

독립형 태양광 발전 시스템을 위한 저가의 다중 무선 모니터링 기법에 관한 연구

오진석† · 광준호*

(원고접수일 : 2005년 5월 13일, 심사완료일 : 2005년 6월 30일)

A Study of Multiplex RF Monitoring Method of Low-Price for Stand-Alone PV Power Generation System

Jin-Seok Oh† · Jun-Ho Kwak*

Abstract : Recently, it has demanded to the wireless monitoring system in stand-alone PV power generation system. We propose the multiplex monitoring method using RF unit of low-price. RF unit consists of RF modem and communication controller. It is also able to use by repeater to communicate long distance. In this paper, two algorithms were programmed by CCS-C and C++ for multiplex monitoring method. The algorithm of choosing unit was used 'select and poll method' and the course assignment algorithm was embodied with 'Bellman-Ford algorithm'. The good result was achieved in the actual test without communication-data lose. The proposed method will be applied such as monitoring system of PV light on the wayside, monitoring system of unmanned lighthouse, monitoring system of refrigeration container on vessel and so on. It can be applied in the field that various ocean energy system.

Key words : Stand-alone PV power generation system(독립형 태양광 발전 시스템), Multiplex RF monitoring(다중 무선 모니터링), Select & Poll method(선택 및 폴링 기법), Bellman-Ford algorithm(벨만-포드 알고리즘), Binary synchronous control protocol(BSC 프로토콜)

기호설명

T_{avr} : 평균 폴링 시간

T_{poll} : 하나의 유닛을 폴링 하는 시간

N : 폴링 할 수 있는 유닛의 수

Mr : 전송할 데이터가 발생될 평균 비율

T_D : 평균적인 크기의 데이터 전송 시간

s : 소스 유닛(데이터전송 시작점)

$w(i, j)$: 유닛 i 에서 j 로의 링크 비용

h : 현재 단계에서 경로상의 최대 링크 개수

† 책임저자(한국해양대학교 선박전자기계공학부), E-mail : ojs@hhu.ac.kr, Tel : 051)410-4283

* 광준호, 수중운동체특화연구센터 연구원

$L_k(n)$: 유닛 s 로부터 n 으로의 k 개 이하의 링크를 가진 최소비용경로의 비용

1. 서 론

최근 활발하게 이루어지고 있는 태양광 발전 시스템에 대한 연구는 Fig. 1과 같이 계통선과의 연결 유무에 따라 크게 계통 연계형(grid-connected) 발전 시스템과 독립형(stand-alone) 발전 시스템으로 나눌 수 있다.

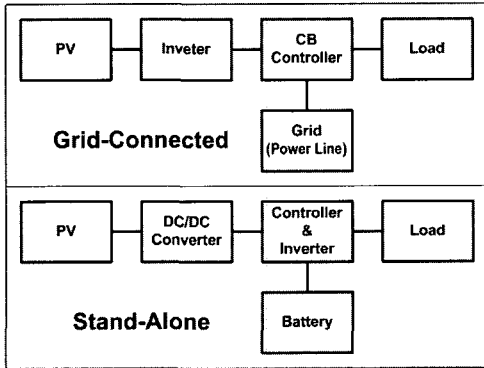


Fig. 1 Diagram of PV power generation system

계통 연계형 발전 시스템은 일반적으로 태양광 발전으로 생성된 전력을 인버터를 거쳐 부하에 사용하며 계통선과 연계하는 회로가 포함되어 있다. 반면 독립형 발전 시스템은 축전설비를 갖추어 외부와 독립적인(계통선과 연결되지 않은) 발전 체계를 갖춘 형태를 말한다. 독립형 발전 시스템은 전력선 공사가 힘든 낙도나 산간 도서 지역, 무인등대, 무인중계소, 인공위성, 휴대용 시스템 또는 환경 친화적인 테마 공원이나 비상용 발전시설, 혹은 태양광 가로 등 및 기타 조명시설 등으로 꾸준히 사용되고 있다.

최근 대부분의 시스템에서 유지 및 보수 관리 측면이 부각되어 통합적인 모니터링 시스템을 통한 지속적인 관리 체계가 필요하게 되었으며, 독립형 태양광 발전 시스템에도 이러한 모니터링 시스템을 구축하는 것이 필요하게 되었다.

