

# ISA100.11a 에서 에너지 효율적인 그래프 구성방법

정인수\*, 정하련\*\*  
\*아주대학교 컴퓨터공학과  
\*\*아주대학교 컴퓨터공학과  
e-mail : hyuga777@naver.com

## Energy Efficient Graph Setup in ISA100.11a

In-Su Jung\*, hayeon jung\*\*  
\*Dept. of Computer Science, Ajou university  
\*\*Dept. of Computer Science, Ajou university

### 요 약

무선센서 네트워크는 많이 알려진 연구분야 중 하나이다. 스마트 그리드 나 자동화 시스템 등에 많이 적용된다. 산업장에서 사용되는 무선센서 네트워크 관련표준은 Zibee, WirelessHART, ISA100.11a 등이 있다. ISA100.11a 는 그래프 라우팅 이라 불리우는 간단하고 신뢰적인 그래프 라우팅 방법을 제안한다. 그래프 라우팅은 라우팅 테이블이 없는 고정된 라우팅이다. ISA100.11a 에서는 구체적인 라우팅 구성방법에 대해서는 설명되어 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 베이스 라인(Base Line)을 이용한 에너지 효율적이고 신뢰적인 그래프 라우팅 구성방법을 제시한다.

### 1. 서론

최근 들어 산업장에서 생산 이나 품질 관리를 위한 유선 모니터링 장비를 무선 기반 네트워크로 대체하고자 하는 움직임이 일어나고 있다[1]. 현장 전기 설비 통신 규격을 담당하는 HART 는 유선 네트워킹을 무선 네트워킹으로 대체하고자 2007 년 Wireless HART[2] 표준 규격을 제정하였다. 현재 해당 표준을 따르는 센서 노드 디바이스가 출시되어 현장에 적용되고 있다. 공장 표준화 단체인 ISA 는 2009 년 9 월 산업 자동화를 위한 무선 시스템 표준인 ISA100.11a 규격 작업을 완료 하였다[1]. 위에 두 표준은 IEEE802.15.4 기반이다. IEEE802.15.4 는 낮은 전력기반으로 온도, 습도등 환경 상태를 모니터링 및 데이터를 수집하기 위한 서비스를 염두해 두어 표준화가 진행되었다. ISA100.11a 는 메쉬 네트워크를 구성하고 Data Link Layer(DLL) 프로토콜은 TDMA 를 기반으로 한다[3]. 여기에서 사용 하는 라우팅 방법은 소스 라우팅 과 그래프 라우팅이다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 Wireless HART 라우팅

WirelessHART 표준은 네트워크 계층에서 라우팅 서비스를 제공한다. 네트워크 계층에서 종단간 통신을 위한 세션을 관리하고 DLE(Data-link Layer Entity) 로부터 NPDU(Network Protocol Data Unit)을 받는다. 만약

(NIPA-2011-C6150-1101-0004)

NPDU 의 목적지가 네트워크 내부에 있으면 해당 목적지에 전달한다. 내부에 있지 않다면, NPDU 를 DLE 를 이용하여 지정된 다른 디바이스로 전달한다. WirelessHART 는 그래프 라우팅 과 소스라우팅 이라는 2 가지 방법의 라우팅을 제공한다. 소스 라우팅은 소스 와 최종 목적 디바이스간의 단일 방향성 경로를 가진다. 이러한 기법에서는 DLE 들은 사전에 어떠한 라우트에 대한 정보도 요구되지 않는다. NPDU 안에 이미 들어있는 소스 라우트 정보를 사용하여 전달한다. 소스 라우트는 데이터를 중복적으로 보내지 않기 때문에 언제든지 데이터 전송이 실패할 가능성이 있다. 그래프 라우팅은 소스와 최종 목적지 사이의 방향성 링크와 디바이스의 가지는 집합이다. 라우팅은 소스소부터 최종 목적지까지 NPDU 가 전달될 때의 네트워크 상태를 기반으로 이루어진다. NPDU 에는 그래프 아이디가 들어 있지만 완전한 경로를 가지고 있지는 않다. 그러므로 경로 내의 DLE 는 그래프 라우팅을 사용하기 전에 그래프가 설정되어야 한다. 그래프 경로는 중복성을 가지고 있으므로 소스 라우팅에 비해서 매우 신뢰적이다.

