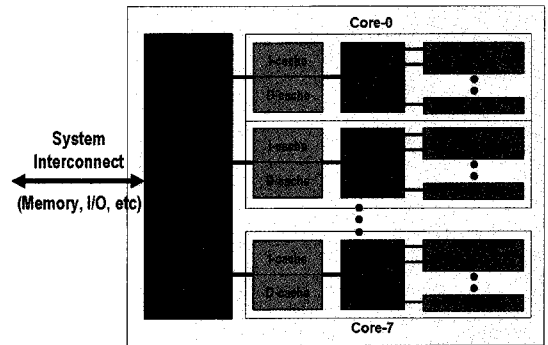


그림 3. 현재의 범용 멀티-코어 마이크로프로세서의 구조

- 획기적으로 높아진 칩 수준의 병렬성 :
 - 칩 안에 내장될 코어들의 개수가 8-코어 또는 그 이상으로 늘어난다.
 - 각 코어들은 내부적으로 동시적 멀티쓰레딩 (Simultaneous Multi-Threading: SMT)과 같은 기술이 내장되어 여러 개의 쓰레드들을 실행할 수 있게 설계된다.
 - 따라서 칩 전체의 병렬성이 현재의 Dual-코어나 Quad-코어에 비교해 크게 높아진다.
 - 높아진 TLP는 두 단계(코어 수준, 쓰레드 수준)로 이루어진다.
- 다 단계 캐시 구조 :
 - 칩 안에 집적될 코어의 개수가 늘어남으로 인하여, 캐시의 구조도 이에 맞추어 설계된다.

- 각 코어 전용의 작은 용량을 갖는 L1 캐시, 모든 코어가 공유하는 큰 용량의 L2 캐시, 등, 다 단계 구조를 갖도록 설계된다.
- 자원들의 공유 심화 :
 - 기능 유닛 : 부동 소수점 유닛(Floating-Point Unit : FPU)과 같은 일부 기능 유닛들이 같은 코어 내부의 쓰레드들 간에 또는 코어들 간에 공유된다.
 - 공유 캐시 : 각 코어 전용으로 사용되는 level-1 (L1) 캐시는 코어 내부의 쓰레드들 간에 공유되고, 이와 별도로 모든 코어가 공유하는 큰 용량의 level-2 (L2) 캐시를 갖는다.
 - 캐시/메모리 버스 : 캐시 버스 및 메모리 버스 등도 쓰레드들/코어들 간에 공유된다.

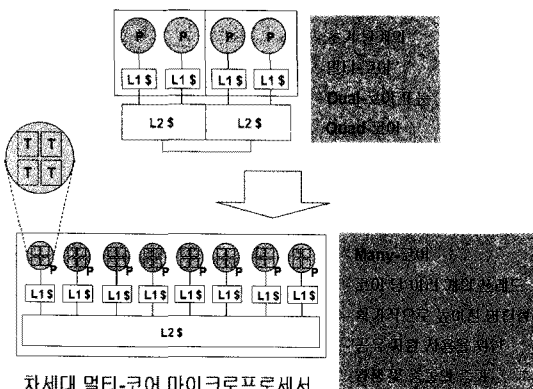
차세대 매니-코어 마이크로프로세서는 획기적으로 높아진 병렬성과 이로 인한 공유 자원들의 사용을 위한 쓰레드와 코어들의 경쟁과 충돌의 증가로 특징지을 수 있다(그림 4 참조). 또한 이러한 매니-코어 프로세서들을 기반으로 하는 SMP 클러스터 형태의 서버들은 쓰레드 수준, 코어 수준, 칩 수준의 다 단계 병렬성을 갖는다. 이러한 서버 상에서 응용 프로그램의 성능을 최적화하기

위하여

- 쓰레드들과 코어들 간의 공유 자원 사용 최적화
- 서버 구조에 맞는 병렬화 기법 및 새로운 실용적 병렬 프로그래밍 모델의 개발 등이 필수적이다.

이러한 매니-코어 마이크로프로세서 설계의 추세는 임베디드 시스템을 위한 프로세서의 설계에도 영향을 미쳐, ARM11 Mpcore와 같은 최근의 임베디드 프로세서들은 4-코어를 장착한 형태로 설계되어 있다. 임베디드 프로세서의 멀티-코어화는 에너지 사용을 줄여주어 전력사용을 최적화하는 데에 요긴한 기법으로 사용되고 있다. 또한 하나의 복잡한 코어로 프로세서를 설계하는 것과 비교하여 적은 칩 영역을 사용하게 되어 칩 크기를 줄이는 데 도움이 된다. 이러한 멀티-코어 임베디드 프로세서를 지능형 영상보안을 위한 CCTV 용 카메라, 또는 스마트 카메라, 등에 적합한 크기로, 성능 요구사항을 만족하는 범위에서 설계하여 장착하게 되면 실시간 영상분석, 이동물체의 탐지, 추적, 등을 수행할 수 있게 될 것이다. 이러한 종류의 임베디드 시스템 개발이 앞으로 유망할 것으로 예상된다.