독립형 태양광 발전 시스템에 적합한 모니터링 시스템은 가능한 소형이어야 하며(태양광 발전 시스템이 주 발전 시스템으로 사용되는 경우를 제외

하고), 동작 중이나 대기상태에서의 소비 전력이 적어야 할 것이다. 이외에도 부착된 제어기에 대한 신뢰성이 높아야 하며 데이터 통신 방법은 무선 통신이어야 할 것이다.

일반적으로 사용되고 있는 모니터링 시스템은 대부분 유선으로 이루어져 있으며, 광범위한 지역을 대상으로 하는 무선 통신 모니터링 시스템은 장거리 송·수신용 무선 통신 모뎀을 사용하기 때문에 구축비용이 상당히 높다. 본 논문에서는 고비용의 장거리 무선 통신 모뎀 대신 저비용의 단거리 무선 통신 모뎀을 이용하여 독립형 태양광 발전 시스템에 알맞은 모니터링 체계를 구축하고자 한다. 이를 위해 무선 통신 네트워크의 구조와 통신을 위한 프로토콜 그리고 연관된 통신제어 소프트웨어를 개발하고, 실험을 통해 성능을 검증하고자 한다.

2. 시스템 구성

본 논문에서는 소규모 태양광 발전 시스템을 Fig. 2와 같은 통신 구조로 구축하여 실험하였다.

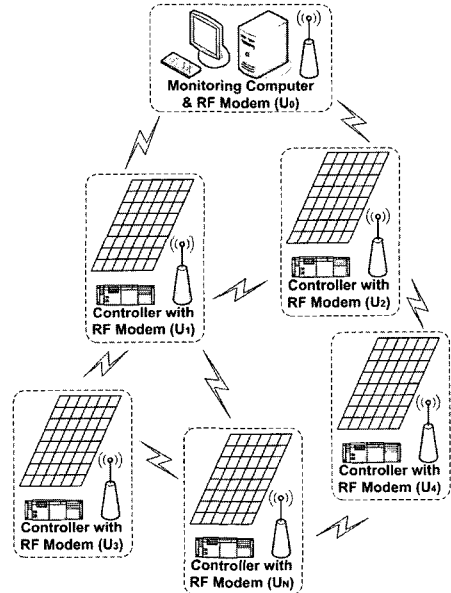


Fig. 2 Construction of target system

Fig. 2에서의 모니터링 컴퓨터(U_0)는 RF 유닛

과 연결되어 각 지역 $U_1, U_2, U_3 \dots$ 의 소규모 독립형 태양광 발전 시스템의 RF 유닛과 통신하는 구조로 되어 있다.

소규모 태양광 발전 시스템은 60W급 PV 모듈 하나에 60Ah의 배터리와 충전 제어기를 하나씩 할당하여 총 9대를 모니터링 대상으로 두었다. 충전 제어기로는 자체 개발한 충전 제어기^[1]를 사용하였고, 무선 통신을 하기 위해서 RF 유닛을 접속하여 사용하였다.

RF 유닛에 포함된 무선 통신 모뎀은 Table 1과 같은 특성을 가지는 모뎀을 선정하여 실험하였다. Table 1의 모뎀은 전송거리 및 신뢰도가 중요시되는 시스템에 적합한 모뎀으로 일반적으로 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템, 원격 계측 시스템 등에 많이 이용되고 있는 것이다.

Table 1 RF modem specification

RF 출력	1 mA / 10 mA
주파수	219.025 Mhz
전송거리	(Max) 1,000 m
전송속도	2,400 bps (Air, Max)
	19,200 bps (Line, Max)
동작전압	5 ~ 9 VDC
동작전류	(Max) 32 mA / (Normal) 22 mA

또한 RF 유닛의 통신 컨트롤러는 마이크로칩사의 PIC16F873을 이용하여 구현하였다. RF 모뎀을 통한 데이터 통신을 통하여 각각의 소규모 태양광 발전 시스템의 발전현황, 충전제어기의 제어 상태, 저장매체(배터리)의 상태와 부하 제어 신호, 기타 제어 신호 등을 주고받는 일을 하며, 이 모든 상황은 주 모니터링 컴퓨터에서 알 수 있도록 하였다.

