

## X-Ray 장비에서의 CANopen

Philips Medical Systems 는 CAN 초창기에 이미 CAN 의 장점을 인지하고 X-ray 시스템의 patient table, collimators, generator 같은 내부적으로 연결된 다양한 장치들의 통신 네트워크로, CAN 네트워크 프로토콜을 사용하기로 결정하였습니다. 모듈식의 개방된 방식으로 설계하기 위해서 Philips



Medical Systems 의, Tom Sutera 가 이끄는 그룹은 CAN 의 첫번째 상위 계층 프로토콜, CAN Message Specification - CMS 를 개발하였으며, 이것은 1992 년에 일반에게 소개되었습니다. CMS 는 CAN in Automation 에 의해 지정된 첫번째 공식적인 CAN 기반 통신 프로토콜인 CAN Application Layer (CAL) 의 구성틀을 제공합니다. 그러나 CAL 은 일반적인 디바이스나 애플리케이션 프로파일의 직접적인 설명에 필요한 기능을 제공하지 않기 때문에 제한된 시장에 진출할 수 밖에 없었습니다.

그 결과 CANopen application layer 와 communication profile 이 정의 되었고 1996 년에 공식적인 CAN in Automation 표준으로 발표되었습니다. CANopen 은 완전히 다시 만들어진 것이 아니라, CAL 의 많은 요소들과 프로토콜들을 재사용하였으며, 애플리케이션 데이터를 서술하고 참조하는 간단한 방법을 나타내는 객체 사전(object dictionary)같은, 필요하지만 누락되었던 기능들을 추가하였습니다. 실제로, 현재 CANopen 은 수많은 여러 애플리케이션 영역들에서 CAN 사용을 가능하게 하는 기술로 인식되고 있습니다.

### 의료 시스템에서 CANopen 사용의 장점

오늘날, 의료 애플리케이션에서 데이터 통신 시스템 사용의 필요성이 더욱 부각되고 있습니다. 그 이유는 다음과 같은 요건들을 필요로 하기 때문입니다.

- 상호운용성(Interoperability), 이것은 주로 의료 장비들 간의 데이터 교환에 필요하지만, 또한 의료 장비들의 모듈식 구조가 가능하게 합니다. 동시에 상호운용성은 다양한 의료 장비들의 중앙 제어를 가능하게 하는데, 이는 제각기 고통이 보다 덜한 개선된 검사 절차를 찾을 때 중요한 문제가 됩니다.
- 무인 검사 방식을 가능하게 하고 환자들의 안전이 보장되도록 의료 장비들의 작동 개선.
- 의료 장비들의 더 높은 수준의 모듈 방식으로 인한 비용 절감과 검사 과정들의 더욱 신속한 실행.

Ethernet TCP/IP 또는 새로운 산업용 real-time Ethernet 프로토콜들 중의 하나를 제어 목적을 위한 데이터 통신 시스템으로 사용하는 것은 적절하지 않습니다. CAN 과 비교했을때, Ethernet 구현은 더욱 강력한, 따라서 더욱 값비싼 CPU 들이 필요하고 그러므로 더욱 값비싼 하드웨어 (이는 특히 고품질의 PHYs, 변압기와 커넥터에 적용됩니다)를 요구하게 됩니다. 어떤 데이터의 손실도 없는 데이터의 안전한 전송은 오직 데이터의 주기적 전송이나 확인응답 체계를 구현하는 적합한 프로토콜만이 가능합니다. 또한 자유로운 또는 임의의 위상(topology)을 위해, 스위치나 허브같이 추가적인 위상 요소들이 배치될 수 있는 곳에서는 일반적으로 Ethernet 네트워크와 비교했을 때 CAN 설비가 보다 저렴합니다.