현재의 멀티-코어 마이크로프로세서



차세대 멀티-코어 마이크로프로세서

그림 4. 차세대 매니-코어 마이크로프로세서의 특징

3. GPU의 활용

GPU (Graphic Processing Unit)는 컴퓨터의 영상정보를 처리하거나 화면 출력을 담당하는 그래픽 처리용의 보조 프로세서(Co-Processor)이다. 1990년대 후반 3D게임들과 DirectX의 등장으로 이전의 그래픽 카드에 없던 3D 그래픽 처리를 위한 가속 기능이 필요하게 되었고 이에 맞추어 GPU가 등장하게 되었다[6]. GPU의 등장으로 이전의 CPU에서 처리하던 영상 처리가 GPU로 옮겨짐으로써 CPU의 계산량 부담도 덜어주게 되었

다. 최초의 GPU는 1999년 8월, 지금은 유명한 GeForce 시리즈의 최초 모델인 NVidia GeForce 256으로 등장하게 되었다. 그 이후 지난 10년간의 계속된 발전으로 현재는 거의 모든 Desktop 컴퓨터에 GPU가 사용되기에 이르렀다. 초기 GPU의 클럭 속도가 120MHz였던 반면 최근 GPU의 경우 NVidia GeForce 9 시리즈가 675MHz에 이를 만큼 그 성능이 크게 발전하였다. GPU의 성능 향상은 특히 부동 소수점 연산 능력에서 두드러지게 나타나는데, 그림 5에서 보듯 2003년 이후 GPU의 부동 소수점 연산 능력은 최신의 마이크로프로세서를 능가하게 되었고 그 격차는 점점 확대되어 가고 있다.

GPU는 CPU와 달리 그래픽 처리에 특화된 칩이기 때문에 DirectX나 OpenGL과 같은 그래픽 API를 이용해 간접적으로 일반연산을 처리하는 방법을 사용해 왔다[7]. 이 방법은 하드웨어를 효율적으로 사용하지 못하고 프로그래머의 직관성을 해치는 등의 어려움을 야기해 왔다. 최근의 GPU에서는 Shader, Vertex, Pixel 처리부 등으로 나뉘어 있던 부분들이 하나로 통합되면서 Programmable한 프로세서로 대체되고 있다(그림 6 참조). 하나의 GPU 카드에 동일한 여러 처리 유

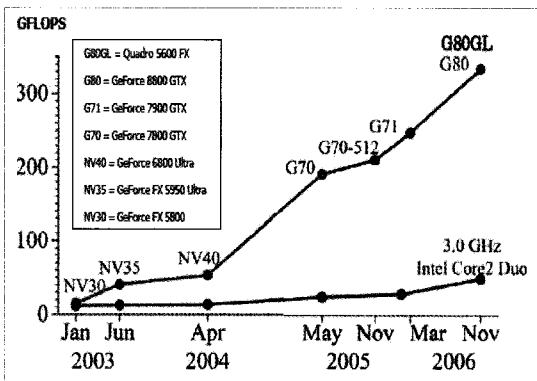


그림 5. 마이크로프로세서와 GPU의 초당 부동 소수점 연산량 비교

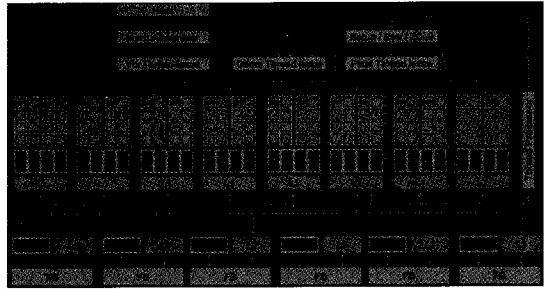


그림 6. NVidia G80 GPU 구조(6)

닛들이 내장되어 On-Chip 병렬성을 활용한 높은 성능 구현이 가능하게 되었다. 이는 3D 영상 처리 응용 프로그램들이 SIMD (Single Instruction Multiple Data) 방식의 병렬 처리에 적합한 점에 기인한다. 이러한 Programmable 프로세서 기반의 GPU들의 등장은 이들이 그래픽 연산뿐 아니라 많은 계산량을 필요로 하는 고성능 컴퓨팅과 같은 보다 범용 응용 분야로 사용이 확대되는 계기를 제공하고 있다. 이러한 GPU의 범용화를 촉진하기 위한 솔루션들이 개발 되고 있다. 여러 솔루션들 중 대표적인 것이 NVidia 사에서 개발된 C언어를 확장한 CUDA 개발 환경이다[7].

