

RFID 리더기 안테나의 최적 배치를 위한 효율적인 진화연산 알고리즘

An Efficient Evolutionary Algorithm for Optimal Arrangement of RFID Reader Antenna

순남순, 여명호, 유재수
충북대학교

Nam-Soon Soon, Myung-Ho Yeo, Jae-Soo Yoo
Chungbuk National University

요약

RFID 기술을 이용한 다양한 응용분야에서 잘못된 RFID 리더기의 배치로 인해 리더기간의 간섭이 발생한다. 리더기 간의 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 기법을 이용한 새로운 RFID 리더기 배치 설계 시스템을 제안한다. 먼저, 주위 환경에 민감한 안테나의 전파 특성을 분석하고, 특성 데이터베이스를 구축한다. 그리고, 안테나를 최적으로 배치하기 위한 EA Encoding 기법과 Fitness 기법 및 유전산 연산자를 제안한다. 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해서 시뮬레이션을 수행하였으며, 실험 결과, 약 100세대대의 진화 연산을 통해 커버율 95.45%, 간섭율 10.29%의 RFID 안테나 배치의 적합도를 달성하였다.

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.

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[1][2]. 특히 사용자가 관리할 사물에 태그를 부착한 후, 송수신 부의 전파를 활용하면

손쉽게 그 사물에 대한 정보 및 주변 정보를 인식가능하기 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 위해서

는 다수의 리더기 안테나를 사용해야 하는데 이러한 관련 연구가 부족한 실정이다. 또한 RFID 시스템의 경우 실제 환경에서 전파 특성을 해석하기가 매우 난해하다는 어려움이 있다[3]. RFID 시스템은 전자기 신호를 활용하는 기술로서 주변 자기장 변화에 매우 민감하기 때문이다. 다수의 리더기 안테나를 사용하는 응용 분야에서 만약 리더기가 잘못 배치하면 리더기간의 간섭이 발생하고, 이로 인해 RFID 인식율이 저하되는 문제가 발생하기도 한다. 따라서, 비용적인 측면이나 시스템 성능적인 측면에서 리더기와 안테나의 배치는 중요한 문제이다.

본 논문에서는 최소개의 리더기 안테나를 이용하여 넓은 영역을 모두 커버하기 위한 RFID 리더기 안테나의 배치 최적화 알고리즘을 제안한다. 단순한 원반 형태가 아닌 실제 전파 특성과 비슷한 형태의 안테나 모델을 활용하였으며, 안테나 이득의 변화에 따라 인식 거리가 달라진다는 점에 착안하여 다양한 안테나 이득을 적용하여 서로 다른 인식 거리를 갖는 안테나들이 적용될 수 있도록 하였다. 이를 해결하기 위해 메타휴리스틱 서치 기법 중 가장 일반적으로 널리 사용되고 있는 진화 연산 알고리즘(EA)을 사용하였다[4]. 그리고 RFID 안테나 배치 문제에 적합한 새로운 인코딩 기법을 제안하였다. 또한 사용자가 가중치를 조절 가능하도록 적합도 함수를 꾸며 EA를 설계하였다. 새로운 인코딩 방법에 맞도록 진화 연산자들도 또한 추가 제안하였다. 제안된 진화 연산 알고리즘의 성능을 평가한 결과 매 세대 얻어진 최우수 개체(Elite)의 적합도 값은 진화가 진행될수록 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. 이 때 최종적으로 커버율이 95.45%, 간섭율이 10.29% 되도록 하는 RFID 안테나 배치 결과를 얻을 수 있었다.

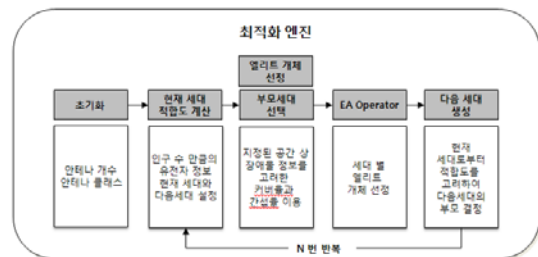
논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 본 논문이 다루고 있는 RFID 시스템에 대해 간략히 소개한 후 III장에서는 RFID 안테나 최적 배치를 위한 진화 연산 알고리즘을 제안한다. IV장에서는 실제 실험을 통해 얻어진 RFID 안테나 인식 거리 정보를 사용하여, EA를 통해 안테나를 배치했을 때의 결과를 검증한다. 마지막으로 V장에서 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

III. 제안하는 RFID 안테나 최적 배치를 위한 진화 알고리즘

본 장에서는 먼저 제안하는 RFID 안테나 최적 배치를 위한 진화 알고리즘의 특징을 기술하고, 안테나 정보를 진화 알고리즘에서 필요한 데이터 형태로 변환하기 위한 인코딩 기법과 적합도 함수에 대해 기술한다.

1. 진화 알고리즘

그림 1은 본 논문이 제안하는 최적 배치 EA의 흐름도를 나타내고 있다. EA 최적화 엔진은 유전자 인코딩, 다음 세대 형성(Reproduction), 엘리트 개체 선정과 부모 세대 선정, EA 연산자, 적합도 계산으로 이루어져 있다. 부모 세대를 선택하기 위해서 먼저 엘리트즘(Elitism)을 사용했다. 이는 이전 세대에서 가장 우수한 개체를 다음 세대에 전달하는 방식으로 빠른 수렴 속도를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그리고 나머지 부모 세대를 선택하는 데에는 일대일 토너먼트 방식을 사용하였다. 왜냐하면 엘리트즘으로 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 이긴 개체를 다음 세대의 부모로 선택하는 방식이기 때문에 다양성을 확보할 수 있는 좋은 방법이 된다.



