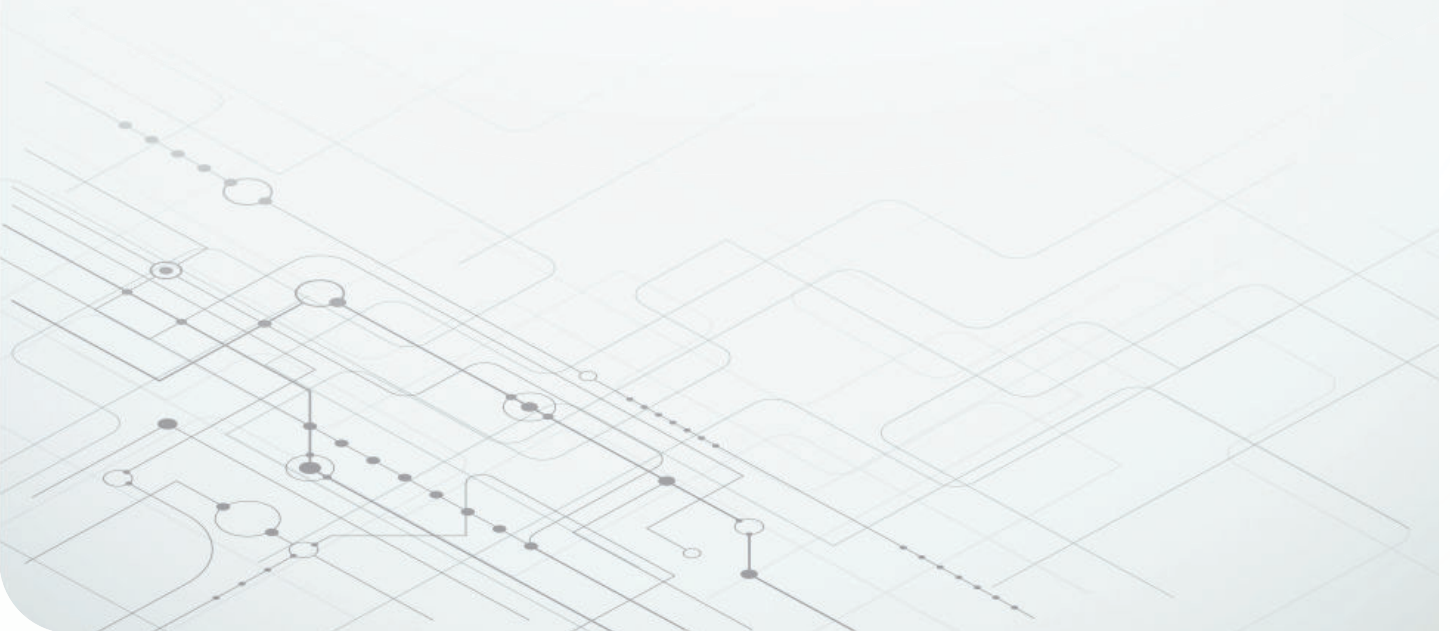


고도로 통합된 프로세서를 사용해 효율적인 에지 AI 시스템 설계



Manisha Agrawal
Product Marketing
Jacinto™ Processors



자동화의 확장은 공장 현장에서 정문까지 증가하고 있습니다.

한눈에 보기

한눈에 보기 이 백서에서는 효율적인 에지 인공지능(AI) 시스템을 구축하기 위한 요구 사항과 비전 프로세서가 이중 아키텍처 및 확장 가능한 AI 성능으로 인해 성능을 최적화하는 데 어떤 도움이 되는지 설명합니다.



에지에서 AI 정의

에지에 인공지능 정의. 다양한 종류의 시스템이 에지 AI 처리로부터 혜택을 받을 수 있습니다.

1



효율적인 에지 AI 시스템이란 무엇입니까?

실용적인 에지 AI 시스템이란 무엇입니까? 시스템에 필요한 작업을 가장 잘 완료할 수 있는 아키텍처와 코어를 고려합니다.

2



TI 비전 프로세서로 에지 AI 시스템 설계

TDA4 및 AM6xA SoC(시스템 온 칩)와 같은 비전 AI 프로세서를 사용한 에지 AI 시스템을 설계. 이러한 SoC는 낮은 전력 및 낮은 시스템 BOM 비용으로 확장 가능한 처리량 및 컴퓨팅 성능을 제공하도록 설계되었습니다.

