

RFID 네트워크에서 제약만족을 이용한 리더의 타임슬롯 최적화를 위한

제약조건 모델링

박승보^a, 유영훈^a, 조근식^b

^a인하대학교 공과대학 정보공학과, 인천 남구 용현4동 253

Tel: +82-32-875-5863, Fax: +82-32-875-5863, E-mail: {molaal, yhyu}@eslab.inha.ac.kr

^b인하대학교 공과대학 컴퓨터정보공학부, 인천 남구 용현4동 253

Tel: +82-32-875-5863, Fax: +82-32-875-5863, E-mail: gsjo@inha.ac.kr

Abstract

차세대 유비쿼터스 환경에서 중요한 기술적, 산업적 위치를 차지하는 RFID 네트워크에는 다수의 RFID 리더(Reader)와 수많은 RFID 태그(Tag)들이 통신을 하면서 존재하게 된다. 이러한 RFID 네트워크에서 리더와 태그간의 원활한 통신을 위해서는 주파수 충돌이 발생하지 않아야 한다. 주파수 충돌 현상은 리더와 다수의 태그들 간의 태그 충돌(Tag Collision)과 리더간 주파수 간섭으로 인한 리더간 충돌(Reader Collision)로 나뉘어 질 수 있다. 따라서 리더간 충돌 현상을 피하기 위해서는 근접한 리더들 간에 서로 다른 타임슬롯(Timeslot)을 사용하여 태그와 통신을 시도하여야 한다. 본 연구에서는 RFID 네트워크에서 다수의 리더간 충돌을 최소화하며 안전한 태그 인식을 할 수 있도록 타임 슬롯 할당 문제를 CSP(Constraint Satisfaction Problem)로 접근한다. 그리고 CSP를 풀기 위해 리더간 충돌 문제가 가지고 있는 제약조건을 찾아내고 해를 찾기 위한 목적함수를 모델링 한다.

Keywords:

Reader, Collision, CSP, Constraint, RFID, Colorwave

1. 서론

RFID(Radio Frequency Identification) 기술은 물건에 고유 ID 태그를 부여하고 원격으로 ID를 인식할 수 있도록 한 기술로 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경을 구축하기 위한 주요한 기술로 인식되고 있다. RFID 시스템은 일반적으로 RFID 태그와 RFID 리더와 RFID 미들웨어(Middleware) 등으로 이루어져 있는데 이러한 요소들로 이루어진 네트워크를 RFID 네트워크라 한다[12].

RFID 네트워크에서 태그는 전원의 유무에 따라서 전원을 포함하고 있는 능동형 태그와 전원이 없는 수동형 태그로 분류된다[12]. 전원을 포함하고 있는 능동형 태그라 하여도 FDMA, CDMA, CSMA와 같은 다중 분할 방식의 기술을 적용할 경우, 태그의 내부 구조가 복잡해져야 하고 많은 파워를 소비하게 된다. 따라서 값싼 가격에 제작되어야 하는 태그에 이러한 기술은 사용될 수 없다[1]. 따라서 단일 주파수를 사용하여야 하는 조건을 만족시키면서 태그의 파워소비와 제조원가를 줄이기 위해 RFID 네트워크의 리더와 태그간 통신은 TDMA 기술을 사용하는 것이 적합하다[1][13]. 즉 단일 주파수를 시간 축 상에서 여러

개로 나눈 타임슬롯 중 하나를 리더에 할당하여 정해진 시간에 태그와 통신을 실행하게 하는 기술이 적합하다는 것을 의미한다.