CUDA 개발 환경은 CUDA 전용 드라이버와 CUDA Toolkit으로 이루어져 있다. CUDA 전용 드라이버를 활용하면 Programmable한 여러 처리 유닛들(또는 쓰레드 프로세서들)에 소프트웨어 쓰레드를 분배하여 병렬 처리를 가능하게 해준다. Toolkit에 포함된 CUDA 컴파일러와 라이브러리는 C언어를 기반으로 한 환경이기 때문에 일반 CPU 응용 프로그래머가 쉽게 다룰 수 있다는 장점이 있다. CUDA에서 제공하는 라이브러리들은 GPU의 메모리에 할당과 접근을 쉽게 해줄 뿐 아니라 Fast Fourier Transformation (FFT) 등의 함수들이 효율적으로 GPU 상에 실행될 수 있도록 하는데 큰 도움을 준다[7]. CUDA의 이러한 기능들은 기존 GPU가 가지고 있는 스트림 컴퓨팅

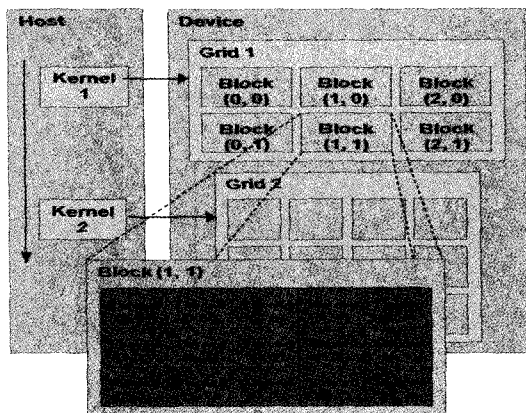


그림 7. CUDA 프로그램의 구조

의 한계를 뛰어넘는 탁월한 성능을 보여준다.

GPU를 활용한 고성능 컴퓨팅은 많은 성공 사례를 써가고 있다. NVidia의 CUDA를 사용한 성능 향상의 많은 예들이 최근 보고 된 바 있다. 이들 중 지능형 영상 보안과 밀접한 관련이 있는 H.264 비디오 인코딩의 예를 살펴본다[14].

- 미디어의 전성시대를 맞이한 지금의 추세에서 고용량 미디어의 압축 기술은 필수 불가결하다. 그러나 이러한 압축 알고리즘에서 Motion Estimation (ME)이 계산의 큰 부분을 차지한다. ME 연산은 높은 복잡도의 연산이기보다 매우 많은 독립적인 단순 연산이기 때문에 SIMD 방식의 병렬 처리가 가능하여 비교적 쉽게 GPU를 활용하여 성능의 향상을 가져 올 수 있었다. ME 연산이 전체 인코딩 시간의 80%를 차지하는 Full Search의 경우 CPU만 사용하여 연산을 수행한 경우에 비해 36배의 성능 향상을 관찰할 수 있었다. (CPU는 Intel Q6600, DRAM = 4GB, GPU는 NVidia GeForce 8800GTS, CUDA 활용)
- 그 이외에도 최근 많은 관련 연구 및 기술개발들이 이루어지고 있다. 예를 들어 영국의 BiKal IP CCTV 사는 최근 CUDA 기반의 실시간 영상 처리 및 전송 기술이 탑재된 소프트웨

어 EyeSoft를 발표하고, 판매에 열을 올리고 있다. 이 소프트웨어는 MJPEG, MPEG4, 및 H.264를 모두 지원할 수 있도록 설계되었다.

이러한 예들 이외에도 매우 다양한 다른 응용 분야에서도(예를 들어 Neural Network[15], 주주 해석 시뮬레이션, Molecular Dynamics Simulation, Medical Imaging[9], 등) CUDA가 적용되어 큰 성능 향상 결과를 보인 바 있다.

