

Technical White Paper

센서 없는 감지: Wi-Fi가 스마트한 선택인 이유

Maddy Marsh

추상

Wi-Fi® 감지는 기존 Wi-Fi 인프라를 동작을 추적할 수 있는 비침습적 공간 인식 센서로 변환하는 빠르게 부상하는 기술입니다. 에지 인공 지능의 최근 발전으로 Wi-Fi 감지 모델 및 알고리즘은 저비용 Wi-Fi MCU에서 직접 실행될 가능성이 있으며 기존 Wi-Fi 인프라를 활용할 수 있습니다. 이 백서에서는 Wi-Fi 감지의 목적과 장점, 그리고 임베디드 프로세싱과 소프트웨어의 발전으로 다양한 애플리케이션에서 구현이 그 어느 때보다 쉬워지는 방식을 살펴봅니다. 이 백서에서는 업계 동향과 Wi-Fi Alliance 및 IEEE와 같은 표준화 기구가 기술의 표준화 및 상호 운용성에 어떻게 접근하고 있는지 살펴봅니다. 이 백서는 또한 이러한 새로운 사용 사례를 지원하기 위해 TI Wi-Fi가 개발하고 있는 하드웨어 및 소프트웨어 솔루션에 대해서도 살펴봅니다.

목차

1 소개.....	2
2 Wi-Fi 감지의 장점은 무엇입니까?.....	2
3 현재 업계에서는 어떤 움직임이 나타나고 있습니까?.....	4
4 텍사스 인스트루먼트는 Wi-Fi 감지의 성장에 어떻게 대응하고 있습니까?.....	4
5 추가 리소스.....	5
6 결론.....	6

상표

CCStudio™ is a trademark of Texas Instruments.

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth® SIG, INC.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries or affiliates) in the US and/or elsewhere.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

1 소개

전 세계가 스마트 커넥티드 기기에 점점 더 의존하게 됨에 따라 혁신적인 사용 사례가 계속 등장하고 있습니다. Wi-Fi 감지는 IoT(사물 인터넷) 시장에서 주목을 받고 있는 이러한 기술 중 하나입니다. 전용 하드웨어가 필요한 기존 센서와 달리, Wi-Fi 감지는 대부분의 건물 및 장치에 이미 존재하는 기존 무선 인프라를 활용하여 활동 감지 및 환경 인식을 위한 보다 비용 효율적이고 확장 가능한 설계를 가능하게 합니다.

기존 Wi-Fi는 장치 간 무선 데이터 전송이라는 단일 목적으로 사용되었습니다. 데이터 패킷은 인터넷 트래픽, 비디오 스트림 또는 웹 페이지와 같은 유용한 정보를 전달합니다. Wi-Fi 감지는 전혀 다른 애플리케이션을 위해 Wi-Fi 신호를 재용도화함으로써 이러한 전통을 바꿉니다. 즉, 움직임이 전달하는 데이터를 캡처하지 않고 움직임 자체를 감지하고 분석합니다. Wi-Fi 감지는 데이터 패킷 내부의 정보에 집중하는 대신, 해당 데이터 패킷을 전달하는 Wi-Fi 채널의 품질과 특성을 분석합니다.

Wi-Fi 라디오가 공중으로 패킷을 전송할 때 신호가 경로상에서 벽, 가구, 사람과 같은 장애물을 만나면 복잡한 패턴으로 반사됩니다. 물체나 사람이 신호 경로 내에서 이동할 때 이러한 반사 특성이 측정이 가능한 수준으로 변화합니다. 이러한 변화는 채널 상태 정보(CSI)를 통해 포착될 수 있으며, 이는 표준 Wi-Fi 라디오 데이터에서 이미 사용할 수 있는 OFDM 서브캐리어 전반의 신호 진폭 및 위상과 같은 물리 계층 특성을 상세하게 측정하는 것입니다. CSI는 기본적으로 송신기와 수신기 사이의 Wi-Fi 채널 현재 상태를 나타내어 채널 주변 환경을 반영하는 데이터 스트림을 제공합니다. CSI 측정값을 지속적으로 분석함으로써 시스템은 환경의 미묘한 변화를 감지하고 발생하는 움직임이나 활동에 대해 추론을 할 수 있습니다.