RFID 네트워크에서 리더는 주변의 전파도달 반경 내에 존재하는 태그들의 데이터를 수신하게 된다. RFID 네트워크 내에는 이러한 동작을 하는 다수의 리더와 다수의 태그들이 존재하게 되는데 리더가 전파를 발신하여 태그의 ID를 읽을 때 발신된 전파가 다른 리더에 도달하게 되거나 다른 리더가 읽으려고 한 태그에 동시에 도달하게 되면 주파수 간섭현상이 발생하게 되어 ID를 읽지 못하는 일이 발생한다. 이렇게 리더간 직접간섭이나 다수 리더의 태그 동시 접속 시도 시에 발생하는 충돌 문제와 같이 리더로 인한 간섭들을 통칭하여 리더간 충돌(Reader Collision)이라 한다[13]. 이외에도 RFID의 충돌(Collision)에는 태그 충돌(Tag Collision)이 있으나[13] 본 논문에서는 리더간 충돌의 해결에 그 목표를 두겠다.

리더간 충돌 문제를 풀기 위한 하나의 방법으로 충돌이 발생할 수 있는 리더들은 서로 다른 시간대에 태그와의 통신을 실행 하면 된다. 즉 충돌이 발생할 수 있는 리더간에는 서로 다른 타임슬롯을 할당시키는 것이다. 하지만 무규칙적으로 서로 다른 타임슬롯을 할당하다 보면 사용되는 타임슬롯의 개수가 늘어나게 되고 전체의 리더가 태그의 데이터를 읽어 들이는데 필요한 총 시간이 증가하게 된다. 따라서 사용되는 타임슬롯의 개수를 최소화 시켜야 한다. 이러한 특징을 갖는 리더간 충돌 문제는 각 지역을 서로 다른 색으로 색칠하는 지도색칠(Map coloring) 문제와 유사하다[1][2][3][5][13]. 지도색칠 문제는 색칠해야 하는 지역이 증가할수록 풀기 힘든 문제로 NP-hard 문제가 되며[7][8][9] 또한 리더간 충돌 문제 역시 NP-hard 문제가 된다. 따라서 리더간 충돌 문제를 풀기 위해 해를 찾아야 하는 탐색공간을 축소할 필요가 있다. 이렇게 하기 위해 본 논문에서는 리더간 충돌 문제의 최적 해를 찾기 위한 문제의 제약조건과 목적함수를 찾아내어 문제를 CSP로 모델링 하고자 한다. RFID 기술과 리더간 충돌이라는 도메인에 존재하는 제약조건을 찾아내어 CSP로 모델링하므로 탐색

공간을 축소하여 효율적인 탐색이 이루어지도록 할 수 있고 최소한의 타임슬롯의 개수와 각 리더에 적절한 타임슬롯을 할당 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 리더간 충돌 문제와 이 문제를 해결하려는 관련 연구에 대하여 설명하고 3장에서는 리더간 충돌 문제의 CSP 모델링을 위한 제약조건들과 목적함수를 제시하겠다. 그리고 마지막으로 연구에 대한 결론과 향후 연구과제에 대해 기술하겠다.

2. 관련연구

2.1. 리더간 충돌 문제(Reader Collision Problem)

리더간 충돌 문제는 그림 1과 그림 2와 같이 ‘리더와 리더간의 간섭’과 ‘리더들과 태그간의 간섭’으로 크게 2가지 종류로 나뉘어 질 수 있다[1][5][13].