3. 데이터 통신 회로망 설계

독립형 태양광 발전 시스템의 모니터링 체계를 일반적으로 사용되고 있는 것으로 구축하면 막대한 비용이 소요된다. 이에 본 논문에서는 비용을 절감하면서도 앞서 언급한 독립형 태양광 발전 시

스템에 적합한 모니터링 체계를 구축하기 위해서 다음과 같은 특성을 가지도록 하였다. 여기서 유닛은 데이터 통신을 하는 소규모 독립형 태양광 발전 시스템의 RF 모듈을 일컫는다.

- 각 유닛은 회선의 안정성을 위해 무선 통신 전송 거리 내에 최소 두개 이상의 유닛이 존재 하게 구성한다.
- 무선 통신 전송 거리 내에 있는 유닛은 멀티 포인트 링크(multi point link)를 기본으로 구성 한다.
- 각 유닛은 위치에 따라 직접적으로 연결될 수 없는 유닛들 사이에서 중계기 역할을 수행할 수 있도록 한다.
- 각 유닛은 인접한 유닛과의 관계가 담긴 링크 데이터를 서로 공유하여 유닛사이의 연결 상태를 알 수 있도록 한다.

이러한 특성들에 맞게 시스템을 구현하여 저가의 단거리 무선 모뎀을 이용해서 장거리 데이터 통신을 가능하게 하였다. 또한 다중 통신을 위해 첫 번째로 멀티 포인트 링크에 셀렉트 앤 폴 기법(select & poll method)^{[2],[3]}을 사용하여 다수의 유닛을 제어하는 것을 기본으로 하고 여기에 경로 배정 알고리즘을 통하여 중계기로서의 역할도 충실히 실행할 수 있도록 하였다.

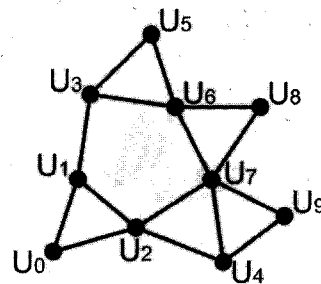


Fig. 3 Network diagram

Fig. 3은 본 논문에 적용된 시스템의 통신망 구

조를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 각 원의 중심은 유닛의 위치를 나타내며 원의 크기는 무선 통신이 가능한 전송거리, 각 유닛을 이온 선은 실제 통신이 이루어지는 최단의 경로를 나타낸다.

이와 같은 네트워크에서의 통신은 다음과 같은 구조로 이루어진다.

- 기본적으로 각각의 유닛은 일정 시간마다 자신의 고유 ID를 송출함으로써 주변의 유닛에게 자신의 존재를 각인시킨다(각각의 유닛은 인접한 유닛의 고유 ID를 인식하고 있다).
- 각 유닛은 송·수신 가능한 고유 ID의 링크 데이터를 DB(database)화 하여 주 모니터링 컴퓨터(U_0) 쪽으로 전송한다.
- 주 모니터링 컴퓨터는 각 유닛들로부터 전송 받은 DB를 이용하여 현재 망이 어떻게 구성되어 있는지 파악하고 있으면서, 일정 주기 시간마다 들어오는 데이터를 이용하여 각 유닛의 통신 상태 이상 유무를 판단한다.
- 특정 유닛들 사이에 송·수신을 하는 경우, 주 모니터링 컴퓨터의 통신 제어 프로그램은 해당 유닛사이의 최소거리를 찾아 경로를 지정해 주고, 각 유닛은 그 지정된 경로를 통해 데이터를 전송한다.(집중 적응 경로 배정)

이러한 통신 회로망은 장거리의 데이터 전송을 위해 중계기 역할을 함으로서 데이터 전송 시간이 길어지는 단점이 있는 반면, 통신이 이루어지고 있는 두 유닛이 포함된 군을 제외한 나머지 유닛들 사이에는 별도의 통신이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 장점은 토폴로지(topology) 내에서 하나 이상의 서버-클라이언트 구조를 동시에 가질 수 있도록 한다. 이를 이용하기 위해 폴링 지연 시간 및 데이터 전송시간 등을 정확하게 파악할 필요가 있다. 일반적으로 셀렉트 앤 폴 기법의 평균 폴링 시간은 유닛의 수와 데이터 전송량에 비례하여 늘어나게 되며 평균 폴링 시간은 다음의 수식(1)과 같이 표현할 수 있다^[2].

