

사이버 물리 멀티미디어 시스템 활용 서비스와 통신 기술 분석

I. 서론

지난 10여년간 통신·네트워크 및 센서·액추에이터 기술의 비약적인 발전은 컴퓨터를 단순히 컴퓨팅 기능을 수행하는 것에서 벗어나 주위의 물리적 세상과 상호 교류가 가능하도록 발전하고 있다. 실제로, 2020년에는 26 억개 이상의 센서 및 액추에이터 디바이스들이 네트워크를 통하여 물리적 세상과 연결되어 세상을 볼 수 있는 눈과 통제 할 수 있는 수단이 될 것으로 예상 되고 있다.^[1, 2]

이러한 추세에 따라 사이버 물리 시스템(CPS; Cyber-Physical Systems)은 물리적 세상을 보다 효율적으로 통제하기 위하여 제어, 컴퓨팅, 그리고 통신 기술의 융합으로 탄생하였다.^[3]

CPS는 다양한 임베디드 센서 디바이스가 물리적 세상을 관찰하고 이 정보를 바탕으로 최적의 제어 신호를 생성하여 직접 물리적 세상을 통제하는 시스템을 말한다. 특히, 최근 하드웨어 기술과 모니터링 기법의 발달에 따라 멀티미디어 센서 모듈을 활용함으로써 영상 및 음성 같은 멀티미디어 데이터 수집이 저전력 센서 디바이스에서도 가능하게 되었다.^[4] 사이버 물리 멀티 미디어 시스템(CPMS; Cyber-Physical Multimedia Systems)은 이러한 기존의 사이버 물리 시스템에서 무선 멀티미디어 센서를 통하여 영상 및 음성을 실질적인 물리적 시스템의 통제에 사용되는 시스템을 말한다. 무선 멀티미디어 센서를 이용하여 현실 세계를 실시간으로 모니터링하고, 이러한 다양한 대용량의 정보를 네트워크를

사이버 물리 시스템(CPS; Cyber-Physical Systems)은 다양한 임베디드 센서 디바이스가 물리적 세상을 관찰하고 이 정보를 바탕으로 최적의 제어 신호를 생성하여 직접 물리적 세상을 통제하는 시스템을 말한다.



박 판근
경상대학교
정보통신공학과



통하여 제어기에 전달되며, 제어기는 컴퓨팅 자원을 이용하여 최적의 제어 신호를 액추에이터에 전달함으로써 현실 세계를 통제하게 된다. 이러한 시스템은 컴퓨팅, 제어, 감지 및 네트워킹의 모든 구성 요소가 깊이 관련되어 있기 때문에 CPMS 내의 가상의 공간인 “cyber”와 실제 물리 시스템의 “physical”한 면의 상호 작용을 이해하고 이를 통한 고가용성·고신뢰성 시스템의 구축은 매우 중요한 과제가 되고 있다. 특히, 세상을 통제하는 눈이 되는 저전력 무선 멀티미디어 센서 네트워크 기술은 보다 안정적인 CPMS 구축에 있어서 매우 중요한 인프라 기술이라고 할 수 있다. 이렇게 수많은 무선 멀티미디어 센서 및 액추에이터로 구성된 네트워크를 통한 CPMS 시스템은 다양한 대규모 시스템의 효율성을 향상시킬 수 있는 매우 높은 잠재성을 가지고 있다. 특히, CPMS 기술은 국가의 중대한 인프라인 교통, 전력망, 의료·헬스케어, 국방 및 산업 등의 다양한 분야에서 국가 안보 및 경제에 대한 경쟁력을 유지하기 위한 매우 중요한 기술이 될 수 있다.

