

전력선 통신과 무선 센서 네트워크 기술을 이용한 연동 통합제어 시스템에 관한 연구

지윤일*, 임강일**, 박경섭***

울산대학교 전기전자정보시스템공학부

A Study on Linkage Integration Control System Using Power Line Communication(PLC) and Wireless Sensor Network(WSN)

Yun-il Ji*, Kang-il Lim**, Kyung-sub Park***

School of Electrical Engineering in Ulsan University

E-mail : udory@mail.ulsan.ac.kr*, dlarkddlf@mail.ulsan.ac.kr**, parkks@mail.ulsan.ac.kr***

요 약

전력선 통신은 별도의 통신선로가 필요 없어 저렴한 설치비용과 설치가 용이하고 접근이 간편해 다양한 응용시장 하부 네트워크가 가능하나 제한된 전송 데이터와 통신 장애 요소인 높은 부하 간섭과 잡음 문제가 있으며 무선 센서 네트워크는 기반 시설이 불필요하고 센서 노드들 간의 자체적 네트워크 구축이 가능하여 짧은 시간에 구현이 가능하나 QoS의 향상을 위한 능동적 센싱과 불필요한 정보전송으로 인한 전력소모의 증가로 인해 센서 노드의 수명 단축 문제로 저전력 설계와 개선된 프로토콜의 필요성이 언급되고 연구되고 있다.

본 연구에서는 전력선 통신과 무선 센서 네트워크의 문제를 상호 보완하고 장점은 더하여 연동 통합제어 시스템을 구축함으로써 두 기술의 시너지 효과를 이용해 보다 제약이 없고 원활한 네트워크 환경구축을 위해 개선된 제어 네트워크를 구조적으로 접근해보려 한다.

하니웰 사의 하이브리드 센서 네트워크를 비교 분석하고 네트워크 팀밍(Teaming)을 제안하며 제안된 전력선 통신과 무선 센서 네트워크의 연동 통합제어 시스템(Linkage Intergration Control System)의 성능 향상의 정도를 시뮬레이션을 통해 새롭게 제안한 방식의 네트워크 및 개선안이 기존의 네트워크보다 서비스 지연이 줄어들고 성능 향상이 있었음을 확인하려 한다.

ABSTRACT

Power Line Communication(PLC) is need not additional communication line. So establishment expense is inexpensive and application is simple. Therefore, lower part network of various application field is possible. However, there are high subordinate interference and noise problem on limited transmission data and communication interference element.

Wireless Sensor Network(WSN) is need not infrastructure, Self-regulating network architecture of sensor nodes is possible. So at short time, network construction is available. But, power consumption is increased by active sensing for QoS elevation and unnecessary information transmission, low electric power design and necessity of improve protocol are referred to life shortening problem and is studied.

In this paper, supplement problem of power line communication and wireless sensor network mutually and because advantage becomes linkage integration control system using synergy effect of two technologies as more restriction be and tries to approach structurally control network that is improved for smooth network environment construction.

Honeywell's hybrid sensor network does comparative analysis(benchmarking). Confirm performance elevation proposing teaming of power line communication and wireless sensor network. Through simulation, service delay decreases and confirms that performance elevation.

키워드

PLC, WSN, Teaming, Hybrid Sensor Network

I. 서 론

전력선통신(PLC : Power Line Communication)은 전기에너지를 전송하는 것을 목적으로 만들어진 전력선에 고주파 신호를 중첩해 통신하는 기술이다. 사회기반설비이면서 우리 생활환경에 가장 가까이 다

가와 있는 전기설비와 융합된 전력선 통신 기술은 최근 IT기술의 궁극적 목표인 유비쿼터스 환경을 자연스럽게 조성할 수 있는 최적의 대안 중 하나로 관심을 모으고 있으며 전기가 들어오는 곳이면 어디든 네트워크를 구축 할 수 있다는 장점으로 기존의 어떠한 디지털 통신 네트워크기술보다 응용범위가 넓다고 할