$$T_{avr} = \frac{T_{poll} \cdot N}{1 - Mr \cdot T_D} \quad (1)$$

본 논문에서 제안하는 통신망은 하나의 무선국

당 N 의 값이 크지 않으므로 수식 (1)에서 알 수 있듯이 평균 폴링 타임(T_{avr})을 줄일 수 있으며, Fig. 3의 U_3 , U_4 와 같이 별개의 무선국으로 분리되는 부분은 동시에 서로 다른 유닛을 폴링 할 수 있으므로 통신 회선의 이용률을 높일 수 있다.

4. 다중 모니터링 통신 알고리즘 구현

4.1 통신 알고리즘

앞서 보였던 Fig. 3과 같은 시스템을 구현하기 위해서 통신 모듈에는 여러 가지 서브루틴이 프로그램에 탑재되어 있다. 초기 설치시나 시스템 통신 회선의 업데이트를 위해 실행되는 서브루틴과 인접한 유닛 사이에서의 통신을 담당하는 데이터 전송 서브루틴은 C 언어로 작성되어 통신 컨트롤러와 충전 제어기 등에 탑재되었으며, 현 시스템에서의 최단 경로를 찾아주는 서브루틴, 중계기 역할시 각 유닛의 상태 파악 및 제어를 담당하는 서브루틴, 데이터 전송의 에러 발생 시 이를 보정하는 서브루틴 또한 C 언어를 이용하여 주 모니터링 컴퓨터에 탑재하였다.

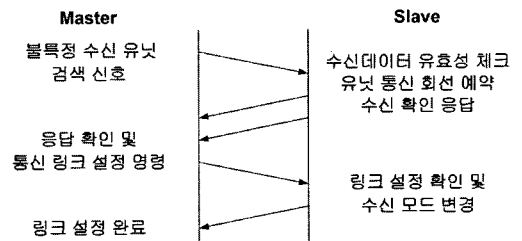


Fig. 4 Message passing for recognizing unit ID

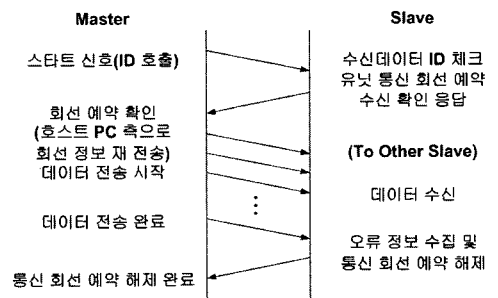


Fig. 5 Message passing for general data transfer

Fig. 4와 Fig. 5에는 각각 인접한 유닛을 검색하는 루틴의 메시지 패싱과 범용 데이터 통신 시 사용되는 메시지 패싱을 나타내고 있다. Fig. 6은 Fig. 4에 나타난 메시지 패싱을 실제로 구현한 것이다. 여기서 마스터와 슬레이브는 고정된 유닛이 아니라 주 모니터링 컴퓨터에서 지정되는 가변적인 유닛이며, 통신이 이루어지는 구역과 그렇지 않은 구역을 구분하기 위해서도 사용된다. 이러한 서브루틴은 설정 완료된 후에도 일정주기마다 실행되어 링크의 상태를 확인하고, 만약 어떠한 변화라도 생기는 경우 주 모니터링 컴퓨터로 DB를 업데이트한다. 각 유닛의 고유 ID는 하드웨어적으로 설정하여 고정시켜 놓았다.