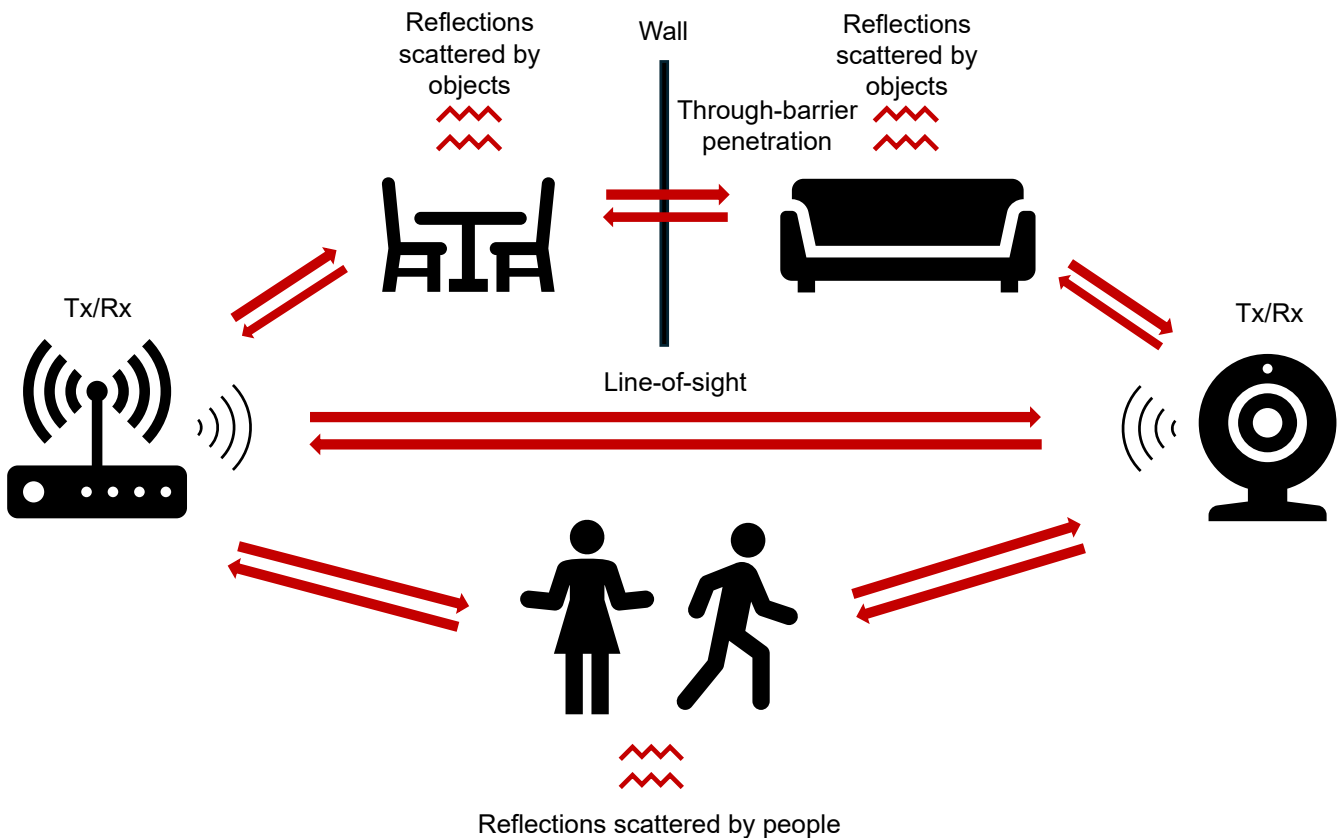


그림 1-1. 흐름 다이어그램

원시 CSI 데이터는 의미 있는 통찰력을 얻기 위해 정교한 분석이 필요합니다. 이것이 바로 데이터 소스 근처, 로컬에서 AI 모델을 실행하는 능력인 Edge AI가 중요한 역할을 하는 부분입니다. CSI 패턴에 대해 학습된 머신 러닝 모델은 특정 활동을 인식하고, 사람의 재실 여부를 감지하고, 생체 신호를 모니터링하며, 제스처를 식별하도록 학습할 수 있습니다. 이러한 도구를 사용하면 개발자가 리소스가 제한된 장치에서 모델을 효율적으로 학습시키고 이러한 모델을 최종 제품에 배포할 수 있습니다.