3

머리말

소비자가 온라인으로 제품을 주문할 때 자동화는 원자재 생산, 창고 생산성 향상, 자택 배송 등 프로세스의 모든 단계에서 효율성을 높입니다. 때로는 단 몇 시간 뒤에 가능합니다. 이러한 자동화 분야의 놀라운 발전을 이어나가려면 더 나은 기계 인식과 지능이 필요하며, 이는 에지 장치에 인공지능(AI)을 도입함으로써 달성할 수 있습니다.

더 빠르고, 더 스마트하고, 더 정확한 시스템을 만들기 위해서는 더 많은 센서에서 더 많은 데이터가 필요하며, 처리 성능이 증가합니다. 그러나 더 많은 데이터와 컴퓨팅으로 인해 시스템 성능과 전력 및 비용 요구 사항을 해결해야 합니다. 시스템 최적화와 개발 주기 단축으로 인해 에지 AI 시스템 설계에 실용적인 접근 방식이 필요합니다.

에지에서 AI 정의

에지 AI는 AI 알고리즘이 클라우드가 아닌 로컬 장치에서 처리되면 발생하며 DNN(Deep Neural Network)이 주요 알고리즘 구성 요소인 산업 및 오토모티브 애플리케이션에서 가능한 것을 변화시키고 있습니다. 크기에 제약이 있고, 전력 및 발열이 제한되며, 비용이 제한적인 환경에서 효율적으로 작동하려면 에지 AI 애플리케이션이 애플리케이션 및 해당 작업에 고유한 고급 통합과 고속 저전력 처리가 필요합니다. **그림 1**에서는 에지 AI 처리를 사용하여 성능과 효율성을 개선할 수 있는 몇 가지 애플리케이션을 보여줍니다. 예를 들어 비전 입력을 사용하는 에지 AI 시스템은 생산 라인의 품질 제어를 위한 단일 카메라 또는 차량이나 모바일 로봇의 기능 안전을 지원하는 여러 카메라를 구현할 수 있습니다.



그림 1. 에지의 인텔리전스는 여러 애플리케이션에 존재합니다

에지 AI 시스템은 창고와 공장의 효율성을 개선하고, 도시, 건설 및 농업을 더 안전하고 더 효율적으로 만들고, 가정과 소매 환경을 스마트하게 만듭니다. 효율적인 에지 AI 프로세서가 필요한 시스템을 몇 가지 살펴보겠습니다.

1. **ADAS(첨단 운전자 보조 시스템)**. ADAS 기술은 차량 주변 환경에 대한 정보 통찰력을 제공하여 더 편리하고, 스트레스를 덜 받고, 더 안전하게 운전할 수 있도록 합니다. 대부분의 ADAS 기능은 시야 기반 시스템이며, 여러 카메라 센서에서 고해상도 입력을 받고, 딥 러닝 및 컴퓨터 비전 알고리즘을 사용하여 이러한 ADAS 기술을 해석하면 차량 주변 환경에 대한 정보를 파악하여 더 편리하고, 스트레스를 덜 받고, 더 안전하게 운전할 수 있습니다. 대부분의 ADAS 기능은 비전 기반 시스템이며, 여러 카메라 센서에서 고해상도 입력을 받

고, 딥 러닝 및 컴퓨터 비전 알고리즘을 사용하여 이러한 이미지를 해석합니다.