CPMS 구축을 위한 기반 통신 기술은 기존의 인터넷 및 저전력 기반 무선 센서 네트워크와 다른 특성을 가지고 있다. 멀티미디어 데이터는 일반적인 센서 네트워크의 단순 수치 데이터와 달리 정해진 정보 전송의 품질(QoS: Quality of Service)이 보장되어야 의미가 있는 서비스를 제공할 수 있다. 따라서 주어진 서비스의 품질 요구 사항을 반드시 네트워크 설계에 고려하여야 한다. 일반적으로 멀티미디어 데이터의 크기가 매우 크므로 데이터 전송 시 저전력 노드에 과도한 에너지 소모를 발생 시킬 수 있으며, 그로 인하여 네트워크의 수명이 급격하게 감소하는 문제가 발생한다. 또한, 대용량 데이터의 전송 과정에서의 채널 점유 간 증가로 인한 혼잡 상황이 빈번하게 발생하고, 이는 멀티미디어 데이터 전송 실패에 따른 모니터링 정보의 품질 저하를 넘어 전체 CPMS의 안정성에도 심대한 영향을 줄 수 있다.^[5]

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 CPMS 기반의 다양한 응용 서비스에 대하여 설명한다. 제3장에서는 CPMS의 참조 네트워크 모델에 대하여 기술한다. 제4장에서는 CPMS 구축을 위한 무선 멀티미디어 센서 네트워크의 통신 기술을 분석하며, 마지막으로 제5장에서

는 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 응용 서비스

무선 멀티미디어 센서 네트워크에 기반한 CPMS는 다양한 응용 서비스를 제공할 수 있으며, 크게 4가지로 나눌 수 있다.

• 감시

영상 및 음성 센서는 범죄와 테러 공격을 감시하는 기존 시스템을 보강 할 수 있다. 무선 멀티미디어 센서는 광범위한 공공 장소 및 경계 지역에 설치되어 법적 강제력을 강화 시킬 수 있다. 또한, 멀티미디어 센서는 발생 가능한 절도, 차량 사고 등의 영상 및 음성 데이터를 직접 보내거나, 데이터를 직접 분석하여 특정인을 확인하거나 범죄 위험 요소를 알릴 수 있다.

• 교통

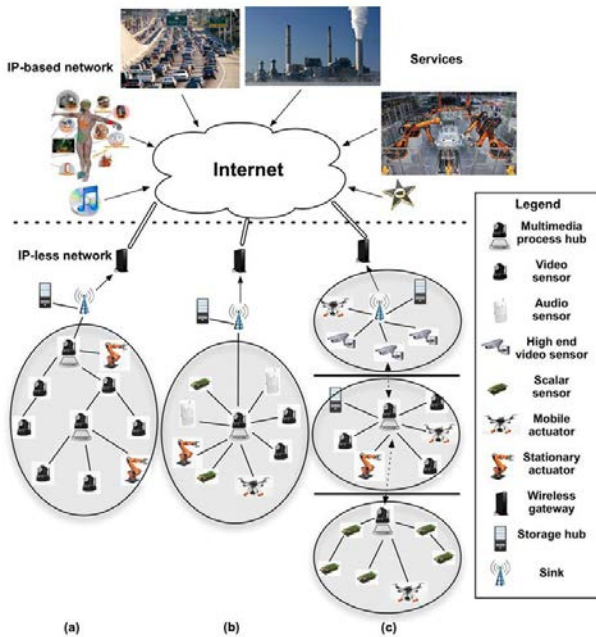
도시 및 고속도로에서의 교통량을 모니터링하고, 이러한 실시간 정보는 교통관제에 이용 될 수 있다. 멀티미디어 센서는 단순히 영상 정보를 보내는 것뿐만 아니라 차량의 평균 속도 및 차량 수 등의 정보를 직접 추출할 수 있다. 또한, 차량 신호 위반 및 사고 시에 관련 영상을 전송 및 분석할 수 있다. 예를 들어, 주차 관리 시스템에서 주차 가능한 공간 등의 유용한 정보를 사용자에게 제공하여 도시 교통난을 해소 시킬 수 있다.^[6]

• 건강

멀티미디어 센서는 노인들의 치매와 같은 병으로 인한 사고를 모니터링하고, 예측하는데 사용 될 수 있다.^[7] 영상 센서를 통하여 위기 상황을 인지하고 이러한 정보를 바로 병원 및 보호자에게 전송 할 수 있다.