2 Wi-Fi 감지의 장점은 무엇입니까?

Wi-Fi 감지는 제품 개발자에게 이 기술을 매력적으로 만드는 몇 가지 매력적인 이점을 제공합니다. 첫째, 이 기술은 기존 Wi-Fi 프로토콜과 인프라를 활용합니다. 채널 상태 정보는 802.11 전송 프리앰블에 고유한 레거시 긴 트레이닝 필드(L-LTF)에서 계산할 수 있습니다. 802.11 프레임은 모든 서브캐리어에 알려진 기호를 포함하는 L-LTF와 함께 전송됩니다. 이를 통해 리시

버는 복소수 배열로 표시된 채널 상태를 서브캐리어당 하나씩 추출할 수 있습니다. 20MHz 채널에서 OFDM 전송의 경우 이러한 서브캐리어는 52개이며, 채널 상태에 52개의 복소수가 생성됩니다. 통상적으로 채널 상태는 리시버에서 데이터 페이로드를 디코딩하는 데 사용되었다가 폐기되지만, Wi-Fi 감지의 경우 개별 채널 상태가 주요 관심 대상입니다. 채널 상태가 프레임마다 변하는 방식을 비교함으로써 송신기와 리시버 사이의 무선 주파수 채널에서 물체의 이동이나 기타 물리적 변화에 해당하는 물리적 변화를 감지할 수 있습니다.

따라서 CSI는 802.11 OFDM의 고유 기능으로, 프로토콜 수정이나 추가 하드웨어가 필요하지 않습니다. 즉, 모든 최신 Wi-Fi 칩에서 기존 Wi-Fi 네트워킹을 재활용하여 추가 시스템 비용 없이 Wi-Fi 감지 기능을 활성화할 가능성이 있으며, 연결된 장치에 감지 기능을 추가하는 더욱 비용 효율적인 방법을 제공합니다.

또한 Wi-Fi 신호는 주변 조명 조건에 관계없이 작동할 수 있으며, Wi-Fi 신호가 물리적 장벽을 통과할 수 있기 때문에 Wi-Fi 감지는 직접 가시선을 필요로 하지 않습니다. 예를 들어, 침실에 있는 스마트 플러그를 사용하면 외부 복도의 움직임을 감지할 수 있습니다. 이는 전통적인 동작 센서로는 불가능한 기능입니다. 개인정보 보호는 Wi-Fi 감지가 보존할 수 있는 가장 중요한 장점 중 하나입니다. Wi-Fi 감지는 표준 무선 신호에 전적으로 의존하므로 카메라나 기타 침습적 모니터링 장비가 필요하지 않기 때문입니다.

이러한 이점은 IoT 시장 전반에 걸쳐 새로운 애플리케이션 분야를 개척하여, Wi-Fi가 더 비용 효율적인 감지 기능을 구현할 수 있는 추가 옵션을 제공하도록 해 줍니다. 홈 보안 또는 비디오 감시에서 Wi-Fi 감지는 벽을 투과하여 카메라의 사각지대에 있는 구역에서 재설 여부를 감지하는 기능을 제공합니다. 스마트 HVAC, 조명 및 가전제품 시스템은 에너지 최적화를 위해 Wi-Fi 감지를 사용합니다. 예를 들어, 스마트 서모스탯은 장시간 부재를 감지하고 거주자가 집에 돌아올 때까지 에어컨을 줄일 수 있습니다. 에너지 절약부터 향상된 보안, 헬스 모니터링에 이르기까지, Wi-Fi 감지는 더 스마트하고 공간 인식 능력이 뛰어난 제품을 가능하게 하는 핵심 기술입니다.