- 자율 모바일 로봇 및 드론.** 상용 실행 가능한 로봇의 경우 SoC(시스템 온 칩)는 최적화된 시스템 비용으로 고속 및 저전력으로 복잡한 인식 및 내비게이션 스택을 처리해야 합니다. 또한 SoC는 시스템 효율성을 극대화하기 위해 이미지 디워핑, 스테레오 깊이 예측, 스케일링, 이미지 피라미드 생성 및 딥 러닝과 같은 계산 집약적 작업을 오프로드해야 합니다.
- 스마트 장바구니.** 스마트 장바구니는 품목을 장바구니에 넣을 때 주문 합계를 계산하고, 쇼핑 목록 품목을 추천하며, 고객이 장바구니의 식료품을 결제할 수 있도록 하여 고객이 보다 맞춤형 쇼핑 환경을 제공하고, 계산대를 건너뛸 수 있도록 합니다. 대부분의 스마트 쇼핑 카트는 카메라 및 컴퓨터 비전 기능으로 항목을 자동으로 감지하는 다중 비전 센서를 갖추고 있습니다. 스마트 장바구니는 물품을 장바구니에 담았을 때 주문 합계를 계산하고, 쇼핑 목록 품목을 추천하며, 고객이 장바구니에 있는 식료품을 결제할 수 있습니다. 고객이 보다 맞춤형 쇼핑 환경을 이용할 수 있고 계산대를 건너뛸 수 있습니다.
- 에지 AI 박스.** 에지 AI 박스는 소매 자동화, 공장 모니터링 및 건물 감시 시스템에 사용되는 카메라 시스템을 지능적으로 확장하는 것입니다. 크기 제약, 전력 및 열 손실 과제에도 불구하고 처리량이 높은 AI를 사용하면 박스가 더 많은 수의 카메라에 대한 지능형 처리 작업을 수행할 수 있습니다.
- 머신 비전 카메라.** 광학 문자 인식, 물체 식별, 결함 감지 및 로봇 ARM 지침을 위한 머신 비전 카메라는 임베디드 AI 기술을 활용하여 제품 개발을 더욱 간소화하고 시스템 정확도를 높입니다.

표 1에는 다양한 애플리케이션의 시스템 요구 사항이 나와 있습니다.

	ADAS	로봇	스마트 리테일	머신 비전	에지 AI 박스
딥 러닝 가속기	x	x	x	x	x
다중 카메라 이미지 신호 처리(ISP)	x	x	x	x	x
비전 가속기	x	x	x	x	x
깊이와 동작 인식 가속기	x	x	x	x	x
이더넷 스위치	x	x			x

	ADAS	로봇	스마트 리테일	머신 비전	에지 AI 박스
PCIe(Peripheral Component Interconnect Express) 스위치	x	x			
기능 안전	x	x			

표 1. 에지 AI 시스템의 주요 프로세싱 및 구성 요소 요구 사항.

효율적인 에지 AI 시스템이란 무엇입니까?

효율적인 에지 AI 시스템에서 DNN은 스스로 작동할 수 없습니다. 효율적인 AI 시스템에는 단일 또는 멀티 카메라 이미지 프로세싱, 기존의 컴퓨터 비전, 심지어 여러 DNN을 포함한 복잡한 비전 파이프라인이 필요합니다. 일부 애플리케이션에는 비디오 인코더와 디코더가 필요할 수도 있습니다. 이러한 모든 입력을 처리하려면 고성능 컴퓨팅이 필요합니다. 또한, 시스템은 향상된 보안 및 기능 안전성으로 시스템 복잡성과 비용을 증가할 수 있습니다.

효율적인 에지 AI 시스템은 다음을 위해 최적화되어야 합니다.

- 성능.** 임베디드 프로세서는 혹독한 환경에서도 안정적으로 작동하는 동시에 시스템에 필요한 속도, 지연 시간 및 정확도를 제공할 수 있어야 합니다.
- 설계 제약 조건.** 임베디드 프로세서는 팬이 없고, 패시브 냉각을 사용하거나 배터리 전원으로 더 긴 시간 동안 작동해야 하는 설계를 포함하여 전력 및 열 제약 조건을 가진 설계에서 작동해야 합니다. 또한 프로세서는 물리적 제약 조건을 준수하기 위해 크기 및 무게 사양을 충족해야 합니다.
- 비용.** 고성능의 비용 효율적인 처리를 가능하게 하면 가능한 가장 낮은 BOM(재료 사양서) 비용을 산출할 수 있습니다.

효율적인 에지 AI 시스템을 구축하려면 설계자는 시스템에 필요한 작업을 가장 잘 완료할 아키텍처 및 코어를 고려해야 합니다.

SoC 아키텍처 선택

임베디드 프로세서 설계 옵션에는 동종 아키텍처 및 이종 아키텍처의 두 가지 유형이 있습니다. 일반적으로 특정 작업을 처리하기 위해 특수 프로세싱 기능을 통합합니다. 필요한 코어 유형을 기반으로 에지 AI 시스템의 요구 사항을 가장 잘 충족하는 아키텍처를 평가해야 합니다.

