

Technical White Paper

실시간 제어 처리 가속화: 검증된 MCU부터 차세대 MCU까지



추상

이 백서에서는 실시간 제어 시스템에 대한 특수 하드웨어 액셀러레이터의 중요성을 살펴봅니다. 이 문서는 실시간 제어 루프의 처리 단계의 역할을 강조하고 시스템의 전체 지연 시간을 줄이는 데 도움이 되는 고성능 MCU(마이크로컨트롤러)에 통합된 여러 하드웨어 가속기의 역할을 설명합니다. 향상된 부동 소수점 기능, 통합된 삼각 함수 및 제어 법칙 가속기, 통신 최적화 등 다양한 기술에 대해 설명합니다.

백서는 고급 실시간 제어 애플리케이션에 적합한 두 가지 맞춤형 MCU 제품 시리즈인 전용 제어 시스템 설계를 위한 C2000™ 실시간 MCU 포트폴리오와 Arm 중심 에코시스템 내의 광범위한 프로세싱 기능을 위한 Arm® 기반 AM26x MCU 포트폴리오를 소개하며 마무리합니다.

목차

1 머리말.....	2
2 부동 소수점 유닛.....	2
3 Trigonometric Math Unit.....	3
4 제어 법칙 가속기.....	3
5 Viterbi, Complex Math, and CRC Unit.....	3
6 산업용 통신 서브시스템.....	3
7 실시간 제어 요구 사항을 충족하는 최고의 MCU 살펴보기.....	4

그림

그림 1-1. 실시간 제어 루프의 기본 기능 블록.....	2
----------------------------------	---

1 머리말

실시간 제어 시스템은 다양한 중요한 애플리케이션의 중추 역할을 합니다. 이러한 시스템은 감지, 처리 및 작동의 섬세한 균형을 조율하며 그 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않습니다.

전기 자동차의 트랙션 인버터를 생각해 보십시오. 인버터의 주요 기능은 배터리의 DC 전원을 모터가 사용하는 3상 AC 전원으로 변환하는 것입니다. 이러한 맥락에서 모든 밀리초가 중요합니다. 인버터는 도로 조건, 부하 수요 및 운전자 입력과 같은 변수에 맞게 일관되게 조정되어 부드럽고 에너지 효율적인 구동을 제공합니다. 마찬가지로 산업용 로봇은 반복 작업의 정밀도를 높이도록 프로그래밍되어 있습니다. 회전 각도이든 적용된 힘이든, 속도와 정확도가 가장 중요합니다. 사소한 편차라도 제품 결함을 초래할 수 있습니다. 실시간 제어 시스템 덕분에 로봇과 차량 모두의 모터는 24시간 내내 안전하고 원활하게 작동합니다.

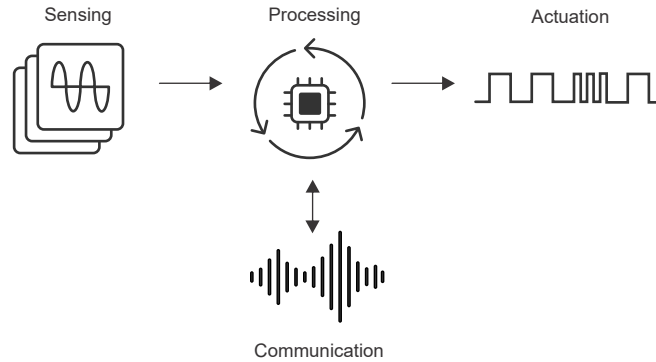


그림 1-1. 실시간 제어 루프의 기본 기능 블록

모든 실시간 제어 시스템은 다음을 포함합니다.

1. **감지:** 장치는 EV 배터리의 온도 센서부터 로봇 팔의 센서에 이르기까지 실시간 데이터를 지속적으로 캡처합니다.
2. **처리:** 정교한 알고리즘이 이 원시 데이터를 해석합니다. 실시간 요구 사항을 감안할 때 이 단계의 속도와 정확도는 매우 중요합니다.
3. **작동:** 시스템이 명령을 수신하여 처리된 데이터를 기반으로 실질적인 작업을 수행합니다.

다중 축 드라이브, 산업용 로봇, 전기 자동차 또는 태양광 인버터에 관계없이 실시간 제어 시스템을 설계하는 데 있어 1차 목표는 지연 시간을 최소화하여 성능을 최적화하는 것입니다. 특수 하드웨어 가속기가 내장된 고성능 마이크로컨트롤러를 사용하면 가능합니다. 이러한 가속기는 복잡한 제어 알고리즘의 효율적인 처리를 위해 특별히 설계되었습니다. 다음 섹션에서는 실시간 제어 루프의 처리 단계에 중점을 두고 알고리즘 개발 및 시스템 지연 시간을 최소화하는 하드웨어 가속기의 역할에 대해 설명합니다. 이것으로 TI가 이러한 애플리케이션을 위해 개발한 뛰어난 MCU 제품 시리즈를 마치겠습니다.