#### 2.2 ISA100.11a 라우팅

ISA100.11.a 는 IEEE802.15.4 를 기반으로 한 센서 네트워크 중 하나이다. 이 표준은 효율적인 센서 네트워크를 위해서 그래프 라우팅 이라 불리우는 2.5 계층 라우팅을 사용한다. 그래프 라우팅은 소스 라우팅을 기반으로 하며 라우팅 테이블을 가지지 않는다. 소스 라우팅은 경로에 대한 다음 노드의 주소는 네트워크

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음"

헤더에 저장된다. 그러나 경로가 길어 질수록 헤더의 사이즈는 늘어난다. 한정된 헤더의 크기 내에서 긴 경로를 운영할 수 없게 된다. 이러한 방법을 해결하기 위하여 그래프 라우팅 기법을 이용하여 긴 경로를 하나의 그래프 아이디로 단축함으로써 효과적으로 소스 라우팅을 운영할 수 있다. 노드들은 전송을 위한 각각의 그래프 아이디의 다음 홉에 대한 정보를 가지고 있는 그래프 테이블을 가지고 있다. 그래프는 네트워크의 목적지까지 가기 위한 방향성 있는 패스들의 집합이다. 단일 네트워크 인스턴트는 여러 그래프를 가질 수 있고 일부 그래프들은 중첩될 수 있다. ISA100.11a 에서의 네트워크 경로는 시스템 매니저에 의해서 설정된다. 각각의 DPDU(Data link layer protocol data unit)안의 DROUE(DHR routing sub-header)에 경로를 표시한다. 하나의 네트워크는 유일한 그래프 아이디를 가진다. 라우팅을 위한 데이터링크 헤더에는 소스 라우팅의 경로를 저장하기 위한 DROUT 가 있다. 데이터링크계층에 데이터가 들어오면 데이터링크 서브넷을 통해 경로가 설정된다. 경로는 데이터의 DROUT 부 헤더에 저장되어 있으며 이를 확인하여 DPDU 가 라우팅 된다.

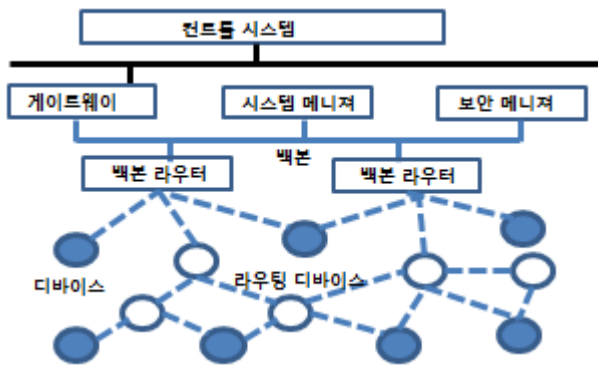


그림 1. ISA100.11.a 네트워크

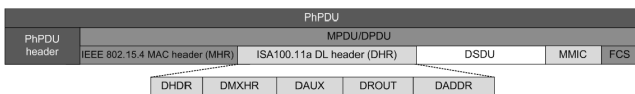


그림 2. ISA100.11a 의 DPDU

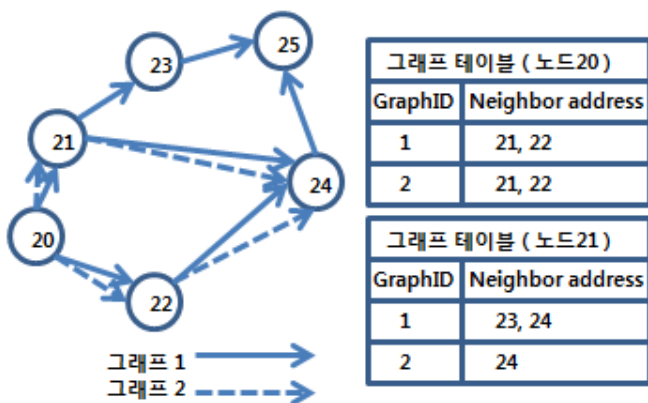


그림 3 그래프 라우팅과 테이블

### 3 그래프 라우팅 구성방법

ISA100.11a 는 IEEE802.15.4 기반이기 때문에 노드들의 효율적인 전력사용 과 신뢰적인 데이터 전송이 중요하다. 효율적인 전력사용을 위해서 그래프 구성시 노드들의 균등한 사용을 고려하고 신뢰적인 데이터 전송을 위해서 멀티패스를 이용한다. 기본적인 그래프 경로 구성방법은 다음 순서와 같다.