수 있다. 전력선은 전력 전송을 목적으로 설계되어 잡음, 감쇄 및 왜곡현상이 있고 선로와 부하의 변동에 따른 변화가 큰 단점이 있어 기술 개발이 기존의 통신 매체와는 달리 많은 어려움이 있다. 유비쿼터스 관련하여 주목 받는 무선 센서 네트워크(WSN : Wireless Sensor Network)는 일정한 센싱 지역에 분산되어 있는 초소형 센서 노드들이 수집한 센싱 데이터를 원거리에 존재하는 수집 노드에게 ad-hoc통신을 기반으로 전송한다. 무선 센서 네트워크는 국내뿐만 아니라 미국, 일본 등을 중심으로 활발하게 개발 및 실제 적용되고 있는 추세에 있다. infra-structure 네트워크에서는 특정 Access Point를 중심으로 네트워크가 형성되고 각 노드들 간에 통신을 할 경우에도 Access Point를 거쳐서 이루어진다. 이에 비해 Ad-hoc 망은 특정 Access Point 없이 주변에 존재하는 모든 노드들과 서로 협업하여 자유로운 네트워크를 형성하기 때문에 무선 센서 네트워크와 같이 특정 지역에 배치되어 자유롭게 통신해야 하는 환경에 매우 효과적이다. 무선 센서 네트워크를 구성하는 무선 센서노드들은 낮은 연산 능력과 작은 메모리 사이즈와 데이터 공간만을 보유하고 있다. 또한, 이들 무선 센서노드는 배터리를 주 전원으로 사용하여 그에 따른 제약사항들이 많이 발생한다. 이러한 특징을 바탕으로 무선 센서 네트워크를 구축하기 위하여 저전력의 하드웨어 설계, 효율적 MAC, 라우팅 프로토콜 등의 연구들이 활발히 수행되고 있다. 본 논문은 전력선 통신과 무선 센서 네트워크의 기술을 이용하여 보다 제약이 적고 원활한 제어 네트워크 환경을 위해 네트워크 팀밍(Teaming)을 적용하여 현재 상용화된 솔루션과 비교 분석하여 성능을 평가하고 적용 가능성을 확인하고자 한다.

II. 전력선 통신

PLC의 기원은 1920년대부터 시작되는데 X10 표준 방식으로 60Hz의 주파수 대역을 이용하여 전원이 연결되어 있는 장치를 On/Off할 수 있게 하는 기술에서 출발하였다. 이후 1998년까지 저속 데이터(20Kbps)를 전송하여 제어 또는 자동화를 위한 특별한 용도로만 사용되어 왔으나, 1999년 들어 본격적으로 기술개발이 진행되고 있다.

PLC 기술은 크게 가정 내의 홈네트워크 기술과 가정과 외부망의 연결을 위한 액세스 기술로 구분된다. 데이터 전송 속도에 따라서는 저속 60bps~10Kbps, 중속 10Kbps~1Mbps, 고속 1~10Mbps로 구분되며 이에 따라 저속은 홈네트워킹의 제어용으로, 중속은 홈네트워킹의 데이터 통신용으로, 고속은 외부망 액세스용으로 통신 목적을 나눌 수 있다. 배전 계통에서 전력선은 무선과 유사하게 여러 개의 단말들에 의해 동시에 접근 된다. 따라서 어떤 기기가 전력선 매체를 점유하여 데이터를 보낼 것 인가를 결정하기 위해 매체 접근 제어 프로토콜(MAC)이 필요하다.

분류	속도	홈네트워킹 기준
저속	60bps~10Kbps	제어용
중속	10Kbps~1Mbps	데이터 통신용
고속	1Mbps~10Mbps	외부망 접속용

그림 1 전력선 통신의 속도에 따른 분류

Class A	24Mbps
Class B	200Mbps

그림 2 국가 표준 전력선통신 KS X 4600-1

HomePlug 1.0	14Mbps
HomePlug 1.0 Turbo	85Mbps
HomePlug AV	200Mbps

그림 3 Home Plug 표준 (Power Line Alliance)

