

논문 2009-46C1-4-6

RFID 리더간 간섭 모델에 기반 한 최적화 문제와 유전적 자원할당 기법에 관한 연구

(A Study on Optimization Problem based on RFID Reader-to-reader
Interference Model and Genetic-resource Allocation Technique)

서 현 식*, 이 채 우**

(Hyun-Sik Seo and Chae-Woo Lee)

요 약

RFID 리더는 근접한 리더가 같은 주파수 혹은 인접한 주파수 대역을 사용할 경우 서로 간섭을 일으키게 되고 이는 태그의 정보를 올바로 인식하지 못하게 하는 리더 충돌 문제를 야기한다. 현재 리더 충돌 방지 연구에서는 리더 충돌 시 주파수를 옮기거나 TDM(Time Division Multiplex)을 기반으로 한 기법들이 제안되고 있다. 그러나 이는 리더 간 간섭에 영향을 미치는 리더간 거리, 사용 주파수 및 시간을 종합적으로 고려해야 하는 문제 상황을 정확히 반영하지 못한다는 한계를 갖는다. 본 논문에서는 TDM, FDM(Frequency Division Multiplex) 방식을 동시에 고려한 RFID 리더간 간섭 모델을 통해 각 리더의 간섭량을 분석함으로써 시스템 성능을 나타낼 수 있는 최적화 문제를 정의한다. 또한 이것을 풀기위한 해법으로 유전자 알고리즘을 이용한 RFID 리더 자원할당 기법이 제안된다. 따라서 주어진 RFID 환경을 충실하게 반영하여 리더의 충돌을 회피할 수 있는 최적의 자원할당을 이룰 수 있다.

Abstract

In radio frequency identification(RFID) systems, when an RFID reader uses the same or adjacent frequency with neighbor readers, the interference between the readers may occur, which causes the reader collision and errors in tag recognition. In the previous study on RFID reader anti-collision, the techniques based on Frequency Division Multiplex(FDM) or Time Division Multiplex(TDM) are proposed. However in these paper, the problem on the condition of RFID reader-to-reader interference considering the distance between interfering readers, frequency and operating time is not define exactly. In this paper, the interference effect is analyzed through RFID reader interference model considering the TDM and FDM, and the optimization problem is defined. To solve this, genetic-resource allocation technique is proposed. Therefore the optimal resource allocation applied RFID environment faithfully is accomplished.

Keywords: RFID, Reader Anti-collision, Genetic Algorithm, Resource Allocation

1. 서 론

전 세계적으로 유비쿼터스 사회에 대한 관심이 높아지면서 RFID(Radio Frequency Identification)는 핵심

기술로 부각되고 있다. 따라서 유통, 물류 분야를 시작으로 국방, IT, 도로교통, 환경 등 다양한 분야에 RFID 기술을 적용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다^[1]. 이런 RFID 시스템을 지원하기 위해 여러 국가들은 상이한 전파 규격을 정하고 있고, 이를 만족시키기 위해 EPCglobal class 1 generation 2(EPCglobal C1G2)에서는 다양한 코딩 방식 및 모뎀 방식을 권고하고 있다^[2]. 또한 코딩 방식에 따라 다중 리더 환경과 밀집 리더 환경을 정의하고, 이를 통해 제한된 공간에 다수의

* 학생회원, ** 정회원, 아주대학교 전자공학과

(Department of Electronic Eng., Ajou University)

※ “본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” IITA-2009-C1090-0902-0014

접수일자: 2009년5월29일, 수정완료일: 2009년7월3일

RFID 리더가 분포하는 환경에 대한 방안을 제시하였다. 이와 같은 환경에서는 다수의 리더가 한정된 주파수 대역을 사용하여 신호를 전송하기 때문에 RFID 시스템 내의 주파수 간섭이 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히 긴 인식거리와 저렴한 태그 제작 가격의 이점으로 최근 주목받고 있는 UHF RFID 시스템의 리더들은 높은 레벨의 전력 신호를 사용하기 때문에 주파수 간섭에 매우 민감하다^[3~4].

본 논문에서는 RFID 시스템에서 발생할 수 있는 간섭 중 리더 간 주파수 간섭을 다룬다. 리더 간 주파수 간섭은 인접한 리더가 동일 주파수를 사용할 때 발생하는 동일 채널 간섭(Co-channel interference)과 인접 주파수 대역을 사용할 때 발생하는 인접 채널 간섭(Adjacent channel interference)으로 나눌 수 있다. 동일 채널 간섭은 수백 미터 떨어진 리더들에서도 발생할 수 있으며^[5], 다른 채널을 사용 하더라도 지리적으로 인접해 있다면 사용하는 채널에 따라 수십 미터 까지 간섭을 미친다. 이렇게 RFID 시스템에서 리더간 간섭은 매우 심각하지만^[6], 아직 리더간 주파수 간섭에 대한 연구는 아직 부족하다.

현재 RFID 표준에서는 리더 충돌 방지 알고리즘으로 FDM(Frequency Division Multiplex) 방식을 기반으로 한 주파수 호핑 방식(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)과 LBT(Listen-Before-Talk)방식을 규정하고 있다. 또한 표준화 기구인 ETSI(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)에서는 리더간 이격거리를 정하여 리더간 충돌 회피에 대한 신뢰도를 높이도록 하고 있다. 특히 인접 채널 간섭을 줄이기 위해서 EPCglobal에서는 스펙트럼 마스크를 규정하여 주파수를 제한하도록 하고 있다^[7]. 기존의 리더 충돌 방지와 관련된 논문에서는 TDM(Time Division Multiplex) 방식을 이용하여 리더 충돌을 방지하는 Colorwave^[8], Enhanced Colorwave^[9]등의 기법이 제안되었다.