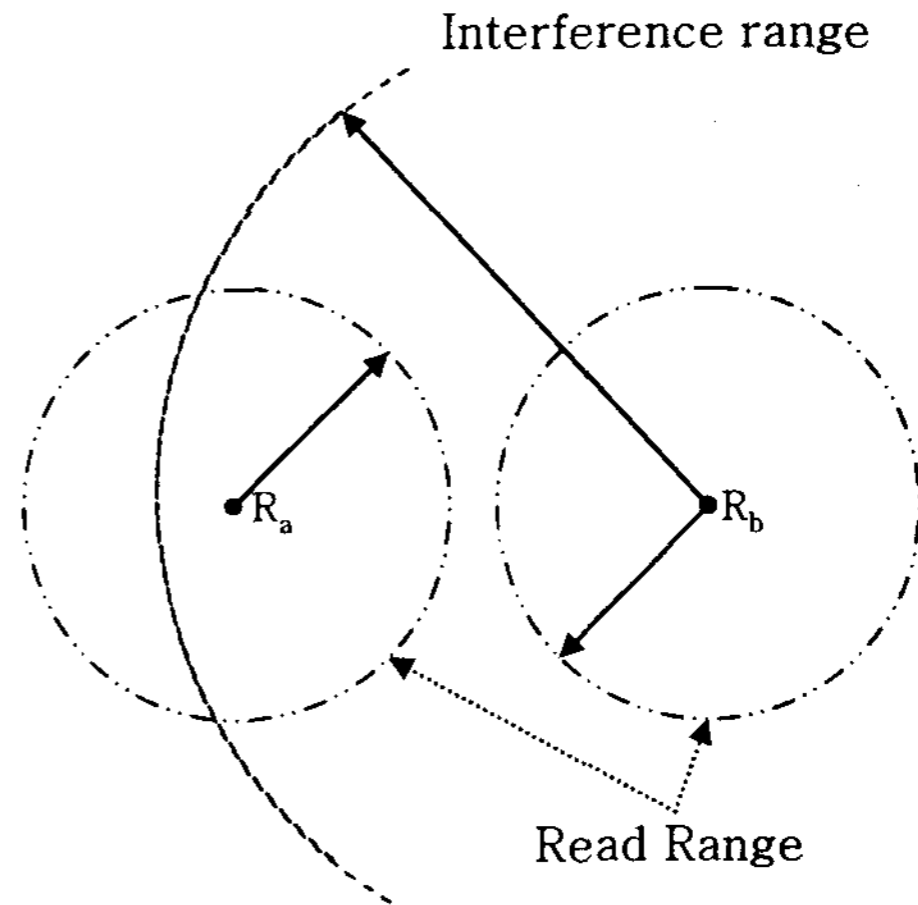


그림 1- 리더와 리더간의 간섭

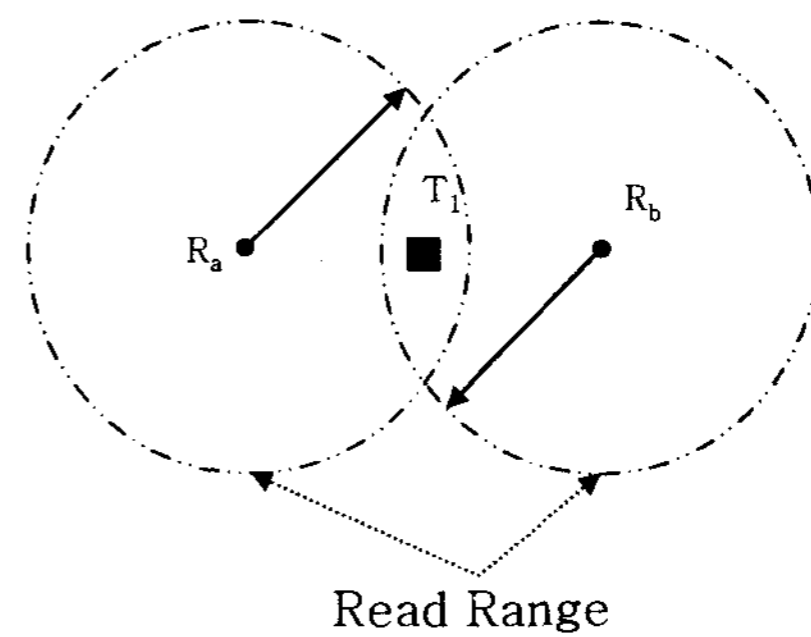


그림 2- 리더들과 태그간의 간섭

그림 1의 리더와 리더간의 간섭은 R_b 에서 발생한

전파가 R_a 의 안테나에 도달되는 경우로 리더간의 직접적인 전파 간섭에 기인한다. 그리고 그림 2의 리더들과 태그간의 간섭은 2개 이상의 리더의 전파가 1개의 태그에 동시에 도달되어 태그가 어떤 리더의 요청에도 응답을 할 수 없게 되는 상태로 태그에서 전파 간섭이 발생하게 되는 경우이다. 두 경우 모두 리더들이 서로 다른 시간대의 타임슬롯을 사용하면 해결될 수 있는 경우이나 리더에서 발생한 전파의 특성에 따라 영향을 미치는 거리는 달라질 수 있다.

2.2. 관련 연구

전파 간섭 문제를 풀기 위한 연구는 과거로부터 다양하게 이루어져 왔다. 전파 간섭 문제는 송신소에 주파수 할당을 하는 문제로써 이를 풀기 위해 신경 회로망[10], Simulated Annealing[4]과 유전자 알고리즘[11] 등의 방법론을 사용하는 연구들이 과거로부터 진행되어 왔다. 그리고 최근에 RFID 기술이 부각되면서 리더간에도 간섭 현상이 큰 문제로 대두되었고, 이러한 간섭 현상을 풀기 위한 연구가 시작되었다. D.W. Engels는 2002년 발표한 논문에서 리더간 충돌 문제를 그래프 이론으로 표현하였고 리더간 충돌 문제가 지도색칠 문제와 유사하다는 것을 발표하였다.