- 1) 선택된 처음 노드는 상위노드의 경로를 확인하고 그래프 구성에 사용빈도수가 적은 두 개의 노드의 경로를 선택한다. 상용 빈도수가 동일할 경우는 순서대로 선택한다.
- 2) 처음 노드가 아닌 두 번째 노드부터는 그래프로 연결된 상위노드를 확인하고 그 중 사용 빈도수가 가장 적은 한 노드를 찾아서 각 경로를 선택한다. 만약에 연결된 상위노드가 일정 수준이상 한쪽으로 몰리는 경우는 전체 상위 노드의 사용빈도를 확인하여 동위 노드를 경유하여 경로를 선택한다.

#### 3.1 노드 배치에 대한 그래프 구성

[그림 4]과 같이 네트워크가 구성되어 있다고 가정하자. 선택된 노드가 7 번 노드 일 경우 그래프 구성과 정은 다음과 같다. 7 번 노드에서 선택 할 수 있는 상위 노드는 4, 5 번 노드이다. 따라서 위의 1 번 순서를 적용하여 7->4, 7->5 두 경로를 지정 할 수 있다. 2 번 순서를 적용하여 4 번 노드는 1, 2 번 노드의 경로를 사용 할 수 있지만 1, 2 번의 사용빈도수가 0 이기 때문에 처음 1 번은 선택한다. 5 번 노드는 1, 2, 3 번 노드의 경로를 사용 할 수 있지만 1, 2, 3 번 노드의 사용빈도수를 적용하여 2 번 노드를 선택한다. 따라서 그래프 경로 구성은 7->4->1->0, 7->5->2->0 와 같이 2 가지 경로를 가지는 그래프가 구성된다. 여기서 추가로 8 번 노드의 그래프를 구성한다고 하면 다음과 같다. 위의 1 번 순서를 적용하여 8 번 노드가 선택 할 수 있는 상위 노드는 4, 5, 6 번 이다. 이 중 사용빈도수가 적은 6 번 노드와 4, 5 노드 중에서 순서대로 4 번 노드를 선택한다. 2 번 순서를 적용하여 4 번 노드는 상위 1, 2 번 노드중 사용빈도수가 동일하기 때문에 순서대로 1 노드를 선택한다. 6 번 노드도 상위 노드 2, 3 번 노드중 사용빈도수가 적은 3 번 노드를 선택한다. 따라서 그래프 경로 구성은 8->4->1->0, 8->6->3->0 같이 2 가지 경로를 가지는 [그림 5]과 같은 그래프가 구성된다.

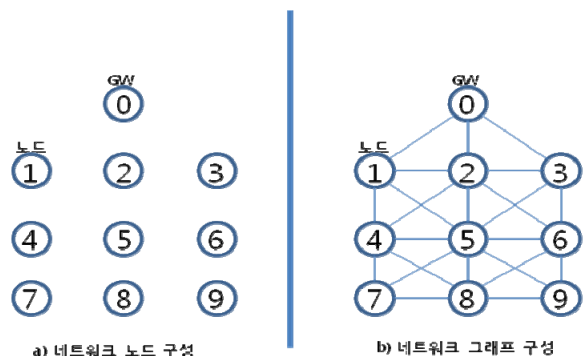


그림 4. ISA100.11.a 네트워크 구성 예제

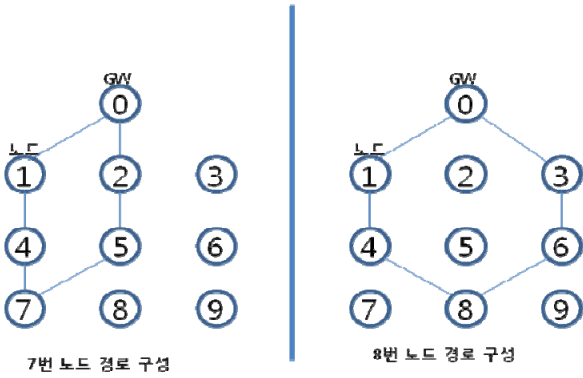


그림 5. 7,8 노드의 그래프 경로 구성

전체 노드에 대한 그래프 구성은 [그림 6]와 같이 15 가지의 경로가 만들어진다. 그러나 다음과 같은 문제가 있다. [그림 7] 과 같이 각 노드 계층에 대한 노드 사용 빈도수는 3 계층은 5 번 사용, 2 계층은 3 번 사용, 1 계층은 1 번 사용으로 균등이 분포 되어 있지만 전체적인 노드들로 살펴 보았을 경우 고르게 배치 되어 있지 않고 계층이 높아 질수록 사용빈도수가 증가하고 있다. 이런 이유는 최종 목적지가 한 지점이기 때문에 상위로 갈수록 사용빈도수가 높아지는 것이다. 따라서 3.2 절에서 베이스라인을 이용한 좀 더 효율적인 방법을 제안한다.