Wi-Fi sensing enabled devices for occupancy detection

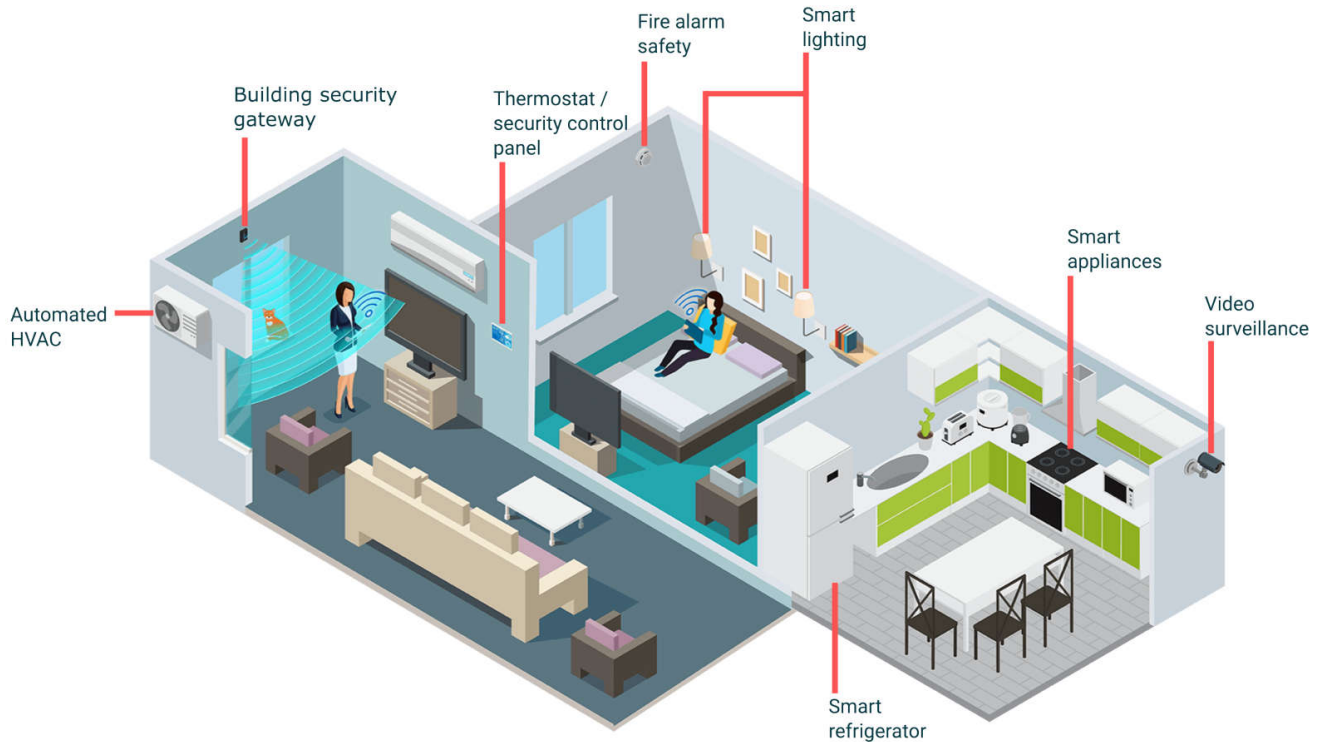


그림 2-1. 스마트 홈

스마트 장치 시장에서 Wi-Fi 감지가 주목받음에 따라, 제품 배포 전에 이해해야 할 중요한 트레이드오프가 있습니다. 정밀한 위치 및 속도 측정에 뛰어난 레이더와 같은 다른 기술에 비해, Wi-Fi 감지는 장애물을 통과하여 작동하고 기존 인프라와 함께 작동하는 능력을 얻는 대가로 위치 정확도를 절충합니다.

Wi-Fi 감지는 특정 기간 동안 지속적인 패킷 전송을 필요로 하여 수동형 적외선과 같은 초저전력 감지 대안보다 훨씬 더 많은 전력을 소비하므로, 전력 소비 또한 고려해야 할 사항입니다. 따라서 현재 Wi-Fi 감지는 일반적으로 배터리 구동 설계에 최적화되어 있지 않습니다.