현재 전력선 통신 분야에는 많은 MAC 프로토콜들이 존재한다. 대표적인 MAC 프로토콜로는 CSMA/CD, CSMA/CA, TDMA 그리고 TDMA와 CSMA 방식을 혼합한 하이브리드 방식들이 사용되고 있다. 유선 네트워크에서 가장 많이 쓰이는 CSMA/CD는 전력선 통신에 적용될 수는 있지만, 전력선 매체 자체의 불안정한 특징으로 인해 충돌 감지가 어렵다는 문제가 있다. 전력선 매체의 이러한 물리적 특성은 무선 네트워크의 특성과 매우 유사하다고 할 수 있다. 따라서 IEEE 802.11 표준에서 사용되는 CSMA/CA방식을 전력선 통신에 적용할 수 있다.

III. 무선 센서 네트워크

센서 네트워크는 센서와 제어 데이터를 무선 통신으로 송수신하는 센서 노드, 상호 접속하기 위한 센서 네트워크 프로토콜 및 센서 네트워크를 기존의 네트워크망에 접속하기 위한 센서 서버로 구성된다. 즉 센서 기술에서는 센싱기술, 내환경기술, 저소비전력 기술, 소형화 기술이 요구되고 있으며, 네트워크 기술에서는 무선 기술 및 네트워크 제어 기술 그리고 시스템 기술에서는 어플리케이션 기술이 요구되고 있다. 센서 단말의 구성은 무선통신부, 제어부(프로세서), 센서부 및 전원부의 요소로 구성된다. 센서네트워크의 대부분의 경우 다수의 단말을 자연 환경 등의 비교적 광범위한 환경에서 분산 배치하여 이용하게 됨으로 단말의 전원을 자주 교환하는 것이 어렵다. 이를 위해서 저소비 전력인 센서, 무선통신 모듈, 프로세서가 요구된다. 또한 단말의 설치와 관찰 대상에 영향을 주지 않고 설치의 용이성 등으로 단말의 소형화와 경량화가 필수적이다.

단거리 무선은RF-ID, DSRC(Dedicated Short Range Communication), NFC(Near Field Communication) 분야를 응용 예로 볼 수 있고, 무선 PAN은 Bluetooth (IEEE 802.15.1),UWB (IEEE 802.15.13a) 및 ZigBee (IEEE 802.15.4) 를 들 수 있으며 대표적인 저소비 전력형 WPAN (Wireless personal area network) 는 그림 4 와 같다.

	UWB	Bluetooth	Zigbee	소전력무선
규격	IEEE 802.15.3a	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	
주파수대역 (Hz)	3~10.6G	2.4G	2.4 868M 915M	492M
전송속도	480Mbps	1M	250k	2.4k
소비전력	100mW	120mW	60mW	0.3mW
전송거리	10m	~100m	~75m	~300m

그림 4 WPAN 분류

ZigBee는 네트워크 층 이상을 규정한 단거리 무선 통신 프로토콜 규격으로 ZigBee Alliance에서 물리층과 MAC (media access controller) 층에 대해서는 IEEE 802.15.4에 의거하고 데이터 전송 속도는 최대 250 kbps이며, 적은 소비 전력으로 전지의 수명을 장

기간 확보할 수 있는 이점으로 가전 네트워크와 산업용 모니터 제어 시스템 센서 네트워크 등에 이용되고 있다. 채널은 16채널의 2.4GHz, 10채널의 915 MHz 및 1채널의 868MHz의 3종류이다. 데이터 전송 속도는 2.4GHz, 915MHz 및 868 MHz 에서는 각각 250kbps, 40kbps, 20kbps에 해당된다. 변조 방식은 DS-SS(Direct Sequence Spread Spectrum), 액세스 제어 방식은 CSMA-CA(Carrier sense multiple access with collision avoidance) 를 채용하고 있다. 애드 혹 네트워크에서는 통신 인프라에 의존하지 않고 각각의 무선 단말 즉 센서 노드에서 데이터를 중계하는 네트워크를 구성하게 된다. 그림 2 은 중계기를 통한 네트워크와 애드 혹 네트워크를 보여주고 있다.