그러나, 의료 시스템 내에서 Ethernet 기술의 통합은 환자 정보 데이터나 진단 결과 같은, 긴급하지 않으며 전형적으로 전송자와 수신자 사이에 물리적인 peer-to-peer 연결을 바탕으로 하는 대량 데이터의 전송에는 적합합니다.

의료 장비들은 통신 시스템, 특히 장치 제어와 관련된 부분에서는 매우 특수한 요건들을 부과합니다. 이러한 요건들로는: 데이터 전송의 매우 높은 신뢰성과 안전성, 중요한 높은 우선순위 데이터 전송을 위한 짧은 대기 시간, 짧은 오류 복구 시간, broadcast (producer / consumer 원칙)로 데이터 전송과 client / server 데이터 전송, 저렴한 장치와 구현 비용, 그리고 단순한 관리기능 등.

CANopen 은 x-ray 시스템 내의 모든 모듈들과 기능들의 상호 연락에 사용되는 내부적 통신 네트워크로 또한 x-ray 시스템에 외부에서 추가되는 장치들을 연결하는데 사용되는 네트워크로 양쪽 모두에 매우 적합하다는 것을 보여줍니다. CAN 속성 덕분에, CANopen 은 매우 높은 오류 신뢰성, 짧은 대기시간과 오류 복구 시간, 안정된 데이터 전송, 네트워크와 시스템의 다양한 모듈화(modularization) 방식들, 플러그 앤 플레이 지원, 그리고 표준화된 시스템 서비스를 제공합니다. 이것은 유연한 네트워크 위상 생성을 가능하게 하여 저렴한 비용으로 구현될 수 있습니다. 더 나아가, CAN 과 CANopen 의 기술은, 이 기술을 이용하는 수많은 승인된 응용장비들이 이미 있기 때문에 독일의 TÜV 와 미국의 FDA 에 의해서도 의료시스템에서의 사용이 이미 승인되었습니다.

CAN in Automation 에는, x-ray 시스템에 중점을 둔 의료 장비와 애플리케이션 (SIG Medical Devices)을 위한 디바이스와 애플리케이션 프로파일의 규격이 마련되어 있습니다. 또한 x-ray 부착 장치로 주사기의 사용을 위한 전용 규격 역시 마련되어 있습니다.