• 산업

이미지, 온도, 압력과 같은 다양한 멀티미디어 데이터는 산업 자동화 시스템의 효율성을 향상 시키는데 사용 될 수 있다.^[8] 예를 들어, 최종 상품의 이미지를 통하여



〈그림 1〉 사이버 물리 멀티미디어 시스템 참조 모델: (a) 단일 계층의 동종 센서와 액추에이터, 분산 데이터 처리 및 중앙 집중식 저장 공간 (b) 클러스터 기반 단일 계층의 이종 센서와 액추에이터, 중앙 집중식 신호 처리 방식과 저장 공간 (c) 복수 계층 구조의 이종 센서 및 액추에이터, 분산 데이터 처리 및 분산 저장 공간

상품 결함이 발생 시 위치와 방향을 알려주고 로봇을 통하여 이를 자동으로 분석하고 수리하는 미래 산업 자동화 시스템에 이용될 수 있다.

CPMS 기반 서비스는 인터넷을 통하여 다양한 센서의 데이터를 수집 할 수 있고, 필요시 이러한 데이터에 기반하여 물리적 시스템을 통제 할 수 있다.

III. 네트워크 구조

CPMS 기반 서비스는 인터넷을 통하여 다양한 센서의 데이터를 수집 할 수 있고, 필요시 이러한 데이터에 기반하여 물리적 시스템을 통제 할 수 있다. 〈그림 1〉은 이러한 CPMS의 참조 네트워크 구조를 제시하고 있으며, 다양한 기능의 요소들로 구성되어 있다.

• Standard Video and Audio Sensors

표준 영상 또는 오디오 센서는 추적하고자 하는 사물의 소리 또는 이미지를 얻는데 사용된다. 또한 이러한 센서는 단일 또는 복수 계층의 다양한 네트워크 구조를 가질

수 있다.

• Scalar Sensors

일반적인 저전력 센서로서 온도, 압력, 습도와 같은 매우 간단한 물리적 현상을 모니터링하고 이러한 정보를 클러스터 헤드에 전달한다. 이러한 센서는 주로 저장 공간 및 컴퓨팅 등의 자원이 매우 제한된 배터리 기반 디바이스 형태를 가진다.

• Mobile and Stationary Actuator

액추에이터는 물리 시스템을 움직이거나 제어하는 데 쓰이는 장치를 의미한다. 일반적으로 전류 및 유압 형태로 된 에너지원으로 작동하며 이 에너지를 어떠한 종류의 물리적 움직임으로 변환한다. 예를 들어, 고속도로의 특정 지역에 사고 발생 시 이를 모니터링하기 위하여 무인 항공기를 급파할 수 있다.

• Multimedia Processing Hubs.

일반적인 센서 보다 높은 컴퓨팅 자원을 가지고 있어서 다양한 멀티미디어 데이터를 처리 할 수 있는 디바이스를 의미한다. 실시간 모니터링 데이터를 이용하여 필요 시 직접 액추에이터를 제어 할 수도 있다. 또한, 싱크 또는 저장 디바이스에 정보를 전송하기 전에 데이터를 압축 할 수 있다.

• Storage Hubs

응용 서비스에 따라서는 멀티미디어 데이터를 실시간으로 처리하거나 다른 데이터와 함께 처리를 해야 하는 문제가 발생 할 수 있다. 이러한 저장 허브는 데이터 분석 알고리즘 등을 통하여 응용 서비스의 최종 단계 정보를 보내지 않고도 물리적 현상을 분석 할 수 있다.

• Sink

싱크는 다양한 응용 서비스의 요청 정보를 합하여 센서 네트워크 단계 전달하고, 수집된 정보를 처리하여 각 응



용 서비스에 전달하는 역할을 한다. 이중의 광대한 네트워크 환경 하에서는 다수의 싱크 노드가 필요 할 수 있다.

• Gateway

IP 기반의 CPMS 구성 요소로서 인터넷과 싱크 노드를 연결하는 역할을 한다. 수집된 데이터의 위치 정보등을 함께 관리하여 할당된 태스크가 적절하게 싱크 노드에 할당 될 수 있도록 한다.

• Services

CPMS 계층 구조에서 최상위에 위치해 있으며 특정 영역에 대한 모니터링 정보를 요청하고 이에 기반하여 실제 물리적 세상을 통제 할 수 있는 제어 신호를 생성한다.

