

논문 2008-45CI-5-11

# RFID 시스템에서의 리더 충돌 방지를 위한 개선된 유전자 알고리즘

( An Enhanced Genetic Algorithm for Reader Anti-collision in RFID System )

서 현 식\*, 이 채 우\*\*

( Hyun-Sik Seo and Chae-Woo Lee )

## 요 약

RFID 리더는 근접한 거리에 위치하고 있는 리더들과 같은 주파수 혹은 인접한 주파수 대역을 사용할 경우 서로 간섭을 일으킨다. 이는 리더간 충돌을 야기하여 태그의 정보를 올바르게 인식하지 못하게 한다. 따라서 이런 리더간의 충돌을 방지하기 위해 RFID 국제 표준이 규정되고 논문들이 발표되고 있다. 리더간의 간섭은 간섭을 일으키는 리더간의 거리, 사용하는 주파수 대역과 밀접하게 관련되어 있다. 하지만 기존의 RFID 리더충돌 방지 알고리즘은 리더간 간섭에 큰 영향을 미치는 리더의 위치에 대한 고려 없이 리더 충돌시 주파수를 옮기거나 TDM(Time Division Multiplex)을 기반으로 충돌 확률에 따라 프레임의 크기를 변경하여 리더의 충돌을 줄인다. 본 논문에서는 좀 더 효과적으로 리더 충돌을 방지하기 위해 리더의 위치를 반영하는 2차원 유전자를 사용한 유전자 알고리즘을 제안한다. 2차원의 유전자를 사용하여 진화 연산을 수행함으로써 리더간 간섭에 영향을 미치는 리더의 위치 정보를 효과적으로 활용한다. 따라서 효과적으로 리더 충돌을 줄일 수 있도록 최소한의 간섭을 갖는 최적의 채널 할당을 찾을 수 있다. 또한 제안하는 알고리즘내의 교정(Repair)연산을 통해 모든 리더가 안정적으로 태그를 인식할 수 있도록 한다.

## Abstract

When an RFID reader uses the same frequency or adjacent frequency with neighbor readers, the interference might occur. These interferences cause the RFID reader collision and errors during tag recognition. Therefore, the international standard for RFID and some papers proposed the methods to reduce the reader collision. The reader interference is closely related to the distance between the readers having interference and used frequency band. In the previous RFID reader anti-collision algorithms, the location of readers inducing interference which is closely related to interference of readers is not considered. Only the reader collision is tried to reduce through frequency transfer after collisions occur or modification of frame size in relation to collision probability based a TDM(Time Division Multiplex). In this paper, the genetic algorithm using two-dimensional chromosome which reflect readers' location is proposed to prevent reader collision effectively. By executing evolutionary operation with two-dimensional chromosome, the location information having influence on reader interference can be used. The repair operation in the proposed algorithm makes all reader stably recognize their tags.

**Keywords :** RFID, Reader Anti-collision, Genetic Algorithm, Frequency interference

\* 학생회원, \*\* 정회원, 아주대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Eng., Ajou University)

\* This work was supported by the MKE of Korea(2008-S-023-1, Development of Next Generation RFID Technology for Item Level Applications).

접수일자: 2008년8월20일, 수정완료일: 2008년9월5일

## I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 유비쿼터스 환경의 실현을 위한 핵심 기술로서 무선 주파수를 이용하여 사람이나 물건 등의 대상을 식별하는 비접촉식 자

동인식기술이다. 특히 최근 UHF 대역의 RFID 기술은 상대적으로 인식거리가 길고 태그의 가격이 저렴하기 때문에 다양한 분야로의 기술 적용이 연구되고 있다. 이로 인해 UHF RFID 시스템의 보급이 확대되고, 다수의 리더가 동일 지역에 존재하는 밀집리더 환경(Dense mode)이 일반화 될 것으로 예상된다. 그러나 증가하는 RFID 시스템의 수요와는 관계없이 RFID 리더들이 사용할 수 있는 주파수 대역은 한정되어 있기 때문에 RFID 시스템 내의 주파수 간섭 문제가 중요하게 대두되고 있다. 특히 UHF RFID 시스템의 리더의 경우 수십 m이다. 따라서 UHF RFID 시스템에서는 리더간 간섭이 생길만큼 전력 레벨이 큰 신호가 송신되기 때문에 주파수 간섭 문제가 매우 심각하다<sup>[1~2]</sup>.

RFID 시스템에서의 주파수 간섭은 크게 태그 간섭(tag interference), 다중 리더-태그 간섭(multiple reader-to-tag interference), 리더간 간섭(reader-to-reader interference)으로 나눈다. 태그 간섭은 다수의 태그가 동시에 리더에 접속하는 다중접속이 일어날 때 발생한다. 현재 태그 간섭을 줄이기 위해 이진 탐색(binary search) 방식과 슬롯 알로하(Slotted Aloha) 방식이 연구되었다<sup>[3]</sup>. 다중 리더-태그 간섭은 다수의 리더가 하나의 태그에 전송을 시도할 때 발생한다. 이 간섭은 리더들의 전송 범위가 중첩될 때 일어나기 때문에 리더 배치를 적절하게 함으로써 해결할 수 있다. 마지막으로 리더간 간섭은 인접한 리더들 간에 발생하는 간섭으로 다음 두 가지로 나눌 수 있다.

- 동일 채널 간섭(Co-channel interference): 인접한 리더가 동일한 주파수 대역을 사용할 때 발생하는 간섭.

- 인접 채널 간섭(Adjacent channel interference): 인접한 리더가 인접한 주파수 대역을 사용할 때 발생하는 간섭.

동일 채널 간섭의 경우 수천 미터, 인접 채널 간섭의 경우 수십 미터 떨어진 리더들 사이에도 영향을 미칠 수 있기 때문에 리더간 간섭은 RFID 시스템에서 가장 심각한 간섭이라 할 수 있다<sup>[4~6]</sup>. 하지만 아직 주파수 간섭을 비롯하여 리더간 간섭에 대한 연구가 매우 부족하다.