그러나 기존의 RFID 표준과 관련 연구에서는 RFID 리더간 간섭에 대한 정확한 분석 없이 리더 충돌 발생 시 주파수나 동작 시간을 바꾼다. 따라서 이후 충돌이 계속적인 충돌이 발생할 수 있다는 한계를 갖는다. 효과적인 리더충돌 방지를 위해서는 간섭을 일으키는 RFID 리더간 거리와 리더가 사용하는 주파수, 시간 대역 등을 종합적으로 고려한 문제 상황 파악이 필수적이다.

이렇게 다수의 제한 사항을 고려해야 하는 RFID 리더간 충돌 방지는 RFID 리더에 자원을 적절하게 할당해주는 자원할당 문제로 접근할 수 있다. 이것은 최적화 문제로 고려될 수 있으며 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)은 최적해를 찾는 효과적인 기법으로 연구되어왔다. 기존의 유전자 알고리즘을 이용한 자원할당에서는 주로 네트워크의 노드들에게 최적으로 채널을 할당하는 문제(Channel Allocation Problem, CAP)로 연구되었다^[10~11]. 하지만 이 연구 또한 기본적으로 주파수만을 고려한 자원할당이라는 한계를 지닌다.

본 논문에서는 RFID 리더 간 간섭 모델을 통해 각 리더의 이득을 정의하고 이를 통해 전체 시스템의 성능을 표현할 수 있는 최적화 문제를 제안한다. 제안된 최적화 문제를 풀기위해 유전자 알고리즘을 적용함으로써 최적의 자원할당을 찾는다. 유전자 알고리즘의 목적함수(Objective Function)로 이용되는 최적화 문제에는 간섭을 미치는 리더간 거리, 사용하는 주파수와 시간슬롯을 모두 고려한다. 따라서 이 최적화 문제를 이용한 유전자 알고리즘은 RFID 리더 충돌 방지를 위한 자원 할당에 효과적으로 동작할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 RFID 리더 간 주파수 간섭 모델을 통하여 최적화 문제를 살펴 본 뒤, III장에서 유전자 알고리즘에 대하여 알아본다. IV장에서는 제안하는 개선된 유전자 알고리즘을 이용한 RFID 리더 자원 할당 기법을 설명한다. V장에서 제안하는 자원할당 기법의 성능을 평가하고, 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. RFID 리더 간 주파수 간섭

1. RFID 간섭 모델

리더간 주파수 간섭은 근접한 위치에 있는 리더들이 동시에 동일 주파수 혹은 인접한 주파수를 사용할 때 발생한다. 리더는 자신의 전송 반경 내에 있는 태그로부터 역산란(back-scattering)된 신호를 받음으로써 데이터를 수집한다. 이때 기존 리더가 주변 리더의 신호를 감지하면 리더 간 간섭이 일어난다. 그림 1은 리더 2개(Reader A, Reader B), 태그 1개(Tag K)로 구성되어 있는 간단한 RFID 시스템에서의 리더 간 주파수 간섭을 보여준다. d_{AB} 는 간섭을 일으키는 두 리더 A, B 사이의 거리, R_{max} 는 간섭 리더가 없을 때 리더 A의 최대 태그 인식 거리를 나타낸다. 간섭을 일으키는 리더

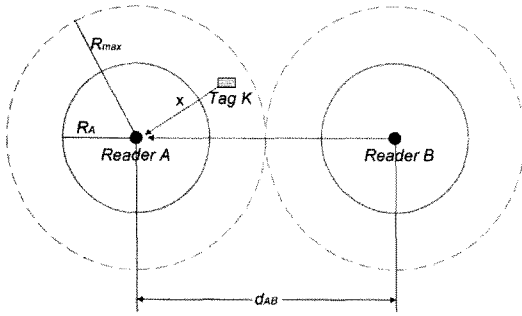


그림 1. 리더의 주파수 간섭
Fig. 1. Frequency Interference between readers.

가 존재할 경우 간섭 신호에 의해서 기준 리더 A의 최대 태그 인식거리는 R_{max} 에서 실제 인식거리를 나타내는 R_A 로 줄어든다.

RFID 환경처럼 역산란된 신호를 통해 정보를 주고받는 시스템의 경우 리더가 태그의 정보를 정확하게 인식하기 위해서는 최소한의 SIR(Signal-to-Interference Ratio)이 보장되어야 한다. 즉 최소 SIR을 S_{th} 라고 할 때, 리더에서 수신되는 SIR이 S_{th} 이상일 경우 간섭신호가 있어도 태그의 역산란 신호를 복조 할 수 있다고 할 수 있다. S_{th} 는 태그의 인코딩 방식과 시스템에서 요구되는 BER(bit error rate)에 의해 결정된다. 그림 1에서 리더 B에 의해 간섭 신호의 영향을 받는 리더 A가 성공적으로 태그 K의 신호를 인식하기 위해서는 다음 식 (1)을 만족시켜야 한다.

$$\frac{P_A^{bs}}{I_{BA}} = S_A \geq S_{th} \quad (1)$$

P_A^{bs} 는 리더 A가 태그 K로부터 수신하는 역산란 신호의 세기이고, I_{BA} 는 리더 B가 리더 A에 미치는 간섭 신호의 세기를 말한다. S_A 는 리더 A의 SIR 값으로 간섭 신호에 대한 태그 신호의 비율을 나타낸다. 일반적으로 P_A^{bs} 는 아래 식 (2)와 같이 리더 A의 전송신호의 세기 P_A , 전송 거리 x , 리더 A가 사용하는 파장의 길이(m) λ_A 와 관련되어 있다^[13].

$$P_A^{bs}(x) = \frac{\alpha_{BW} E_{tag} P_A G_{TA} G_{RA} \lambda_A^4}{(4\pi)^4 x^4} = K_1 \frac{P_A}{x^4} \quad (2)$$