2 부동 소수점 유닛

많은 실시간 제어 시스템 설계는 부동 소수점 연산을 사용하여 제어 알고리즘을 개발하는 시뮬레이션 툴로 시작합니다. 부동 소수점 연산은 큰 동적 범위를 제공하므로 고정 소수점 연산을 사용하는 것보다 코드를 더 쉽게 개발할 수 있습니다. 예를 들어, 스케일링 및 포화는 더 이상 문제가 되지 않습니다. 부동소수점 연산으로 개발된 제어 알고리즘은 오버플로 또는 언더플로 시 숫자 선을 감싸지 않기 때문에 더욱 강력합니다.

실시간 제어를 위한 고성능 MCU는 32비트 고정 소수점 및 32비트(또는 64비트) 부동 소수점 수학 연산을 지원하는 매우 빠른 CPU를 제공합니다. 따라서 제어 알고리즘을 장치에 손쉽게 이식할 수 있고, 다양한 동시 처리가 가능합니다.

3 Trigonometric Math Unit

제어 알고리즘 내에서 특정 수학 연산은 특히 중요합니다. 파크 및 역 파크 변환, 공간 벡터 생성, 직접 직교 영점 및 역 직접 직교 영점 변환, FFT 크기 및 위상 계산과 같은 연산은 기본입니다. 이유? 이러한 작업은 신호 변조, 데이터 변환 및 시스템 분석에서 중요한 역할을 수행하므로 원시 센서 데이터를 실행 가능한 통찰력으로 변환하는 데 도움이 됩니다. 또한, 사인, 코사인, 아크 탄젠트, 분할 및 제곱근과 같은 다른 기초 연산은 이러한 수학적 연산의 기초가 됩니다. 그러나 사이클에 집약적인 이러한 작업은 마이크로컨트롤러의 CPU에서 실행할 때 시스템 응답 속도를 늦출 수 있습니다.

이러한 작업이 병목 현상이 발생하지 않도록 하려면 향상된 부동 소수점 기능을 사용하는 것이 가장 중요합니다. 한 가지 효과적인 방법은 확장된 명령어 집합을 사용하여 이러한 기능을 최적화하는 것입니다. 또한 잘 설계된 컴파일러는 삼각 및 산술 명령을 자동으로 생성할 수 있는 필수 요소입니다. 이렇게 하면 컴파일러가 표준 런타임 지원 라이브러리 호출에만 의존하지 않고 이러한 최적화된 명령어에 의존하여 계산 속도를 높일 수 있습니다.

4 제어 법칙 가속기

복잡한 실시간 제어 애플리케이션의 경우 통합 제어 법칙 가속기의 처리 성능이 훨씬 더 높은 수준의 처리 성능이 필요합니다. 예를 들어 일반적인 전력 디지털 컨트롤러는 입력 데이터를 캡처하는 ADC(아날로그-디지털 컨버터), 제어 법칙 알고리즘을 계산하기 위한 수학 엔진(예: PID, 2극 또는 2제로, 3극 또는 3제로 보상기), 계산된 파형을 출력하는 PWM 채널로 구성됩니다. 고성능 MCU는 이러한 기능을 단일 장치에 통합하여 지연 시간을 최소화하고 시스템 복잡성과 비용을 절감하여 최소한의 샘플-출력 지연을 최소화합니다.

32비트 부동 소수점 연산 집약적 계산이 표준이므로 CPU보다 높은 성능과 효율로 로우 레벨 제어 루프를 관리할 수 있습니다. 또한 메모리 및 A/D 컨버터 및 PWM 모듈과 같은 제어 주변 장치에 직접 액세스할 수 있어 지연 시간을 최소화하는 데 도움이 됩니다. 이러한 유형의 통합 제어 법칙 가속기는 CPU 개입 없이 주변 기기 트리거에 응답할 수 있습니다. 가속기는 하드웨어 동기화에 인터럽트를 사용하지 않으며, 가속기에서 컨텍스트 전환을 수행하지 않으므로 효율성이 높아집니다. 이 접근 방식은 지연을 제거하며 실행 시간이 결정적입니다. 이러한 가속기에 대한 자세한 벤치마크 및 통찰력은 [C2000™ 마이크로컨트롤러 제품군의 계산 성능 향상](#) 애플리케이션 노트를 참조하십시오.

5 Viterbi, Complex Math, and CRC Unit

시스템의 복잡성이 증가함에 따라, 장치와 제어 유닛 간의 안정적이고 빠른 통신의 중요성도 함께 높아지고 있습니다. 이는 단순히 데이터 교환에 그치지 않고 변화하는 조건에 대해 시기 적절하고 정확한 응답을 제공하는 것입니다. 전기 자동차와 충전소를 동기화한 전기 자동차부터 산업용 로봇 릴레이 데이터까지, 통신 프로토콜의 품질은 시스템 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.

Viterbi 디코딩, 복합 FFT, 복합 필터 및 CRC(순환 중복 검사)를 위한 긴밀하게 결합된 고정 소수점 가속기를 갖춘 고성능 MCU는 통신 성능을 크게 향상시킵니다. 이 가속기는 필터링 및 스펙트럼 분석과 같은 범용 신호 처리에도 사용할 수 있으며 시스템에서 기능과 가치를 확장할 수 있습니다.