현재 RFID 표준에서는 리더 충돌 방지 알고리즘으로 FDM(Frequency Division Multiplex) 방식 기반의 주파수 호핑 방식(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)과 LBT(Listen-Before-Talk)방식을 규정하고 있다. 기존의 논문에서는 TDM(Time Division

Multiplex) 방식을 이용하여 리더의 충돌을 줄이는 Colorwave<sup>[7]</sup>, Enhanced Colorwave<sup>[8]</sup>등의 기법을 제안하고 있다. 그러나 이전의 논문에서는 리더의 채널 할당 문제(Channel Assignment Problem, CAP)를 리더간 거리에 따른 간섭의 영향을 고려하지 않고 주파수나 시간의 관점에서만 리더의 충돌 방지에 접근하였기 때문에 효율적으로 리더 충돌을 줄이지 못한다.

효과적으로 리더충돌을 방지하기 위한 채널 할당을 이루기 위해서는 리더가 사용하는 주파수와 시간 대역, 간섭을 일으키는 리더간 거리등을 고려해야 한다. 이렇게 다수의 제한 사항이 존재하는 복잡한 채널 할당 문제는 최적화 문제로 접근할 수 있다<sup>[9]</sup>. 본 논문에서는 2차원 탐색체를 사용하는 유전자 알고리즘(LA2D-GA : Location Aware Two-Dimensional Genetic Algorithm)을 사용한 최적의 채널 할당 기법을 제안한다. 기존의 1차원 유전자 알고리즘을 사용할 때 탐색체는 리더들의 위치 정보를 반영하지 못하기 때문에 유전자 알고리즘의 진화 과정이 효과적이지 못하다. 하지만 본 논문에서 제안하는 LA2D-GA에서는 탐색체내에 각 리더의 고유 위치 정보를 반영하여 진화 과정인 교배(Crossover)와 돌연변이(Mutation)를 수행하기 때문에 빠르고 효과적으로 최적의 채널할당을 찾을 수 있다. 또한 신뢰할 수 있는 RFID 시스템을 실현하기 위해 교정(Repair)과정에서 모든 리더가 안정적으로 태그를 인식할 수 있도록 유전자를 수정한다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 기존의 리더간 주파수 간섭과 유전자 알고리즘을 이용한 채널할당에 대한 연구에 대해 살펴보고, III장에서는 제안하는 2차원 탐색체를 이용한 유전자 알고리즘(LA2D-GA)을 이용한 RFID 리더 채널 할당 기법을 설명한다. IV장에서는 Enhanced Colorwave와 제안하는 LA2D-GA의 성능을 평가한 결과를 살펴본다. 마지막으로 V장의 결론 및 향후 연구로 본 논문을 마무리 한다.

## II. 관련 연구

### 1. 리더간 주파수 간섭

리더간 주파수 간섭은 근접한 위치에 존재하는 리더가 동시에 동일 주파수 혹은 인접하는 주파수를 사용할 때 발생하는 간섭으로 동일 채널 간섭(co-channel interference), 인접 채널 간섭(adjacent channel interference)로 나눌 수 있다.

가. 동일 채널 간섭(co-channel interference)

동일 채널 간섭은 인접한 리더가 동일한 채널을 사용할 때 발생하는 간섭으로 보통 수백 미터 떨어진 리더 간에 영향을 미친다.

그림 1은 RFID 리더들이 동일 채널을 사용할 때 발생할 수 있는 간섭을 보여준다. 리더 A는 태그 A로부터 역산란(back-scattering)된 신호를 받음으로써 데이터를 수집한다. 이때, 리더 A가 인식하는 인접한 리더 B의 신호가 태그 A의 신호보다 클 경우 간섭이 발생하여 데이터 인식률이 떨어지게 된다.

RFID 시스템에서 사용하는 전파 신호에서는 수식 (1)에서 처럼 전송 거리에 비례하고, 사용하는 파장에 반비례하는 손실이 발생한다.

$$PL(dB) = 29 \log_{10} \left( \frac{4\pi l}{\lambda} \right) \quad (1)$$

$l$ 은 전송거리이고,  $\lambda$ 는 파장을 의미한다. 동일 채널에서는 사용하는 파장 즉, 주파수가 동일하기 때문에 신호의 손실은 전송거리와 관련되어 있다. 리더간 간섭 역시 사용하는 신호의 세기와 관련되기 때문에 리더간의 거리와 밀접한 관련이 있다.

유럽지역의 RFID의 표준화를 이끌고 있는 유럽무선통신표준기구 (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) 규격의 최소 리더간 격리 규정을 살펴보면 표 1과 같다. 리더의 ERP(Effective

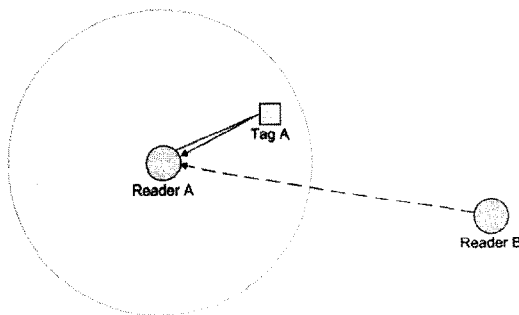


그림 1. 리더의 동일 채널 간섭  
Fig. 1. Co-channel Interference of readers.

표 1. 유럽 ETSI 규격에 준한 최소 리더간 격리  
Table 1. Minimum interval between readers in ETSI.

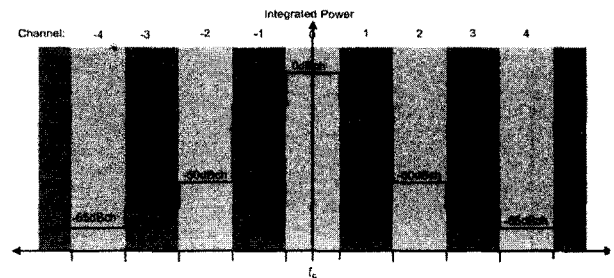
ERP [W]	ERP [dBm]	Threshold [dBm, ERP]	path loss [dB]	min. distance [m]
~ 0.1	~20	≤ -83	103	194
0.1~0.5	20~27	≤ -90	117	485
0.5~2.0	27~33	≤ -96	129	1.069

Radiated Power)가 2.0W, 간섭 신호가 -96dBm 이하일 때, 동일 채널을 사용하는 리더는 최소 1,069m 떨어져 있어야 한다.