역산란 신호의 전체 전력과 채널 대역으로 전송되는 역산란 신호의 전력비를 나타내는 α_{BW} , 태그의 유효 전

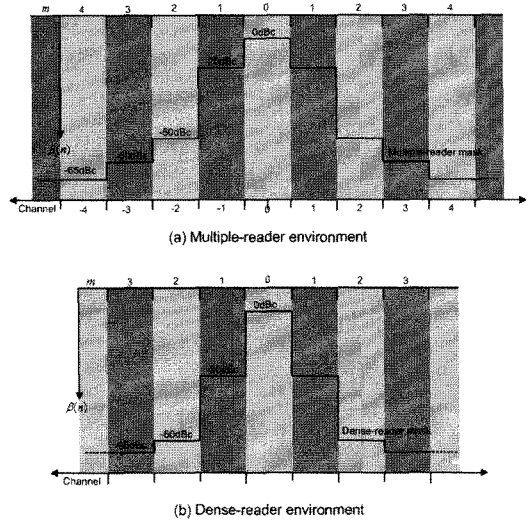


그림 2. RFID시스템 환경에 따른 스펙트럼 마스크
Fig. 2. Spectrum masks in (a) a multiple-reader environment, (b) a dense-reader environment.

력 반사 계수 E_{tag} , 전송 안테나 이득 G_{TA} , 수신 안테나 이득 G_{RA} , 그밖에 상수들은 하나의 상수 K_1 로 나타낼 수 있다. 식 (2)는 리더와 태그 간 path loss가 반영된 식으로서 리더와 태그는 비교적 가까운 line of sight 환경에 위치해 있다고 가정하여 Rayleigh fading은 고려하지 않는다.

리더 B가 리더 A에 미치는 간섭 신호의 세기 I_{BA} 는 다음 식 (3)과 같다.

$$I_{BA}(d) = \frac{h_{AB} P_B \beta_{mask} G_{TA} G_{RA} \lambda_B^2}{(4\pi)^2 d_{AB}^2} \quad (3)$$

h 는 리더 A, B 사이의 페이딩 계수, P_B 는 리더 B가 전송하는 신호의 세기이고, β_{mask} 는 시스템에서 사용되는 스펙트럼 마스크(spectrum mask) 레벨, λ_B 는 리더 B가 사용하는 파장의 길이(m)를 나타낸다. 그림 2는 EPCglobal C1G2 표준에서 정한 RFID 환경에 따른 스펙트럼 마스크 레벨을 나타낸다. 이것은 간섭을 미치는 리더의 채널 간 간격과 관련된 값으로써 간섭을 미치는 두 리더 A와 B에 할당된 채널의 번호를 CH_A , CH_B 라고 하고 두 채널이 n 만큼 떨어져 있다면 β_{mask} 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\beta_{mask} = \beta_{AB}(n) = \beta(|CH_A - CH_B|) \quad (4)$$

리더 A, B 사이의 페이딩 계수 h 와 전송 및 수신 안테나 이득 GT_A , GR_A 및 기타 상수를 하나의 상수 K_2 로 단순화시킴으로써 식(3)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$I_{BA}(d) = K_2 \frac{P_B \beta(|CH_A - CH_B|)}{d_{AB}^2} \quad (5)$$

다수의 리더가 존재하는 일반적인 RFID 환경에서 한 리더는 다수의 리더들로부터 간섭 신호를 받는다. 이때 TDM방식을 적용하여 각 리더가 동작하는 시간을 다르게 함으로써 효과적으로 리더 간 간섭을 줄일 수 있다. 따라서 기준 리더 i 가 프레임 내 k 번째 슬롯에 동작한다고 하면 슬롯 k 에서 리더 i 가 갖는 간섭 신호의 세기는 식 (6)과 같이 동일 슬롯을 가진 리더들이 미치는 간섭을 모두 더해 줌으로써 구할 수 있다.

$$I_i^k = \sum_{j=1, j \neq i}^M \gamma_j^k I_j(d_{ji}) + N_i \quad (6)$$

$$\gamma_j^k = \begin{cases} 1 & \text{if reader } j \text{ has } k^{\text{th}} \text{ slot} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

M 은 전체 리더의 개수, N_i 은 기준 리더 i 가 받는 모든 잡음값을 나타낸다.

지금까지 구한 태그로부터의 역산란 신호 P_i^{bs} 와 기준 리더에서의 간섭 신호 I_i^k 를 이용하여 k 슬롯에서 RFID 리더 i 의 SINR(Signal to Interference-plus-Noise Ratio)을 다음 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$SINR_i^k(x) = \frac{P_i^{bs}(x)}{\sum_{j=1, j \neq i}^M \gamma_j^k I_j(d_{ji}) + N_i} \quad (7)$$

$$= \frac{K_1 P_i / x_i^4}{K_2 \sum_{j=1, j \neq i}^M \gamma_j^k P_j \beta(|CH_i - CH_j|) / d_{ji}^2 + N_i}$$

x_i 는 기준리더 i 와 인식하고자하는 주변 태그와의 거리를 말한다.

