RFID/USN 기반의 재배환경 모니터링 시스템
(RFID/USN-based Cultivation Monitoring System)

장석철[1], 함성일[1], 황영주[1], 나인묵[1], 윤기포[2], 이용진[3], 이재근[3], 정부만[3]
[1]서울시 강남구 삼성동 동부정보기술 컨설팅사업부
{scchang, hamsi, pin-pi, inmookna}@dongbu.com
[2]서울시 여의도구 여의도동 유씨티코리아 ub사업팀
youngp@uctkorea.com,
[3]서울시 중구 무교동 77번지 한국전산원 RFID/USN팀
{leeyj, jglee, cbm123}@nca.or.kr

Abstract

최근 RFID/USN (Radio Frequency IDentity/Ubiquitous Sensor Network) 시장의 급격한 성장으로 비즈니스 영역에서 물류/유통 뿐만 아니라 국방, 창고 및 공정관리 등 영역을 지속적으로 확장하고 있다. 본 연구는 RFID를 이용한 농작물 개체관리와 USN을 이용한 농작물 생장환경 관리를 구현하고 두 시스템을 통합하는 비즈니스 모델(한국형 u-Farm 모델)을 제시하였다. 이를 통하여 소비자에게는 농작물 이력데이터를 제공하여 상품에 대한 신뢰성을 확보할 수 있고, 생산자는 생장환경 정보를 주기적으로 획득하여 최적의 생산조건을 구현하는 기반을 마련하였다.

1. 서론

컴퓨팅 환경의 변화는 컴퓨팅의 주체가 사람에서 사람을 포함한 모든 사물로 그 범위를 확장시키고 있다. 유비쿼터스 패러다임은 먼저 인식정보를 제공하는 RFID를 중심으로 발전하고 이에 감지기능이 추가되고 이들 간의 네트워크가 구축되는 USN 형태로 발전하면서 인간 생활의 편리성과 안전성을 고도화하고 있다.

RFID/USN 기술은 급격한 성장세와 함께 국내·외의 정부 및 관련업체의 꾸준한 연구가 진행되고 있으며 비즈니스 영역에서 물류/유통뿐만 아니라 창고관리, 국방, 공정관리 등 영역이 지속적으로 확산되고 있다.

최근 해외 각국에서는 농업분야에 RFID/USN 기술을 적용한 사례가 급격히 증가하고 있다. NASA의 Kevin A. Delin과 Shannon P. Jackson은 2000년부터 Sensor Web System을 통하여 식물원의 온실 및 종묘원의 토양 온도, 토양 습도, 기온, 습기, 일사량 및 산소량을 측정하였고[1], JPL(Jet Propulsion Laboratory)은 생태계 및 환경측정에 USN기술을 활용하였다[2]. UC Berkeley의 David Culler는 삼나무 생장관리[3]에 적용하였고, Ganesay D. *et al.*은 포도의 품질향상에 응용하였다[4]. 그 외에도 화성기후 예측[5], 야생동물 생태계 조사[6], 토양수분 모니터링[7], 청과류 유통환경 모니터링[8] 등에 적용되었다. 국내에서는 RFID를 이용한 농축산물 이력관리와 USN을 응용한 하우스 관리에 적용한 사례가 있다.

그러나, 기존에 수행된 연구나 서비스들은 주로 RFID 시스템의 개체 인식성을 이용하여 물류/유통 분야에서의 작물 이력관리에 주력하거나 USN 시스템의 정보 획득성을 이용하여 주변 환경 정보를 인식하고 분석하는

데 초점을 맞추었고 두 시스템을 통합한 응용 서비스 모델을 제시한 사례는 극히 드물다.

u-Farm 시스템은 RFID와 USN 시스템을 통합하여 농업환경에 적용함으로써 파종에서부터 출하에 이르기까지 농산물 데이터를 체계적으로 관리/분석할 수 있는 비즈니스 모델을 산출하고 시스템을 구축하는 것이다. 위의 시스템을 통하여 소비자는 원산지, 파종시기, 농약을 뿌린 횟수, 출하시기 등 해당 농산물 관련 이력데이터를 제공받음으로써 먹거리를 안심하고 구매할 수 있으며, 생산자는 농산물의 생산 시 가장 크게 영향을 미치는 온도, 습도, 조도 등의 주변 환경 정보를 주기적으로 데이터화하여 최적의 생산조건을 만들어 낼 수 있을 것이다. 본 논문의 목적은 다음과 같다.

- RFID/USN 통합 비즈니스 모델 제시
- 재배환경과 농작물 생장의 상관관계 분석
- RFID/USN 시스템의 제안사항 도출

2. 시스템 구성

u-Farm 모델은 실시간 온도/습도/광량 측정을 위한 USN 시스템, 농작물 생장환경 정보 획득을 위한 RFID 시스템, 실시간 최적 생장환경 구현을 위한 환경제어시스템, 원격지에서 농작물의 환경을 인지할 수 있는 웹서비스, RFID 시스템과 USN 시스템을 연동하는 데이터베이스 설계로 구성된다<그림 1>.

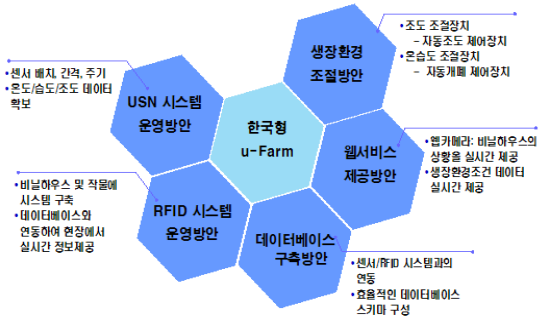


그림 1. 시스템 구성요소

<그림 2>는 u-Farm 시스템을 설명한다. USN 시스템은 농작물의 재배환경과 관련된 온도/습도/광량 데이터를 일정 시간 간격으로 수집하고 데이터베이스 서버에 보낸다. 재배중인 농작물(연구 대상 농작물: 양배추, 수박, 멜론)은 일정 단위(개별 또는 그룹)별로 태그를 부착하고 RFID 단말기를 통하여 재배 현장에서 실시간으로 농작물 생장 및 비료 이력 정보를 데이터베이스에 저장한다. 또한 농작물의 재배 및 성장 정보를 검색하기 위하여 원격지에서는 웹 서비스를, 재배현장에서는 RFID 단말기를 사용하여 데이터베이스에 저장된 정보를 검색할 수 있다. 최적의 재배환경 구축을 위하여 자동조도 제어장치 및 자동 개폐장치를 운영하여 센서와 연동시킨다.

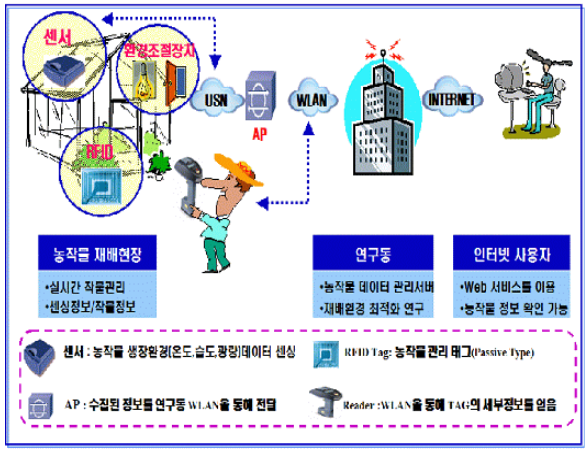


그림 2. 시스템 구성도

3. 시스템 구축

u-Farm 시스템은 비닐하우스 3개동(양배추 2개동과 멜론/수박 1개동)에 구축되었으며 웹서버와 데이터베이스 서버는 근처 연구동에 설치하였다. 통신시설의 미비로 비닐하우스와 연구동내에 무선랜을 설치하여 운영하였고 외부와의 통신을 위하여 ADSL의 고정 IP를 신청하여 운영하였다. <그림 3>은 설치 현장의 배치도를 나타내고 있다.

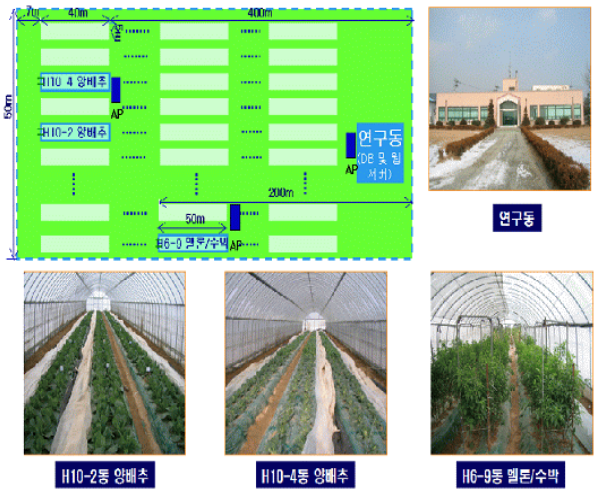


그림 3. 구축현장 배치도

4. USN 시스템

4.1. 시스템 개요 및 구성도

시스템은 생장환경정보를 획득하기 위한 센서노드(온습도센서, 조도센서, 통신모듈, CPU), 센서노드에서 데이터를 수집하는 베이스노드, 데이터를 중앙 데이터베이스 서버로 전송하는 통신 프로토콜 변환기, 통신을 위한 무선랜 설비로 구성되어 있다. 각 센서는 레벨별로 초기 구동시 스스로 새로운 경로를 찾을 수 있도록 프로토콜이 설계되어 있어서 베이스노드 ⇔ 레벨1 센서노드, 레벨1 ⇔ 레벨2, 레벨2 ⇔ 레벨3 로 통신을 할 수 있다. USN 시스템의 배치는 <그림 4>의 배치도와 같다.

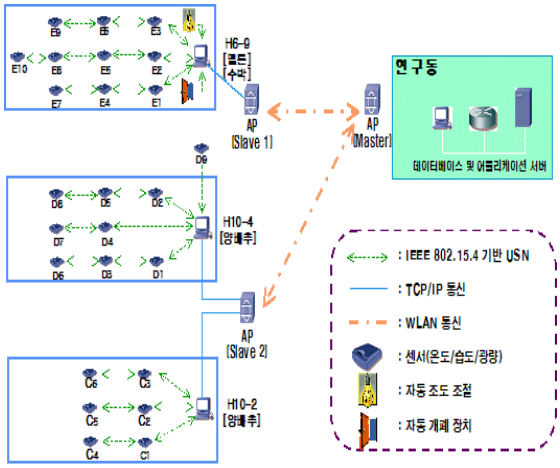


그림 4. USN 시스템 구성도

USN 실험은 비닐하우스 3개 동에 설치 운영되었다. 각각은 양배추 2개동(H10-2동, H10-4동)과 멜론/수박 1개동(H6-9동)으로 구성되어져 있다. H10-2동은 양배추의 데이터를 수집하면서 USN 실험을 실시하였고, H10-4동은 H10-2동의 양배추와 동일한 품종의 양배추를 기르면서 온도의 차이를 주었을 때 성장상태를 비교하기 위한 동으로 선정하였다. 각 센서노드는 작물이 성장하는 높이에 맞추어 설치하였고, 작물과 베이스 스테이션의 거리가 먼 곳은 중계노드를 달아 실험하였다. <그림 5>는 비닐하우스에서 내·외부에 설치된 센서노드를 나타내고 있다.

(a) 멜론동 센서노드

(b)양배추동 센서노드

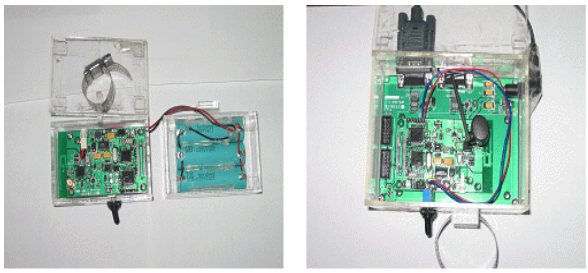
(c) 외부 센서노드

(d) 중계기

그림 5. 설치된 센서노드

4.2. 시스템 제원

센서노드는 메인보드와 센서(온습도센서, 조도센서)의 결합형으로 구성되었다, 주파수 2.4GHz, 전압 2.1V ~ 3.6V, 저전력 설계가 되었으며, 전력공급은 1200mAh, 3.6V 건전지 3개를 병렬로 연결하여 사용하였다. 네트워크는 Tree 기반 라우팅으로 802.15.4 MAC을 이용하였다.



(a) 센서노드 (b) 베이스노드

그림 6. USN시스템 하드웨어

센서노드는 OS로 ANTS-EOS를 사용하였고, 베이스스테이션에서는 센서노드에서 수집된 신호를 서버에 전달하는 프로그램을 Visual C++를 이용하여 제작하였다. 서버에서의 관리프로그램은 J-builder를 이용하여 Java언어로 구현하였다.

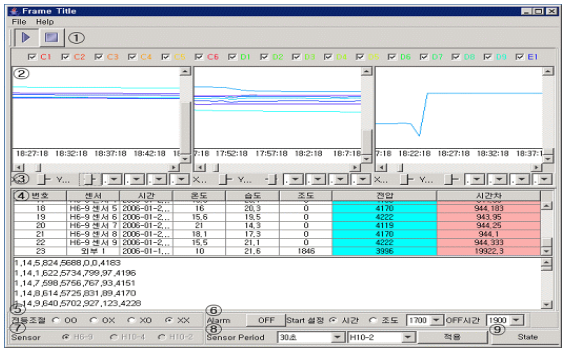


그림 7. USN 시스템 관리자 프로그램

4.3. 농작물 생장분석

양배추는 배추과에 속하는 채소로 생육의 경우 서늘한 기후를 요구하여 생육최적온도는 15~20℃이고 생육한계 저온은 5℃정도이다.

H10-2동은 이중 비닐하우스를 이용한 자체 보온으로 유지를 하고 H10-4동은 이중 비닐하우스와 함께 5℃이하로 떨어지는 겨울 새벽에 온풍기를 작동시켜 생장조건을 조절하였다. 측정기간(2005.12.02-2006.01.11)동안 5분 주기로 H10-2동은 총 35,334개, H10-4동은 38,542개의 데이터를 얻었다.

표 1.비닐하우스 측정온도

	H10-2동		H10-4동	
	횟수	백분율	횟수	백분율
0℃이하	4,087	11.5	-	-
0℃-5℃	12,476	35.3	-	-
5℃-10℃	6,107	17.3	24,590	63.8
10℃-15℃	3,811	10.8	4,125	10.7
15℃-20℃	2,602	7.4	3,006	7.8
20℃-25℃	2,576	7.3	2,890	7.5
25℃-30℃	1,702	4.8	1,850	4.8
30℃-35℃	1,337	3.8	1,426	3.7
35℃이상	636	1.8	655	1.7
합계	35,334	100	38,542	100

본 실험에서 양배추의 생장지표는 크기(길이, 폭)와 무게를 이용하였다. 양배추는 그룹별로 관리되어 크기의 경우 평균 크기를 이용하여 1주일 단위로, 무게는 샘플링을 하여 2주일 단위로 측정하였다.

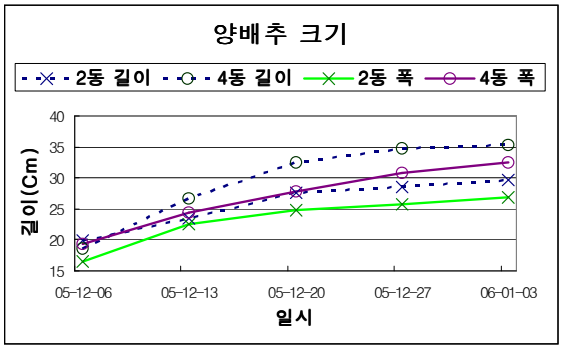


그림 8 양배추 크기비교

<그림 8>에서 양배추의 크기는 측정 초기에는 비슷하였으나 실험기간동안에 생장조건을 조절해준 H10-4동의 양배추가 2동의 양배추보다 빠른 성장을 보였다. 5℃이하로 떨어지는 새벽에 2동의 경우 성장이 억제되나 4동의 경우 5℃-8℃사이로 온도를 유지시켜주었기 때문에 지속적으로 성장을 할 수 있었던 것으로 파악된다.

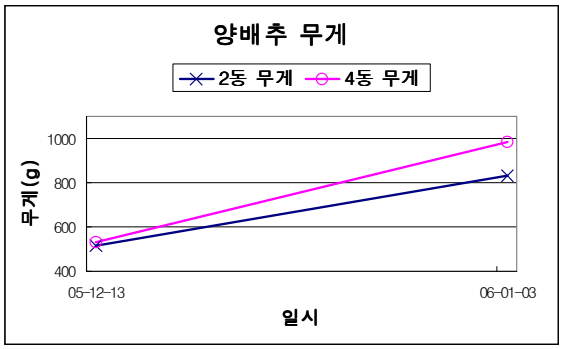


그림 9. 양배추 무게비교

무게 측정을 위해서는 샘플링한 농작물을 임의로 뽑아야 하기 때문에 측정 초기 및 말기 2회에 걸쳐 실시를 하였다. 크기와 마찬가지로 농작물의 무게도 두 실험군간 성장의 차이를 보였다<그림 9>.

이를 통하여 생장환경과 식물의 성장은 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며 간단한 생장환경의 조절을 통해서도 많은 효과를 얻을 수 있다는 것을 파악하였다.

5. RFID 시스템

5.1. 시스템 개요 및 구성도

관리자가 각 농작물의 상태를 파악하고 다양한 문제에 대하여 신속하게 대응하기 위해서는 재배현장에서 개별 작물에 대한 데이터를 실시간으로 획득할 수 있어야 한다. RFID 시스템은 실시간 조회기능을 제공함으로써 생산자에게는 농작물의 품질향상을 유도하고 소비자는 원산지, 파종시기, 농약을 뿌린 횟수, 출하시기 등 해당 농산물 관련 이력데이터를 제공함으로써 안심하고 구매할 수 있게 한다.

본 실험의 구성은 다양한 주파수대(13.56MHz, 900MHz, 2.45GHz)의 RFID 리더기와 총 131개의 태그를 사용하였으며, 태그는 작물에 따라 그룹(양배추, 멜론)이나 개별(수박)로 부착 관리하였다. 또한 비닐하우스 정보를 저장하기 위하여 하우스 태그를 따로 두어 관리하였다. 각 태그는 습도의 영향을 최소화 하기위하여 비닐코팅을 하여 부착하였다<그림 10>.

(a) 수박 태그

(b) 멜론 태그

(c) 양배추 태그

(d) 하우스 태그

그림 10. 태그의 부착모습

5.2. 시스템 제원

RFID 시스템은 대표적인 주파수 대역인 13.56MHz, 900MHz, 2.4GHz 의 3가지 대역의 태그와 휴대형 리더기를 사용하여 RFID 태그 및 리더의 성능/특성시험, 주파수 별 차이 분석, 리더기와 무선인터넷 연동 등의 테스트를 수행하였다. 단말기내 사용자 인터페이스는 C#을 이용하여 개발하였다<그림 11>.

(a) 태그인식화면

(b) 습도 정보예시

그림 11. 단말기 사용자 인터페이스

5.3. 비닐하우스 내 RFID 성능실험

농산물 이력관리에 적합한 RFID 시스템을 구축하기 위하여 본 연구에서는 다양한 주파수대의 RFID 시스템을 농산물 객체 관리에 적용하였다.

5.3.1. 태그의 부착위치

태그를 수박과 같은 농작물의 표면에 직접적으로 부착하는 경우 리딩이 불가능하며 농작물과 태그사이에 일정이상의 간격이 있어야 태그의 인식이 가능하다. 이를 보완하기 위하여 본 실험에서는 태그를 별도의 보조막대에 부착(양배추, 멜론)하거나, 줄기에 끈을 이용하여 부착하는 방식(수박)을 사용하였다.

5.3.2. 태그의 사이즈

실험에 사용한 태그는 각 주파수별로 크기가 상이하여 부착 및 인식시 차이를 보였으며, 향후 유통부분을 고려하여 주로 설치한 900MHz 태그는 크기가 커서 가독성이 유리한 반면 차지하는 면적이 커서 재배환경에 다소 불편이 우려된다. 따라서 보다 적은 크기의 제품인 2.45Hz 대나 900MHz Gen2 제품, 또는 수분에 강한 13.56MHz 대역이 유리할 것으로 판단된다.

5.3.3. 주변 인접태그의 영향

실험에 사용된 태그 및 리더의 경우 900MHz 제품의 경우는 인식거리가 수 십 cm에 달하므로 주변의 인접태그에 대한 영향을 받는 경우가 자주 발생하였으나, 나머지 주파수의 경우 인식거리가 수 cm에 불과하여 주변의 태그에 영향을 받는 경우가 거의 없었다.

5.3.4. 습도 및 온도에 따른 영향 분석

실험에 사용된 태그 및 리더의 경우 온도의 경우 약 50℃ , 습도의 경우 약 90%의 경우에서도 정상적으로 인식이 되었다. 그러나, 실험 중에 태그 내부에 습기로 인한 결로 현상이나 비닐하우스위쪽에서 떨어진 물이 직접 태그에 떨어지는 경우가 많아서 방수를 위한 별도처리가 필요하다.

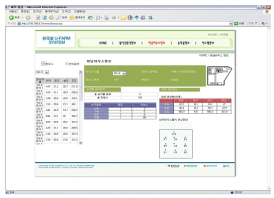
6. 부가 시스템

6.1. 웹 서비스

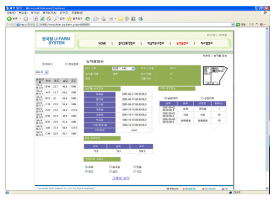
웹서비스는 센서에서 획득된 데이터와 관리자가 입력한 작물의 파종시기, 발아일, 투입된 비료의 종류나 양과 같은 농작물 생장관련 정보를 실시간으로 원격지에서 확인할 수 있도록 구성되었다.

(a) 초기 화면

(b) 환경 정보



(c) 비닐하우스 정보



(d) 농작물정보

그림 12. 웹화면

<그림 12-b>는 센서를 통하여 획득된 생장환경정보(온습도 및 조도)를 실시간으로 웹에서 제공하고 있는 화면이다. 우측 테이블은 센서별 정보가 제공되며 중앙의 그림은 센서의 위치를 나타낸다. 마우스를 드래그하여 중앙의 센서 포인트에 접촉하면 해당센서에서 획득한 가장 최근의 정보가 표시된다.

<그림 12-c>에서는 비닐하우스에서 관리되는 작물의 정보 및 개체수와 하우스 내에 설치된 센서의 정보가 표시된다. 또한 하루 동안의 평균/최고/최저 온습도 및 조도 정보가

표시된다.<그림 12-d>의 농작물 정보 화면에서는 RFID 태그로 인식된 농작물들의 성장 정보(발아일, 개화일, 교배일 등)와 비료사용 시기 및 양 등의 정보를 나타내었다. 또한 그래프 보기 옵션을 통하여 온습도 및 조도 관련 정보를 하루/일주일/한달 간격으로 확인할 수 있도록 하였다.

6.2. 생장환경 조절시스템

USN 시스템으로부터 받은 정보를 바탕으로 사용자 요구에 따라 온도/조도/습도 등의 센싱 대상에 영향을 주어 농작물의 재배환경을 컨트롤 할 수 있도록 자동제어 시스템을 설치하여 실험하였다. 다양한 제어 시스템 중 본 실험에서는 조도 제어 시스템(전등)과 자동개폐기 시스템(비닐 및 부직포 개폐용)의 두 가지 시스템을 선택하여 USN 시스템에서 쌍방향 컨트롤로 환경제어가 가능함을 알아보았다. 실험 내용은 각 제어장치별 프로토콜의 센서 프로토콜과의 호환, 센싱 정보 및 주기에 따른 제어, 웹을 이용한 제어 등이 있다 <그림 13>.

(a) 조도 제어기

(b) 조도제어 장치

(c) 개폐 제어기

(d) 개폐제어 장치

그림 13. 생장환경 제어시스템

6.3. 데이터베이스

본 시스템에서 데이터베이스는 소수의 센서노드와 다수의 RFID 태그를 상호 연계함으로써 RFID시스템과 USN 시스템을 연동시키고, 수집된 환경정보(온도,습도,조도)를 웹과 RFID리더기를 통해 사용자에게 실시간으로 제공하는 역할을 하고 있다.

7. 고찰

본 사업을 통하여 농업분야의 RFID/USN 적용에서 다음과 같은 제안사항이 도출되었다.

7.1. 센서노드의 가격

센서노드의 높은가격은 USN을 실용화하는데 가장 큰 장애가 될 수있다. 앞으로 기술의 발전 및 대량생산으로 하드웨어 가격 및 건전지의 가격 하락이 예상되므로 향후에는 이러한 문제가 해결될 것으로 예상된다.

7.2. 센서노드의 성능

센서를 비닐하우스에 설치 운영하면서 몇 가지 문제점이 발생하였으며 이러한 문제점들은 향후 개선을 요한다.

센서 교정(Calibration)

센서들은 온도, 습도, 조도에서 각기 서로 다른 오차를 보이고 있었다. 이것은 센서 자체의 오차라기 보다는 보드와의 결합 및 센서 보드의 하우징 문제로 판단된다. 그러므로 센서모듈 제작시 센서와 보드의 분리 방안 및 적절한 모듈 하우징에 대한 연구가 필요하다.

사용 전력의 문제(건전지 수명)

본 실험에서는 저전력 설계를 한 센서노드에 1200mA 3.6V 축전기 3개를 병렬로 연결하고 센싱 주기를 5분으로 하여 사용하였다. 이론상으로 설치된 밧데리는 약 15-20일 정

도 수명이 지속되지만 실제현장에서는 수명이 약 3-7일 정도였다. 이렇게 줄어든 이유는 트리구조에서 자식노드가 부모노드를 찾지 못할 때 이를 탐색하는 과정에서 지속적으로 전력을 낭비하기 때문인 것으로 판단된다. 그러므로 새로운 경로를 탐색하는 최적알고리즘 연구가 필요할 것이다.

축전지 사용의 문제

센서의 전력원으로 축전지를 사용시 전지의 전압이 임계 전압이하로 떨어질 때 충전하지 않으면 완전 방전되어 사용할 수 없게 된다. 이를 방지하기 위해서 축전지가 임계전압에 도달할 때 자동적으로 센서노드가 OFF되는 제어장치가 필요하다.

7.3. RFID 시스템의 성능

RFID 시스템을 농작물에 적용하면서 다음과 같은 제안사항이 도출되었따.

- RFID 태그를 농작에 부착시 농작물과 태그 간에는 일정간격이 떨어져야 인식가능하다.
- 습도가 높고 동시 인식이 불필요한 농작물 재배현장과 같은 곳에서는 900MHz 대역보다는 13.56MHz대역의 RFID 시스템이 적당할 것으로 판단된다.
- 농가에서 이용하기 위해서는 저가이면서 기능이 복잡하지 않은 단말기가 필요하다.

8. 결론

본 연구에서는 RFID 시스템과 USN 시스템을 통합하여 농업재배 환경에 적용하였다. 이를 통하여 농작물 생장과 온도와의 관계, RFID 시스템의 농작물 객체관리 적용성, 현 RFID와 USN 시스템의 기술 수준 및 개선 사항 등을 제시하였다. 향후 본 시스템은 적용 농작물의 확대 및 물류/유통 분야로 그 영역을 넓혀 갈 계획이다.

Reference

[1] Kevin A. Delin, Shannon P. Jackson, David W. Johnson, Scott C. Burleigh, Richard R. Woodrow, J. Michael McAuley, James M. Dohm, Felipe Ip, Ty P.A. Ferre, Dale F. Rucker, and Victor R. Baker, “Environmental Studies with the Sensor Web: Principles and Practice", Sensors 2005, 5, pp.103-117, 2005.

[2] http://sensorwebs.jpl.nasa.gov/resources

[3] David Culler, “Wireless Sensor Networks - the Next IT Revolution", 35th Korea Electronics Show 2004, Oct 7, 2004.

[4] Ganesay D., Ratnasamy S., Wang H., and Estrin D., “Coping with Irregular Spatio-Temporal Sampling in Sensor Networks," Intel Research, IRB-TR-03-046, Nov. 22, 2003

[5] Kevin A. Delin, “Sensor Webs in the Wild", Wireless Sensor Networks: A Systems Perspective, 2005.

[6] Kevin A. Delin, Shannon P. Jackson, Scott C. Burleigh, David W. Johnson, Richard R. Woodrow, and Joel T. Britton, “The JPL Sensor Webs Project: Fielded Technology", Space Mission Challenges for IT Proceedings, Annual Conference Series, pp. 337-341, 2003.

[7] “ Active Tag Projects in YRP UNL" 2005 International RFID/Sensor Network Workshop, 2005.

[8] Rachel Cardell-Oliver, Keith Smettem, Mark Kranz and Kevin Mayer, “A Reactive Soil Moisture Sensor Network: Design and Field Evaluation", revised and extended version of UWA-CSSE-04-003 below, submitted for review, March 2005.