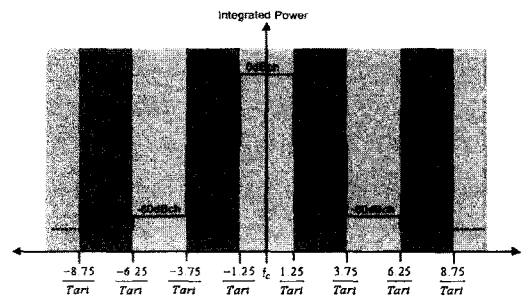
나. 인접 채널 간섭(adjacent channel interference)

간섭을 일으키는 리더들이 다른 주파수를 사용하는 경우, 간섭은 급격하게 감소하지만 지리적으로 인접한 리더 사이에는 무시할 수 없는 간섭이 발생한다. 리더가 감지할 수 있는 신호의 세기 Sensitivity가 -70dBm 이고, 태그의 Sensitivity가 -10dBm일 때 바로 인접한 채널을 사용하는 리더들은 서로 42m 이상 떨어져 있어야 태그의 신호를 인식할 수 있다고 알려져 있다<sup>[5]</sup>.

인접 채널 간섭을 해결하기 위해 EPC global에서는 그림 2에서 보인 것처럼 2가지 스펙트럼 마스크 (spectrum mask)를 규정하여 주파수를 제한한다. 밀집 리더를 구현하는 경우 주어진 RFID 주파수 대역으로 많은 채널을 사용해야 하기 때문에 그림 2(b)에서와 같이 점유대역폭이 좁은 스펙트럼 마스크가 필요하다.



(a) Multiple Readers



(b) Dense Readers

그림 2. 스펙트럼 마스크  
Fig. 2. Spectrum mask.

2. 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)과 채널 할당  
유전자 알고리즘은 자연계에 있는 생물의 진화과정을 모방한 진화 알고리즘 기법이다. 현실 세계의 복잡하고 수많은 해를 갖는 문제에서 지역 해에 빠지지 않고 최적의 해를 찾아내는 전역 최적화 기법이다<sup>[10~11]</sup>.

## 알고리즘 1. 유전자 알고리즘의 동작과정

---

**Algorithm 1 : Genetic Algorithm**

---

```

Begin
  Create initial population
  Evaluate fitness of each chromosome
  while (not satisfy termination condition) do
    Perform Selection
    Perform Crossover
    Perform Mutation
    (Perform Repair)
    Update optimal chromosome by fitness
  end
end

```

---

잠재적인 해들을 염색체(chromosome)로 나타내고, 세대(generation)를 거듭하며 유전 정보를 서로 교환하거나 새로운 유전 정보를 부여하면서 모의 진화를 시킴으로써, 주어진 문제의 조건에 맞는 최적의 해를 찾는다.

유전자 알고리즘은 기본적으로 알고리즘 1과 같이 초기 염색체 생성, 적합도(Fitness) 평가, 선택(Selection), 교배(Crossover), 돌연변이(Mutation), 최적 염색체 갱신, 종결조건 검사 과정을 거친다. 필요에 따라서 교정(Repair)연산을 통해 염색체를 수정할 수 있다.

유전자 알고리즘은 최적의 해를 찾기 위하여 염색체 내의 탐색과정인 교배와, 새로운 염색체로의 탐색과정인 돌연변이 연산을 동시에 수행한다. 따라서 최적해가 지역 해에 고립되지 않고 계산과정이 비교적 간단하다는 장점이 있다. 이런 장점으로 인해 유전자 알고리즘은 이동 로봇 제어, 신경망 합성·학습을 비롯하여 유·무선 통신망 설계와 같은 최적화 문제에 광범위하게 이용되고 있다.

통신망에서 채널 할당 문제는 다수의 제한 조건을 포함하는 최적화 문제이기 때문에 유전자 알고리즘의 적용이 활발하게 연구되고 있다. 예를 들어 Lai and Coghill은 채널 할당 문제를 풀기위해 기존에 사용하던 전형적인 이진 수열 형태의 염색체 대신 채널 번호의 수열을 사용한다<sup>[12]</sup>. 진화 연산에서는 partially matched crossover operator(PMX)와 기본적인 돌연변이를 사용하여 최적의 채널 할당을 찾는다.

L. M. San은 적합도 엔트로피(Fitness entropy)개념을 도입하여 엔트로피 값에 따라 교배와 돌연변이 확률

을 변화시킴으로써 효과적으로 최적 해를 찾는다<sup>[13]</sup>. 최적해는 주어진 채널 제한 내에서 최소의 채널로 충돌 없이 채널을 할당하는 것이다.

이렇게 유전자 알고리즘을 이용한 채널 할당이 활발하게 연구되고 있지만 아직 RFID 시스템에서 리더의 채널 할당에 대한 연구는 매우 부족하다. RFID 시스템에서는 리더간 거리에 따른 주파수 간섭을 고려하여 리더가 안정적으로 태그를 인식할 수 있도록 해야 한다. 본 논문에서는 RFID 환경에 부합하는 리더의 채널 할당을 위하여 리더들 동작 시간을 나누어준 기존의 TDM 방식과 리더간 거리에 따른 주파수 간섭 회피를 동시에 실현할 수 있는 2차원 염색체를 사용한 유전자 알고리즘(LA2D-GA)을 제안한다. 이를 통하여 모든 리더가 충돌 없이 최소의 간섭으로 태그를 인식할 수 있도록 한다. 다음 장에서 유전자 표현 방법과 세부 동작 과정을 자세히 설명한다.