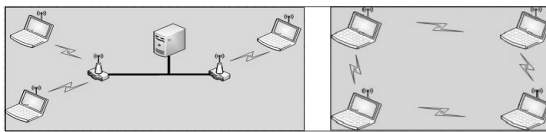


그림 2 Infrastructure WLAN Ad-hoc WLAN

IV 네트워크 팀잉(Teaming)

네트워크 팀잉(Teaming)의 개념은 다중의 통신망을 단일 망처럼 묶어서 하나의 통신망처럼 사용하는 것으로 팀잉은 크게 세가지 유형으로 분류할 수 있다.

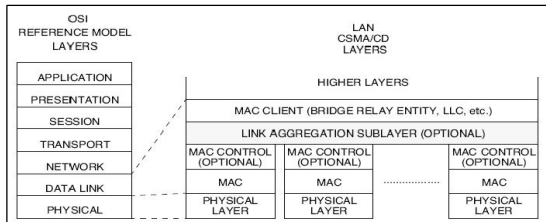


그림 5 링크 어그리게이션 부계층의 구조적 위치

- 1.스마트 로드 밸런싱(Smart Load Balancing SLB)
- 2.지네릭 트렁킹(Generic Trunking)
- 3.링크 어그리게이션(Link Aggregation IEEE 802.3ad LACP) 이다.

-스마트 로드 밸런싱(Smart Load Balancing SLB) : 지능형 부하 분산. 스마트 로드 밸런싱은 IP 흐름을 기반으로 구현한 부하의 균형 조정 하는 것으로 이 기능은 다중 통신 회선 망에 대한 트래픽의 균형을 조정하는 기술로 업로드(전송)과 다운로드(수신) 양방향 모두를 지원한다. 부가적으로 부하가 분산된 망의 결합을 감지하여 결합이 발생한 망에 걸린 부하를 회수 및 안정된 망과 연결시켜 안정성을 높이는 기술도 포함된다.

-링크 어그리게이션(Link Aggregation IEEE 802.3ad LACP) : IEEE 802.3ad(Link Aggregation Control Protocol) 사용하여 팀잉 되어진 네트워크 포트들을 단일 망처럼 구성이 가능하다. 링크 파트너가 802.3ad 링크 구성에 대해 올바르게 구성되지 않은 경우 오류가 감지되어 기록되고 이 모드에서 팀잉된 모든 포트들은 동일한 MAC 주소에 대해 패킷을 수신하여 처리되는 기술이다.

-지네릭 트렁킹(Generic Trunking) : 지네릭 트렁킹 팀 유형은 팀의 모든 포트가 동일한 MAC 주소에 대한 패킷을 수신하도록 구성된다는 점에서 링크 어그리게이션(802.3ad)과 유사하나 지네릭 트렁킹 팀 유형은 LACP를 지원하지 않는다. 이 유형은 포트 링크 파트너가 독점적인 트렁킹 메커니즘을 지원하기 위해 구성되는 다양한 환경을 지원한다. 이 모드는 링크 집계(802.3ad) 팀 유형의 라이트 버전으로 접근법이 공식화된 링크 어그리게이션 컨트롤 프로토콜(LACP)이 아니라는 점에서 보다 단순하고 다른 유형에서와 마찬가지로, 팀 구성과 다양한 팀에 물리적인 포트 할당은 사용자가 임의로 구성할 수 있다.

-IEEE 802.3ad LACP 모든 링크는 전이중, Peer to Peer, 동일한 데이터 전송률을 전제로 구현 가능하다.