에지 AI 시스템의 목표는 최적의 코어에서 AI, 비전, 비디오 및 기타 작업을 실행하여 결과적으로 시스템이 와트 당 성능, 초당 TOPS 성능, 비용, 크기 및 무게에 최적화되도록 하는 것입니다. 작업에 적합한 코어를 가진 이중 아키텍처가 에지 AI 시스템에 매우 중요합니다.

이중 아키텍처를 가진 모든 프로세서가 동일하게 설계된 것은 아닙니다. 실리콘 공급업체는 올바른 처리 기능이나 프로세스를 선택하고, 하드웨어에서 이러한 기능을 가속화할지, 구성 가능할지 프로그래밍 가능할지 결정해야 합니다. 또한 시스템에 코어를 통합하는 데도 주의를 기울여야 합니다. 버스 아키텍처와 메모리 하위 시스템은 코어 간의 효율적인 데이터 이동을 가능하게 해야 합니다.

비전 기반 에지 AI 시스템은 SoC에 작업 가속에 대한 잘못된 코어 유형이 있거나 효율적으로 관리되지 않는 코어가 너무 많음, 또는 비효율적인 버스 인프라 및 메모리 하위 시스템이 있는 경우 비효율적일 수 있습니다.

프로그래머블 코어 유형 및 가속기

이제 에지 AI 시스템에서 가능한 핵심 유형을 살펴보겠습니다.

CPU

CPU(중앙 처리 장치)는 순차적 워크로드를 처리할 수 있는 범용 처리 장치입니다. 이러한 API는 프로그래밍 유연성이 뛰어나며 기존의 대규모 코드 베이스를 활용할 수 있는 이점을 제공합니다. 일반적으로 대부분의 에지 AI 시스템에는 플랫폼과 기능이 풍부한 애플리케이션을 관리하기 위한 2~8개의 CPU 코어가 있습니다. 그러나 CPU만 사용하는 시스템은 픽셀 수준 이미징, 컴퓨터 비전, CNN(Convolution Neural Network) 처리와 같이 고도로 전문화된 작업에 적합하지 않습니다. 또한 CPU는 전력 소비량이 높지만 여러 코어 유형 중 처리량이 가장 적습니다. AI 가속, 이미지 처리와 같은 전용 하드웨어 블록과 결합된 단일 코어 CPU 시스템을 사용하여 저비용 애플리케이션의 전력 예산 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

GPU

GPU(그래픽 처리 장치)에는 병렬 처리 작업에 적합한 수백 개에서 수천 개의 작은 코어가 있습니다. 원래 일련의 그래픽 작업을 구현하도록 설계된 GPU는 딥 러닝 애플리케이션에서 일반적으로 사용되는 GPU로, DNN 교육에 특히 유

용합니다. 주요 단점 중 하나는 코어 수가 많기 때문에 GPU는 많은 전력을 소비하고 온칩 메모리 요구 사항이 더 많다는 점입니다.

DSP

DSP(디지털 신호 프로세서)는 일반적으로 여러 복잡한 수학 문제를 해결하도록 설계된 전력 효율적인 특수 코어입니다. DSP는 실제 비전, 오디오, 음성, 레이더 및 소나 센서의 저전력 실시간 데이터를 처리합니다. DSP는 클럭 사이클당 처리를 극대화하는 데 도움이 됩니다. 프로그래밍하기가 쉽지 않지만 최고의 성능을 달성하기 위해 DSP 하드웨어 기능, 프로그래밍 환경 및 DSP 소프트웨어 최적화에 대해 익숙해야 합니다.

ASIC

ASIC(애플리케이션별 통합 회로) 및 가속기는 시스템 애플리케이션에 대해 최저 전력으로 최대의 성능을 제공합니다. 가속할 함수의 코어 커널을 알고 있을 때 많이 사용되는 선택 요소입니다. 예를 들어, CNN의 코어 계산에는 항상 행렬 곱셈이 포함됩니다. 기존의 컴퓨터 비전 작업 시, 전용 하드웨어 가속기는 이미지 스케일링, 렌즈 왜곡 보정 및 잡음 필터링과 같은 작업을 계산할 수 있습니다.