VI. 통신 기술

일반적인 저전력 통신 프로토콜은 CPMS의 기반 통신인 무선 멀티미디어 센서 네트워크와 같이 주어진 데이터 전송 품질을 보장 하는데 기술적 한계성을 가지고 있다. 단적으로 기존 센서 네트워크에서 수집되는 수치 데이터와 달리 무선 멀티미디어 센서 네트워크에서 수집되는 데이터의 크기가 매우 크므로 데이터를 수집하고 처리하는 성능 대비 에너지 효율성이 매우 중요한 이슈가 된다. 또한, 일반적으로 시스템의 안정성을 보장하는데 있어서 액추에이터와의 통신 링크는 센서와의 통신 링크 보다 더욱 중요한 역할을 하게 된다.^[9] 본 절에서는 CPMS를 위한 무선 멀티미디어 센서 통신 프로토콜의 각 계층별 기술 동향을 분석한다.

• 물리 계층

Ultra-wideband (UWB)는 여러 적용 가능한 기술 중에 멀티미디어 센서 네트워크가 요구로 하는 높은 데이터 전송 속도와 낮은 전력 소모를 동시에 만족 시킬 수 있는 가장 현실성이 높은 기술로 꼽을 수 있다.^[10] 특히,

Time-Hopping Impulse Radio UWB (TH-IR-UWB)는 정보를 전송하기 위해 매우 짧은 길이의 펄스 신호에 기반한 기술로써, 각 프레임이 매우 짧은 길이의 몇 개의 칩으로 구성된다. 송신기는 각 프레임의 칩에 할당된 하나의 펄스를 전송하며, 여러 디바이스가 채널을 공유해야 할 때는 Pseudo-Random Time Hopping Sequences에 기반하여 각 송신기가 어떤 칩을 사용해야 할지를 결정한다. TH-IR-UWB 방식은 통신 캐리어를 필요로 하지 않아 매우 간단한 하드웨어로 설계가 가능하고 따라서 낮은 비용으로 구현이 가능하며 높은 전송 속도와 낮은 전력 소모를 보장한다. 또한, 다른 디바이스로부터 간섭이 발생하더라도 이를 제거 할 수 있는 능력이 높으며, 전송 속도가 전송 전력 분산 밀도와 채널의 다중 패스 성능과 관련성을 가져 유연성이 매우 높은 기술이다. 무엇보다 가장 큰 강점 중에 하나는 임펄스 전송 기술을 통하여 매체 접근 제어 계층과 자연스러운 결합이 가능하며, 따라서 복잡한 수신기가 없이도 다중의 디바이스가 동시에 통신이 가능하다. 또한, 고대역폭의 사용은 정확한 위치를 예측하거나 네트워크 동기화에도 유용하게 사용될 수 있다. 마지막으로 UWB 전송 신호는 매우 낮은 전력 분포도를 가져서 신호를 차단 또는 탐지하는 것이 어려워 군사적 목적으로도 사용 가능하다.

기존 센서 네트워크에서 수집되는 수치 데이터와 달리 무선 멀티미디어 센서 네트워크에서 수집되는 데이터의 크기가 매우 크므로 데이터를 수집하고 처리하는 성능 대비 에너지 효율성이 매우 중요한 이슈가 된다.

• 데이터 링크 계층

패킷 전송의 신뢰성을 보장하기 위하여 데이터 링크 계층은 채널에 대한 접근 제어와 오류 제어 기능을 제공한다. 본 단락에서는 무선 멀티미디어 센서 네트워크를 위하여 비경쟁 기반의 매체 접근 제어와 순방향 오류 정정(FEC; Forward Error Correction) 기술을 제안하고 분석한다.

- 매체 접근 제어

매체 접근 방식은 크게 경쟁과 비경쟁 기반의 매체 접근 제어로 나눌 수 있다. 주로 무선 네트워크에서 사용되



는 경쟁 기반의 매체 접근 제어 방식은 반송파 감지 다중 액세스 / 충돌 회피(CSMA/CA; Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)의 변형된 형태를 가지고 있다. 다중 디바이스 간의 경쟁은 랜덤 타이머와 방송파 감지 기술로 회피가 가능하지만, 이러한 방식은 비효율적으로 에너지를 소비하게 된다. 또한 무선 멀티미디어 센서 네트워크의 다양한 주기적/비주기적인 트래픽을 효율적으로 지원할 수 있는 저전력용 경쟁 기반 매체 접근 방식은 아직까지 개발이 되지 않고 있다.