또한 Wi-Fi 감지는 CSI 데이터를 추출하기 위해 송신기 및 리시버 쌍이라는 두 개의 장치가 필요하며, 이는 근본적인 아키텍처 제약 조건입니다. 환경적 요인이 중요한 역할을 할 수 있습니다. 예를 들어 방 안의 밀집된 장애물은 신호를 약화시킬 수 있으며 송신기와 리시버의 물리적 배치는 감지 정확도에 직접적인 영향을 미칩니다. 개발자는 장치 배치를 신중하게 고려하고 특정 환경에 맞게 알고리즘을 조정해야 하며, 이는 TI의 활발한 연구 개발 분야입니다.

표 2-1. Wi-Fi 감지의 장점 및 고려 사항

장점	고려 사항
- 기존 Wi-Fi 인프라 활용 - 추가 하드웨어나 프로토콜 수정 불필요 - 모든 조명 조건에서 작동 - 물리적 장벽과 벽을 통과 - 직접 가시선 불필요 - 카메라나 침습형 모니터링 장비 없이 개인정보 보호 - 다양한 공간 인식 애플리케이션 가능(예: 홈 보안, 재실 감지, 에너지 최적화, 헬스 모니터링)	- 레이더 대비 낮은 위치 정확도 - 연속적인 패킷 전송 필요(높은 전력 소비) - 송신기 및 리시버 쌍 아키텍처 필요 - 환경 요인 및 장애물에 민감 - 장치 배치가 정확도에 영향을 미침 - 특정 환경에 맞는 세심한 알고리즘 튜닝 필요

3 현재 업계에서는 어떤 움직임이 나타나고 있습니까?

Wi-Fi 감지 기술은 10년 이상 존재해 왔지만, 표준화 노력이 시작되기 전까지는 전용 하드웨어 지원을 받으며 주로 독자적인 방식으로 구현되었습니다. Wi-Fi 감지 초기에는 많은 연구원들이 위치 감지와 동작 감지를 위해 Wi-Fi 신호를 재용도화하는 방법을 연구하기 시작했습니다. 몇 년 후 개발자들은 사람의 낙상을 감지하기 위한 Wi-Fi 감지 설계를 개발했습니다. 이 기술이 마침내 2019년 소비자 시장에 출시되었을 때, IEEE가 개입하여 기술 연구를 진행했고 결국 2020년에 802.11bf 표준을 공식 WLAN 감지 표준으로 확립했습니다. 현재 인프라로 Wi-Fi 감지를 수행하는 데 802.11bf 표준이 필수적인 것은 아니지만, 이 표준은 향상된 기능을 가능하게 하는 선택적 확장 기능을 제공합니다.

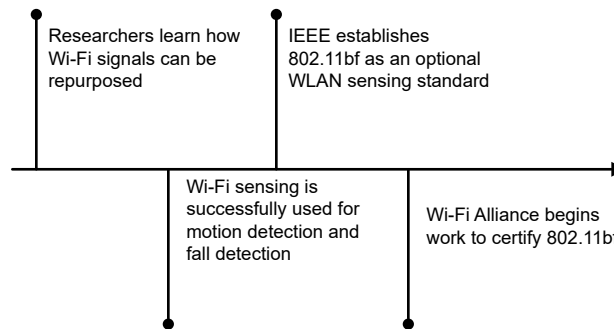


그림 3-1. Wi-Fi 감지 개발 타임라인

802.11bf 표준은 제어 및 조정을 위한 표준화된 메커니즘을 추가하여 Wi-Fi 감지 기능을 확장합니다. 이 표준은 WLAN 감지 장치가 다른 스테이션에 자신의 WLAN 감지 기능을 알리고, 감지 가능 전송을 요청 및 구성하며, 감지 피드백 및 정보를 교환하는 방법을 정의합니다.

개발자들 사이에서 Wi-Fi 감지에 대한 관심이 높아짐에 따라 Wi-Fi Alliance는 802.11bf 표준 구현을 인증하기 위한 프레임워크를 설계하기 시작했습니다. 이 인증 프로그램은 서로 다른 공급업체의 장치 간 상호 운용성을 촉진하고 시장 도입을 가속화하는 것을 목표로 합니다.