프로세서를

FPGA(Field Programmable Gate Array)는 특정 애플리케이션에 대해 하드웨어 블록을 다시 프로그래밍하고 대상을 지정할 수 있는 통합 회로 클래스입니다. GPU 및 CPU 보다 전력 소비량이 낮지만 ASIC보다 더 많은 전력을 사용합니다. 그러나 하드웨어는 프로그래밍하기 어렵고 Verilog 또는 초고속 IC 하드웨어 설명 언어 같은 하드웨어 설명자 언어에 대한 전문 지식이 필요합니다.

TI 비전 프로세서로 에지 AI 시스템 설계

TI의 비전 프로세서 포트폴리오는 크기와 전력 제약이 주요 설계 과제인 애플리케이션에서 효율적이고 확장 가능한 AI 처리를 지원하기 위해 제작되었습니다

AM6xA 및 TDA4 프로세서 제품군이 포함된 이러한 프로세서는 딥 러닝을 위한 AI 처리 2~32 TOPS(초당 테라연산)를 제공하는 Arm® Cortex®-A72 또는 Cortex-A53 CPU, 내부 메모리, 인터페이스 및 하드웨어 가속기를 비롯한 비전 시스템을 위한 광범위한 통합을 포함하는 SoC 아키텍처를 갖추고 있습니다.

AM6xA 제품군은 Arm Cortex-A MPU를 사용하여 **그림 2**에 나와 있는 것처럼 딥 러닝 추론, 이미징, 비전, 비디오 및 그래픽 처리 같은 계산 집약적 작업을 특수 하드웨어 액셀러레이터 및 프로그래머블 코어로 오프로드합니다. 이러한 프로세서에 고급 시스템 부품을 통합하면 에지 AI 설계자가 시스템 BOM을 간소화할 수 있습니다. 이 프로세서 포트폴리오에는 1~2대의 카메라를 지원하는 저전력 애플리케이션을 위한 AM62A 프로세서부터 AM68A(최대 8대의 카메라) 및 AM69A(최대 12대의 카메라)까지 확장 가능한 프로세싱 옵션이 포함되어 있습니다.

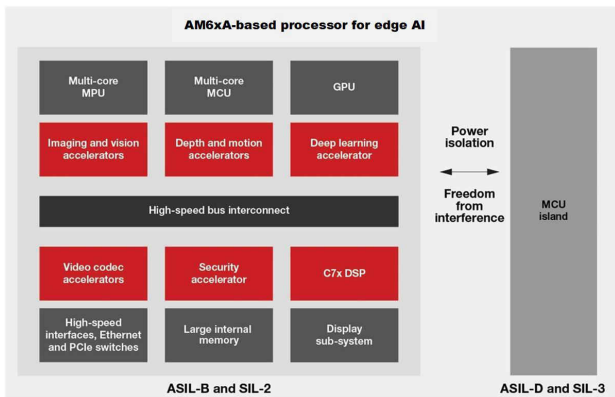


그림 2. TI 비전 프로세서 에지 AI 시스템 분할.

딥 러닝 가속기

CPU와 GPU는 다른 작업에 적합하지만 딥 러닝 작업을 가속화하는 데 가장 적합한 코어는 아닙니다. CPU는 처리량에 제한이 있으며 전력을 많이 소모합니다. GPU는 모든 코어 중에서 가장 많은 전력을 소비하며 메모리 공간이 큼니다.

TI 비전 AI 프로세서는 ASIC에서 MMA(행렬 곱셈 가속기)로 구성된 딥 러닝 가속기를 통합하여 프로그래머블 C71 DSP에 볼트로 고정됩니다. MMA는 고성능(사이클당 4K 8비트 고정 곱셈 누적)과 저전력 텐서 가속을 지원하며, C71 DSP는 벡터 및 스칼라 연산을 가속화하고 MMA를 관리합니다.

MMA와 C71 DSP의 조합은 업계 최고 성능(초당 추론)과 전력(와트 당 추론) 중에 구현하는 가속기를 생성합니다. C71 코어의 프로그래밍 유연성을 통해 에지 AI 혁신을 따라갈 수 있습니다. 또한 딥 러닝에 사용되지 않을 경우, 코어는 적은 전력을 소비하면서 다른 계산 집약적 작업을 처리할 수 있습니다.