리더의 SINR값은 임계값 S_{th} 이상이 되어야 하기 때문에 k 슬롯에서 리더 i 의 태그 인식 가능 거리 R_i^k 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_i^k = \arg \max_x SINR_i^k(x) \geq S_{th} \quad (8)$$

이 식으로부터 리더의 최대 태그 인식 가능 거리는

SINR값이 임계값 S_{th} 인 경우로 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$R_i^k = \left(\frac{K_1 P_i}{S_{th} K_2 \sum_{j=1, j \neq i}^M \frac{\gamma_j^k P_j \beta(|CH_i - CH_j|)}{d_{ji}^2} + \frac{K_1 P_i}{v_i^4}} \right)^{1/4} \quad (9)$$

여기서 v_i 는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)만을 고려했을 경우 리더 i 의 태그 인식거리를 의미하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_i = \left(\frac{K_1 P_i}{S_{th} N_i} \right)^{1/4} \quad (10)$$

식(9)와 식(10)에서 확인할 수 있는 것처럼 모든 리더의 전송 신호의 세기가 동일하다고 가정할 경우 리더의 최대 태그 인식 가능 거리는 간섭 리더간 거리, 리더에 할당된 채널, 시간 슬롯에 관계된다는 것을 알 수 있다. 다음 절에서는 본 절의 간섭 모델에서 구해진 리더의 최대 태그 인식 거리로부터 RFID 시스템 전체의 성능을 평가할 수 있는 최적화 문제를 다루고자 한다.

2. 문제 정의

앞 절에서 설명한 것처럼 FDM, TDM방식을 기반으로 하는 RFID 시스템에서는 다수의 리더가 자신의 시간 슬롯에 자신의 채널을 통해 주변의 태그를 인식하게 된다. 본 절에서는 다수의 고정된 리더가 존재하는 상황에서 리더의 이득을 다음과 같이 정의한다.

$$U_i = \sum_{k=1}^S (R_i^k)^2 \cdot \gamma_i^k \quad (11)$$

S 는 한 프레임에 존재하는 시간 슬롯의 개수이다. 각 슬롯에서 최대 태그 인식 거리의 제곱을 더해 줌으로써 각 리더가 얼마 동안의 시간에 얼마나 많은 태그를 인식할 수 있는 능력을 가지고 있는지를 평가할 수 있다.

각 리더의 이득으로부터 RFID 시스템 전체의 성능은 다음 식과 같이 최적화 문제로 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max \quad & : \sum_{i=1}^M \log U_i, \\ \text{subject to} \quad & : \gamma_i^k \in \{0, 1\}, \quad \forall i, \\ & : CH_i \in F, \quad \forall i \end{aligned} \quad (12)$$

이때 리더 번호 i 와 리더에 할당 될 수 있는 채널의 집합 F 는 $i \in \{1, \dots, M\}$, $F = \{1, \dots, C\}$ 를 만족한다. C 는 시스템에서 이용 가능한 채널의 개수를 나타내고, 따라서 F 는 사용 가능한 채널의 번호를 가질 수 있다. 각 리더의 이득을 로그 스케일로 더해줌으로써 특정 리더의 이득이 너무 작아지는 것을 방지할 수 있다. 식 (12)의 최적화 문제를 통하여 각 리더들에게 시간 슬롯과 채널을 최적으로 할당해 줌으로써 시스템 전체의 성능을 최대로 한다.

그러나 무작위로 배치되어있는 리더들에게 최적으로 채널과 시간 슬롯을 할당하는 RFID 자원할당 문제는 수많은 해의 집합을 갖는 NP-complete 문제이다^[14~15]. 일반적으로 다수의 제한 사항을 고려해야 하는 자원할당과 같은 복잡한 최적화 문제에서 GA-based search method는 상당히 좋은 성능을 보인다^[16]. 본 논문에서는 앞서 살펴봤던 시스템 성능 최적화 문제를 풀기위해 유전자 알고리즘을 적용한다. 최적화 문제를 통해 후보해들을 평가하기 때문에 시스템의 성능을 최적화 할 수 있는 RFID 자원할당을 이룰 수 있다. 다음 장은 유전자 알고리즘과 자원할당 문제에 대하여 설명한다.

III. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 다수의 제한 조건을 갖는 최적화 문제에 적용되어 효과적으로 최적의 해를 찾아가는 능력을 지닌 heuristic methods이다^[13]. 잠재적인 해를 염색체(chromosome)로 나타내고, 세대(generation)를 거듭하며 모의 진화를 시킴으로써 최적의 해를 찾는다.

유전자 알고리즘은 임의로 생성된 초기 염색체군(population)으로 시작한다. 적합도(Fitness) 평가를 통해 초기 염색체군 으로부터 Parents라고 정의되는 두

염색체를 선택(Selection)한다. 선택된 염색체들은 교배(Crossover)를 통해 염색체 내의 유전자를 교환하고, 돌연변이(Mutation)를 통해 임의로 염색체를 변화시키는 진화 연산을 통해 최적의 해를 찾는다. 이후, 최적 염색체 갱신을 통해 현 세대까지의 최적 염색체를 기억한다. 이 사이클은 미리 정해진 세대에 도달할 때까지 반복된다. 그림 3에서 유전자 알고리즘의 동작과정을 나타낸다.

적합도 함수는 각각의 후보해의 적합도를 평가함으로써, 각 염색체가 얼마나 최적해와 가까운지 즉, 얼마나 최적해로서 적합한지 판단할 수 있다. 각 염색체의 적합도는 부모 염색체 선택과 최적의 유전자를 갱신할 때 사용된다.

유전자 알고리즘은 최적의 해를 찾기 위하여 염색체 내의 탐색과정인 교배와, 새로운 염색체로의 탐색과정인 돌연변이 연산을 동시에 수행한다. 일반적으로 우리가 다루는 문제들의 전체 후보해의 영역은 적합도 측면에서 완벽하게 고르지 않기 때문에 전통적인 최적화 알고리즘을 이용할 때 최적해가 지역해에 빠지기 쉽다. 그러나 유전자 알고리즘에서는 교배와 돌연변이 연산을 동시에 수행함으로써 최적해가 지역해에 빠질 위험을 줄이고, 전역해를 탐색해 간다는 장점이 있다. 또한 계산과정이 비교적 간단하기 때문에 탐색 스페이스가 큰 최적화 문제에 다양하게 적용되고 있다^[10~12].