▶▶ 그림 1. 진화 연산 흐름도

2. 안테나 위치의 유전자 인코딩

한 세대에는 미리 정해진 인구수만큼의 유전자 정보가 존재한다. 이 때 문제에서 찾으려 하는 변수들을 숫자의 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 2와 같은 방식으로 유전자 인코딩을 제안한다. N 개씩 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 2. 유전자 인코딩

각 각의 변수들은 모두 최대 최소 값에 의해 정규화 되게 된다. (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) 수식에서, (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.

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

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

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

3. 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 도면 상에서 의미 있는 값으로 바꿔줘야 한다. 이를 디코딩이라 부르며, 각각의 과정은 수식 (4)-(6)과 같이 이루어진다. (\hat{X}_i, \hat{Y}_i) 가 실제 도면 상에서 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, 도면 상에 가상으로 배치를 해본 후 그렇게 배치 했을 경우의 커버율(Cover Rate, CR)과 간섭율(Interference Rate, IR)을 계산한다. 이때, 커버율과 간섭율은 수식 (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} 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 얻어 낼 수 있다. 만약, w_1 과 w_2 을 2:1의 비율로 설정하게 되면, 커버율은 간섭율보다 2배의 우선 순위를 가지게 된다.

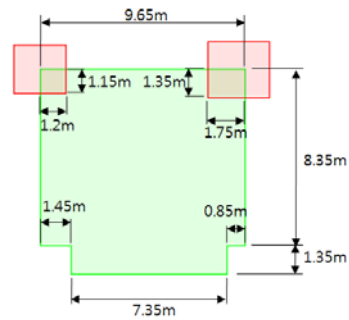
III. 실험 및 분석

본 논문에서 제안한 EA로 실험을 진행하기 위해서 표 1과 같이 파라미터들을 설정하였다.

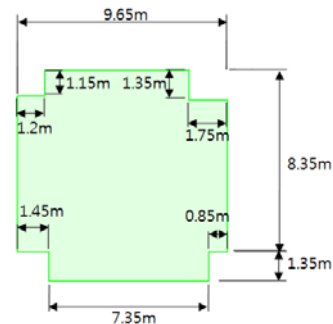
표 1. EA 파라미터 설정

파라미터	값
세대 별 개체 수	200
자손 세대 개체 수	100
세대 수	100
	0.75
	0.02
B	1.0
	0.8
	0.2

최적화 실험을 위한 첫 번째 예제로 그림 3과 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 3(a)와 같이 사용자 공간과 2개의 기둥 장애물 영역이 존재하는 것을 확인 할 수 있다. 이 곳은 안테나를 설치할 수 없으며, 안테나로 커버하지 않아도 되는 영역이다. 이곳을 제외한 순수 사용자 영역은 그림 3(b)에서 확인 할 수 있다.



(a) 장애물이 포함된 사용자 영역

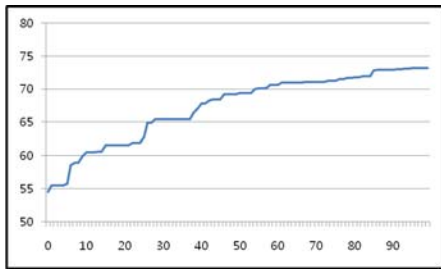


(b) 장애물을 제외한 순수 사용자 영역

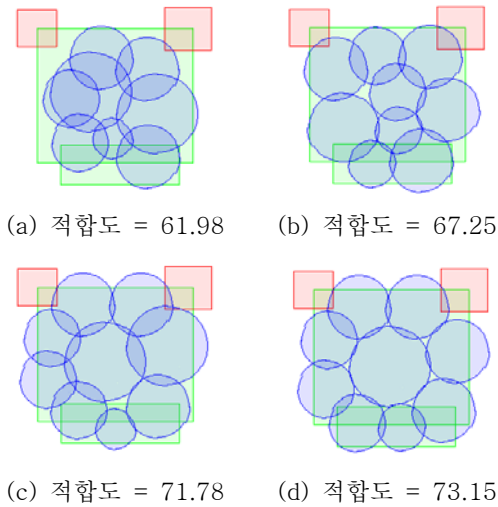
▶▶ 그림 3. 실험에 사용된 사용자 영역

그림 4는 제안된 진화 연산 알고리즘을 통해 매 세대 얻어진 최우수 개체(Elite)의 적합도 값을 표시한 그래프이다. 그래프에서 보듯이 진화가 진행 될수록 적합도가 전체적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 만약 세대수를 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. 이 때 최종적으로 커버율이 95.45%, 간섭율이 10.29% 되도록 하는 RFID 안테나 배치 결과를 얻을 수 있었다.

그림 5는 초기부터 진화가 진행될수록 찾은 배치 결과를 보여주는 그림이다. 그림 5(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 4. 수렴 속성



▶▶ 그림 5. 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 다른 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 DB를 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 이러한 문제를 극복하기 위해 유전자 초기화 단계에서 가능성이 있는 유전자들을 선정하는 기법을 연구하는 것이다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 이재광, 김덕은, 류옥현, 노성호, 이상렬 "RFID를 활용한 물류센터 관리 방안", 전자상거래학회지 제6권 3호, pp. 23-40, 2005년 9월
- [2] 이근우, 원동호, 김승주, "RFID 활용 현황 및 보호대책", 정보보호학회지 제18권 제2호, pp. 12-22, 2008년 4월
- [3] 장변준 "RFID/USN 주파수 간섭 환경 및 기술 기준", 전자파기술 제19권, 제6호, pp. 30-39, 2008년 11월
- [4] 황희수, Evolutionary Computer and Evolutionary Design by Computer, 내하출판사, 2002