주 모니터링 컴퓨터에서는 업데이트된 DB를 이용하여 유효한 최단의 경로를 선택하여 데이터를 전송하게 한다. 최단 경로를 찾는 서브루틴은 벨만-포드 알고리즘(Bellman-Ford algorithm)^[3]을 참고하여 구성하였다. 이 알고리즘은 주어진

소스 유닛에서 하나의 링크를 가지는 유닛을 찾고, 다음에 두개의 링크를 가지는 유닛을 찾는다. 이러한 방법으로 최종 목적지 유닛까지의 링크의 총 비용을 계산한 후 가장 적은 비용의 경로를 찾아내는 것이다. 이는 단계별로 진행되며 일반적으로 다음과 같은 수식으로 정리된다. 본 논문에서 제안한 통신망의 구조에서는 각각의 링크마다 소모되는 비용의 차이가 극히 적으므로 그 비용은 모두 같다고 가정하였다.

$$L_0(n) = \infty, \text{ (모든 } n \neq s \text{에 대해서)} \quad (2)$$

$$L_h(s) = 0, \text{ (모든 } h \text{에 대해서)} \quad (3)$$

각 연속적인 $h \geq 0$ 에 대해서 :

$$L_{k+1}(n) = \min_j [L_k(j) + w(j, n)] \quad (4)$$

소스유닛 s 로부터 목적지 유닛 n 까지의 최소경로는 다음과 같이 구해진다. $h = K$ 를 가진 반복

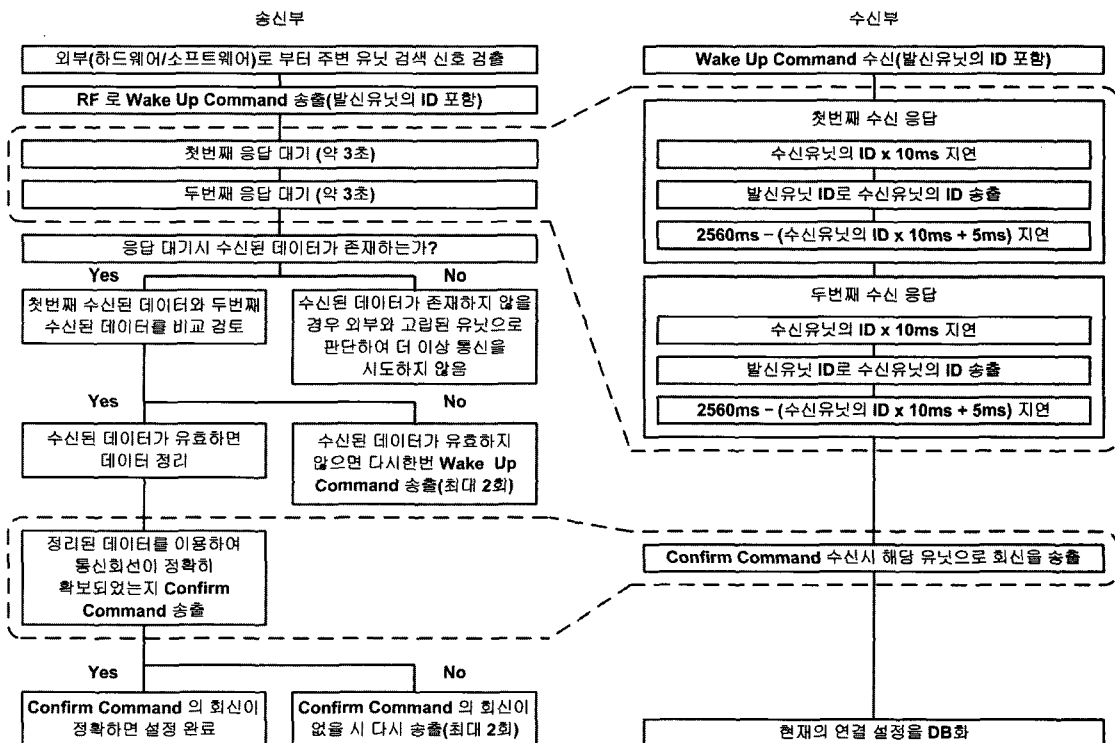


Fig. 6 Flowchart of recognizing unit ID

에 대해, 또한 각 목적지 유닛 n 에 대한 알고리즘은 전의 반복의 끝에서 존재했던 경로비용을 가지고 s 로부터 길이 $K + 1$ 까지의 잠재적 경로들의 비용을 비교한다. 만약 더 적은 비용의 경로가 검출되었다면 새로운 경로로 저장되며, 그렇지 않은 경우에는 이전의 정보가 그대로 유지된다. 본 논문에서는 링크 비용이 거의 동일하다고 보고 링크의 개수가 최소인 것을 최단 경로로 추정하였다. 예를 들어 Fig. 3에서 U_9 에서 U_0 로 데이터를 전송한다고 할 때, 주 모니터링 컴퓨터에서 동작하는 벨만-포드 알고리즘은 $U_9 \rightarrow U_7 \rightarrow U_2 \rightarrow U_0$ 혹은 $U_9 \rightarrow U_4 \rightarrow U_2 \rightarrow U_0$ 의 경로를 최단 경로로 추정하며, 배정된 경로 중 예약된 회선이 없는지를 파악한 후 데이터 전송을 시작한다.

4.2 통신 프로토콜 및 실험