CiA412-1 (DS) General definitions for medical devices

CiA412-2 (DS) Automatic x-ray collimator

CiA412-3 (P) X-ray generators

CiA412-4 (P) Patient tables

CiA412-5 (P) X-ray stands

CiA412-6 (DS) Dose measurement system

CiA425-1 (DSP) General definitions for medical diagnostic add-on devices

CiA425-2 (DSP) Injector

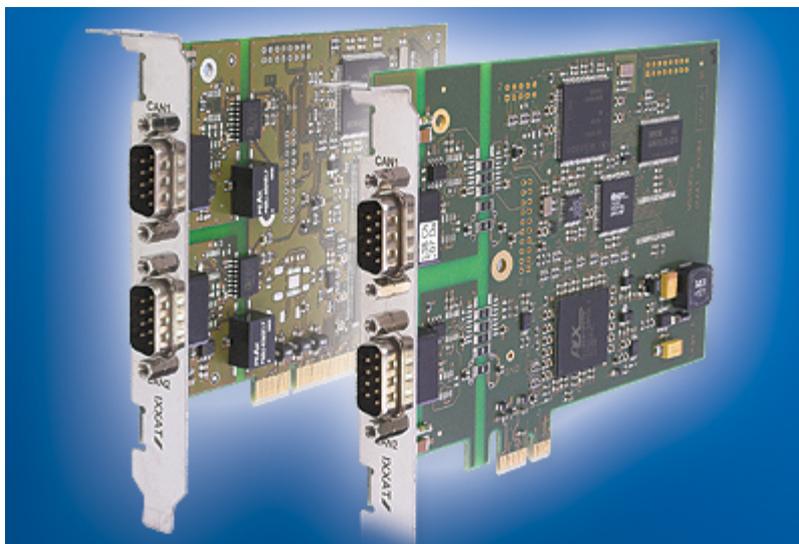
CiA425-3 (P) Electrocardiogram

## CANopen 마스터 인터페이스의 구현

X-Ray 시스템 같은 의료 장비에서 CANopen Master 인터페이스를 구현할 때는, 맨 처음 설계 단계에서부터 나중에 모듈식 CANopen 네트워크를 쉽게 만들고 유지할 수 있도록 설계 하는 것이 좋습니다. x-ray 시스템 자체는 이미 generator, collimator, stand, patient table, 측정 시스템과 옵션 부가 장치들 같은, 전체적인 시스템 기능 강화를 위해 네트워크 내에서 통합될 수 있는, 많은 기능적 모듈들로 이루어져 있습니다. 추가적인 외부 의료 장비들이 x-ray 시스템에 연결될 수 있으며 검사 조건에 따라 x-ray 시스템에 의해 제어될 수도 있습니다. 외부 장치들의 일반적인 예로는 조영제 주입장치 또는 심전도가 있습니다.

IXXAT 사가 개발한 CANopen Master 인터페이스 솔루션은 애플리케이션과 통신 소프트웨어 간의 명확한 분리를 바탕으로 하고 있습니다. 이러한 방식의 장점은 기존의 애플리케이션이 CANopen 통신 인터페이스를 이용하여, 기존 소프트웨어에 대한 필연적인 주요 변경 없이도, 쉽게 업그레이드될 수 있는 것입니다. 또한 디바이스 애플리케이션의 일부로, 추가적인 CANopen 네트워크 소프트웨어의 실행에 의해 야기될 수 있는 부정적인 효과들이 최소화됩니다.

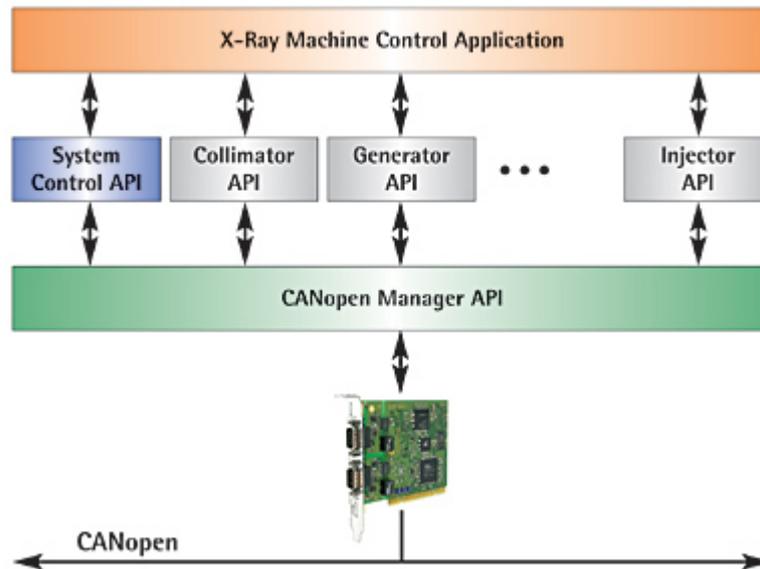
일반적으로 엑스레이 시스템의 메인 컨트롤러는 윈도우 또는 리눅스, QNX 를 실행하는 PC 혹은 내장형 PC 하드웨어를 바탕으로 합니다. 때문에 CANopen Master 기능 구현을 위해 PCI 나 PCIe 를 CAN 인터페이스로 사용하는 것이 가능합니다. 그러면 실제 CAN 인터페이스의 CPU 는 엑스레이 제어 애플리케이션과 상관없이 전체 데이터 교환과 모든 CANopen 서비스들을 처리하며 듀얼 포트 메모리 인터페이스를 통한 제어 애플리케이션을 이용하여 전송되거나 수신된 데이터를 교환합니다. CAN 인터페이스 자체는 IEC60601-1 의 전기 규격과 일치해야 합니다