6 산업용 통신 서브시스템

또 다른 옵션은 특화된 산업용 통신 서브시스템에 프로그래머블 실시간 유닛을 사용하는 것입니다. 이 옵션은 다기능성을 제공하며, 특히 결정적인 통신이 필요한 시스템에서 실시간 프로세싱 및 산업용 프로토콜 통합을 지원합니다. 듀얼 코어 아키텍처와 전용 RAM은 빠르고 동시 데이터 처리를 용이하게 하여 지연 시간을 최소화합니다. 독립 코어가 동시에 작동하여 서로 다른 작업을 관리할 수 있으므로 통신 흐름을 최적화하고 우선 순위가 높은 작업이 지연 없이 실행되도록 할 수 있습니다. 이 서브시스템은 설계별로 광범위한 산업용 통신 프로토콜과 원활하게 상호 작용하여 유연성과 광범위한 애플리케이션 잠재력을 제공합니다.

7 실시간 제어 요구 사항을 충족하는 최고의 MCU 살펴보기

실시간 제어 시스템이 복잡성과 요구 사항이 증가함에 따라 올바른 마이크로컨트롤러를 선택하는 것이 그 어느 때보다 중요합니다. 실시간 제어 기술 개발에 있어 25년이 넘는 경험을 보유한 TI는 이러한 첨단 요구를 충족시켜 줄 2개의 탁월한 마이크로컨트롤러 제품 시리즈를 자랑스럽게 제공합니다.

엄격한 실시간 제어 애플리케이션에 관여하는 사용자를 위해 독점 아키텍처를 기반으로 한 **TI C2000 실시간 MCU 포트폴리오**는 전용 제어 시스템 설계를 제공합니다. 이러한 장치는 모터 드라이브 및 재생 에너지 시스템과 같은 까다로운 영역에 맞게 특별히 맞춤화되어 있습니다. 이러한 제품은 고해상도 PWM, ADC 및 이 문서에서 설명하는 여러 가지 개별 하드웨어 가속기를 비롯한 고급 온칩 구성 요소를 제공합니다. 이러한 모든 맞춤형 기능을 갖춘 C2000 MCU는 정밀도가 필요한 고성능 제어 프로젝트를 위한 최고의 옵션입니다.

반대로, 프로젝트에서 견고한 실시간 제어와 다양한 워크로드를 처리할 수 있는 능력이 모두 필요한 경우, **Arm® 기반 AM26x MCU 포트폴리오**는 매우 우수한 성능을 발휘합니다. 널리 사용되는 Arm Cortex-R 아키텍처를 기반으로 하는 이 포트폴리오는 통합 C2000 제어 기능을 활용하는 뛰어난 제어 기능뿐만 아니라 데이터 분석에서 복잡한 통신 프로토콜에 이르는 다양한 작업을 능숙하게 관리합니다. 향상된 보안 모듈 및 특수 통신 인터페이스와 최대 **SIL 3** 또는 **ASIL-D** 기능 안전성을 갖춘 포괄적인 기능 세트는 TI의 AM26x MCU를 광범위한 프로세싱 기능과 Arm 중심 에코시스템 내에서 원활한 통합을 원하는 전문가를 위한 최고의 선택으로 삼고 있습니다.

중요 알림 및 고지 사항

TI는 기술 및 신뢰성 데이터(데이터시트 포함), 디자인 리소스(레퍼런스 디자인 포함), 애플리케이션 또는 기타 디자인 조언, 웹 도구, 안전 정보 및 기타 리소스를 "있는 그대로" 제공하며 상업성, 특정 목적 적합성 또는 제3자 지적 재산권 비침해에 대한 묵시적 보증을 포함하여(그러나 이에 국한되지 않음) 모든 명시적 또는 묵시적으로 모든 보증을 부인합니다.

이러한 리소스는 TI 제품을 사용하는 숙련된 개발자에게 적합합니다. (1) 애플리케이션에 대해 적절한 TI 제품을 선택하고, (2) 애플리케이션을 설계, 검증, 테스트하고, (3) 애플리케이션이 해당 표준 및 기타 안전, 보안, 규정 또는 기타 요구 사항을 충족하도록 보장하는 것은 전적으로 귀하의 책임입니다.

이러한 리소스는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TI는 리소스에 설명된 TI 제품을 사용하는 애플리케이션의 개발에만 이러한 리소스를 사용할 수 있는 권한을 부여합니다. 이러한 리소스의 기타 복제 및 표시는 금지됩니다. 다른 모든 TI 지적 재산권 또는 타사 지적 재산권에 대한 라이선스가 부여되지 않습니다. TI는 이러한 리소스의 사용으로 인해 발생하는 모든 청구, 손해, 비용, 손실 및 책임에 대해 책임을 지지 않으며 귀하는 TI와 그 대리인을 완전히 면책해야 합니다.

TI의 제품은 ti.com에서 확인하거나 이러한 TI 제품과 함께 제공되는 [TI의 판매 약관](#) 또는 기타 해당 약관의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다.

TI는 사용자가 제안할 수 있는 추가 또는 기타 조건을 반대하거나 거부합니다.

주소: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated

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