다중 모니터링을 위해서 RS-485 규격의 반이중식 데이터 통신을 사용하였으며, 통신 프로토콜로는 BSC(Binary Synchronous Control)^{(2),(3)}를 사용하여 구성하였다. Fig. 7은 사용된 프로토콜의 형식을 보여준다.

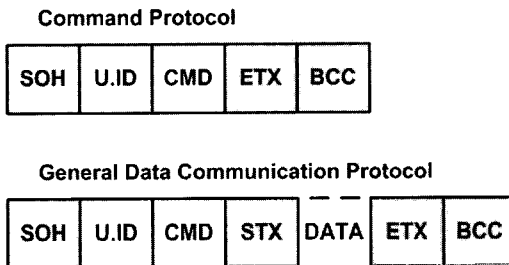


Fig. 7 Protocol format

Fig. 7에서 U.ID와 CMD는 헤더부분으로 간단한 명령을 포함하고 있으며 이러한 명령만 전송하는 명령 프로토콜과 일반 데이터를 전송하는 범용 데이터 통신 프로토콜을 설정하였다. 실제 데이터는 STX 메시지 이후에 전송되며 DATA에는 에러체크를 위한 정보도 포함되어 있다. 모든 통신은 ETX, BCC 메시지를 마지막으로 종료된다. Fig. 8 및 Fig. 9는 이러한 프로토콜을 기반으로

실제 구현한 시스템(Fig. 3참조)에서 U_2 가 인접한 유닛을 검색하기 위한 루틴을 실행할 때 U_1 과 U_4 의 통신 파형을 오실로스코프를 이용하여 측정 한 것이다.

Fig. 8과 Fig. 9의 채널 1과 채널 2는 U_2 의 TX, RX 단자를 표시한다. Fig. 8의 채널 3과 채널 4는 U_1 의 TX, RX 단자를 표시하며, Fig. 9의 채널 3과 채널 4는 U_4 의 TX, RX 단자를 표시한다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 U_2 의 TX 단자에서 신호가 송출되면 약간의 지연시간을 거쳐 U_1 의 RX 단자에 입력되는 것이 보이는데 이것은 RF 무선 통신이 2400bps의 비교적 낮은 속도로 이루어지며 통신 프로토콜을 해석하는데 있어 최소 2바이트를 수신해야 실행되게끔 구성되어 있기 때문이다.

Fig. 8에서 채널 2의 앞부분에 나타나는 파형은 U_2 가 응답한 것이고 뒷부분에 나타나는 파형은 U_4 가 응답했을 때 나타난 파형이다. 마찬가지로 채널 4에 U_4 가 응답한 파형이 U_1 에도 잡히고 있음을 알 수 있다. Fig. 8과 Fig. 9를 비교하여 살펴보면 Fig. 8의 채널 3(U_1 의 TX 단자)에서 나타난 출력이 Fig. 9의 채널 4에 표시되었고, Fig. 9의 채널 3(U_4 의 TX 단자)에서 나타난 출력은 Fig. 8의 채널 4에 표시 되었으나 두 모듈 모두 오동작 하거나 데이터 충돌이 일어나지 않음을 확인할 수 있다.