시분할 다원 접속(TDMA; Time-division Multiple Access)은 대표적인 비경쟁 기반 매체 접근 제어 방식이다. 주로 각 프레임은 매체의 자원 할당을 위한 경쟁 기반의 예약 주기와 이에 기반한 비경쟁 매체 접근 방식으로 데이터를 전송하는 주기로 크게 나누어져 있다. 주기적 또는 비주기적 예약 주기는 응용 서비스의 QoS 조건에 따라 필요로 하는 시간 슬롯을 각 디바이스에 할당하게 된다. 물론 시분할 다원 접근 방식이 제한된 확장성과 복잡한 스케줄링으로 인한 단점이 있으나 최근의 분산화된 시분할 다원 접속 방식은 이러한 비경쟁 기반 매체 접근 방식의 원천적인 단점을 많이 해결하고 있다. 또한 최근에는 간섭 현상을 해결할 수 있는 다중입력 다중출력(MIMO; Multiple Input Multiple Output) 기반의 안테나 설계 방식이 멀티미디어 센서 네트워크에 적용이 되고 있다.^[11] 각 센서가 안테나의 작은 구성 요소로 작동하여 주위의 센서들과 협력하며, 마치 다중 안테나 시스템과 비슷하게 작동하게 된다. 특히, 분산화된 다중입력 다중출력에 기반한 압축 방식은 멀티미디어 센서 네트워크의 연관된 측정 데이터 값을 효율적으로 관리 할 수 있는 방안으로 주목을 받고 있다.

- 링크 오류 제어

양질의 영상을 제공하기 위하여 무선 네트워크는 매우 낮은 전송 손실률을 가져야 한다. 물리 계층과 데이터 링크 계층에서 무선 채널의 불확실성을 해결하기 위한 방법으로는 순방향 오류 정정 방식과 자동 재전송 요구 방식(ARQ; Automatic Repeat Request), 그리고 이 두 가지 방식을 혼합한 하이브리드 방식이 있다. 순방향 오류

정정 방식은 전송 되는 데이터의 중요도에 따라 다른 레벨의 오류 정정 방식을 사용함으로써 보다 효율적으로 패킷의 오버헤드를 관리한다. 이에 반하여 자동 재전송 요구 방식은 데이터 전송 실패 시 재전송으로 대역폭의 효율성은 높일 수 있으나 전송 지연을 일으킬 수 있다. 최근의 순방향 오류 정정 방식과 자동 재전송 요구 방식의 성능 비교에 있어서는 특정 순방향 오류 정정 방식의 블록 코드(BCH)가 지연 시간과 에너지 소모와 같은 성능 지표에서 자동 재전송 요구 방식보다 매우 효율적임을 보이고 있으며, 따라서 무선 멀티미디어 센서 네트워크에 적용 될 수 있다.^[12]

• 네트워크 계층

비록 많은 저전력용 무선 센서 네트워크 기반 라우팅 방식이 있으나, 본 단락에서는 멀티미디어 데이터를 위한 네트워크 계층에 대하여 설명한다.

- 계층 구조와 데이터 상관관계

<그림 1>에서 보았듯이 계층화된 CPMS는 다양한 기능의 센서 및 액추에이터로 구성되어 있다. 예를 들어 이미지 센서를 통한 저해상도 이미지와 영상 센서를 통한 고해상도 영상을 위한 다른 두 개의 라우팅 셋을 유지 할 수 있다. 물론 두 개의 라우팅이 같은 물리적 현상에 대한 측정 데이터 일 수 있기 때문에 이렇게 다른 라우팅 방식은 매우 가깝게 상호 작용해야 한다. 다양한 센서의 측정치가 주기적으로 융합될 필요가 있기 때문에 두 개의 다른 라우팅은 공동의 디바이스를 통하여 데이터를 전송할 수 있다. 따라서 이러한 계층화된 환경 하에서 라우팅 알고리즘간의 협력을 통하여 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있다. 또한, 측정 데이터간의 상관관계를 고려하여 라우팅 패스를 계산할 때 고려 할 수도 있다. 특히 영상 센서의 경우 각각의 카메라가 다른 방향으로 설치되어 있을 수 있다. 이러한 경우, 라우팅 패스 계산 시 각 센서의 모니터링 영역등을 고려 할 수 있다.