### III. 제안하는 알고리즘

이번 장에서는 RFID시스템 환경에서 충돌 없이 리더에 채널을 할당하기 위한 LA2D-GA을 설명한다. LA2D-GA의 2차원 염색체에는 RFID 리더들의 위치정보가 포함되어 있기 때문에 리더간의 지리적 인접성을 고려하여 연산을 수행할 수 있다. 또한 리더간 거리에 따른 간섭량에 따라 채널 할당 방법을 평가하고 최적해를 탐색한다. 이번 장에서는 LA2D-GA에서 리더의 위치정보 반영 방법 및 진화연산 과정에 대해서 설명한다.

#### 1. 제안하는 알고리즘을 이용한 채널 할당

필드에 임의로 배치된 RFID 리더들은 제안된 LA2D-GA을 사용하여 자신의 채널과 슬롯을 할당받는다. 그림 3은 사용할 수 있는 채널의 개수가 주어졌을 때, 프레임 크기를 임의로 정하여 각 리더에 채널과 슬롯을 할당한 예를 보여준다. 30개의 리더는 10개의 채널, 5개의 슬롯 중에 각각 한 개를 선택하여 이 정보에 따라 자신의 슬롯이 위치한 시간에 자신이 할당받은 채널을 사용하여 태그를 인식하게 된다. 30개의 리더를 위해서는 10개 채널, 3개의 슬롯이면 할당이 가능하지만, 제안하는 LA2D-GA에서는 리더간 주파수 간섭을 고려하여 최소의 리더 간격을 만족해야하는 조건<sup>[6]</sup>을 적용한다. 동일 채널을 사용하는 리더는 최소 1,069m, 인접 채널을 사용하는 리더는 최소 42m 거리가 떨어져

CH 1	Reader 18	Reader 9		Reader 15	
CH 2		Reader 23	Reader 30		
CH 3	Reader 24		Reader 2	Reader 26	
CH 4		Reader 28		Reader 29	Reader 7
CH 5	Reader 10	Reader 6			Reader 25
CH 6	Reader 5		Reader 14	Reader 22	
CH 7		Reader 4		Reader 17	Reader 13
CH 8		Reader 12	Reader 1	Reader 3	
CH 9	Reader 11	Reader 19			Reader 27
CH 10		Reader 16	Reader 20	Reader 8	Reader 21
	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5

Frame 1

그림 3. 리더의 채널 & 슬롯 할당  
Fig. 3. Channel & Slot assignment to readers.

있어야 한다. 따라서 30개의 리더에 단지 3개의 슬롯을 할당하는 것은 불가능 할 수 있다. 리더간 최소 이격 조건을 만족하는 최소의 프레임 크기를 갖는 채널 할당을 찾기 위해 3개의 슬롯부터 프레임 크기를 늘려가면서 제안하는 LA2D-GA를 적용한다.

본 논문에서 모든 리더들은 이동성이 없는 안정한 상태이고 제안된 알고리즘을 통해서 얻어진 채널 할당 방법은 이후의 프레임에도 계속 동일하게 적용된다.

### 2. RFID시스템을 위한 유전자 표현

유전자 표현은 유전자 탐색 공간에서 후보 해를 나타내는 자료의 구조를 의미한다. 정해진 크기의 필드에 무작위로 배치된 리더들을 표현하기 위하여 필드를 일정한 크기의 격자로 나눈다. 각 격자 안에는 오직 한 개의 리더만 위치할 수 있고 각 리더의 구체적인 좌표는 임의로 정해진다. 그림 4는 RFID 리더들의 채널할

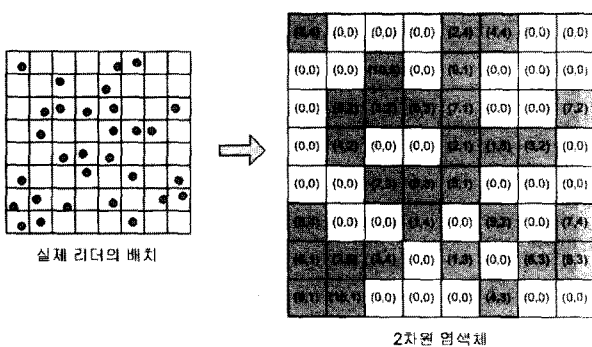


그림 4. 2차원 염색체의 유전적 표현  
Fig. 4. Genetic expression of two-dimensional chromosome.

당을 유전적으로 표현한 예이다. 각 리더는 자신의 채널 번호와 슬롯 번호를 갖는다. 괄호안의 첫 번째 숫자는 그 리더에 할당된 채널 번호이고 두 번째 숫자는 슬롯 번호이다. 검색체 안의 (0,0)의 유전자는 그 격자 안에는 리더가 없다는 것을 나타낸다. 따라서 2차원으로 구성된 검색체는 각 리더의 지리적 위치를 그대로 반영한다.

이후에 리더의 위치와 관계하여 진화 연산을 수행함으로써 리더 간섭에 큰 영향을 미치는 리더의 위치를 고려하여 효과적으로 최적의 해를 찾아간다.

### 3. 초기 검색체 (Initial population)

본격적인 진화 연산에 앞서 효과적으로 검색체 탐색을 시작하기 위하여 좀 더 질이 좋은 초기 검색체를 만들 수 있는 방법을 제안한다. 리더간 간섭은 기본적으로 동일 슬롯을 갖는 리더에 발생하며 리더가 사용하는 주파수와 리더간 거리와 관련된다. 동일 채널을 사용하는 두 리더는 간섭이 크기 때문에 충돌을 방지하기 위해 서로 멀리 떨어뜨려야 하고, 다른 채널을 사용하더라도 사용하는 채널의 주파수 영역이 가까울수록 간섭이 크기 때문에 리더들은 좀 더 멀리 떨어져 있어야 한다. 유럽의 ETSI 규격에 따라 동일 채널을 사용하는 리더는 최소 1,069m 떨어져 있어야하고, 바로 인접한 채널을 사용하는 리더는 서로 42m 이상 떨어져 있어야 한다<sup>[5]</sup>. 이렇게 사용 채널에 따른 리더간 최소 이격거리 조건을 고려하여 그림 5와 같이 검색체를 섹터(sector)로 나누어 각 섹터마다 할당되는 채널과 슬롯을 다르게 한다. 동일 슬롯을 갖는 리더는 충돌 가능성이 있는 리더이기 때문에 채널을 홀수와 짝수의 경우로 나누어 인접 채널이 할당되는 리더를 가능한 멀리 떨어뜨려 놓음