유전자 알고리즘을 이용한 자원의 할당은 활발하게 연구되고 있지만, 주로 채널 할당 문제로 고려되고 있으며 아직 RFID 시스템에서 리더의 자원 할당에 대한 연구는 매우 부족하다. 본 논문에서는 RFID 리더의 자원 할당을 위하여 리더간 거리를 고려하여 주파수와 시간슬롯을 최적으로 할당하는 개선된 유전자 알고리즘을 제안한다.

IV. RFID 리더를 위한 자원 할당

본 장에서는 RFID 리더의 충돌을 효과적으로 방지할 수 있도록 제안된 새로운 유전자 알고리즘에 대하여 설명한다. 알고리즘 내 전체적인 동작은 기존의 유전자 알고리즘과 동일하며 앞서 설명하였던 시스템 성능 최적화 문제를 적합도 함수에 적용하여 최적의 해를 탐색한다. 최종 도출된 최적의 해를 이용하여 각 리더에 주파수와 시간 슬롯을 할당해 줌으로써 효과적으로 RFID 리더의 충돌을 방지할 수 있다.

Algorithm 1 : Genetic Algorithm

```

Begin
  Generate initial population
  Evaluate fitness of each individual
  while (not satisfy termination condition)
do
  Select parents from population
  Perform Crossover to produce offspring
  Perform Mutation
  Update optimal chromosome by fitness
end
end

```

그림 3. 유전자 알고리즘의 동작과정
Fig. 3. Procedure of GA

1. RFID시스템을 위한 유전적 표현

유전적 표현은 유전자 탐색 공간에서 후보 해를 나타내는 자료의 구조를 의미한다. 필드에 무작위로 배치된 M개의 리더들의 자원할당 모습을 보여주기 위해 그림 4의 예와 같이 염색체를 구성한다.

리더가 사용하는 프레임의 크기 즉, 한 프레임 내의 슬롯의 개수는 미리 정해진다. 그림 4는 리더가 사용하는 프레임 사이즈가 4로 정해져 있을 때 염색체 구성의 예를 보여준다. 각 염색체는 프레임 사이즈+1개의 원소를 갖는다. 괄호안의 첫 번째 숫자는 해당 리더에 할당된 슬롯의 패턴을 나타내고, 두 번째 숫자부터 마지막 숫자는 각 슬롯에서 사용하는 채널을 번호를 말한다. 예를 들어 염색체가 (1010, 8, 0, 15, 0)라면 해당 리더는 네 개의 슬롯 중 첫째, 셋째 슬롯에 각각 8번, 15번 채널을 할당받은 것이다.

Reader 1	Reader 2	...	Reader M
(1010, 8, 0, 15, 0)	(0100, 0, 7, 0, 0)	...	(1001, 5, 0, 0, 3)

그림 4. 2차원 염색체의 유전적 표현
Fig. 4. Genetic expression of two-dimensional chromosome.

2. 적합도 함수 (Fitness function)

적합도 함수는 각 염색체가 최적의 해로서 얼마나 적합한지를 평가하는 기준이 되기 때문에 유전자 알고리즘의 최적 해를 결정하는데 있어서 매우 중요한 역할을 지닌다. 본 논문에서는 후보해가 되는 염색체의 적합도를 평가하기 위해 2장에서 설명했던 최적화 문제를 이용한다. RFID 시스템의 성능을 평가하는 염색체의 적합도 함수는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{sys} = \sum_{i=1}^M \log \left(\sum_{k=1}^S (R_i^k)^2 \cdot \gamma_i^k \right) \tag{13}$$

$$\gamma_i^k = \begin{cases} 1 & \text{if reader } i \text{ has } k^{th} \text{ slot} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

M은 필드에 존재하는 리더의 개수, S는 프레임 크기, R_i^k 는 k번째 슬롯에서의 리더 i의 최대 태그 인식 가능 거리로써 식(9)에서 언급했다. γ_i^k 는 리더 i가 k번째 시간 슬롯에 동작 하는가에 따라 0과 1값을 갖는다.

전체 RFID 시스템의 성능을 평가할 때 리더들의 형평성을 보장하기 위하여 각 리더가 갖는 이득은 로그스케일로 더해진다. 각 리더의 이득은 동작하는 각각의

시간 슬롯에서의 태그인식 거리의 제곱값을 더해서 계산된다. 시간 슬롯마다 동작하는 리더들의 구성이 다르기 때문에 시간슬롯마다 간섭을 미치는 리더가 달라진다. 따라서 한 리더의 태그 인식 거리도 시간 슬롯마다 다르게 계산되는 것이 현실적으로 타당하다. 각 리더의 이득을 평가함으로써 얼마나 긴 시간에 얼마나 넓은 지역의 태그를 인식할 수 있는가를 알 수 있다.

적합도 함수를 통해 각 염색체의 적합도가 구해지고 적합도가 큰 염색체일수록 최적의 시스템 성능을 보이는 자원할당에 가깝다고 말할 수 있다. 적합도는 선택 연산과 현 세대의 최적 염색체를 판단할 때 기준값으로 사용된다.