스마트 메모리 아키텍처를 통해 가속기의 활용도를 높일 수 있습니다. 이 가속기는 자체 메모리 하위 시스템, 데이터 전송을 위한 전용 4D 프로그래밍 가능 직접 메모리 액세스(DMA) 엔진, 캐시를 우회하여 외부 메모리에서 C71 코어 및 MMA의 기능 유닛으로 데이터를 직접 가져올 수 있는 특수 스트리밍 하드웨어가 함께 제공됩니다. 바둑판식 배열 및 수퍼틸링 기능은 외부 메모리 간의 데이터 전송을 최소화합니다.

표 2은 초당 8개의 TOPS 가속 페달을 사용하여 AM68A 및 TDA4VM에서 8비트 고정 추론 성능을 보여줍니다. 보고된 성능은 배치 크기 1, 단일 32비트 LPDD4입니다.

네트워크	이미지 해상도	초당 프레임 수(fps)
MobileNet_v1	224 × 224	741
Resnet-50 V1.5	224 × 224	162
SSD-MobileNets-V1	300 × 300	385

표 2. MLPerf 권장 모델에 대한 추론 벤치마크

고지 사항: TI는 에지 AI 간섭 벤치마킹에 MLPerf 권장 모델 및 지침을 사용했습니다. TI는 아직 MLcommons 조직에 결과를 제출하지 않았습니다.

이미징 및 컴퓨터 비전 하드웨어 가속기

비전 기반 에지 AI 시스템에는 종종 단일 또는 다중 카메라 이미지 처리 및 기존의 컴퓨터 비전 작업 등이 포함됩니다. CPU 또는 GPU에서는 이러한 작업이 많은 전력을 소비하며 처리량이 제한되어 있습니다.

이 클래스의 에지 AI 프로세서 SoC는 비전 처리 가속기 코어에서 ISP, 렌즈 왜곡 보정, 다중 스케일링 및 양측 잡음 필터링과 같은 하드웨어에서 계산 집약적 저수준 무차별 암호 픽셀 처리 비전 작업을 가속화합니다. 깊이 및 동작 인식 가속기 코어는 스테레오 깊이 예측 및 고밀도 광학 흐름을 가속화하여 그림 3에 나와 있는 것처럼 환경에 대한 인식을 제고합니다.



그림 3. 비전 가속기 기능.

하드웨어에서 이러한 작업 가속은 저전력 소비와 작은 크기를 모두 줄여줍니다. 이러한 작업은 하드웨어에서 가속화되지만, 이러한 구성 기능은 여러분의 시스템 요구 사항에 가장 잘 맞는 액셀러레이터 기능을 사용하여 유연성을 제공합니다.

이러한 통합과 가속으로 사용자 지정 ISP 또는 FPGA가 필요하지 않게 되며, 하드웨어에서 계산 집약적 이미징 및 비전 작업을 처리하는 데 CPU 메가 헤르츠의 공간을 확보할 수 있습니다. 예를 들어, 단일 비전 프로세싱 가속기 코어는 30fps로 최대 8메가픽셀 또는 2대의 8메가픽셀 카메라를 처리할 수 있습니다. 깊이 및 동작 처리 가속화 코어는 초당 80메가픽셀에서 스테레오 깊이 추정을 수행하고 초당 150메가픽셀에서 모션 벡터를 계산할 수 있습니다.

스마트 내부 버스 및 메모리 아키텍처

프로세서의 데이터 이동 및 메모리 아키텍처를 모니터링하여 여러 코어를 동시에 실행할 때 다양한 코어 막힘과 지연을 방지하면 전체 시스템 성능을 극대화하는 데 도움이 될 수 있습니다.

TI 비전 AI 프로세서는 비차단 인프라 및 대용량 내부 메모리를 갖춘 고대역폭 버스 상호 연결을 제공합니다. 프로그래밍 가능한 여러 개의 전용 DMA 엔진이 매우 빠른 속도로 데이터 이동을 자동화합니다. 이 설계를 통해 하드웨어 가속기를 최대한 활용할 수 있으며, DDR(두 배 데이터 속도) 대역폭을 크게 줄일 수 있습니다. DDR 인스턴스 수를 줄이면 DDR 액세스에 사용되는 전력량이 감소하므로 전반적인 시스템 전력 소비가 줄어듭니다.

최적화된 시스템 BOM

여러 유형의 에지 AI 애플리케이션에서 시스템 BOM 비용을 절감을 줄일 수 있는 TI 비전 SoC의 고급 통합 시스템 구성 요소 및 기능을 검토해 보겠습니다.