4. 향후 전망

최근 멀티-코어 CPU 및 GPU의 혁신적인 성능 향상과 사용하기 쉬운 프로그래밍 환경의 개발로 이들을 활용한 임베디드 및 Desktop 고성능 컴퓨팅이 현실로 다가왔다. 이러한 발전은 전통적인 고성능 컴퓨팅 분야인 주주 해석, 계산 유체 역학, 기상 예측 모델링, 등의 분야뿐만 아니라 본 원고에서 다루는 지능형 영상 보안을 위한 비디오 인코딩과 같은 응용 분야로까지 확대되고 있다. 이러한 임베디드 및 Desktop 고성능 컴퓨팅은 마치 천문학에서 천체 망원경의 발명과 같이, 지능형 영상보안 응용 분야에 새로운 지평을 열어줄 것으로 예상된다. 또한 이를 통하여 최신의 임베디드 멀티-코어 CPU 및 GPU를 탑재한 고성능 CCTV 카메라 및 보안 시스템의 보급이 크게 늘어 관련 업계의 매출 신장에도 크게 기여할 것이다. 이러한 영상보안 시스템의 성능을 최대한 끌어내기 위해서는 두 종류의 칩들(임베디드 멀티-코어 CPU, GPU)의 사용을 최적화 할 수 있는 병렬화 및 관리 기법들의 개발이 필수적이다. 관련 기술들이 순조롭게 개발된다면, 지금보다 한 차원 더 높은 고성능을 구현함으로써 지능형 영상보안 분야에서 고성능 컴퓨팅의 지평을 확대하여 더 큰 파급 효과를 미치게 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] "AMD ATI Radeon™ HD 4800 Series," <http://ati.amd.com/products/radeonhd4800/index.html>

[2] R.T. Collins et al., A System for Video Surveillance and Monitoring, CMU-RI-TR-00-12, Carnegie Mellon University, 2000.

[3] A. Hampapur et al., "Smart Video Surveillance," in IEEE Signal Processing Magazine, Mar. 2005, pp. 38-51.

[4] A.K. Jain, R.M. Bolle, and S. Pankanti, BIOMETRICS - "Personal Identification in Networked Society," Kluwer Academic Publishers, Jan. 1999.

[5] H. Kruegle, CCTV Surveillance: Analog and Digital Video Practices and Technology, Elsevier, 2007.

[6] "NVidia gtx280," http://kr.nvidia.com/object/geforce_family_kr.html

[7] "NVidia CUDA," <http://developer.nvidia.com/object/cuda.html>

[8] Matt Pharr et. al., "GPU Gems 2," Addison Wesley, 2004.

[9] Sam S. Stone, Haoran Yi, Justin P. Haldar, Wen-mei W. Hwu, Bradley P. Sutton, and Zhi-Pei Liang, "How GPUs Can Improve the Quality of Magnetic Resonance Imaging," Urbana, IL, 2008.

[10] M.H. Sedky, M. Moniri, and C.C. Chibelushi, "Classification of Smart Video Surveillance Systems for Commercial Applications," in Proc. of IEEE AVSS 2005, Sep. 2005, pp. 638-643.

[11] L. Spracklen and S. Abraham, *Chip Multi-Threading: Opportunities and Challenges*, 11th International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA-11), pp. 248-252, 2005.

[12] M. Valera and S.A. Velastine, "A Review of the State-of-art in Distributed Surveillance Systems," in Intelligent Distributed Video Surveillance Systems, S.A. Velastin and P. Remagnino, Eds., IEE, UK, 2006, pp.1-30.

[13] U.S. Government, Human ID at a Distance, DARPA Project, 2004.

[14] 이재규, "GPU를 이용한 비디오 인코딩," <http://kr.nvidia.com/content/cudazone/download/showcase/kr/Vocoweb-GPU-assisted-Video-Encoder.pdf>, 2008.

[15] 정기철, "Implementation of Neural Networks using CUDA and OpenMP," 한국정보과학회 하계 학술대회, 2008.

[16] 전자부품연구원, 보안용 DVR(Digital Video Recorder) 산업동향, 2004년 7월

[17] 정보통신연구진흥원, "CCTV-DVR 수출/수입 전망은?", IT 수출입 동향 Newsletter, 5권 2호, 2007년.

[18] 한국전자산업진흥회, CCTV 산업 동향, 2008년.



이 명 호

- 1986년 서울대학교 계산통계학과 (학사)
- 1988년 미국 University of Southern California 컴퓨터학과 (석사)
- 1999년 미국 University of Southern California 컴퓨터공학과 (박사)
- 1999년~2003년 미국 Sun Microsystems, Inc. Scalable Systems Group, 책임 연구원
- 2003년~2005년 미국 Sun Microsystems, Inc. Scalable Systems Group, 수석 연구원
- 2004년~2008년 명지대학교 컴퓨터소프트웨어학과 조교수
- 2008년~현재 명지대학교 컴퓨터소프트웨어학과 부교수
- 관심분야: 고성능 컴퓨팅, 병렬 알고리즘, 멀티-코어 마이크로프로세서, 컴퓨터 보안