- 실시간 라우팅 프로토콜

일반적으로 시간 지연, 신뢰성, 에너지 소모는 상충 하



는 성능 조건이며, 제한된 자원의 임베디드 디바이스에 서는 매우 간단한 알고리즘만을 구현 할 수 있기 때문에 이 문제는 매우 복잡한 과제이다. 특히, 스트리밍 서비스 와 같은 경우 지연 요구 조건과 신뢰도 요구 조건은 서로 상충하는 경우가 많다. Multi-Path and Multi-SPEED (MMSPEED) 라우팅 프로토콜은 이러한 지연과 신뢰도 요구 조건을 동시에 만족 시키기 위한 방안으로 제시되었다.^[13] 이 프로토콜은 요구 조건에 따라 각 트래픽을 차별 화하여 채널 접근 시 이를 고려한다. 각 링크 계층의 지연 모니터링 정보에 기반하여 노드의 라우팅 패스를 결정하 고, 귀환 정보를 통하여 잘못된 측정치를 수정 할 수 있도 록 한다.

CPMS의 기반 무선 센서 네트워크의 에너지 효율성, 신뢰성과 지연 요구사항을 동시에 만족시키기 위하여 통 신 계층 간의 상호 작용을 보다 효율적으로 최적화하는 새로운 프로토콜인 Breath가 제안 되었다.^[14] Breath는 가상의 제어기 에 연결된 싱크 노드에 물리적 시스 템과 관련한 정보를 라우팅을 통하 여 적시에 안정적으로 전송하는 무 선 네트워크 프로토콜이다. 기본적 으로 프로토콜은 랜덤 라우팅, 매체 접근 제어 및 에너지 효율성 보장을 위한 저전력 기술에 기반 하고 있다.

• 전송 계층

스트리밍 미디어 서비스와 같은 실시간 응용의 경 우 단-대-단 혼잡 제어과 같은 일반적인 전송 계층 의 기능이 매우 중요하다. 본 단락은 이와 관련된 User Datagram Protocol (UDP)와 Transmission Control Protocol (TCP)를 설명한다.

- UDP 기반 프로토콜

UDP는 주로 지연 성능이 신뢰도 보다 중요한 멀티미 디어 응용 서비스 분야에서 TCP 보다 많이 사용된다. 특 히, Realtime Transport Protocol (RTP)과 같은 인터 넷 표준은 무선 멀티미디어 센서 네트워크에 적용이 가능 하다. RTP 는 Real-time Transport Control Protocol

(RTCP) 이라는 분리된 제어 스트림을 사용하고 있는데 이는 네트워크의 상황이 변화 시 빠르게 적응할 수 있도 록 한다. RTP는 UDP 위에서 운용 가능하지만, 대역폭의 스케일링 뿐만 아니라 다른 이미지를 하나로 분석 처리 하는 등의 호스트의 기능도 지원한다. 또한, Application Level Framing (ALF)은 다양한 응용의 요구 조건에 따 라 헤더의 변경이 가능하다. ALF를 통하여, 특정한 명령 이 헤더에 삽입 되더라도 IP 기반의 다른 데이터 저장소 와 모니터링 네트워크와 양립 할 수 있다.

- CPMS를 위한 TCP 방식

일반적으로 멀티미디어 센서의 소스 노드는 싱크 노드 로 매우 높게 압축된 데이터 패킷을 전송한다. 일반적으 로 JPEG2000 이나 MPEG과 같은 압축 방식은 특정 관 심 영역을 이미지로부터 추출한다. 이러한 특정 패킷은

스트리밍 미디어 서비스와 같은 실시간 응용의 경우 단-대-단 혼잡 제어과 같은 일반적인 전송 계층의 기능이 매우 중요하다.