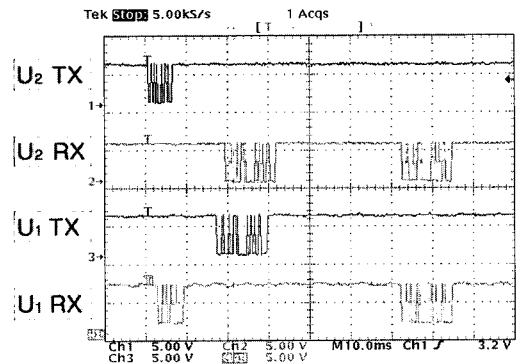


Fig. 8 Waveforms of reconnecting algorithm with command protocol between U_2 & U_1

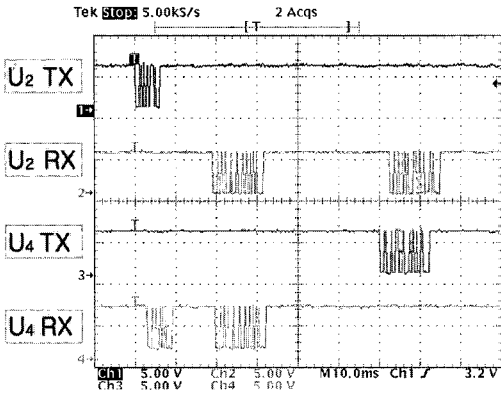


Fig. 9 Waveforms of reconnecting algorithm with command protocol between U_2 & U_4

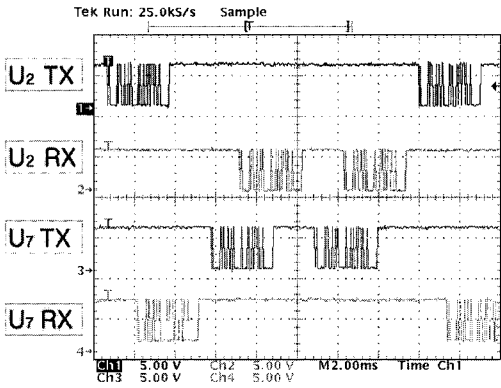


Fig. 10 Waveforms of command protocol communication between U_2 and U_7

Fig. 10과와 Fig. 11은 명령 프로토콜을 이용한 데이터 통신에 관한 파형을 측정된 것이다. U_2 와 U_7 이 통신을 하고 있을 때, Fig. 10은 U_2 와 U_7 의 통신 단자에서 측정된 파형이고, Fig. 11은 U_2 와 U_1 의 통신 단자에서 측정된 파형이다.

Fig. 12와 Fig. 13은 범용 데이터 통신 프로토콜을 이용하여 U_2 와 U_7 이 통신할 때 파형을 측정된 것이다. Fig. 12는 U_2 와 U_7 의 통신 단자에서 측정된 것이고, Fig. 13은 U_2 와 U_1 의 통신 단자에서 측정된 것이다. Fig. 11과 Fig. 13에서 채널 3에서는 아무런 신호도 출력되지 않는 것이 보이는데, 이는 수신 대기 상태에 있는 모듈들에게서 인접한 통신 회선이 사용 중이게 되면 데이

터 충돌을 방지하기 위해 데이터 송출을 하지 않도록 프로그래밍을 하였기 때문이다.