3. 선택 (Selection)

선택단계는 좋은 유전자를 선출함으로써 주어진 세대의 평균 질을 높이기 위해 사용된다. 제안하는 알고리즘에서는 순위 선택법과 엘리티스트(Elitist) 선택법을 사용한다. 순위 선택법은 후보 염색체들을 적합도에 따라 순위를 매기고, 이 적합도에 비례하여 염색체를 선택하는 기법이다. 따라서 적합도 값의 편차가 비교적 작은 환경에서도 일반적으로 사용되는 룰렛 선택법 보다 좋은 염색체가 뽑힐 확률이 높다. 초기 염색체군에서 z 번째 염색체의 선택 확률은 다음의 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s^z = 1 - \text{Rank}(z) / \sum_{j=1}^{n_p} j \tag{14}$$

$\text{Rank}(z)$ 는 z번째 염색체의 적합도에 따른 순위를 말하고, n_p 는 초기 염색체군내 염색체의 개수를 나타낸다. 따라서 적합도가 큰 염색체가 상대적으로 뽑힐 확률이 높다. 엘리티스트 선택법은 현재 세대까지 가장 최적의 염색체를 기억하기 위한 기법이다. 따라서 주어진 세대까지 발견된 가장 적합한 염색체가 기억되고 다음 세대의 최적 염색체와 비교된다.

4. 진화 연산자 (Genetic Operator)

진화 연산자는 교배(Crossover), 돌연변이(Mutation)로 이루어져 있다. 교배에서는 두 부모 염색체 사이에서 같은 리더의 유전자가 교환됨으로써 더 적합한 염색체를 탐색한다. 즉 두 부모 염색체의 동일 위치에 있는 동일 리더의 자원할당 중에 하나를 선택하여 새로운 자

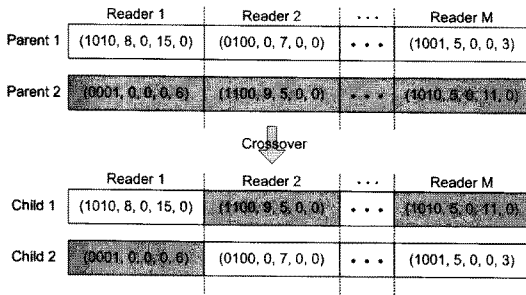


그림 5. 교배 연산

Fig. 5. Crossover operation.

식 검색체의 해당 리더의 자원할당을 만든다. 이 때, 적합도 평가에서 사용하였던 적합도를 이용하여 각 검색체의 선택 확률은 식 (15)로 결정된다.

$$P_c^1 = 1 - Rank_1(z) / \sum_{j=1}^2 Rank_j(z) \tag{15}$$

$$P_c^2 = 1 - Rank_2(z) / \sum_{j=1}^2 Rank_j(z)$$

P_c^1, P_c^2 는 각각 1, 2번째 부모 검색체내의 정보가 선택될 확률이다. 따라서 적합도가 높은 검색체의 선택 확률적으로 더 많이 뽑는다.

그림 5는 M 개 리더의 자원할당을 나타내는 검색체의 교배 연산의 예를 보여준다. 각 부모 검색체의 선택 확률에 따라 두 자식 검색체가 만들어 진다.

돌연변이 단계에서 각 리더는 정해진 돌연변이 발생 확률에 따라 자신의 시간 슬롯과 채널을 임의의 다른 값으로 변화시키는 방법으로 해당 검색체가 가지지 못하는 조합을 탐색하게 된다.

V. 실험

이번 장에서는 성능평가를 위해 제안하는 알고리즘을 이용하여 구해진 RFID 자원을 할당 방법과 무작위로 RFID 자원을 할당하는 랜덤 자원 할당 방법을 비교한다.

1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경과 관련된 파라미터는 표 1과 같다. 필드의 크기를 $80 \times 80 \text{ m}^2$ 로 가정하고 다수의 리더가 임의의 위치에 분포한다. 리더가 사용할 수 있는 자원들 즉, 시간 슬롯과 채널의 수는 미리 정해져 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

Parameter	Value
필드 사이즈	$80 \times 80 \text{ m}^2$
프레임 사이즈	5 slots
사용가능 채널 수	20개
채널 대역폭	500 kHz
돌연변이 발생확률	10%
리더의 전송신호 세기	30 dBm
스펙트럼 마스크	EPCglobal C1G2 ^[7]
타겟 SINR, S_{th}	11.6 dB
태그 유효 전력 반사 계수, E_{tag}	0.1
페이딩 계수(h)	고려안함(LOS 가정)
안테나 이득, G_T, G_R	6 dBi

본 시뮬레이션에서는 5개의 시간 슬롯과 20개의 채널 자원이 리더에 할당된다. 유전자 알고리즘의 돌연변이 연산 발생 확률은 10%로 한다. 또한 스펙트럼 마스크는 EPCglobal C1G2의 다중채널 마스크를 사용하며, 경로 손실 모델은 자유 공간에서의 경로 손실 모델을 사용하여 고려하지 않는다.

그림 6은 세대 즉, 자원할당을 탐색한 시간에 따른 적합도 변화를 보여주는 그래프이다. 적합도 함수를 기반으로 이전 세대보다 더 적합한 검색체를 발견할 경우 최적해가 갱신된다. 따라서 세대를 거듭하면서 초기에 최적의 검색체가 많이 갱신되고 시간이 지날수록 그만큼 더 적합한 자원할당을 찾기가 어려워진다. 제안하는 유전자 알고리즘의 적합도 변화를 볼 때, 100세대 후에는 최선의 해가 발견된다고 판단할 수 있다. 따라서 제

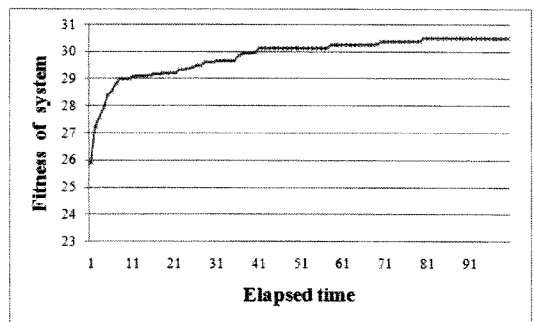


그림 6. 제안하는 유전자 알고리즘의 적합도
Fig. 6. Fitness of proposed GA.