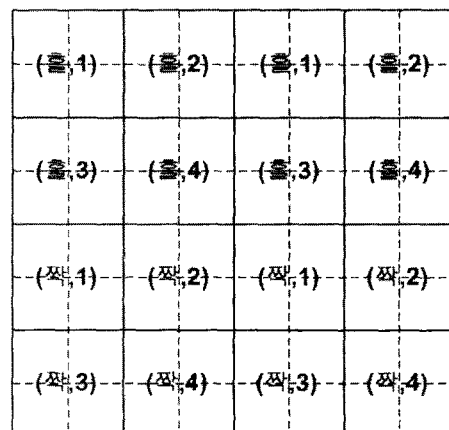


그림 5. 초기 검색체 구성  
Fig. 5. Formation of initial population.

으로써 초기 탐색체가 가능한 리더간 이격거리 조건을 만족할 수 있는 가능성을 높일 수 있다. 동일 채널을 사용하는 리더의 거리 조정은 교정(Repair)연산에서 이루어진다.

4. 적합도 함수 (Fitness function)

최적의 RFID 리더 채널 할당을 이루기 위해서는 리더간 간섭을 최소한으로 줄임으로써 신뢰성 있게 태그 인식할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 채널 할당의 적합도를 모든 리더의 간섭정도의 합으로 판단한다. 리더간의 간섭은 간섭을 일으키는 리더의 전력과 사용하는 채널의 주파수 간격에 반비례한다. 또한 리더의 전력은 거리의 제곱에 비례하기 때문에 리더  $i$ 와 리더  $j$ 간 간섭은 수식 (2)와 같다.

$$P_{i,j} = \frac{1}{d^2} \times \frac{1}{|Ch_i - Ch_j| + 1} \quad (2)$$

$i$ 와  $j$ 는 서로 간섭을 일으키는 리더의 번호를 의미하고,  $d$ 는 리더간 거리,  $Ch_i$ 는 리더  $i$ 가 사용하는 채널의 번호를 말한다. 리더가 사용하는 채널 번호의 차는 사용 주파수 대역의 거리를 의미하기 때문에 채널 번호의 차가 크다는 것은 사용 주파수 대역이 멀리 떨어져 있다는 의미이고 간섭량이 작다는 것을 말한다. 채널 번호 차에 1을 더해준 이유는 동일 채널일 때 분모가 0이 되는 것을 막기 위함이다. 리더간 간섭은 사용 슬롯이 같을 때 발생하기 때문에 리더의 사용 슬롯을 고려하면 RFID시스템에서의 전체 간섭  $F$ 는 수식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F(R, P) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M R_{i,j} P_{i,j} \quad (3)$$

$$R_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{사용 슬롯이 다를 때} \\ 0 & \text{사용 슬롯이 같을 때} \end{cases}$$

$M$ 은 존재하는 리더의 개수를 의미한다. 한 개의 리더에 영향을 주는 다른 모든 리더들의 간섭량을 계산하고, 다른 모든 리더의 경우에도 계산하여 더함으로써 전체 리더의 간섭량, 즉 전체 RFID시스템에서의 간섭량을 얻는다. 이 간섭량이 작을수록 더욱 최적에 가까운 채널 할당이라고 말할 수 있다. 간섭량을 평가하기 위하여 리더간의 통신을 통해 모든 리더의 위치정보와 할당된 채널, 슬롯 정보를 알 수 있다고 가정한다. 간섭량으로 계산된 적합도는 선택(Selection)연산 과정에서 현 세대의 최적 유전자를 판단할 때 기준 값으로 사용된다.

5. 선택 (Selection)

선택은 본격적인 진화 연산 (교배, 돌연변이, 교정)에 앞서 세대의 평균 질을 높이기 위해 사용된다. 본 논문에서는 순위 선택법과 엘리티스트 선택법을 혼합하여 사용한다. 보편적으로 사용되는 룰렛 선택법 대신 순위 선택법을 사용하는 이유는 룰렛 선택법은 간섭량에 비례하여 탐색체를 선택하기 때문에 간섭량의 편차가 크지 않은 경우, 탐색체의 질에 따른 차별성 있는 선택이 이루어지기 어렵기 때문이다. 순위 선택법은 후보 탐색체들을 비용에 따라 정렬한 후 순위를 매기고, 정해진 순위에 비례하여 탐색체를 선택하기 때문에 룰렛 선택법 보다 좋은 탐색체가 뽑힐 확률이 높다. 엘리티스트 선택법은 가장 좋은 비용을 가진 탐색체를 유지하기 위해 사용된다.

6. 진화 연산 (Genetic Operation)

진화 연산은 교배(Crossover), 돌연변이(Mutation), 교정(Repair)으로 나눌 수 있다. 교배는 주어진 탐색체 안에서 더 향상된 조합을 찾기 위해 사용되고, 돌연변이는 임의의 유전자 변형을 통해 탐색체 밖으로 탐색을 수행함으로써 탐색이 지역 해에 고립되지 않도록 한다. 교정에서는 RFID시스템에서 사용 주파수에 따른 최소 이격거리 조건을 고려한 수리 및 평가가 이루어진다.