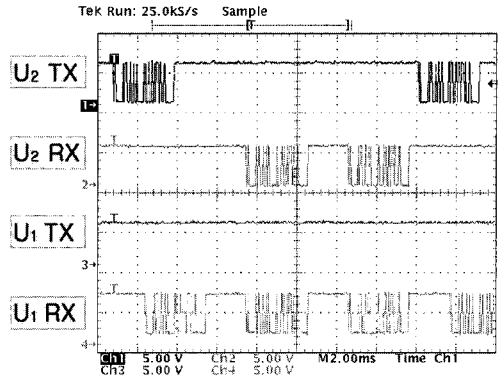


Fig. 11 Waveforms of command protocol communication between U_2 and $U_1(U_4)$

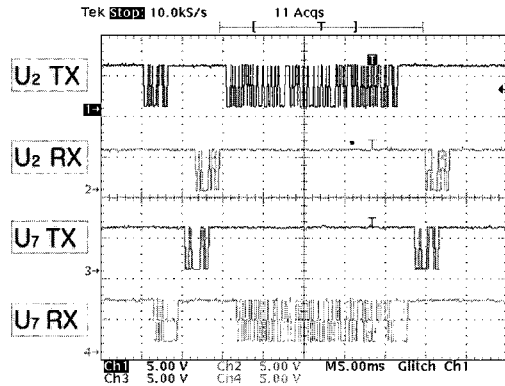


Fig. 12 Waveforms of general data protocol communication between U_2 and U_7

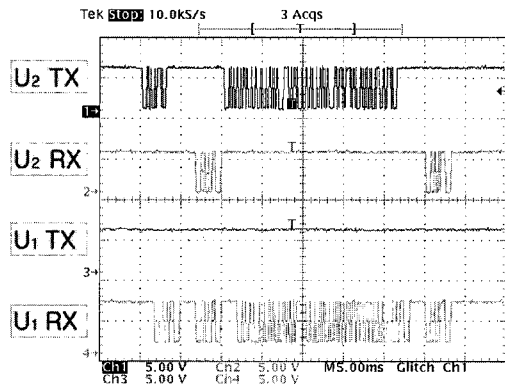


Fig. 13 Waveforms of general data protocol communication between U_2 and $U_1(U_4)$

5. 결 론

본 논문에서는 저비용의 무선 통신 모듈(단거리)만으로도 고비용의 통신 모듈(장거리)을 사용하는 효과를 얻기 위한 다중 무선 모니터링 기법을 제시하였으며, 실제로 소규모 독립형 발전 시스템을 구성하여 실험하고 각 유닛들 사이의 데이터 충돌이 일어나지 않음을 확인하였다.

이러한 시스템은 데이터 전송량이 많지 않고 데이터 전송 속도에 민감하지 않은 태양광 가로등 모니터링 시스템이나 해상의 부이(buoy) 제어 관리 시스템, 무인 등대 관리 시스템 등과 같은 독립형 태양광 발전 응용 시스템에 효율적으로 적용할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 선박의 냉동 컨테이너 모니터링 시스템, 컨테이너 부두의 야적 시스템 등 펄드에서도 활용이 가능하다. 그러나 이를 위해서는 주 모니터링 컴퓨터에서 실행될 모니터링 프로그램에 대한 비주얼한 화면구성과 다수의 서버 유닛에 대한 DB 구축의 효율성문제 등에 대한 연구가 추가로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

후 기

본 논문은 수중운동체기술 특화연구센터의 지원으로 수행됨.

참고문헌

- [1] 오진석, 곽준호, "독립형 태양광 발전 시스템 충전제어기 개발에 관한 연구", 한국박용기관학회지, 제 28권, 제 6호, pp. 916-921, 2004.
- [2] Fred Halsall, Data communications, computer networks and OSI. Addison-wesley publishing company, 1988.
- [3] William Stallings, Data and computer communications, Prentice-hall, Inc, 2000.
- [4] Hamad Rashid, Wireless application protocol programming, Hungry minds, 2001.
- [5] Carl J. Weisman, The essential guide to RF and wireless, Prentice-hall, Inc, 2002.
- [6] 김성수, 이승준, 문철홍, "USB와 임베디드 시스템의 다중 통신 프로토콜 구현", 대한전자공학회지, 제 25권, 제 1호, pp. 215-218, 2002.

저 자 소 개



오진석 (吳珍錫)

1960년 3월생, 1983-1986년 영국 ZODIAC 선박회사엔지니어, 1989-1992년 국방과학연구소 연구원, 1992-1996년 양산대학 전임강사, 조교수, 학과장, 1996-현재 한국해양대학교 전임강사, 조교수, 부교수, 2001-2002년 영국 CARDIFF 대학 교환교수, 2002-현재 산학연컨소시엄사업단 단장, 2002-현재 한국박용기관학회 편집위원, 2002-현재 한국산학연 논문집 편집위원, 2003-현재 영국 K. O. Tech 연구원, 당학회 증진회원.



곽준호 (郭俊浩)

1980년 7월생, 2003년 한국해양대학교 기관시스템공학부 전기전자제어전공 졸업(공학사), 2005년 동대학원 졸업(공학석사), 현재 수중운동체특화연구센터 연구원.