RF 01	11111	17	7	11	8	7
RF 11	10	0	0	0	18	0
RF 21	11100	7	20	6	0	0
RF 31	10111	14	0	3	17	12
RF 41	10111	14	0	3	18	10
RF 51	10001	4	0	0	0	7
RF 61	11001	2	3	0	0	8
RF 71	1	0	0	0	0	5
RF 81	11	0	0	0	15	15
RF 91	11001	10	16	0	0	16
RF 101	1010	0	11	0	7	0
RF 111	11110	17	2	5	9	0
RF 121	1111	0	16	18	19	15
RF 131	1101	0	19	14	0	17
RF 141	11	0	0	0	15	0
RF 151	1110	0	10	11	1	0
RF 161	111	0	0	17	7	6
RF 171	11	0	0	0	3	5
RF 181	10110	10	0	11	11	0
RF 191	11000	8	7	0	0	0

그림 7. RFID 리더의 시간 슬롯, 채널 할당 예
Fig. 7. An example of time slot and channel allocation.

안하는 유전자 알고리즘의 최종해는 100세대를 거쳐서 수집된다.

그림 7은 필드의 RFID 리더들에 슬롯과 채널을 할당한 예를 보여준다. 본문에서 설명한 염색체의 표현법을 세로로 배열한 것으로서 각 리더는 5개의 슬롯 중에 평균 2.8개의 시간 슬롯을 사용하도록 할당하고 있다. 또한 신뢰도 있는 결과 분석을 위해 시뮬레이션의 모든 측정값은 50번 측정된 값의 평균값을 사용하였다.

2. 시뮬레이션 결과 분석

본 절에서는 앞서 설명하였던 시스템 최적화 문제를 이용하여 제안하는 알고리즘과 무작위로 자원을 할당하는 랜덤 할당 방식의 성능을 비교한다. II장에서 설명한 시스템 성능 최적화 문제를 통해 각 자원할당 알고리즘을 기반으로 하는 시스템 전체의 성능을 평가한다. 또한 각각의 리더의 측면에서의 성능을 평가하기 위해서 리더 이득의 표준 편차를 평가한다. 리더의 이득은 최대

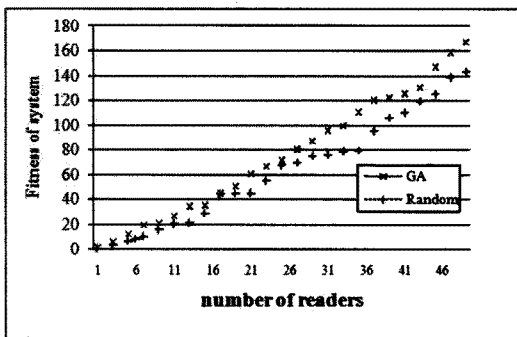


그림 8. 리더 밀도에 따른 시스템 적합도
Fig. 8. Fitness of system vs. reader density.

태그 인식거리와 동작시간을 곱한 형태로써 시스템 내의 리더의 이득의 표준 편차를 통해 리더의 성능을 평가할 수 있다.

그림 8은 리더 밀도에 따른 각 자원할당 기법을 통한 시스템의 적합도 보여준다. 가로축은 리더의 개수를 나타내는 것으로써 필드의 크기는 고정되어 있기 때문에 리더 수가 늘어난다는 것은 리더 밀도가 높아진다는 것을 의미한다. 앞서 설명했듯이 RFID 시스템의 성능을 나타내는 최적화 문제는 유전자 알고리즘의 적합도로 적용된다. 시스템의 성능을 나타내는 최적화 문제가 각 리더의 이득을 더한 형태이기 때문에 리더 밀도가 높아질 수 기본적으로 적합도 값은 증가하게 된다. 필드의 리더 밀도가 낮을 경우 제안하는 유전자 알고리즘의 자원할당은 랜덤 자원할당과 큰 성능의 차이가 없지만 리더의 밀도가 높아질 경우 적합도의 차이가 상당히 벌어지는 것을 볼 수 있다.

그림 9에서는 리더 밀도에 따른 리더 이득의 표준 편차를 보여준다. 리더들은 서로 간섭의 영향을 미치며 서로 경쟁적으로 이득을 획득한다. 따라서 리더 밀도가 높아질수록 리더 간 이득의 편차는 증가한다. 하지만 유전자 알고리즘에서는 각 리더의 이득이 로그 스케일로 더해진 모양의 적합도 함수를 이용하여 최적의 자원할당을 찾는다. 따라서 어떤 한 리더의 이득이 극히 작지 않은 방향으로 자원할당 해가 탐색된다. 이로써 모든 리더가 골고루 이득을 보장받을 수 있다. 반면 랜덤 할당 방식에서는 리더 밀도가 높아질수록 리더 이득의 표준편차가 크게 높아진다. 이것은 리더 간 이득의 차이가 크다는 것을 말하기 때문에 상대적으로 이득이 매우 작은 리더가 존재할 확률이 높다고 말할 수 있다. 이렇게 상대적으로

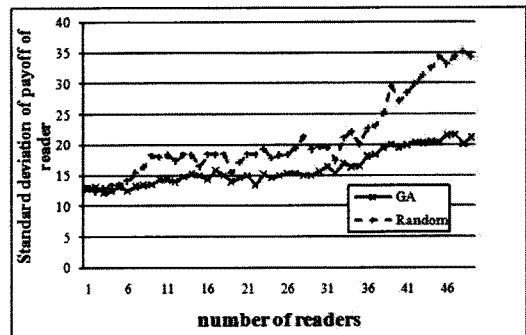


그림 9. 리더 밀도에 따른 리더 이득의 표준편차
Fig. 9. Standard deviation of payoff of reader vs. reader density.