CANopen Master 는 IXXAT 사의 CANopen Manager protocol 소프트웨어에 기초를 둔 것입니다. 이 소프트웨어 패키지는 CiA302-2 에 의한 표준 부트-업 절차, CiA302-3 에 의한 Configuration Manager, CiA302-4 에 의한 네트워크 변수들을 이용한 PDO 데이터 처리를 포함하여 CANopen Master 의 광범위한 구현을 제공합니다. 표준 부트-업 절차는 모든 예상 슬레이브노드들과 슬레이브 디바이스들의 정확한 타입과 버전들이 네트워크에 현재 있음을 뜻하는 network consistency 확인 체계를 포함하여 모든 디바이스들이 배치된 네트워크와 애플리케이션에 일치하는 구성으로 정확하게 작동되는 것을 보장합니다.

IXXAT CANopen Manager 구현은, 이러한 표준 방식을 보충하는 것으로, 독자적인 자동 부트-업 기능을 제공하는데 이것은 주어진 어떠한 CANopen 슬레이브 디바이스 리스트 없이도 네트워크를 시작하여 부트-업 동안 자동으로 네트워크에 있는 모든 CANopen 디바이스들을 식별할 수 있습니다. 제어 애플리케이션은 반드시 CANopen 네트워크에서 모든 예상 (필수) 장치들이 이용 가능한지를 확인해야 하며 엑스레이 시스템과 검사 시작 전에 작동을 확인해야 합니다. 이 방식의 장점은 CANopen 네트워크의 CANopen 슬레이브 장치들의 수와 종류가 네트워크 구성이 변경될 때마다 새로운 네트워크 구성 데이터를 생성하여 CANopen Manager 에 다운로드 할 필요없이 변경 가능하다는 것입니다. 그러나 일반적으로 엑스레이 제어 애플리케이션은 다양한 네트워크 구성들을 알고 있으며 CANopen 네트워크에서 이용 가능한 디바이스들의 정확성을 확인할 수 있습니다. 전형적인 시나리오들은 서로 다른 종류의 검사를 위해 엑스레이 시스템에 연결되어 사용되는, 여러 종류의 주사기들입니다.

또한 자동 부트-업 체계는 장치에 의해 어떤 데이터가 통신되는지를 확인합니다. 이 정보는 장치의 특정 데이터를 애플리케이션과 교환하는 기능을 제공하면서 네트워크에서 가능한 디바이스의 각각의 종류를 위한 전용 소프트웨어 모듈을 구현하는데 사용될 수 있습니다. 아래 그림은 PC 에서의 전체적인 소프트웨어 구조를 보여줍니다. CANopen Manager API 는 현재 CAN 인터페이스에서 실행하는 CANopen Manager 소프트웨어에 인터페이스를 제공합니다. 이 API 는 CANopen Manager 제어를 위한 명령어 인터페이스 ( init, reset, start boot-up, start/stop network 같은 서비스들을 포함), 진단과 상태 인터페이스 그리고 처리 데이터 인터페이스로 구성되어 있습니다. CANopen Manager API 의 가장 위에는, 전용 소프트웨어 모듈들이 특정 장치들을 제어하기 위해 필요한 API 를 내보내는 각 장치 타입에 맞게 구현됩니다. 시준기(collimator)용 모듈은 CollimatorShutterPosition(), ReportShutterStatus(), SetCommand(), ReportRuler(), ReportTemperature() 와 같은 API 함수들을 제공할 수 있습니다. 그러면 주사기용 모듈이 SetInjectorState(), ReadInjectorState(), SetVolume() 또는 GetCurrentFlowRate() 같은 API 함수들을 실행할 수 있습니다. 이러한 API 함수들을 사용하면, 엑스레이 제어 애플리케이션은 장치에 부여된 node-ID 또는 PDO 매핑이나 파라미터들의 주소매김을 위한 index 와 sub-index 같은 CANopen 의 특정한 부분들을 알 필요가 없습니다. 디바이스 타입 특정 소프트웨어 모듈들이 처음부터 모든 필요 정보들을 알게 되고 모든 정보를 검색하는데, 이는 CANopen Manager 의 한정적인 runtime 또는 configuration 입니다. 시스템 제어 API 를 가진 소프트웨어 모듈이 최종적으로 시스템 시작과 개별적인 중지를 제어하며 시스템 일관성을 책임집니다.