단순한 보간법으로 추정하지 못하 는 원본 정보를 전송하게 된다. 따 라서 멀티미디어 콘텐츠의 패킷 전 송 실패 시 이는 UDP와 비슷한 문 제를 발생 시킨다. CPMS의 안정성 을 보장하기 위하여 이러한 패킷의

전송 신뢰도를 높이기 위한 선택적인 향상 방안이 필요 하다. 멀티미디어 데이터 전송 시 TCP 기반의 제어 방식 은 혼잡 제어 방식으로 인한 시간 지터과 제어 메시지 오 버헤드와 같이 크게 두 가지 문제를 발생 시킨다. MPEG 전송 시 TCP 기반의 제어 방식은 시간 지터 발생 시 싱크 노드에서 버퍼에 저장한 영상을 재생하여 문제를 해결한 다. 또한, 분산 처리 방식은 네트워크 내부의 TCP 세그먼 트를 고속처리 할 수 있도록 하며 메시지 교환 오버헤드 를 감소시킨다. 대역폭 사용률 측면에서도 TCP를 고려할 수 있는데, 예를 들어 소스 노드와 싱크 노드 사이의 여러 개의 스트림 서비스가 제공될 수 있으며, 이 각각의 스트 림은 다른 라우팅 패스를 통하여 연결 될 수 있다. 대용량 멀티미디어의 트래픽을 여러 개의 낮은 속도의 패스에 나눌 수 도 있으며 또한 각 네트워크 연결부 마다 TCP 윈도우 크기를 조절하여 혼잡을 방지 할 수 있다.



• 응용 계층

본 단락에서는 CPMS의 다양한 트래픽에 따른 응용 계층에서의 역할에 대하여 설명한다.

- 멀티미디어 부호화 기술

무선 멀티미디어 센서 네트워크를 위한 코딩 기술은 다음 주요 3가지 목적을 만족해야 한다. 첫 번째, 제한된 대역폭과 에너지 소모를 고려하여 높은 압축 효율성을 필요로 한다. 두 번째, 멀티미디어 부호화 알고리즘은 저가의 임베디드 시스템에 적용이 가능하도록 매우 낮은 복잡도를 가져야 한다. 마지막으로 불확실한 무선 채널을 통하여 데이터가 전송이 되므로 오류에 견고한 부호화 기술이어야 한다. 일반적으로 사용되는 예측 기반 부호화 기술은 ISO MPEG 또는 ITU-T H.263과 H.264에 포함되어 있으나 계산 복잡도가 높으며 비효율적 에너지 소모 등의 단점을 가진다. 또한, MPEG 또는 H.263와 H.264를 구현할 시 부호화 기술은 복호화 기술보다 5-10배 정도의 높은 복잡도를 가진다.^[9] 최근의 정보 이론 연구는 무손실 부호화의 성능 경계와 복호화 쪽의 정보만을 활용한 손실 부호화 기술이 개발되고 있다.^[9] 이를 통하여 일반적인 부호화와 복호화의 복잡도가 뒤바뀔 수 있게 되었으며, 이러한 기술을 분산 소스 부호화라고 부른다. 분산 소스 부호화는 여러 상관관계가 높은 센서 데이터 정보의 압축을 말하며, 복호화는 주로 이러한 각각의 독립적인 압축 데이터를 중앙 시스템에서 운용한다. 이러한 기술은 실질적으로 구현이 되지는 않았으나, 영상 센서를 이용한 CPMS의 경우 이 기술을 적용할 수 있다. 즉, 부호화는 간단한 알고리즘을 사용하여 일반적인 멀티미디어 센서에서 구현 될 수 있고, 복잡한 복호화는 싱크 노드에서 프로세싱이 될 수 있다.^[15, 16]

- In-network 처리 기술

일반적으로 다양한 응용 서비스는 주어진 원본 데이터로부터 다양한 정보를 추출해야 한다. 이러한 유용한 정보를 실시간에 추출하기 위하여 분산 필터링, In-network 처리 구조 및 효율적인 조회 언어가 필요하다. 온도 및 압력과 같은 단순한 센서 측정 데이터를 위한 분

산 처리 기술로는 멀티미디어 콘텐츠를 처리 할 수 없기 때문에 이를 해결할 수 있는 데이터 융합 처리 기술이 필요하다.

V. 향후 연구 및 결론

CPMS는 물리적 현실 세계가 무선 멀티미디어 센서 네트워크를 통해 관찰되고, 제어되는 통합 시스템이다. 본 논문에서는 CPMS를 위한 무선 멀티미디어 센서 네트워크의 기반 기술에 대한 응용 서비스 분야 및 최신 연구 동향에 대하여 살펴보았다. 물리, 데이터 링크, 네트워크, 전송과 응용 각 계층의 가능한 해결 방안과 연구 주제에 대하여 설명을 하였다. 특히, 본 논문에서는 최근의 응용 계층의 분산 소스 부호화, 시/공간 정보를 활용한 네트워크 및 전송 계층과 UWB 기술을 활용한 비경쟁 기반 매체 접근 방식이 현실적인 CPMS의 구현을 위한 기반 통신 기술이 될 수 있다고 제시한다.