그래프 구성 노드

1	→	0		
2	→	0		
3	→	0		
4	→	1	0	
4	→	2	0	
5	→	1	0	
5	→	3	0	
6	→	2	0	
6	→	3	0	
7	→	4	1	0
7	→	5	2	0
8	→	4	1	0
8	→	6	3	0
9	→	5	2	0
9	→	6	3	0

그림 6. 전체 노드에 대한 그래프 구성

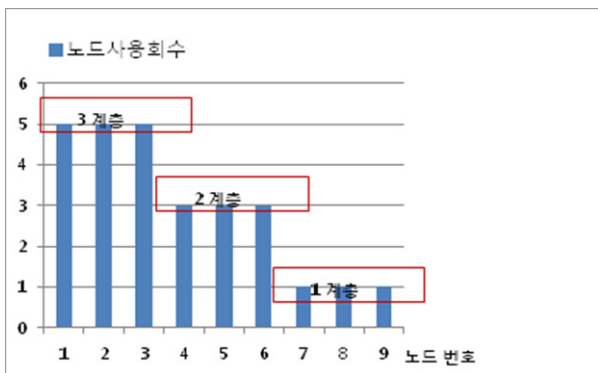
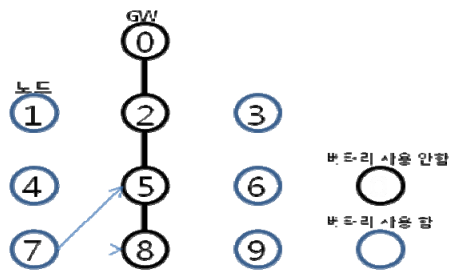


그림 7. 그래프 구성시 노드 사용 횟수

### 3.2 베이스 라인을 이용한 그래프 구성

베이스 라인(Base Line)은 노드들이 배터리를 사용하지 않는 에너지 사용에 자유로운 노드들의 구성이다. 그리고 이런 노드들이 하나의 라인을 구축 하는 것이다. 따라서 전력을 직접 제공 받기 때문에 노드의 에너지 사용에 대해서는 고려하지 않아도 된다. [그림 8]과 같이 베이스라인을 구축하면 전체적인 그래프 구성 계층이 세로에서 가로로 변한다. 그리고 최종 목적지가 베이스라인 안에 있는 노드들이 된다. 목적지만 변하고 기본 그래프 구성방법은 앞에 제시한 방법을 사용한다. 그렇기 때문에 베이스라인 구축 방법에 따라서 계층이 줄어들고 보다 많은 노드들의 사용이 앞서 제시한 모델보다 균등이 분포된다.



베이스 라인 구축 예제

그림 8. 베이스 라인 사용 예제

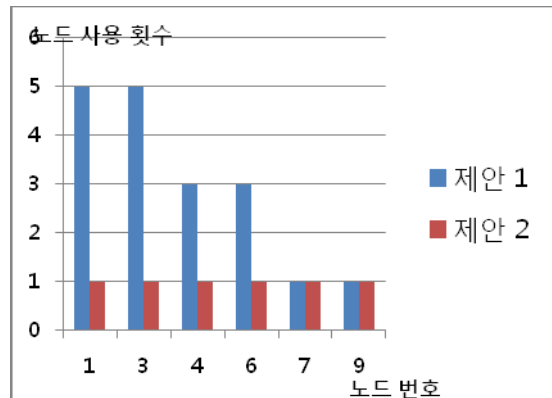


그림 9. 그래프 구성에 대한 노드 사용 횟수 비교

[그림 9] 에서는 제안 1 이 처음에 제안한 방법이고 제안 2 가 베이스라인을 사용한 방법이다. 각 방법에 따라 그래프를 구성하였을 때 노드 사용 횟수는 베이스 라인을 이용한 제안 2 방법이 노드 사용 횟수가 적다.