또한 활성 CAN 인터페이스 보드에서 처리중인 CANopen 프로토콜과 (내장된) PC 의 엑스레이 제어 애플리케이션 간의 분리는 장점도 있습니다. 만약 엑스레이 제어 애플리케이션이 오작동할 경우 CANopen Manager 가 그대로 제어 네트워크 폐쇄(shut-down)를 실행할 수 있기 때문입니다. 이 기능을 지원하기 위해, CANopen Manager 와 엑스레이 제어 애플리케이션 간에 모니터링과 감시 체계가 구현되었습니다.

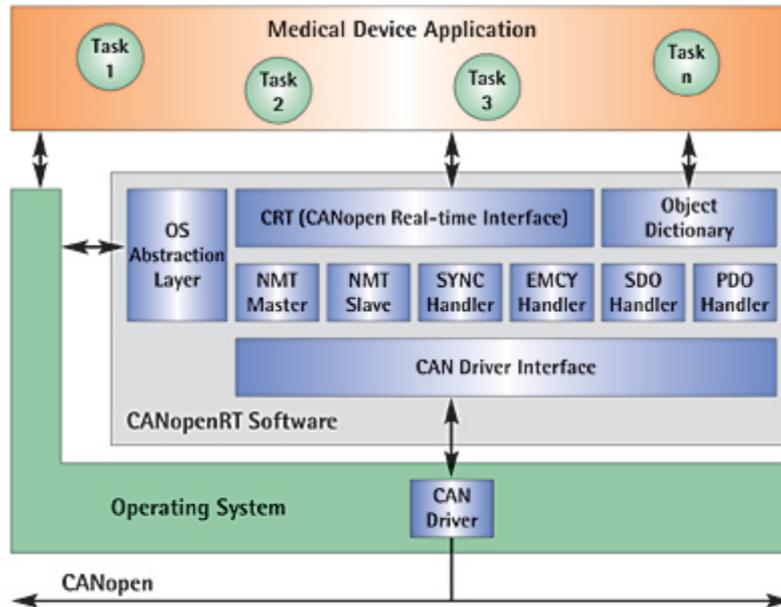
## CANopen 슬래브 인터페이스 구현

의료 장비에서 CANopen Slave 인터페이스를 구현하기 위해서는, 디바이스 애플리케이션을 실행하는 CPU 에서 CANopen Slave 인터페이스를 구현하거나 또는 CANopen Slave 기능을 실행하는 별도의 활성 CAN 인터페이스를 사용하는 것입니다.

첫번째 방법을 이용하면 CANopen Slave 프로토콜 스택이 애플리케이션과 같이 구현되며 이 애플리케이션이 객체 사전 엔트리(object dictionary Entry)에 정의된 데이터와 파라미터들과 직접 상호작용을 합니다. 의료 장비의 복잡성과 기능에 따라, 가령 CANopen 스택과 상호작용하는 여러 개의 서로 다른 작업들로 구성된 애플리케이션의 경우, 운영 시스템이 사용될 수도 있습니다. 특히 이러한 구조들을 염두에 두고, IXAT 사는 CANopenRT, CANopen 프로토콜 스택을 제공하며, 이는 특별하게 실시간에서의 사용 또는 다중작업 운영 시스템 사용을 위해 설계된 것입니다. 일반적인 CANopen 스택이, 다중작업을 인식하지만 어떤 작업이 CANopen 스택의 API 기능을 실행하는 한 다른 작업들을 차단하는 (비록 다른 작업들이 보다 높은 우선순위인 경우에도) 것과 달리, CANopenRT 는 API 를 제공하여, 여러 작업들이 차단되지 않고 API 를 사용할 수 있습니다.