참고 문헌

[1] On World. ZigBee Crosses the Chasm: A Market Dynamics Report on IEEE 802.15.4 and ZigBee, 2010. <http://onworld.com/zigbee/>.

[2] ABI research. Wireless Sensor Networking Markets, 2010. <http://www.abiresearch.com/>

[3] J. Sztipanovits, X. Koutsoukos, G. Karsai, N. Kottenstette, P. Antsaklis, V. Gupta, B. Goodwine, J. Baras, and S. Wang, "Toward a science of cyber-physical system integration," Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 1, pp. 29-44, 2012.

[4] I.F. Akyildiz, T. Melodia, K.R. Chowdhury, "Wireless Multimedia Sensor Networks: Applications and Testbeds," Proceedings of the IEEE, vol.96, no.10, pp.1588-1605, 2008.

[5] J.P. Hespanha, P. Naghshtabrizi, Xu Yonggang, "A Survey of Recent Results in Networked Control Systems," Proceedings of the IEEE, vol.95, no.1, pp.138-162, 2007.

[6] J. Campbell, P. B. Gibbons, S. Nath, P. Pillai, S. Seshan, and R. Sukthankar, "IrisNet: An internet-scale architecture for multimedia sensors," in Proc. ACM Multimedia Conf., 2005.



- [7] A. A. Reeves, "Remote monitoring of patients suffering from early symptoms of dementia," in Proc. Int. Workshop Wearable Implantable Body Sensor Netw., London, U.K., Apr. 2005.
- [8] V. Gungor and G. Hancke, "Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 56, no. 10, pp. 4258–4265, 2009.
- [9] P. Park, "Traffic Generation Rate Control of Wireless Sensor and Actuator Networks," IEEE Communications Letters, vol.19, no.5, pp. 827–830, 2015
- [10] L. Yang and G. B. Giannakis, "Ultra-WideBand Communications: An Idea Whose Time Has Come," IEEE Sig. Processing, vol. 21, no. 6, 2004, pp. 26–54, 2004.
- [11] S. K. Jayaweera and M. L. Chebolu, "Virtual MIMO and Distributed Signal Processing for Sensor Networks—An Integrated Approach," Proc. IEEE ICC, Seoul, Korea, 2005.
- [12] M. C. Vuran and I. F. Akyildiz, "Cross-Layer Analysis of Error Control in Wireless Sensor Networks," Proc. IEEE Intl. Conf. on Sensor and Ad Hoc Commun. and Networks, Reston, VA, 2006.
- [13] E. Felemban, C.-G. Lee, and E. Ekici, "MMSPEED: Multipath Multi-SPEED Protocol for QoS Guarantee of Reliability and Timeliness in Wireless Sensor Networks," IEEE Trans. Mobile Comp., vol. 5, no. 6, pp. 738–754, 2006.
- [14] P. Park, C. Fischione, A. Bonivento, K. H. Johansson, and A. Sangiovanni-Vincentelli, "Breath: An Adaptive Protocol for Industrial Control Applications Using Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 10, no. 6, pp. 821–838, 2011.
- [15] B. Girod et al., "Distributed Video Coding," Proc. IEEE, vol. 93, no. 1, Jan, 2005, pp. 71–83, 2005.
- [16] Z. Xiong, A. D. Liveris, and S. Cheng, "Distributed Source Coding for Sensor Networks," IEEE Sig. Processing, vol. 21, no.5, pp. 80–94, 2004.



박판근

- 2005년 아주대학교 전자공학과 (공학사)
- 2007년 스웨덴왕립공과대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2011년 스웨덴왕립공과대학교 통신공학과 (공학박사)
- 2011년~2013년 University of California at Berkeley 박사후연구원
- 2013년~2015년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2015년 3월~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수

〈관심분야〉

- 사이버물리시스템, 임베디드 시스템, 네트워크 제어시스템, 항공 관제 및 통신