4 텍사스 인스트루먼트는 Wi-Fi 감지의 성장에 어떻게 대응하고 있습니까?

텍사스 인스트루먼트는 하드웨어 및 소프트웨어 혁신을 통해 Wi-Fi 감지 도입을 가능하게 합니다. CC3551E는 감지 애플리케이션용으로 제작된 Wi-Fi 6 및 Bluetooth® Low Energy 5.4 무선 MCU입니다. 이 MCU는 Arm® Cortex®-M33 프로세서와 임베디드 NPU(신경망 처리 장치)를 결합하여 CDE(커스텀 데이터 경로 확장)를 통해 고성능, 전력 효율적인 AI 가속을 가능하게 합니다.

CC3551E의 아키텍처는 워크로드를 분배하여, 주 M33 프로세서로 표준 애플리케이션 코드 및 무선 네트워킹 스택을 처리하고, NPU는 CSI 데이터 분석을 위한 머신 러닝 알고리즘과 복잡한 연산을 병렬로 실행합니다. 이 디바이스는 연결된 피어와 교환되는 표준 Wi-Fi 신호에서 CSI 데이터를 자체적으로 추출하며, 애플리케이션이 API를 통해 이 데이터에 접근하고 추가 분석을 위해 NPU로 전달할 수 있도록 합니다.

CSI 데이터를 추출하는 것은 첫 번째 단계에 불과합니다. 개발자는 최소한의 프로그래밍 전문 지식만으로도 AI 모델을 분석, 테스트 및 배포할 수 있는 도구가 필요합니다. 텍사스 인스트루먼트는 두 가지 보완적인 접근 방식을 통해 이를 해결합니다. Wi-Fi 감지 구현에 대한 완전한 제어 권한을 원하는 숙련된 개발자는 독자적인 감지 기능과 시장 차별화 요소를 갖춘 맞춤형 설계를 개발할 수 있습니다. 모델 개발에 대한 깊은 전문 지식 없이 Wi-Fi 감지 애플리케이션을 실험해보고 싶은 개발자를 위해 텍사스 인스트루먼트는 CCStudio™ Edge AI Studio를 제공합니다.

TI의 CCStudio™ Edge AI Studio는 CC3551E와 같은 텍사스 인스트루먼트 임베디드 장치에서의 에지 AI 개발을 간소화하고 가속화하는 그래픽 및 명령줄 도구 모음입니다. 이 도구에는 모델 컴포저, 모델 분석기, 모델 선택 도구 및 모델 메이커가 포함되어 있어, 설계자가 평가 보드에 물리적으로 연결하지 않고도 모델과 해당 모델의 성능을 빠르게 평가할 수 있습니다. 또한 개발자는 환경별 최적화를 위해 자체 데이터로 모델을 학습시킨 다음, CC3551E용 모델 압축 및 온디바이스 AI 처리를 담당하는 통합 도구를 통해 이러한 모델을 배포할 수 있습니다. 다양한 개발 경로를 통해 CCStudio™ Edge AI Studio는 더 많은 개발자가 혁신적인 애플리케이션을 시장에 출시할 수 있도록 지원합니다.