만약 의료 장비가 이미 하드웨어와 소프트웨어의 형태로 존재하고 기존 하드웨어와 소프트웨어에 그다지 많은 변경없이 CANopen Slave 인터페이스를 이용하여 업그레이드를 하고자 할 경우라면, 두번째 방법을 고려 할만 합니다. 이러한 방법에서는, 활성 CAN 인터페이스가 로컬 버스

인터페이스, PCI, PCIe, Ethernet 또는 USB 를 통해 의료 장비의 제어 하드웨어에 연결될 수 있습니다. 이러한 방법의 예로는, 주사기인데, 이것은 CiA425-1/2 에 따라 CANopen 인터페이스로 고급화가 필요합니다. 일반적으로 주사기들은 사용자 터미널을 갖는데, 이것은 윈도우, 리눅스 또는 QNX 를 실행하는 디스플레이가 장착된 내장형 시스템에 기반을 두고 있습니다.



터미널은 주사기의 전체적인 기능을 제어하며 운영자를 위한 사용자 인터페이스를 제공하는 반면, 주입 실행을 위한 실제 안전 관련 제어는 제 2 의 전용 임베디드시스템에 의해 실행됩니다. 이 임베디드시스템은 터미널로부터 명령을 받고 상태 정보를 보냅니다. 엑스레이 장치(스캐너)로부터 주사기 제어를 위한 CANopen 인터페이스는 터미널에서 실행되어야 합니다. 터미널 하드웨어와 소프트웨어에 많은 변경을 하는것을 피하기 위해, 활성 CAN 인터페이스가 개발될 수 있으며, 이는 터미널에서 이용할 수 있는 인터페이스(예. USB 또는 Ethernet)에 의해 터미널에 연결되어 터미널에 형태와 외관을 맞추는 것입니다 (아마 이것은 터미널의 하우징에 통합될 수도 있을 것입니다). 그러면 주사기에 대한 객체 사전에 포함하여 일체의 CANopen 슬레이브 기능이 활성 CAN 인터페이스에서 구현됩니다. CANopen 슬레이브는 injector state 장비의 상태와 현재 주사기 모드에 따라 객체 사전 엔트리에 대한 모든 write 액세스와 PDO 또는 SDO read 를 처리하지만, 데이터를 처리하거나 injector state 장비내에서 transition 을 실행하지는 않습니다. 활성 CAN 인터페이스에 의해 수신된 모든 데이터와 상태 정보는 터미널 인터페이스를 통해 터미널에서 주사기 애플리케이션과 통신합니다. 주사기 애플리케이션은 이 데이터를 처리하고 언제 injector state 장비의 transition 이 실행될지를 결정하며 활성 CAN 인터페이스를 통해 CANopen Master (엑스레이 시스템)로 보내질 데이터를 처리합니다. 터미널의 주사기 애플리케이션과 활성 CAN 인터페이스의 CANopen 슬레이브간의 데이터, 상태, 명령 교환의 통합을 위해 lean API 가 제공됩니다. 함수, 메커니즘, 타이밍과 관련된 모든 CANopen 이 활성 CAN 인터페이스에 의해 다루어지고 처리되기 때문에, 단지 주사기 애플리케이션은 injector state 장비의 transition 과 애플리케이션 처리 데이터를 다루고 처리해야만 합니다. 이것은 대개 시간 작동에 영향을 주지 않고, 전체적인 소프트웨어 구조에 대한 변경 없이 주사기 애플리케이션에서 구현 가능합니다.