손해를 보는 리더는 태그 인식 면적이 극히 좁거나 동작 시간이 매우 짧아지게 되어 실질적으로 리더 충돌로 인해 태그를 인식할 수 없다고 예상할 수 있다.

본 절에서는 제안하는 알고리즘과 랜덤 방식으로 RFID 리더에 자원을 할당할 때 성능을 시스템 전체적인 측면과 리더의 공평성 측면에서 평가하였다. 제안하는 유전자 알고리즘을 통한 자원할당 기법은 시스템 전체의 측면에서와 각 리더를 고려한 공평성 측면에서 모두 이득을 갖는다. 모든 리더가 충돌을 회피할 수 있는 안정적인 성능을 보장 받을 수 있기 때문에 신뢰도 높은 RFID 자원할당 기법이다.

VI. 결 론

기존의 RFID 리더간 충돌 방지 알고리즘에서는 주로 리더 간 간섭을 리더의 주파수나 시간의 어느 한 관점에서 접근하기 때문에 실질적인 리더 충돌 방지에 한계를 갖는다. 또한 리더 충돌 후 주파수를 옮기거나 시간 슬롯을 재할당하는 방법이기 때문에 계속되는 리더 충돌을 막기 어렵다.

본 논문에서는 신뢰도 높은 RFID 리더충돌 회피 성능을 갖는 자원 할당을 위해 간단한 RFID 간섭 모델을 이용한다. 이때 리더 간 간격, 사용 주파수 시간을 종합적으로 고려하기 때문에 좀 더 효율적으로 리더 충돌을 회피하는 자원할당을 이룰 수 있다. 시스템 성능을 최대화하는 최적화 문제를 유전자 알고리즘의 적합도 함수로 이용함으로써 신뢰도 높은 자원할당 해를 찾는다. 성능 분석 결과 제안한 알고리즘은 밀집 리더 환경에서도 시스템의 적합도가 높고 공평하게 리더 이득을 보장하는 것을 확인할 수 있다.

앞으로 모바일 RFID 환경 등에 효과적으로 적용할 수 있는 리더 충돌 방지 자원할당을 위해 리더의 이동성이나 리더의 신호 세기를 고려할 수 있다면 제안한 알고리즘의 성능이 더 향상될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 조규조, "RFID 정책 추진 방향," 한국전자과학회지 전자과 기술, 15(2), pp. 5-11, 2004년 6월.
- [2] 표철식, 채동석, 김창주, "RFID 시스템 기술," 한국전자과학회지 전자과 기술, 15(2), pp. 21-31, 2004년 4월.
- [3] 장병준, 박준석, 성영락, 오하령, "RFID dense 모드 지원을 위한 medium access 기술," 한국통신학회지, 23(12), pp. 17-28, 2006.
- [4] D. W. Engels, S. E. Sarma, "The Reader Collision Problem," in Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol. 3, pp. 92-97, 2002.
- [5] 정병현, "RFID 주파수 간섭 완화 방안 연구," in REG Korea, On-Line Forum, 2007.
- [6] K. S. Leong, M. L. Ng, A. R. Grasso, and P. H. Cole, "Synchronization of RFID readers for dense RFID reader environments," in Proceedings of the 2006 International Symposium on Applications and Internet Workshop (SAINT'06), pp. 48-51, 2006.
- [7] EPCglobal, "EPC radio-frequency identify protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860 MHz - 960 MHz version 1.0.9," EPCglobal Standard Specification, 2004.
- [8] J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, "Colorwave : An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem," in Proc. of IEEE International Conference on Communications, May 2003.
- [9] 이수련, 이채우, "RFID 시스템에서의 개선된 Colorwave 충돌방지 알고리즘," 2005 Joint Conference on Communications Informations, 2005년 4월
- [10] 서현식, 오세진, 이채우, "진보된 유전자 알고리즘 이용하여 센서 네트워크의 에너지 소모를 최소화하는 클러스터링 기법," 대한전자공학회, 전자공학회 논문지 제 46권 TC편, 제2호, 27-37쪽, 2009년 2월
- [11] S. C. Ghosh, B. P. Sinha, N. Das, "Channel assignment using genetic algorithm based on geometric symmetry," IEEE Transactions on Vehicular Technology 52 (4), pp. 860-875, 2003.
- [12] L. M. San Jose-Revuelta, "A new adaptive genetic algorithm for fixed channel assignment," Information Sciences 177, pp. 2655-2678, 2007.
- [13] K. Cha, A. Ramachandran, and S. Jagannathan, "Adaptive and probabilistic power control algorithms for dense RFID reader network," in Proceedings of the 2006 IEEE Conference on Networking, Sensing and Control(ICNSC'6), pp. 474-479, 2006.
- [14] M. Mitchell, *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Press, Cambridge, MA, 1996.
- [15] B. Dengiz, F. Altıparmak, and A. E. Smith, "Local Search Genetic Algorithm for Optimal Design of Reliable Networks," IEEE

Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 1, No. 3, September 1997.

- [16] M. Cuppini, "A genetic algorithm for channel assignment problems," European Transactions on Telecommunications and Related Technology, 5(2), pp. 285-294, 1994.

저 자 소 개



서 현 식(학생회원)
2008년 아주대학교 전자공학과
학사 졸업.
2008년 3월~현재 아주대학교
전자공학과 석사 과정

<주관심분야 : RFID, Sensor Network, Genetic Algorithm>



이 채 우(정회원)
1985년 서울대학교 제어계측
학사 졸업.
1988년 한국과학기술원
전자공학과 석사 졸업.
1995년 University of Iowa 박사
졸업

1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.
1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.
1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies
Korea 이사.
2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수.
2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과
부교수.

<주관심분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous
networking, Traffic Engineering>