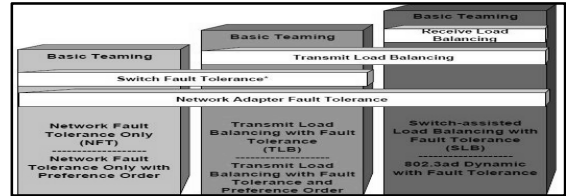


그림 6 팀잉의 분류에 대한 적용 범주

Teaming	Windows	Linux	Network Device	nVidia	CISCO	HP/DELL
Link Aggregation Port Aggregation	Link Aggregation Port Aggregation	Bonding	Channel	DualNet	ALB Adaptive Load Balancing	Teaming

그림 7 팀잉의 다른 표현

V 시뮬레이션

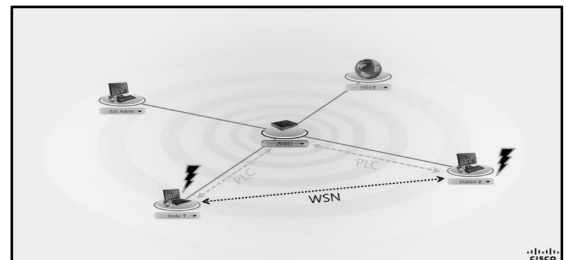


그림 8 시뮬레이션에 사용될 네트워크 구성

시뮬레이션은 부하의 변동에 따라 감쇄하는 전력선의 성능을 전력선에 연결된 모든 부하의 On/Off, idle, Full load때의 전력선의 전송 속도와 데이터양을 확인하고 함께 사용될 무선 모뎀에 대한 성능도 확인한다. 제안한 네트워크 시스템의 전력선은 중저속 전력선 모델이며 전력선 통신으로 유선 연결된 노드들은 각각의 노드에 무선 모뎀을 연결하며 두 네트워크에 연결된 노드들은 라우터를 통해 관리자 노드와 외부 네트워크에 연결된다.

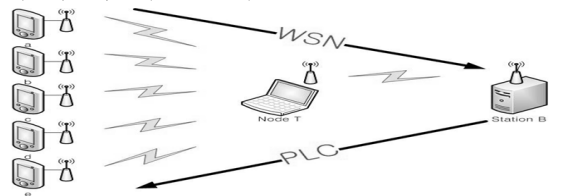


그림 9 엇다운 링크 부하 분산형 모델
PLC Line : 1420mm + 3400mm + 1420mm : WSN

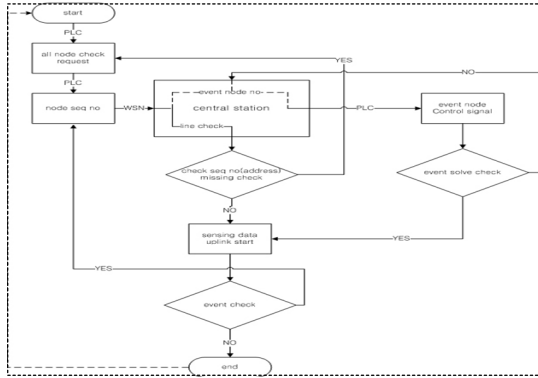


그림 10 제안된 네트워크 순서도

다바이스별 센싱 데이터는 WSN을 통하여 무선으로 전송되며 전송된 데이터에 맞는 제어 신호는 PLC를 통하여 제어된다.