- **ISP.** 통합 ISP 코어는 외부 ISP 또는 FPGA 설계가 필요하지 않습니다. 머신 비전, 스마트 쇼핑 카트, 로봇 및 ADAS와 같은 모든 단일 및 다중 카메라 AI 애플리케이션은 이 통합을 통해 이점을 얻을 수 있습니다.
- **안전.** Cortex-R5 코어와 함께 통합된 ASIL(Automotive Safety Integrity Level) D 및 SIL 3 규격 안전 마이크로컨트롤러(MCU)는 외부 안전 MCU 없이 안전 목표를 달성하는 데 도움이 됩니다. 나머지 프로세싱도 ASIL B/SIL 2 호환을 가지고 있으므로 이러한 아키텍처는

ADAS, 로봇, 건설 및 농업용 전자 제어 유닛 애플리케이션을 지원합니다.

- **이더넷 및 PCIe 스위치.** 이더넷 및 PCIe 스위치가 통합되어 있어 외부 스위치 구성 요소가 필요하지 않습니다.
- **보안.** 통합 보안 가속기는 첨단 보안 지원을 제공합니다.
- **DDR 메모리.** 인라인 오류 정정 코드 보호 및 일반 메모리 아키텍처에 비해 스마트 메모리를 통한 DDR 메모리 인스턴스 수가 적으므로 비용을 절감할 수 있습니다.

사용하기 쉬운 소프트웨어 개발 환경

그림 4에 나와 있는 TI의 포괄적인 소프트웨어 환경을 통해 이기종 아키텍처를 채용하고 TI 하드웨어나 독점 소프트웨어에 대해 배우지 않고도 실리콘 성능의 모든 잠재력을 활용할 수 있습니다. 생산 품질 드라이버를 통해 하드웨어 가속기를 추상화하는 동시에 업계 표준 API(애플리케이션 프로그래밍 인터페이스)를 사용하여 애플리케이션 개발을 위해 MPU의 고수준 운영 체제에 인터페이스를 제공하여 소프트웨어 개발 속도를 높여 줍니다. TI의 하위 수준 소프트웨어는 이미징, 비전, 딥 러닝 및 멀티미디어 작업을 자동으로 올바른 하드웨어 가속기로 가속화하여 고성능 애플리케이션 프로그래밍을 쉽게 합니다.

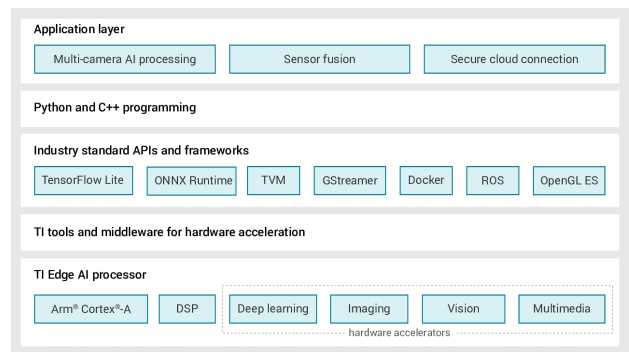


그림 4. 에지 AI 애플리케이션용 소프트웨어 개발 틀

결론

애플리케이션에서 이기종 아키텍처를 채택하는 사례가 증가하고 있습니다. 딥 러닝, 비전 및 비디오 프로세싱, 맞춤형 시스템 통합, 고급 부품 통합을 지원하는 TI의 비전 AI 프로세서를 사용하면 성능, 전력, 크기, 무게 및 시스템 비용에 최적화된 상업적으로 실행 가능한 에지 AI 시스템을 구현할 수 있습니다. TI의 에지 AI 소프트웨어 개발 환경은 오픈 소스, 업계 표준 API를 기반으로 구축되며, 더욱 빠른 에지 AI 애플리케이션 개발을 지원하는 하드웨어 가속기로 자동 가속화됩니다.

AI는 빠르게 진화하는 기술로, 에지 AI 애플리케이션의 모든 측면에서 혁신을 촉진합니다. 이는 더 높은 계산 요구 사항이 필요한 애플리케이션의 경계를 허물고 있습니다. 임베디드 프로세서 구현을 통해 더 낮은 전력과 더 낮은 시스템 비용으로 에지 AI를 사용하면 임베디드 애플리케이션의 완전히 새로운 가능성을 열 수 있습니다.

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.
모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated