

# RFID 리더기 안테나의 최적 배치를 위한 효율적인 진화 연산 알고리즘

## An Efficient Evolutionary Algorithm for Optimal Arrangement of RFID Reader Antenna

순남순\*, 여명호\*\*, 유재수\*\*  
충북대학교 정보산업공학과\*, 충북대학교 정보통신공학과\*\*

Nam-Soon Soon(sns174@daum.net)\*, Myung-Ho Yeo(mhyeo@netdb.cbnu.ac.kr)\*\*,  
Jae-Soo Yoo(yjs@chungbuk.ac.kr)\*\*

### 요약

RFID 기술을 이용한 다양한 응용분야에서 잘못된 RFID 리더기의 배치로 인해 리더기간의 간섭이 발생한다. 리더기간의 간섭은 어떤 리더기가 다른 리더기의 동작에 간섭을 일으키는 신호를 송신하여 태그를 인식하는 것을 방해할 때 발생한다. RFID 시스템에서 리더기의 충돌 문제는 시스템 처리량과 인식의 효율성의 병목현상을 발생 시킨다. 본 논문에서는 RFID 안테나 배치의 적합도를 높이기 위해서 진화 연산 알고리즘을 이용한 새로운 RFID 리더기 배치 설계 시스템을 제안한다. 먼저, 주위 환경에 민감한 안테나의 전파 특성을 분석하고, 특성 데이터베이스를 구축한다. 그리고, 안테나를 최적으로 배치하기 위한 진화 연산 알고리즘을 이용한 Encoding 기법과 Fitness 기법 및 유전자 연산자를 제안한다. 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해서 시뮬레이션을 수행하였으며, 실험 결과, 약 100세대의 진화 연산을 통해 커버율 95.45%, 간섭율 10.29%의 RFID 안테나 배치의 적합도를 달성하였다.

■ 중심어 : | 과학기술 | RFID | 안테나 | 리더기 | 태그 | 유전자 알고리즘 | 최적화 | 설계 | 진화 연산 |

### Abstract

Incorrect deployment of RFID readers occurs reader-to-reader interferences in many applications using RFID technologies. Reader-to-reader interference occurs when a reader transmits a signal that interferes with the operation of another reader, thus preventing the second reader from communicating with tags in its interrogation zone. Interference detected by one reader and caused by another reader is referred to as a reader collision. In RFID systems, the reader collision problem is considered to be the bottleneck for the system throughput and reading efficiency. In this paper, we propose a novel RFID reader anti-collision algorithm based on evolutionary algorithm(EA). First, we analyze characteristics of RFID antennas and build database. Also, we propose EA encoding algorithm, fitness algorithm and genetic operators to deploy antennas efficiently. To show superiority of our proposed algorithm, we simulated our proposed algorithm. In the result, our proposed algorithm obtains 95.45% coverage rate and 10.29% interference rate after about 100 generations.

■ keyword : | Science Technology | RFID | Antenna | Reader | Tag | EA | Genetic Algorithm | Optimization | Design | Evolutionary Algorithm |

\* 이 논문은 2008년 중소기업기술혁신개발사업 일반과제 및 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임.(No. 2009-0080279)

접수번호 : #090629-004

심사완료일 : 2009년 08월 25일

접수일자 : 2009년 06월 29일

교신저자 : 유재수, e-mail : yjs@chungbuk.ac.kr

## I. 서론

최근 RFID(Radio Frequency Identification)는 비접촉식 통신 기술의 일종으로 근거리 물체 인식, 위치 인식, 센서 네트워크 구축 등 다양한 분야에 여러 가지 형태로 응용되고 있다. 특히 사용자가 관리할 사물에 태그를 부착한 후, 송수신부의 전파를 활용하면 손쉽게 그 사물에 대한 정보 및 주변 정보를 인식 가능하기 때문에, 다양한 서비스에 빠른 속도로 보급되고 있다. 하지만 여전히 RFID 리더기의 경우 단가가 높기 때문에 다수의 리더기와 안테나를 활용하기에 경제적인 제약이 있다. 결국 소수의 리더기를 가지고 다수의 태그를 인식하기 위한 쪽으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러다 보니, 보다 넓은 영역을 커버하기 위해서는 다수의 리더기 안테나를 사용해야 하는데 이러한 관련 연구가 부족한 실정이다. 또한 RFID 시스템의 경우 실제 환경에서 전파 특성을 해석하는 것은 매우 어렵다[1]. 전자기 신호를 활용하기 때문에, 주변 자기장 변화에 매우 민감하게 반응하게 된다. 따라서 실제 실험을 통해서 얻어진 전파 특성 데이터를 활용하여 안테나 배치 문제에 적용한다면 더욱 의미가 있을 것이다. 추후 RFID 리더기와 안테나 기술의 발달로 단가가 낮아지고 RFID 리더기 안테나를 다수 개 배치할 필요가 있을 경우, 배치의 최적화는 매우 의미 있는 연구이다. 이와 유사한 연구로는, 중계기(Base station) 배치 문제를 들 수 있다. 이는 CDMA 무선 통신 네트워크에 경우 중계기를 어느 위치에 배치하느냐에 따라 단말기가 송수신 가능한 범위가 정해지기 때문에 통신 사업자들에게는 중요한 문제가 된다. 대표적인 중계기 배치는 크게 3가지 방법으로 나누어진다. 첫 번째는 시행착오에 의한 방법이다. 중계기 관련 통신 전문가가 중계기 설치 가능한 후보군들 가운데 단말기 이용 현황 등을 보고 배치하게 된다. 이때, 2~3 군데 배치했을 경우 예상되는 처리량(Throughput)과 간섭(Interference) 정도를 고려하게 된다. 두 번째는 수학적인 방법이다[2-4]. 일반적으로 중계기의 커버리지(Coverage)를 원반 형태로 모델링(Modeling) 한 후, 임의의 영역을 모두 커버할 수 있는 최소 원반의 개수를 구하는 문제로 접근하는

방식이다. [3]의 경우 기존의 Slab 기술을 변형한 알고리즘을 제안하고 있으며, 최대 독립 집합(Independent set)과 커버링 집합(Covering set)을 구하기 위한 방법을 제시하고 있다. [4]에서 저자는 이전 논문의 보조 정리를 보완 하며, 전체 영역을 격자 형태로 나누는 방법을 사용하여 알고리즘을 개선하였다. 하지만 여전히 실제 중계기 설치에 사용된 사례를 찾아보기 힘들다. 세 번째는 최적화 기법을 사용한 방법이다[5]. [5]는 무선 통신 기술 가운데에서 라디오 네트워크 디자인 문제(Radio Network Design (RND) problem)를 다루면서 이를 해결하기 위해 차분 진화 연산 방법을 제안하였다. 중계기의 커버리지를 원 또는 정사각형 형태로 가정하였고, 중계기의 커버리지를 최대로 하면서 중계기 대수를 최소화 하는 문제로 접근하였다. 이 밖에도 타부 서치(Tabu search)와 유전자 알고리즘(GA), Simulated annealing(SA) 그리고 진화 SA(ESA) 등의 방법들을 사용하여 RFID 관련 문제를 해결하려 노력했다[6-10].

이미 언급했듯이, RFID 리더기 안테나 배치와 관련된 연구는 아직 미미하다. 또한 최근 연구된 논문들 역시 이 문제를 중계기 배치 문제와 같은 방식으로 정의하여 접근하고 있다. 상대적으로 저렴한 태그의 배치와 관련된 연구는 진행 중이지만 넓은 영역에 다수의 리더기를 배치하려는 사례는 찾아볼 수 없다. 중계기 배치를 위해 고안된 기존의 배치 모델은 중계기 커버 영역을 간단한 직사각형 또는 원반의 형태로 가정하기 때문에 실제 RFID 리더기의 커버 영역에 적용하는데 어려움이 있다. 또한 넓은 영역을 커버하기 위한 RFID 리더기 안테나 배치 문제의 경우, 안테나를 설치할 후보지를 미리 정해 놓고 그 후보지들 가운데 가장 적합한 곳을 찾기 때문에 리더기간의 간섭이나, 리더기의 특성을 반영하는데 제약을 가지고 있다.

본 논문에서는 넓은 영역을 모두 커버하기 위한 RFID 리더기 안테나의 배치 최적화 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 실제 전파 특성 데이터를 분석, 데이터베이스화하고 거리에 따른 실제 실험 데이터를 활용하여 적용하였다. 단순한 원반 형태가 아닌 실제 전파 특성과 비슷한 형태의 안테나 모델을 활용하였으며, 안테나 이득의 변화에 따라 인식 거리가 달라진다는 점에 착안

하여 다양한 안테나 이득을 적용하여 서로 다른 인식 거리를 갖는 안테나들이 적용 될 수 있도록 하였다. 이를 해결하기 위해 메타 휴리스틱 서치 기법 중 가장 일반적으로 널리 사용되고 있는 진화 연산 알고리즘(EA)을 사용하였다[9]. 그리고 RFID 안테나 배치 문제에 적합한 새로운 인코딩 기법을 제안하였다. 또한 사용자가 가중치를 조절 가능하도록 적합도 함수를 도출하여 진화 연산 알고리즘을 설계하였으며, 새로운 인코딩 방법에 맞도록 진화 연산자를 추가 제안하였다. 제안된 진화 연산 알고리즘의 성능을 평가한 결과 매 세대 얻어진 최우수 개체(Elite)의 적합도 값은 진화가 진행 될수록 적합도가 전체적으로 증가하였으며, 만약 세대 수를 늘려 진화를 계속 할 경우 더 좋은 값을 찾을 수도 있을 것이다. 하지만 100세대 정도 되었을 때, 어느 정도 수렴했다고 볼 수 있기 때문에 여기에서 진화를 멈추었다. 이때 최종적으로 커버율이 95.45%, 간섭율이 10.29% 되도록 하는 RFID 안테나 배치 결과를 얻을 수 있었다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문이 다루고 있는 RFID 시스템에 대해 간략히 소개한 후 3장에서는 RFID 안테나 최적 배치를 위한 진화 연산 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 실제 실험을 통해 얻어진 RFID 안테나 인식 거리 정보를 사용하여, 진화 연산 알고리즘을 통해 안테나를 배치했을 때의 결과를 검증한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

## II. RFID 리더기 안테나 배치 문제

리더기 안테나 배치문제는 [그림 1]과 같이 표현할 수 있다. [그림 1](a)는 기존에 주로 사용되고 있는 대표적인 안테나 배치 방식을 나타낸다. 육각형 모양의 격자 형태로 공간을 분할하여 원반을 배치한다. 이러한 방식의 경우 모든 원반, 즉 안테나 모델이 같은 반경을 갖고 있을 경우에만 의미가 있다. 왼쪽 경우, 장애물 영역(검은 색)을 제외한 모든 영역을 커버하기 위해서 20개의 안테나가 필요한 반면, 장애물 영역이나 코너 부

근에 상대적으로 작은 원반을 사용한 [그림 1](b)의 경우 19개의 안테나만으로 거의 모든 영역을 커버할 수 있었다. 또한 RFID 안테나 인식범위가 서로 겹치는 경우 간섭이 발생하여 인식에 부정적인 영향을 끼친다. 이러한 측면에서 볼 때에도 [그림 1](b) 배치가 더 적합하다는 것을 알 수 있다.

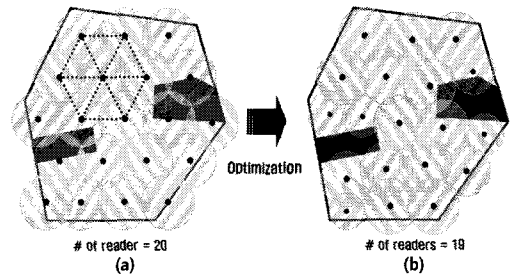


그림 1. 리더기 안테나 배치 문제

본 논문에서는 RFID 안테나 배치를 기존의 방식과는 달리 서로 다른 크기의 인식 범위를 갖는 안테나 모델을 고려하여 안테나를 배치하는 문제로 생각하였다. 전체 영역을 최대한 커버하면서도 최소 개수의 리더기만을 사용하고 동시에 리더기간의 인식범위가 겹치는 것도 역시 최소화하는 문제로 정의하였다. 이와 같이 문제를 확장할 경우, 기존의 위상 수학(Topological mathematics), 즉 정확한 해(Exact solution)를 찾는 방법으로는 해결하기 어렵다. 이렇게 탐색 공간이 넓고, 일반적인 규칙성을 찾아보기 힘든 경우, 최적화를 위해서 발견적 탐색 방법(Heuristic search methods)을 주로 사용한다. 본 논문에서도 발견적 탐색 방법 중 대표적인 진화 연산 알고리즘(Evolutionary algorithm, EA)을 활용하였다. 진화 연산 알고리즘의 경우, 발견적 탐색 방법 중에서도 지역적 극점이 많이 존재하는 문제(Multi modal problem)에서 지역적 극소 점(Local minimum)에 빠지지 않고 전역적 최소 점(Global minimum)을 찾아갈 수 있는 능력이 탁월하다는 장점이 있다. 반면에 Tabu 나 SA 등의 방법들 역시 지역적 극소 점에 빠지지 않고 그 지점을 벗어나 전역적 극소 점을 찾도록 하는 추가적인 장치들이 있지만 일반적으로 진화 연산 알고리즘 보다는 그 성능이나 속도 측면

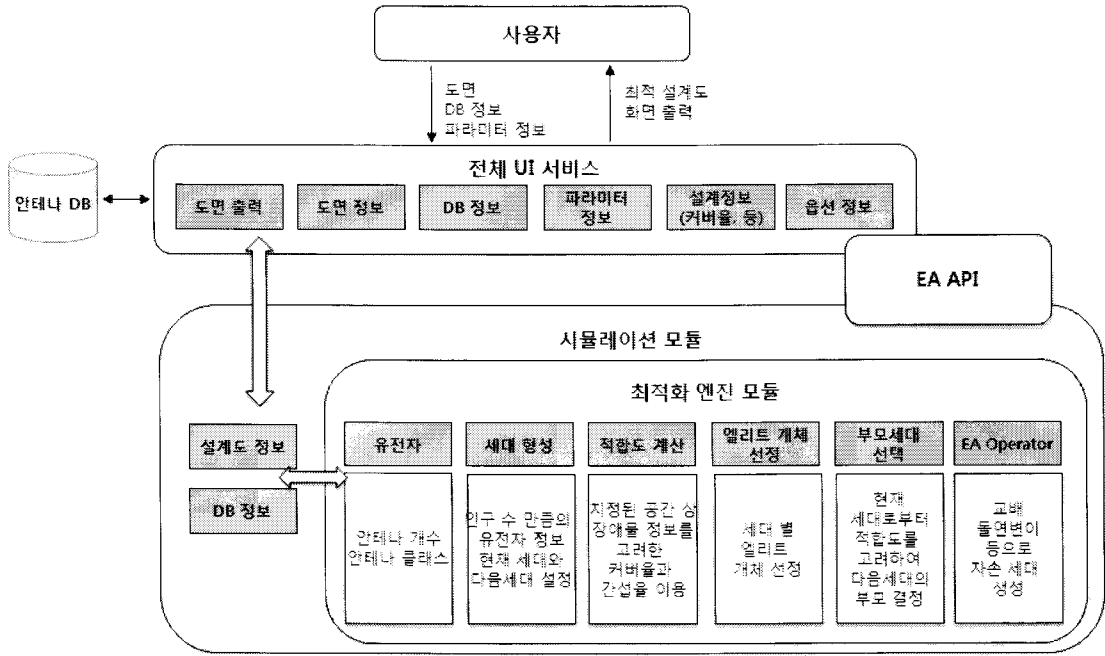


그림 2. 시스템 구성도

에서 뒤진다고 알려져 있다.

### III. 제안하는 RFID 안테나 최적 배치를 위한 진화 연산 알고리즘

이 문제에 진화 연산 알고리즘을 적용하기 위해서는 먼저 문제 정의에 부합하는 인코딩 기법 즉 진화에 사용할 유전자 표현 방식(Representation)을 설계하여야 하며, 새로운 인코딩 방식에 맞도록 유전자 연산자들을 모두 수정해야 한다. 유전자 표현 방식은 진화에 있어서 가장 중요하다고 할 수 있는 다음 세대 만드는 핵심적인 역할을 하기 때문에 신중하게 설계되어야 하는데, 무엇보다 진화의 방향을 사용자가 원하는 곳으로 결정하기 위해서는 안테나 최적 배치에 필요한 요소들을 사용하여 적합도 함수를 어떻게 구현하는가가 또한 중요한 문제이다. 본 장에서는 먼저 전체적인 알고리즘의 흐름을 소개하고 각각의 요소들 가운데 새롭게 제안된 부분들을 좀 더 자세히 기술한다.

#### 1. 시스템 구성도

[그림 2] 는 본 논문이 제안하는 전체 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 먼저 사용자가 다룰 인터페이스에는 전체 도면을 다룰 수 있는 유저 인터페이스(UI)와 이러한 정보들을 바탕으로 최적화 시물레이션을 돌릴 수 있는 최적화 엔진 모듈이 존재한다. 안테나 모델을 구축하기 위해 사용될 실제 안테나 실험을 통해 얻어진 데이터를 모아놓은 데이터베이스가 존재하며, 사용자는 UI를 통해 안테나 데이터베이스와 시물레이션 모듈에 모두 접근 가능하며, 바로 시물레이션 모듈을 통해 최적 배치 진화 연산 알고리즘을 적용한다.

[그림 3]은 본 논문이 제안하는 최적 배치 진화 연산 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다. 진화 연산 알고리즘 최적화 엔진은 유전자 인코딩, 다음 세대 형성(Reproduction), 엘리트 개체 선정과 부모 세대 선정, 진화 연산 알고리즘 연산자, 적합도 계산으로 이루어져 있다. 부모 세대를 선택하기 위해서 먼저 엘리티즘(Elitism)을 사용했다. 이는 이전 세대에서 가장 우수한 개체를 다음 세대에 전달하는 방식으로 빠른 수렴 속도를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그리고 나머지 부모 세

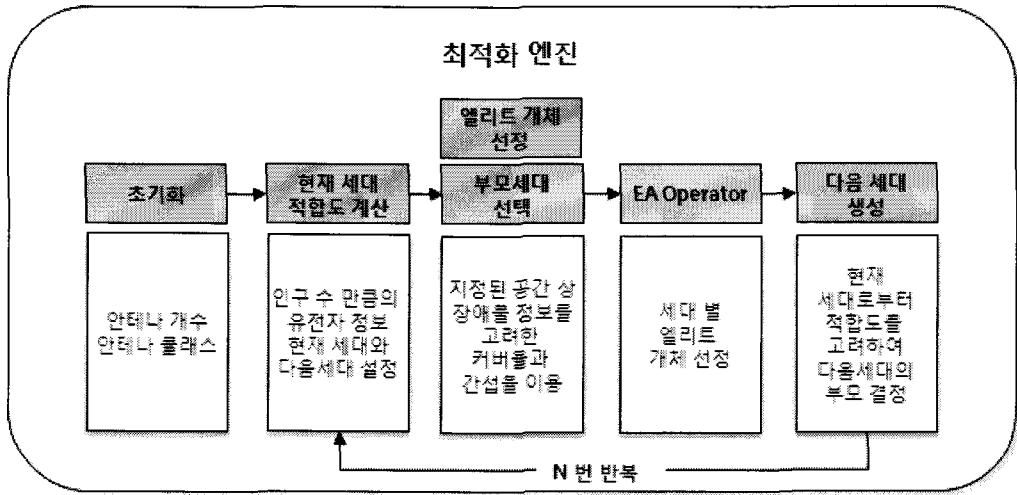


그림 3. 진화 연산 흐름도

대를 선택하는 데에는 일대일 토너먼트 방식을 사용하였다.

왜냐하면 엘리티즘으로 빠른 수렴속도를 얻을 수 있지만 자칫 개체의 다양성(Diversity)은 훼손될 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 토너먼트 방식을 사용했고, 이 방식은 무작위로 두 개체를 뽑아 비교한 후 더 높은 적합도를 가진 개체가 다음 세대의 부모로 선택하는 방식이기 때문에 다양성을 확보할 수 있다. [그림 3]에서 나타내는 바와 같이 먼저 초기화 과정을 통해 무작위로 처음 세대를 생성한다. 이때 본 논문이 제안한 인코딩 방식을 사용하며, 안테나를 설치할 위치, 안테나 대수 정보가 결정된다. 그 다음 현재 세대 각 개체들의 적합도를 계산하여, 각 개체들의 적합도를 기준으로 다음 세대를 만들 부모 세대를 선택한다. 부모세대가 선택되면 유전 연산자를 통해 자손 세대를 만들어내고 부모세대 일부와 자손 세대를 섞어 다음 세대를 만들어 낸다. 이러한 과정을 통해 우수한 개체들은 살아남고 열등한 개체들은 점점 퇴화하게 된다. 반복적인 진화를 통해 결국 최적의 값으로 수렴하게 되고 이렇게 수렴된 개체를 최적화 문제의 해로 선택하게 된다.

## 2. 인코딩 방법

한 세대에는 미리 정해진 인구수만큼의 유전자 정보가 존재한다. 이때 문제에서 찾으려 하는 변수들을 수

자의 배열 형태로 만드는 것을 인코딩이라고 한다. 본 논문에서는 안테나를 최적으로 배치하기 위한 문제를 다루기 때문에, 안테나의 위치, 그리고 안테나의 인식 반경, 안테나의 개수 등의 정보가 포함되도록 유전자형을 만들어야 한다. 이러한 목적을 이루기 위해, 아래 [그림 4]와 같은 방식으로 유전자 인코딩을 제안한다. N개씩 4개의 묶음으로 총 4N 개의 실수 값들의 배열 형태로 구성된다. 첫 번째 N개는 안테나의 X좌표 위치, 두 번째 N개는 안테나의 Y좌표를 나타낸다. 따라서 이 2N 개의 배열을 두 개씩 조합하면 N개의 안테나 위치가 결정된다. 세 번째 N개의 배열은 안테나 출력 레벨을 결정하며, 총 10개의 출력 레벨에서의 안테나 인식 거리 정보를 담고 있다. 다시 말해서 10가지 서로 다른 인식 반경을 나타낸다고 볼 수 있다. 마지막 N개의 배열은 안테나의 사용 여부를 나타내는 배열로 0 또는 1의 값을 갖게 되고 0이면 그 칸에 해당하는 안테나를 사용하지 않겠다는 의미이며 반대로 1이면 그 칸에 해당하는 안테나를 사용하겠다는 의미이다.

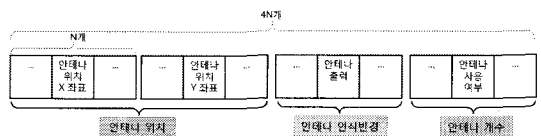


그림 4. 유전자 인코딩

각각의 변수들은 모두 최대 최소 값에 의해 정규화한다. (1)~(3)식에 의해 각각의 값들은 0에서 1사이의 값으로 바뀐다. 안테나의 위치의 경우 사용자 영역(안테나 배치를 통해 커버할 전체 영역)이 정해지면 그 영역에서만 의미가 있기 때문에 안테나 위치는 그 사용자 영역 내에서만 바뀌도록 설정한다. (1)~(3)식에서,  $(X_i, Y_i)$ 는 안테나 위치를 정규화한 값이며,  $L_i$ 는 0에서 9사이의 안테나 출력 레벨(Power level)의 인덱스 값을 정규화한 값이 된다.

$$X_i = \frac{\text{rand}() \% (X_{\max} - X_{\min} + 1)}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{\text{rand}() \% (Y_{\max} - Y_{\min} + 1)}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad (2)$$

$$L_i = \frac{\text{rand}() \% 10}{9} \quad (3)$$

### 3. 제안하는 적합도 함수

앞서 설명한 것과 같이 인코딩이 결정되면 이 값들을 디코딩하여 우리가 원하는 안테나 배치도를 얻고, 그에 따른 적합도를 구하는 과정이 필요하다. 먼저 유전자 배열은 0에서 1사이의 값으로 정규화된 값이기 때문에 이 값을 실제 사용자 영역이 그려진 도면상에서 의미 있는 값으로 바꿔줘야 한다. 이를 디코딩이라 부르며, 각각의 과정은 식(4)~(6)과 같이 이루어진다.  $(\hat{X}_i, \hat{Y}_i)$ 가 실제 도면상에서 위치할 안테나 배치 위치를 의미하고  $\hat{L}_i$ 도 0에서 9사이의 안테나 출력 레벨의 실제 인덱스 값을 의미한다.

$$\hat{X}_i = X_i(X_{\max} - X_{\min}) + X_{\min} \quad (4)$$

$$\hat{Y}_i = Y_i(Y_{\max} - Y_{\min}) + Y_{\min} \quad (5)$$

$$\hat{L}_i = 9L_i \quad (6)$$

위의 과정을 통해 실제 도면상에서 의미하는 값들을 얻어낸 후, 도면상에 가상으로 배치를 해본 후 그렇게

배치했을 경우의 커버율(Cover Rate, CR)과 간섭율(Interference Rate, IR)을 계산한다. 이때, 커버율과 간섭율은 식(7), (8)과 같이 계산된다. 여기서  $S_{total}$ 은 장애물 영역을 제외한 전체 사용자 공간, 즉 커버해야 하는 전체 영역의 넓이가 된다. 그리고  $S_{uncovered}$ 는 전체 영역 가운데 안테나가 커버하지 못하고 남은 영역의 넓이가 된다. 마지막으로  $S_{overlap}$ 은 전체 영역에서 안테나 간에 서로 겹치는 부분의 넓이를 의미한다.

$$CR(\%) = (1 - (S_{uncovered} / S_{total})) \times 100 \quad (7)$$

$$IR(\%) = (S_{overlap} / S_{total}) \times 100 \quad (8)$$

본 논문에서 다루고자 하는 안테나 배치 문제의 경우 전체 영역을 커버하면서 동시에 안테나의 개수를 줄이고자 하는 목적이 있기 때문에 식 (9)과 같이 적합도 함수를 설계하였다. 안테나의 개수를 직접적으로 활용하지 않은 이유는 간섭율을 최소화할 경우 자연스럽게 안테나의 개수가 줄어드는 효과를 기대할 수 있기 때문이다.

$$F(\vec{x}_i) = w_1 CR(\vec{x}_i) + w_2 IR(\vec{x}_i) \quad (9)$$

여기서  $\vec{x}_i$ 는 인코딩된  $i$ 번째 개체를 의미하며  $F(\vec{x}_i)$ 는 이 개체의 적합도를 의미한다. 또한  $w_1$ 과  $w_2$ 는 커버율과 간섭율에 대한 가중치 정도를 의미한다. 이 가중치를 변화시켜 가면서 사용자가 원하는 결과를 얻을 수 있다. 예를 들어,  $w_1$ 과  $w_2$ 을 2:1의 비율로 고려하게 되면, 간섭율보다는 커버율에 2배정도의 우선 순위를 두겠다는 의미가 된다.

### 4. 유전자 연산자

유전자 연산자는 일반적으로 크게 교배(Crossover)와 돌연변이(Mutation)로 나뉘어진다. 유전자 형태가 바이너리 코드가 아닌 실수 형 인자들을 사용할 것이기 때문에 그에 맞도록 기법들을 선택할 필요가 있다. 특별히 본 논문에서 새롭게 제안한 유전자 형태가 각기

독립적인 4개의 부분으로 나누어져 있는 형태이기 때문에, 각 부분에 독립적으로 유전자 연산자를 적용하도록 제안하였다.

먼저 유전자 교배의 경우, 산술 교배(Arithmetic crossover)를 기반으로 하여 3개의 유전자 그룹에 각각 독립적으로 적용되도록 하였다. 하지만 마지막 유전자 그룹의 경우 0 또는 1의 값으로 정의되기 때문에 일반적인 단순 교배(Simple crossover) 형태를 사용하였다. [그림 5]에서 위쪽에 그려진 것이 산술 교배 방식을 나타낸 것이고 아래쪽에 그려진 것이 단순 교배 방식을 나타낸 것이다. 각 그룹에서 k 번째 유전자가 선택이 되고, 그것을 교배 지점으로 결정했을 경우의 그림을 나타낸 것이다. 산술 교배 방식에서는 식(10), (11)번을 이용하여 자손 세대의 변수 값을 결정한다. 그림에서 볼 수 있듯이,  $u_i$ 와  $v_i$ 는 부모 세대의 i 번째 변수 값을 의미하고,  $\bar{u}_i$ 와  $\bar{v}_i$ 는 부모 세대로부터 얻어진 자손 세대의 i 번째 변수 값을 의미한다.  $p_c$ 은 교배 결정 확률 값(Crossover rate)을 의미한다.

$$\begin{cases} \bar{u}_i = p_c u_i + (1 - p_c) v_i \\ \bar{v}_i = (1 - p_c) u_i + p_c v_i \end{cases} \quad (i \leq k \text{ 인 경우}) \quad (10)$$

$$\begin{cases} \bar{u}_i = (1 - p_c) u_i + p_c v_i \\ \bar{v}_i = p_c u_i + (1 - p_c) v_i \end{cases} \quad (i > k \text{ 인 경우}) \quad (11)$$

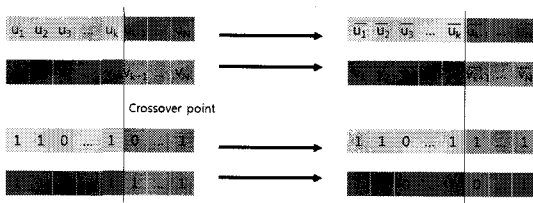


그림 5. 산술 교배와 단순 교배

[그림 6]은 본 논문에서 사용한 돌연변이들을 그림으로 도식화한 것이다. 돌연변이의 경우 개체의 각 유전

자에 대하여 일정한 돌연변이 확률을 적용하여 대립 유전자의 값으로 바꾸는 것을 의미하기 때문에, 교배와 마찬가지로 4개의 유전자 그룹에 독립적으로 적용되도록 설계하였다. 앞의 세 그룹은 진화 초기에는 보다 넓은 영역을 탐색하고, 진화가 진행 될수록 탐색 영역을 좁히는 형태의 불균등 돌연변이(Non uniform mutation) 기법을 사용하였다. 하지만 마지막 네 번째 그룹은 0과 1로 이루어진 이진수 형태이기 때문에 일반적인 단순 돌연변이를 활용하였다. [그림 6](a)는 안테나 위치와 안테나 파워 레벨을 결정하는 3개의 유전자 그룹에 적용될 불균등 돌연변이이고, [그림 6](b)는 안테나 사용 여부를 결정하는 마지막 유전자 그룹에 적용될 단순 돌연변이이다. 불균등 돌연변이의 경우 모든 변수 인덱스 마다 0과 1사이의 값을 무작위로 선정하여 그 값이 사용자가 설정한 돌연변이 결정 확률(Mutation rate,  $p_m$ ) 보다 작으면 돌연변이 연산자를 적용하고 그렇지 않으면 그대로 둔다. [그림 6]에서와 같이 돌연변이 연산자를 적용할 지점이 결정 되면 불균등 돌연변이의 경우,  $p = (1 - t/T)^B u$  을 결정한다. 여기에서 t는 현재 세대 수, T는 총 세대 수, 그리고 B는 0보다 큰 임의의 튜닝 상수 값, 마지막 u는  $u \sim U(0,1)$ 의 랜덤 값을 의미한다. 이렇게 결정된 p의 값을 가지고 (12)번 수식과 같이 다음 세대가 결정 된다.

$$\begin{cases} \bar{u}_i = (1 - p) u_i + p u_{\min} \\ \bar{v}_i = (1 - p) u_i + p u_{\max} \end{cases} \quad (1/2 \text{의 확률로}) \quad (12)$$

$u_i$ 와  $\bar{u}_i$ 는 각각 부모 세대의 값과 자손 세대의 값을 의미하고,  $u_{\max}$ 와  $u_{\min}$ 는 각각 그 변수 값의 최대 최소 값을 의미한다. 단순 돌연변이의 경우는 돌연변이 연산자를 적용할 지점의 값이 0이면 자손 세대에는 1로, 1이면 자손 세대에는 0로 설정한다.

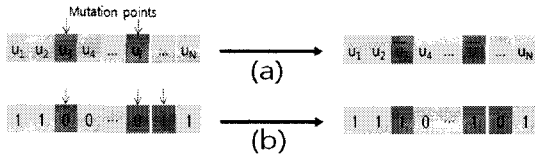


그림 6. 불균등 돌연변이와 단순 돌연변이

#### IV. 실험 및 분석

본 장에서는 실제 RFID 리더기 안테나 인식 범위를 실험을 통해 얻는 과정을 설명하고, 실측 데이터를 가지고 제안한 진화 연산 알고리즘을 적용했을 경우 결과들을 보여줄 것이다. 결과 분석을 통해 제안된 방법의 타당성을 증명하고, 추후 활용 방안에 대해 생각해 본다.

##### 1. 안테나 데이터베이스 구축

본 논문에서는 LS산전의 IU9003과 Alien technology의 ALR 9800를 사용하여 실험을 진행하였다. 실험은 [그림 7]과 같이 구성하였다. 안테나와 태그의 종류에 따라서 인식 거리와 성능이 달라지기 때문에 여러 가지 종류별로 태그가 달라질 때의 인식 거리 정보를 측정하였다. 전원을 리더기에 연결하고 리더기가 부팅되면 UHF RFID 안테나를 리더기에 연결한다. 그 후 RFID 리더기의 이더넷 포트(Ethernet port)를 통해 네트워크에 연결한다. 특별히 본 논문의 실험을 위해서 RFID 리더기의 Subnet에 설정되어 있는 고정 IP를 이용하여 이더넷 라우터(Ethernet router)를 사용하였다. 직렬 케이블을 리더기와 PC 사이에 연결하고 하이퍼 터미널을 사용하여 접속 후 사용하였다.

기본적으로 RFID 안테나는 RFID 태그로 정보를 보내거나 받아들이는 역할을 수행한다. 따라서 신호를 전송하고 수신하는데 있어서 안테나의 출력이 중요한 역할을 한다. 본 실험에서는 IU9003의 경우에는 15dBm~30dBm을 10개의 레벨로 나누어 표현하고 ALR 9800의 경우에는 0dB ~ 9dB attenuation을 10개의 레벨로 나누어 표현하고 각 레벨에서의 태그 인식 거리를 측정하였다.

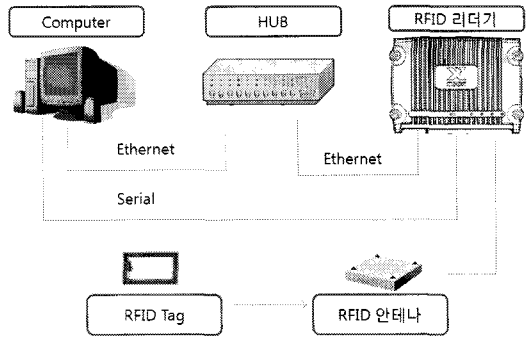


그림 7. 실험 구성도

또한 이상적으로 안테나 전방으로는 각도에 상관없이 거리에 따라 일정한 이득이 나타나야 하지만, 안테나가 이상적이라고 단언할 수 없으며, 각도에 따르는 결과를 살펴볼 필요가 있다. 본 실험에서는 30도 단위로 인식거리를 측정하였다.

[표 1]은 IU9003 리더기에, 태그는 Alien 180074 001로 하였을 때의 출력에 따른 인식 거리 측정 결과를 보여주고 있다. 출력 레벨이 높아질수록 전파가 더 멀리 강하게 뻗어나갈 수 있기 때문에 인식 거리가 길어지게 된다. 이와 같은 방식으로 실험을 반복하여 각 리더기 안테나와 태그들 사이의 출력에 따른 인식 거리를 데이터화 할 수 있다. 이렇게 모아진 정보는 DB 형태로 저장되어 나중에 접근하여 편집 및 추가 수정이 용이하도록 하였다.

표 1. 출력에 따른 인식거리

(UI9003+Alien 180074-001)

| 출력Lv | 출력(W) | 인식거리(m) |
|------|-------|---------|
| 1    | 0.031 | 0.3     |
| 2    | 0.063 | 0.47    |
| 3    | 0.1   | 0.68    |
| 4    | 0.158 | 0.92    |
| 5    | 0.2   | 1.22    |
| 6    | 0.316 | 1.47    |
| 7    | 0.501 | 1.8     |
| 8    | 0.631 | 1.99    |
| 9    | 0.794 | 2.22    |
| 10   | 1     | 2.52    |



[표 2]는 RFID 리더기의 출력 레벨을 30dBm으로 고정되어 있고, 안테나 각도는 0일 때, 리더기는 IU9003이며, 태그는 Alien 180074 001, 1800073 001, xcode 001로 하였을 때의 실험 결과를 보여준다. 이를 통해 결국 RFID 전송도 안테나에 의존하므로 안테나의 사양에 많은 영향을 받게 된다. RFID 태그 역시 안테나가 들어있고, 안테나의 성능이나 사양이 태그의 형태에 따라 인식 범위가 달라진다는 것을 알 수 있다. 믿을 만한 데이터를 얻는 것이 목적이므로 이들 중 가장 최적의 결과를 낼 수 있는 태그들을 골라서 실험을 진행하였다.

표 2. 태그 종류에 따른 인식 거리 결과

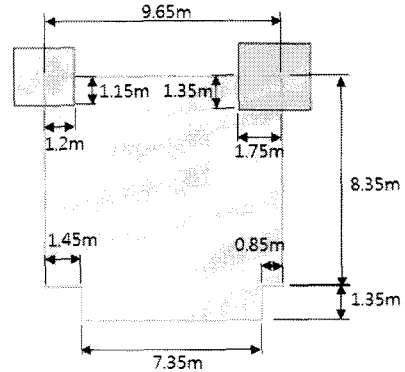
| 태그 종류   | 180074 001 | 1800073 001 | xcode 001 |
|---------|------------|-------------|-----------|
| 인식거리(m) | 2.52       | 2.15        | 2.33      |

## 2. 진화 연산 알고리즘 최적화 실험 및 결과

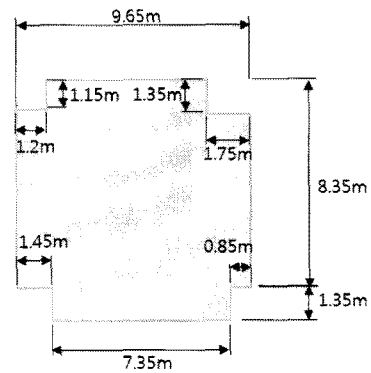
본 논문에서 제안한 진화 연산 알고리즘으로 실험을 진행하기 위해서 [표 3]과 같이 파라미터들을 설정하였다. 최적화 실험을 위한 첫 번째 예제로 [그림 8]와 같은 사용자 도면을 생성하여 사용하였다. 가로 9.65m, 세로 8.35m의 로비를 가상으로 생성하여 실험을 진행하였다. 각 모서리 부분에 기둥으로 판단되는 장애물 영역이 존재하도록 하였다. [그림 8](a)와 같이 사용자 공간과 2개의 기둥 장애물 영역이 존재하는 것을 확인 할 수 있다. 이곳은 안테나를 설치할 수 없으며, 안테나로 커버하지 않아도 되는 영역이다. 이곳을 제외한 순수 사용자 영역은 [그림 8](b)에서 확인 할 수 있다.

표 3. EA 파라미터 설정

| 파라미터       | 값    |
|------------|------|
| 세대 별 개체 수  | 200  |
| 자손 세대 개체 수 | 100  |
| 세대 수       | 100  |
| $P_c$      | 0.75 |
| $P_m$      | 0.02 |
| B          | 1.0  |
| $w_1$      | 0.8  |
| $w_2$      | 0.2  |



(a) 장애물이 포함된 사용자 영역



(b) 장애물을 제외한 순수 사용자 영역

그림 8. 실험에 사용된 사용자 영역

[그림 9]는 제안된 진화 연산 알고리즘을 통해 매 세대 얻어진 최우수 개체(Elite)의 적합도 값을 표시한 그래프이다. 그래프에서 보다시피 진화가 진행 될수록 적합도가 전체적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 만약 세대 수를 늘려 진화를 계속 할 경우 더 좋은 값을 찾을 수도 있을 것이다. 하지만 100세대 정도 되었을 때, 어느 정도 수렴했다고 볼 수 있기 때문에 여기에서 진화를 멈추었다. 이때 최종적으로 커버율이 95.45%, 간섭율이 10.29% 되도록 하는 RFID 안테나 배치 결과를 얻을 수 있었다.

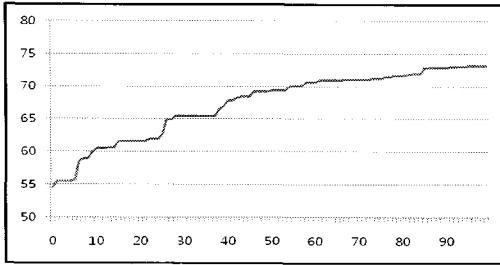


그림 9. 수렴 속성

[그림 10]은 초기부터 진화가 진행될수록 찾은 배치 결과를 보여주는 그림이다. [그림 10](a)는 세대 수가 10일 때의 결과를 보여주며 점점 진화가 진행될수록 보다 나은 결과를 보여주고 있다. (a)~(d)는 각각 세대 수가 10, 40, 70, 100 일 때의 결과를 나타낸다.