교배에서는 두 탐색체 사이에 섹터 단위로 유전자 교환이 이루어진다. 기존의 1차원 탐색체의 교배에서는 두 탐색체를 비트 단위로 연산하였기 때문에 리더의 위치에 대한 고려 없이 유전자가 교환 되었다. 따라서 이

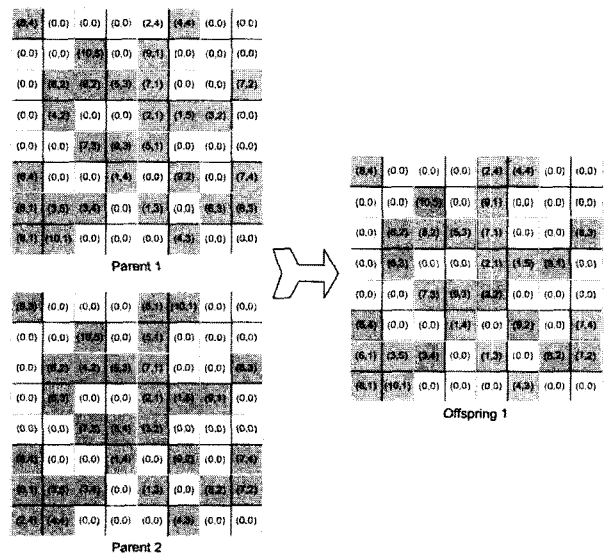


그림 6. 교배연산의 예  
Fig. 6. Example of Crossover.

전에 발견된 좋은 조합이 깨질 가능성이 높다. 본 논문에서 제안하는 교배는 염색체내의 좋은 유전정보를 잃지 않기 위하여 초기 염색체 생성에서 이용된 섹터 단위로 이루어진다. 다음은 교배의 세부과정을 설명한다. 두 부모 염색체(Parent)안의 동일 위치에 있는 섹터 중에 하나를 선택하여 새로운 자식 염색체의 해당 섹터를 만든다. 동일한 방법으로 나머지 섹터를 선택하여 하나의 자식 염색체(Offspring)가 만들어 진다. 그림 6은 교배 연산의 예를 보여준다.

가로8 × 세로8=64개의 유전자를 가진 부모 염색체를 가정하여 각각 16개 섹터로 나눈다. 자식 염색체는 임의로 두 부모 염색체 중에 하나의 섹터를 선택하는 방법으로 16개의 섹터를 구성한다.

돌연변이는 리더의 채널과 슬롯을 변화시킴으로써 최적의 염색체를 탐색한다. 각 리더는 돌연변이 발생 확률에 따라 자신의 채널과 슬롯을 임의의 다른 값으로 바꾸는 방법으로 해당 염색체가 가지지 못하는 조합을 탐색하게 된다. 이것은 염색체내 탐색이라는 교배의 한계를 보완해 주어서 지역적인 탐색에서 뿐 아니라 전역적인 탐색이 가능하게 한다.

교정은 충돌이 일어날 수 있는 동일 슬롯에서 동작하는 리더들 중에 동일 채널을 사용하는 리더와 인접 채널을 사용하는 리더로 구분하여 동작한다. 동일 슬롯, 동일 채널을 사용하는 리더들은 리더 이격거리 조건에 따라 필드의 크기가 1.069m×1.069m보다 클 경우, 리더 이격거리 조건보다 멀리 떨어지도록 이동시키고, 필드 크기가 작을 경우에는 다른 비어있는 슬롯, 채널을 할당하여 충돌을 피한다. 동일 슬롯, 인접 채널을 사용하는 리더들은 리더간 42m 이상 떨어져 있는지 평가받는다. 조건을 만족할 경우 최적 염색체가 될 수 있지만 조건이 만족하지 않는 경우에는 최적 염색체의 후보로 고려하지 않는다. 교정 연산은 RFID시스템 환경에 적합한 채널의 할당을 찾게 하여 모든 리더가 높은 신뢰도로 태그를 인식할 수 있도록 한다.

#### IV. 실험

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 LA2D-GA와 기존의 리더 충돌 방지 알고리즘 Enhanced Colorwave과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교·분석한다.

##### 1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션을 수행하기 위하여 표 2에서와 같이 조

표 2. 시뮬레이션 파라미터  
Table 2. Simulation parameter.

Parameter	Value
필드 사이즈	80 × 80 m <sup>2</sup>
격자 크기	10 × 10 m <sup>2</sup>
RFID 리더 개수	30 개
가용 채널 개수	10 개
처음 프레임 크기	3 슬롯
돌연변이 발생확률	10 %

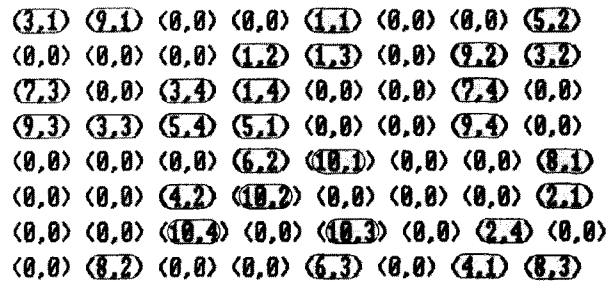


그림 7. RFID 리더의 채널·슬롯 할당의 예  
Fig. 7. An example of channel-slot assignment.

표 (x=0, y=0)와 (x=80, y=80) 사이의 필드를 80 × 80 m<sup>2</sup>의 크기로 가정하고 30개의 RFID 리더를 분포시킨다. 리더를 필드내 임의의 좌표에 배치하되, 리더들의 전송 범위를 고려하여 10 × 10 m<sup>2</sup> 격자 안에 오직 하나의 리더만 위치할 수 있도록 한다. 필드에 8 × 8 = 64개의 격자가 만들어 지고 하나의 격자는 염색체 내의 하나의 유전자를 나타낸다. 따라서 염색체의 크기는 격자의 개수와 동일하게 8 × 8 이다. 교배 연산은 염색체를 2 × 2 크기의 격자 16개 즉, 16개의 섹터로 나누어 수행한다.