### 3.3 베이스 라인 과 슈퍼프레임 관계

ISA100.11a 표준에서는 하나의 슈퍼 프레임을 여러개의 타임슬롯으로 나눈 TDMA(Time Division Multiple Access)를 기반으로한 MAC 프로토콜을 제안하여 사용한다. 네트워크의 상태가 변경 되었을 경우 시스템 매니저(System Manager)는 프로비저닝(Provisioning) 과정을 통하여 네트워크에 참여한 각각의 노드들에게 슈퍼 프레임 구조와 할당된 타임슬롯을 전달하게 된

다. ISA100.11a 에서 시스템 매니저는 특정 노드에게 타임슬롯을 할당하는 것이 아니라 링크에게 타임슬롯을 할당한다. 이때 모든 링크는 한번의 슈퍼프레임(Superframe) 기간동안 한번씩 사용된다고 가정하고 또한 에너지의 효율을 고려하여 어떠한 그래프도 가장 짧은 홉 수를 갖는 기반으로 하는 그래프보다 보다 2 배 이상 홉 수가 길어질 수 없다고 가정한다. [그림 10]은 먼저 가장 짧은 그래프의 출발지부터 목적지까지의 전송에 필요한 슈퍼프레임의 수를 계산한다. [그림 10]의 토폴로지 및 스케줄을 기반으로 가장 짧은 경로의 홉 수는 3 홉(07-04-01)이며 이 경로를 통해 패킷을 전송 할 때, 목적지까지 총 3 번의 슈퍼프레임 기간이 필요하다. 소스는 모든 주변 노드들에게 Graph Generate 메시지를 자신의 스케줄된 모든 타임슬롯에 전송한다. 위의 작업을 가장 최소의 슈퍼프레임을 사용하여 전송하는 경로로 변경을 한다면 가장 짧은 홉수를 가지는 경로보다 더 빨리 패킷을 전송할 수 있다. [그림 10]에서 그 경로는 10-11-09-06-03 이며 이는 2 번째 슈퍼프레임에 전달이 될 수 있다[5]. 이와 같이 베이스 라인을 하나의 슈퍼프레임으로 구성함으로써 쉽게 그래프를 구성하고 빨리 패킷을 전송 할 수 있다.

확한 데이터를 얻어 에너지 효율을 확인 해야 한다.

**참고문헌**

- [1] ISA-100.11a-2009, Wireless systems for industrial automation: Process control and relate applications, ISA 2009.
- [2] Network Management Specification, HCF\_SPEC-085, Revision 1.1. HART Communication Foundation, May 2008.
- [3] TDMA Data Link Layer, HCF SPEC 075 Revision 1.0 HART communication foundation, August 2007.
- [4] Ishii, Y., "Exploiting Backbone Routing Redundancy in Industrial Wireless Systems", Industrial Electronics, IEEE Transactions on IEEE Industrial Electronics Society", September 2009
- [5] Yong-hoon Chung, Ki-hyung Kim, Seung-wha Yoo "Time slot schedule based minimum delay graph in TDMA supported wireless industrial system", Computer Information Systems and Industrial Management Applications(CISIM), 2010, Krakow, Poland, Oct 2010.

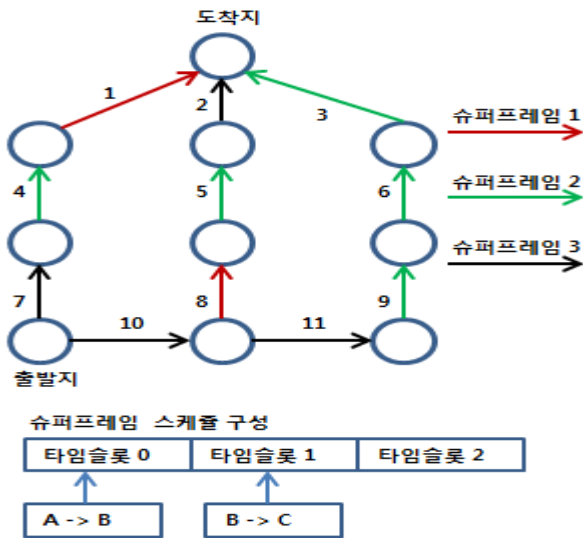


그림 10. 슈퍼프레임 사용 예제

**4. 결론 및 향후 연구방안**

ISA100.11.a 는 IEE802.15.4 기반으로 한 센서네트워크이다. 이 표준은 효율적인 센서네트워크를 위해서 그래프 라우팅을 사용한다. 하지만 그래프 라우팅을 구성하는 방법에 대해서는 정해져 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 노드들의 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서 기본적으로 계층별 노드들의 사용에 중점을 두어 균형있게 그래프를 구성하였다. 또한 신뢰적인 데이터 전송을 위하여 멀티 패스를 사용 하였다. 베이스라인을 사용 함으로써 그래프 구성 경로에 대해서 최대한 균등히 노드들을 사용 할 수 있도록 구성 하였다. 향후 제안한 방법에 대한 실험을 하여 정