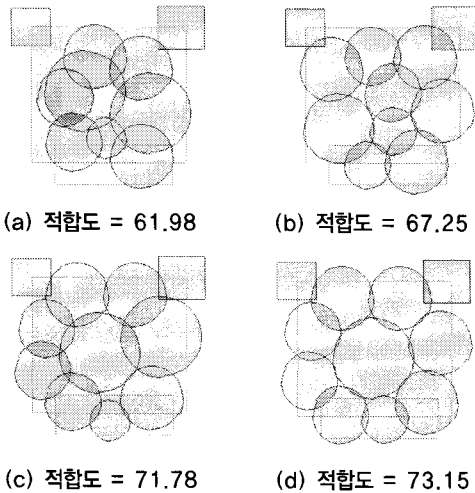


그림 10. 진화에 따른 배치 결과

## V. 결론

본 논문에서는 RFID 리더기 안테나를 최적으로 배치하기 위한 진화 연산 알고리즘을 제안하였다. 기존의 문제 정의를 수정하여, RFID 안테나의 모델을 단순한 원반 형태가 아닌 실제 실험을 통해 얻어진 결과를 가지고 사용하였다. 또한 파워 레벨을 달리하여 서로 다

른 크기의 인식 범위를 갖는 안테나들을 사용하였다. 더욱이 임의의 영역 전체를 커버하기 위한 RFID 안테나 최적 배치 문제를 해결하기 위해서, 진화 연산 알고리즘을 새롭게 제안하였다. 이를 위해 RFID 문제에 적합한 인코딩 방식을 제안하였고, 진화가 제대로 이루어지게 하기 위해 진화 연산자 역시 새롭게 설계하였다. 안테나의 커버율과 간섭율을 조합하여 적합도 함수를 구현하였다. 본 논문에서는 실제 실험을 통해 얻어진 데이터베이스를 기반으로 제안된 알고리즘을 검증하였고, 기존의 방식보다 나은 성능을 보임을 확인하였다. 하지만 아직 진화 초기 유전자들이 무작위로 선정되기 때문에 진화가 수렴하기까지 오랜 시간이 걸린다는 단점이 있다. 향후 연구는 유전자 초기화 단계에서 가능성이 있는 유전자들을 미리 선출하여 연산 속도를 향상시키는 것이다.

## 참고 문헌

- [1] <http://www.impinj.com>
- [2] 김현태, 지용관, 박장현, "RFID 를 이용한 이동 로봇의 위치 추정을 위한 실내 공간에서의 태그 배치 알고리즘", 대한기계학회 2006년도 춘계 학술대회 강연 및 논문 초록집, pp.1370-1375, 2006.
- [3] Nissan Lev-Tov and David Peleg, "Exact Algorithms and Approximation Schemes for Base Station Placement Problems," LNCS, Vol.2368/2002, pp.15-27, 2002(1).
- [4] Nissan Lev-Tov and David Peleg, "Polynomial time approximation schemes for base station coverage with minimum total radii," Computer Networks, pp.489-501, 2005(3).
- [5] Silvio Priem Mendes, Juan A. Gomez Pulido, Miguel A. Vega Rodriguez, Maria D. Jaraiz Simón, Juan M. Sanchez Perez, "A Differential Evolution Based Algorithm to Optimize the Radio Network Design Problem," Second IEEE International Conference on e-Science and Grid

Computing, 2006. e-Science '06, pp.116-119, 2006(12).

[6] Hai Deng, "Performance Enhancement of Radio Frequency Identification (RFID) Using Spread Spectrum Technology", Antennas and Propagation Society International Symposium, pp.1205-1208, 2007(6).

[7] Qiang Guan, Yu Liu, Yiping Yang, Wensheng Yu, "Genetic Approach for Network Planning in the RFID Systems," Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, pp.567-572, 2006(10),

[8] Chun-Fu Lin, Frank Yeong-Sung Lin, "A Simulated Annealing Algorithm for RFID Reader Networks," Wireless Communications and Networking Conference, pp.1669-1672, 2007(3)

[9] Silvio Priem-Mendes, Juan A. Gomez-Pulido, Miguel A. Vega-Rodriguez, Antonio M. Pereira, Juan M. Sanchez Perez, "Fast Wide Area Network Design Optimisation Using Differential Evolution," International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences, pp.3-10, 2007(11).

[10] 황희수, *Evolutionary Computer and Evolutionary Design by Computer*, 내하출판사, 2002.

- 2007년 1월 : 정보처리시스템 수석 감리원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 컴퓨터공학과 겸임 교수
- 2007년 9월 ~ 현재 : (주)티에이엔씨 기술연구소 수석감리

<관심분야> : RFID 설계, u-IT, 정보시스템 감리, 장애인 교육 콘텐츠

**여 명 호(Myung-Ho Yeo)**

정회원



- 2004년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 공학사
- 2006년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 공학석사
- 2006년 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> : 메인 메모리 기반 데이터베이스 시스템, 시공간 데이터베이스 시스템, 무선 센서 네트워크

**유 재 수(Jae-Soo Yoo)**

종신회원



- 1989년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 공학사
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 공학석사
- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 공학박사

- 1995년 2월 ~ 1996년 8월 : 목포대학교 전산통계학과 전임강사
- 1996년 8월 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 및 컴퓨터정보통신연구소 정교수

<관심분야> : 데이터베이스 시스템, 센서네트워크 데이터 관리, 멀티미디어 데이터베이스, 바이오 인포매틱스

**저 자 소 개**

**순 남 순(Nam-Soon Soon)**

정회원



- 2005년 8월 : 충북대학교 정보통신공학 공학석사
- 2007년 8월 : 충북대학교 정보산업공학(박사수료)
- 2005년 6월 : 전자계산조직응용 기술사

- 2006년 9월 : 기술지도사