본 논문에서 제안하는 LA2D-GA을 통해서 30개의 RFID 리더에 10개의 채널을 할당하기 위해서는 최소한 프레임 크기 4, 즉 4개의 슬롯이 필요하다. 3개의 슬롯 만으로 채널 할당을 시도할 경우에는 인접 채널을 사용하는 리더들 간의 최소 격리 거리인 42m 조건을 만족시키는 해를 찾을 수 없다. 물론 동일 슬롯에 동일 채널을 사용하는 리더는 1,069m 이상 떨어져 있어야 하기 때문에 80×80 m<sup>2</sup>크기의 필드에 공존할 수 없다. 따라서 비어있는 다른 채널과 슬롯을 할당해야 한다. 4개의 슬롯을 사용하여 채널 할당을 시도했을 때 약 72%의 확률로 리더 최소 격리 거리 조건을 만족하는 채널 할당을 찾을 수 있다. 절반 이상의 시도에 최적의 채널 할당을 찾을 수 있기 때문에 다음 절에서 분석하는 LA2D-GA의 결과는 프레임 크기 4로 하여 얻어진 결

과를 사용한다. 그림 7은 필드의 RFID 리더들에 채널과 슬롯을 할당한 예이다.

2. 시뮬레이션 결과 분석

본 논문에서 제안하는 RFID 충돌방지 알고리즘의 성능은 프레임 크기, 프레임 효율, 그리고 리더 이용률을 이용하여 평가하였다. 리더는 한 프레임에 하나의 슬롯을 선택하여 태그를 인식하기 때문에 프레임 크기가 작을수록 더 많은 태그 인식 기회를 얻는다. 프레임 효율은 이 자원들을 얼마나 충돌 없이 많이 사용하였는가, 즉 얼마나 효율적으로 사용하였나를 측정하기 때문에 시스템의 성능을 표현할 수 있다.

리더의 이용률은 주파수에 따른 리더간 최소 이격거리 조건을 이용한다. 이 조건을 만족하지 못하는 리더는 주위 태그의 데이터를 손실 없이 인식할 수 있다고 보장할 수 없다. 따라서 리더 이용률은 해당 충돌 방지 알고리즘을 통하여 전체 리더 중 얼마나 많은 리더가 안정적으로 동작할 수 있는지 가늠할 수 있는 중요한 지표이다.

그림 8은 시간의 경과에 따른 각 알고리즘의 프레임 크기 변화를 나타낸다. Enhanced Colorwave의 경우 시간이 지나면서 최적의 프레임 사이즈를 찾아간다. 리더의 충돌 확률이 변함에 따라서 초기에 프레임 크기 3, 4, 5 사이에서 변동이 있고 점차 프레임 크기 5로 안정되는 모습을 보인다. 반면 LA2D-GA는 RFID시스템의 동작 중에 충돌 방지 알고리즘이 동작하는 것이 아니라 미리 최적의 리더 채널 할당을 찾아낸 후 RFID시스템에 적용하기 때문에 시간에 따른 변동 없이 프레임 크기 4를 유지한다. Enhanced Colorwave의 안정된 프레임 크기 5와 비교할 때, LA2D-GA를 사용할 때 프레임

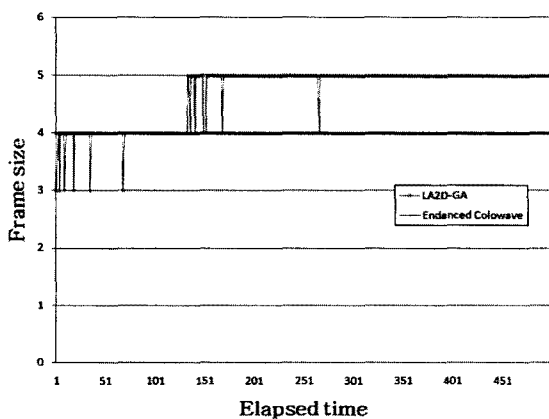


그림 8. 시간에 따른 프레임 크기의 변화  
Fig. 8. Frame size vs. Elapsed time.

크기가 1만큼 작기 때문에 그만큼 자주 태그 인식 기회를 갖는다.

그림 9는 시간의 경과에 따른 프레임의 효율을 나타낸다. LA2D-GA의 경우 슬롯4 × 채널10의 자원을 30개의 리더가 골고루 사용하기 때문에 (30/40)\*100 = 75%의 확률을 유지한다. Enhanced Colorwave는 43% 정도의 효율을 보인다. 이때 프레임 크기 3, 4, 5에 따라서 프레임 효율 100%, 75%, 60%가 아닌 훨씬 낮은 값을 갖는 이유는 Enhanced Colorwave 기법의 경우 채널에 대한 간섭에 대한 고려가 없기 때문에 충돌에 대한 처리 없이 같은 채널을 사용하는 리더가 많기 때문이다. 프레임 효율이 43%이기 때문에 리더 30개 중 13개 정도가 충돌 없이 동작하고 나머지 리더인 17개, 즉 56.67%정도의 리더가 충돌을 일으킨다고 볼 수 있다. 따라서 주어진 채널을 효율적으로 사용하지 못한다고 할 수 있다.

그림 10은 시간에 따른 리더 이용률을 나타낸다. 리

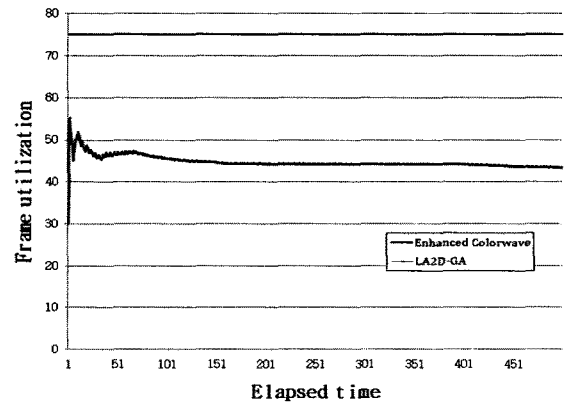


그림 9. 시간에 따른 프레임 효율의 변화  
Fig. 9. Frame utilization vs. Elapsed time.