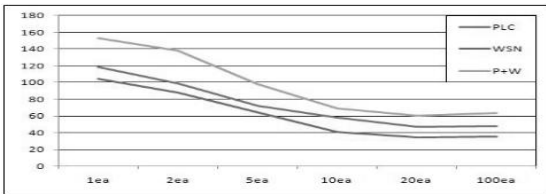


그림 11 데이터 분할에 따른 속도 변화

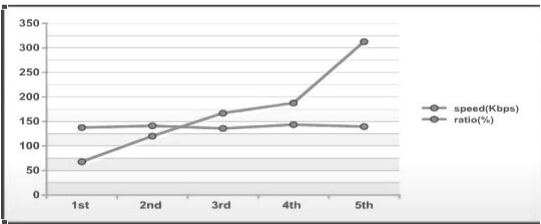


그림 12 데이터 전송 속도별 성능향상

VI 결론

본 논문에서 비교 대상으로 선택한 하니웰 사의 하이브리드 센서 네트워크는 무선 네트워크 기반 솔루션 서비스의 선두업체들 중 하나인 하니웰의 빌딩, 공장 자동화 부분에서 구현된 기술이다. 하지만 하니웰사가 구현한 하이브리드 센서 네트워크의 경우처럼 이전의 유무선 연동 네트워크가 이종 네트워크 간의 데이터 연결이었다면 이 논문에서 제안하고 실험한 내용은 이종 네트워크 간의 티밍을 제안하고 제어환경에 대한 정보를 무선망을 통한 관리자로서의 업로드와 수집된 정보를 바탕으로 관리자에서 각 노드로의 다운로드하는 부하 분산의 연동 네트워크를 부분적인 실험을 통하여 성능향상을 확인하고 보다 원활한 네트워크가 구현됨을 확인하였다.

전력선통신의 부하에 대한 성능저하를 보완하고자 무선센서 네트워크를 제안 하였고 제한된 가혹 환경에서 1.4배(39.8%)에 준하는 성능 향상을 보였다. 전력선통신과 무선 센서 네트워크의 단점을 상호보완하고 제한된 가혹환경에서 향상된 전송대역을 확보 하였으며 시장에 요구에 따라 최적의 솔루션을 위한 이종 유무선 연동의 부분적인 확인

	제안된 네트워크	Hybrid Sensor Network
기술	PLC, WSN 부하분산 연동	WSN + 부분 PLC (WSN 연결용)
향후 전망	HSN의 가능성을 포함@	WSN에 의존 발전 및 응용
성능	업다운 링크 분리 이중망	WSN, 부분 PLC 적용 단일망
	하위지원 기준 2배 이상	WSN 기술 발전에 따른 성능

그림 13 제안된 네트워크와 HSN 비교

을 통하여 전력선 통신 기반의 제어 네트워크에서 전력선의 전송능력의 큰 변수로 작용하는 전력선의 부하량에 따른 전송능력의 변동을 고려해 전력선에 연결된 무선 노드들 간의 무선 망을 이용하여 보다 안정된 제어 네트워크를 구축하는 방안으로 제안하고 실험을 통하여 확인하였다.

이종 유무선 망간의 LACP는 다양한 응용분야에서 보다 효율적인 네트워크를 구축하게 될 것이며 MPLS, First Packet 그리고 데이터 어그리게이션 같은 보다 폭넓고 다양한 접근으로부터의 지속적인 연구가 진행되어야 한다고 생각한다.

참고문헌

- [1] 박병석, 이영훈 and 강철진, "NS-2를 이용한 전력선 통신 KS-MAC 모델링 및 성능분석", 한국정보기술학회 논문지 제 6권 5호, p81~87, 2008. 10
- [2] Cisco Systems, http://www.cisco.com/web/en/about/packet/es/23_1.html#6
- [3] 한국전자통신연구원 ETRI 융합기술연구부, 2009년 22차 국내위탁연구과제 공고(안)
- [4] "HomePlug 1.0 Technology White Paper" http://www.homeplug.org/products/whitepapers/HP_1.0_TechnicalWhitePaper_FINAL.pdf
- [5] IEEE Std 802.15.4, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), p1~670, 12. May. 2003
- [6] S. Aust, P. Davis, A. Yamaguchi and S. Obana, "Interface Status Monitoring for Wireless Link Aggregation in Cognitive Networks", IEEE 2007, p4873~4887
- [7] A Majumder, J Caffery Jr, "Power line communications", IEEE Potentials, p4~13, OCTOBER/NOVEMBER 2004
- [8] Xu Chen, Sun Qiang, Zhou Hui, Bao ZhiHua and Zhang GuoAn, "Uplink-Downlink Heterogeneous Routing Protocol for Wireless Sensor Network" IEEE 2007, p2523~2526
- [9] YJ Lin, HA Latchman, RE Newman and S Katar, "A comparative performance study of wireless and power line networks", IEEE Communications Magazine, p54~63, April 2003
- [10] Kam-Rok Lee¹, Jae-Min Lee, Wook-Hyun Kwon, Beom-Seog Ko and Young-Man Kim, "Performance Evaluation of CSMA/CA MAC Protocol in low-speed PLC Environments", Seoul National University, conference 2003