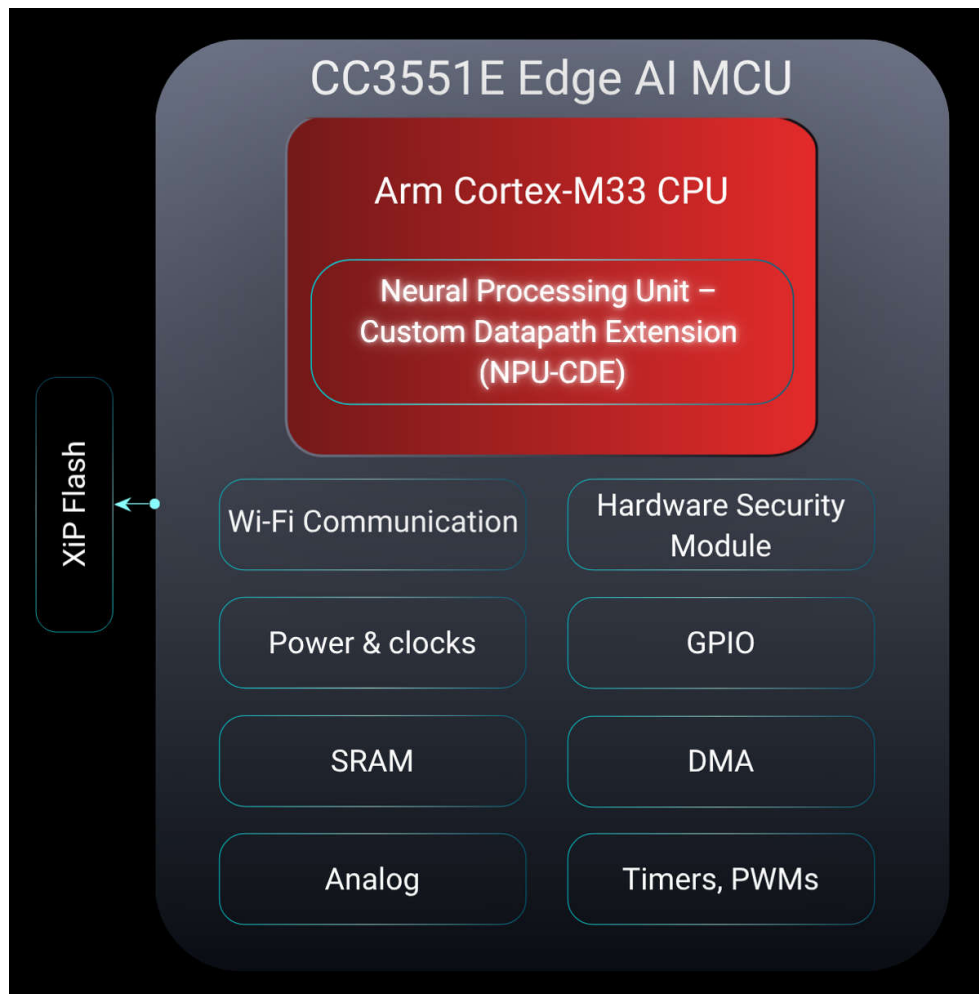


그림 4-1. Edge AI + CC3551E 블록 다이어그램

5 추가 리소스

- TI의 [CC3551E](#) - Wi-Fi 6 + BLE 저에너지 5.4 콤보 무선 MCU 알아보기
- TI의 [LP-EM-CC35X1](#) 평가 키트로 시작하기
- TI의 [Edge AI Wi-Fi 감지 사용 사례](#) 알아보기

6 결론

Wi-Fi 감지는 여전히 초기 단계에 있지만, 특히 전용 하드웨어나 카메라 없이 지능형 감지 기능을 추가할 수 있다는 점에서 공간 인식 애플리케이션을 재구성할 수 있는 Wi-Fi 감지의 잠재력이 명확해지고 있습니다. 802.11bf 표준과 같은 표준화 노력, AI 가속이 통합된 CC3551E와 같은 향상된 하드웨어, CCStudio™ Edge AI Studio와 같은 직관적인 소프트웨어 도구를 통해 Wi-Fi 감지 구현 장벽이 그 어느 때보다 낮아졌습니다. 모든 경험 수준의 설계자가 이제 감지 애플리케이션을 실험하고, 자체 데이터로 모델을 학습시키며, 특정 환경에 맞춘 설계를 배포할 수 있습니다. 더 많은 개발자가 이 기술에 익숙해짐에 따라, 업계는 Wi-Fi 감지가 스마트 홈 장치, 산업용 IoT 시스템 및 커넥티드 애플리케이션 전반에서 표준 기능이 될 것으로 기대할 수 있습니다. 차세대 Wi-Fi 장치와 지원 도구가 새로 나올 때마다, Wi-Fi 감지는 개인정보를 보호하고 비용 효율적인 감지 기능을 구현할 수 있는 새로운 가능성을 지속적으로 열어주고 있습니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 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](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on [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. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025