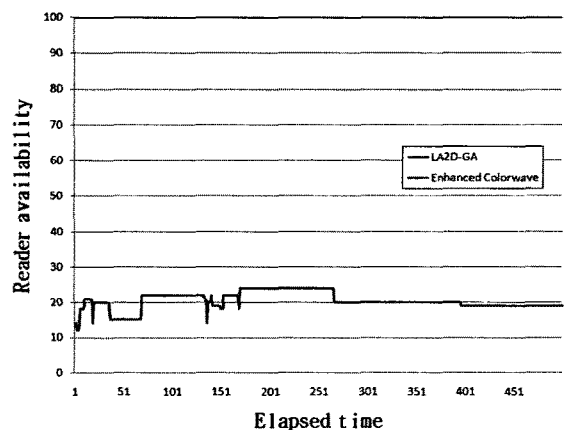


그림 10. 시간에 따른 리더 이용률의 변화  
Fig. 10. Reader availability vs. Elapsed time.



더 이용률은 전체 리더 중에 주파수에 따른 리더의 최소 이격거리 조건을 만족하는 리더의 비율로써 이 값을 통하여 RFID 시스템 전체의 신뢰도를 가늠할 수 있다. LA2D-GA의 경우 최소 이격거리 조건을 만족하는 최적의 채널 할당을 찾기 때문에 모든 리더의 동작을 보장할 수 있다. 하지만 Enhanced Colorwave는 약 20%의 리더만이 정상적으로 동작하는 것을 볼 수 있다. 거리에 따른 주파수 간섭의 알고리즘이 없기 때문에 리더 이용률은 전혀 개선되지 않고 매우 낮은 확률에서 불규칙하게 머물게 된다.

본 절에서는 Enhanced Colorwave와 본 논문에서 제안하는 LA2D-GA의 알고리즘을 통하여 RFID 리더의 충돌 줄일 때 성능을 분석하였다. Enhanced Colorwave는 기존의 Colorwave에 비하여 작은 프레임 크기를 유지하고 좋은 프레임 효율을 갖는다<sup>[8]</sup>. 하지만 시뮬레이션에서 알 수 있듯이 여전히 많은 충돌을 나타내고 있다. 따라서 주파수 간섭의 측면에서 분석했을 때 리더들의 안정적인 동작을 기대하기 힘들다. 본 논문에서 제안하는 LA2D-GA는 모든 노드가 안정적인 성능을 유지하기 때문에 전체 RFID시스템의 신뢰도를 높일 수 있다.

## V. 결 론

기존의 RFID 리더 충돌방지 기법들 중 Colorwave와 Enhanced Colorwave는 각 리더가 동작하는 시간의 영역을 나누어 리더들의 충돌 확률에 따라 프레임 크기를 변화시키면서 효율적으로 태그를 인식한다. 하지만 충돌이 발생할 때 각 리더는 임의의 다른 슬롯을 할당받기 때문에 계속 충돌이 일어난다. 또한 거리에 따른 주파수 간섭의 고려가 없기 때문에 현실적으로 충돌을 효과적으로 방지하지 못한다. RFID 리더들은 리더간 거리에 따라서 큰 주파수 간섭을 일으킨다. 따라서 리더에 채널을 할당할 때는 리더들이 사용하는 채널, 간섭을 일으키는 리더들 간의 거리, 리더들이 동작하는 시간을 복합적으로 고려하여 리더들을 적절하게 배치해야 한다. 본 논문에서 제안한 LA2D-GA는 2차원 검색체를 사용하여 최적의 채널 할당을 찾는다. 실질적으로 리더간 충돌을 일으키는데 영향을 미치는 요인인 리더들의 사용 채널, 리더간 거리, 동작 시간을 고려하여 리더들에 채널을 할당하기 때문에 효율적으로 충돌을 방지할 수 있다. 특히 간섭을 일으키는 리더들이 사용하는 주파수에 따라 달라지는 리더간 최소 이격거리를 평가함

으로써 모든 리더가 성공적으로 태그를 인식할 수 있도록 한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘에서는 최적화 문제를 단순화하기 위해 채널할당의 적합도를 평가할 때 리더간의 거리와 사용하는 채널만을 이용한다. 하지만 실제 리더의 간섭은 안테나의 방향이나 리더들의 이동성 등에 의해 달라질 것이다. 이런 점을 반영한다면 좀 더 실질적으로 충돌을 방지할 수 있는 RFID 리더 채널 할당이 가능할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 장병준, 박준석, 성영락, 오하령, "RFID dense 모드 지원을 위한 medium access 기술", *한국통신학회지*, 23(12), pp. 17-28, 2006.
- [2] 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.
- [3] Feng Zhou, Chunhon Chen Dawei Jin, Chenling Huang, and Hao Min, "Evaluating and optimizing power consumption of anti-collision protocols for applications in RFID systems", in *Proceedings of the International Symposium on Low Power Electronics and Design*, pp. 357-362, 2004.
- [4] 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.
- [5] 정병현, "RFID 주파수 간섭 완화 방안 연구", in *REG Korea, On-Line Forum*, 2007.
- [6] 옥치영, 권성호, 최진철, 이채우, "RFID 시스템에서의 적응형 리더 충돌 방지 알고리즘", *전자공학회지*, 45CI, pp. 53-63, 2008.
- [7] J. Waldrop, D. W. Engels, S. E. Sarma, "Colorwave : An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem," in *Proc. of IEEE International Conference on Communications*, May 2003.
- [8] 이수련, 이채우, "RFID 시스템에서의 개선된 Colorwave 충돌방지 알고리즘", 2005 Joint Conference on Communications Informations, 2005년 4월
- [9] Z. J. Lee, C. Y. Lee, "A hybrid search algorithm with heuristics for resource allocation problem", *Information Sciences* 173 (1-3), pp. 155-167, 2005.
- [10] M. Mitchell, *An Introduction to Genetic*

*Algorithms*, MIT Press, Cambridge, MA, 1996.

- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] L. M. San Jose-Revuelta, "A new adaptive genetic algorithm for fixed channel assignment", *Information Sciences* 177, pp. 2655-2678, 2007.

---

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>