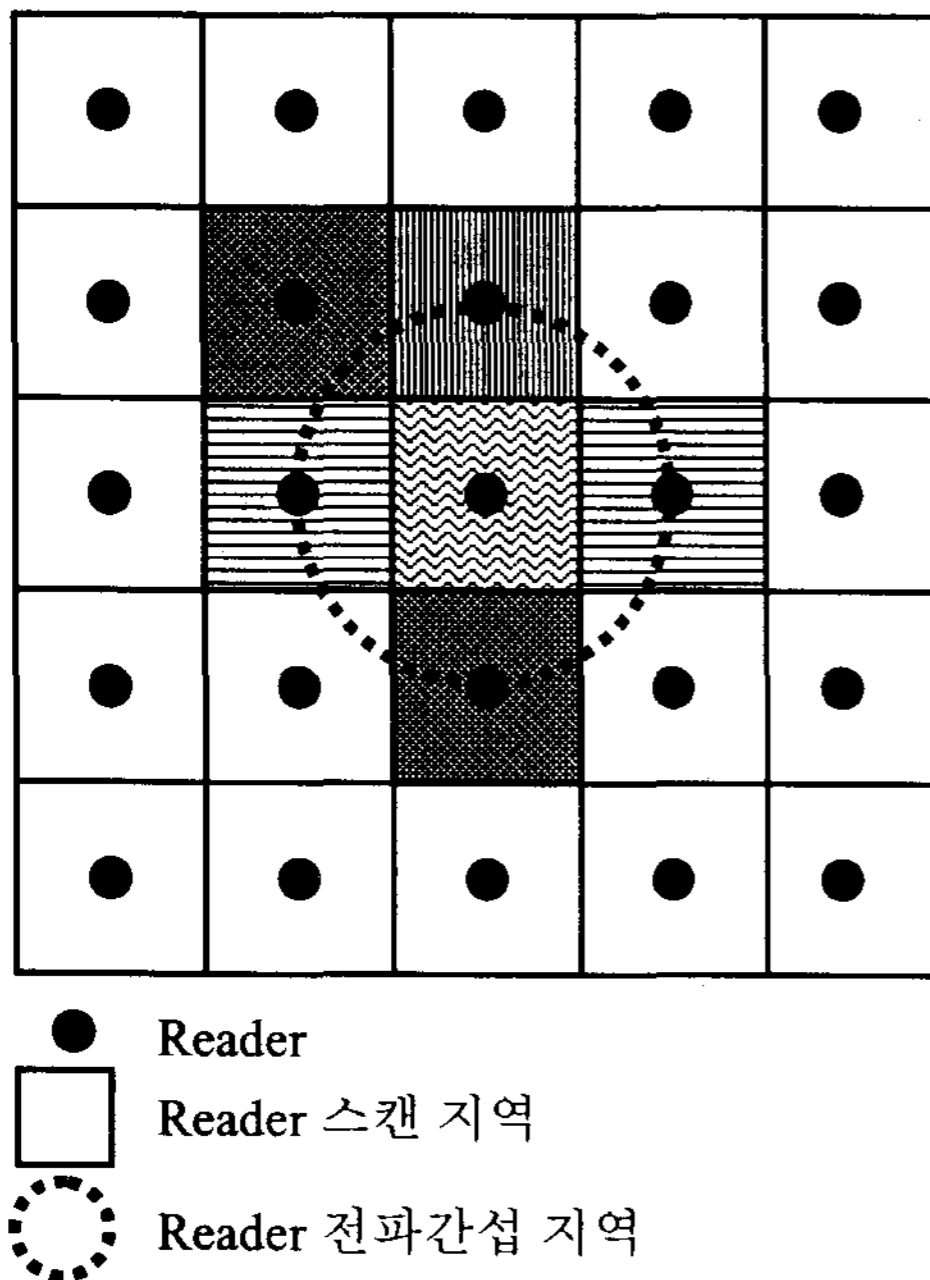


그림 3- 리더간 충돌 문제의 Coloring

또한 리더간 충돌 문제에서 고려되어야 할 간섭 상황을 정리하였다[5]. 이 후 리더간 충돌문제를 풀기 위한 다양한 연구들이 시도되었는데 이중 대표적인 방법은 Colorwave라는 알고리즘(Algorithm)이다[3].

Colorwave란 그림 3과 같이 리더들에 서로 다른 타임슬롯을 할당하여 간섭 현상이 발생하지 않도록 하는 방법으로 간섭 현상이 발생한 리더의 타임슬롯을 변경해가면서 모든 리더가 간섭 현상이 발생하지 않도록 하는 타임슬롯 할당 알고리즘이다. Colorwave 알고리즘은 리더간 충돌 문제를 Engels의 연구에서 사용된 적용하여 리더를 정점(Vertex)로 놓고 충돌 제약을 간선(Edge)으로 놓은 다음 정점의 색을 선택하는 문제로 접근하였다.

DCS Subroutine 1 - Transmission:

- If transmission requested:
 - If (timeslot ID % max colors) == current color
 - * then transmit
 - * else idle until (timeslot ID % max colors) == current color

DCS Subroutine 2 - Collision:

- If attempted transmission but experienced collision:
 - current color == random(max colors)
 - broadcast kick stating new color

DCS Subroutine 3 - Kick resolution:

- If kick received stating current color
 - randomly change to different color within max colors

Colorwave Subroutine 1 - Color Change

- If collision percentage is past SAFE threshold AND time spent in current max color exceeds min time threshold
 - Change max color up or down one (depending on threshold exceeded).
 - Next iteration, initiate kick to new max color.

Colorwave Subroutine 2 - Kick Resolution

- If kick received stating current color
 - change to random color within max colors OTHER THAN current color
- If kick received stating change to new max color AND collision percentage is past TRIGGER threshold AND time spent in current max color exceeds min time threshold
 - Change max color to kicked value.
 - Next iteration, initiate kick to new max color.

그림 4 - Colorwave pseudo-code

즉 정점을 색칠할 때 간선이 연결된 정점은 다른 색으로 칠하되 사용 되는 색의 총 수를 최소화 시키는 문제로 간주하였다.

Colorwave 알고리즘은 DCS(Distributed Color Selection) 알고리즘을 개선한 것으로 그림 4의 DCS Subroutine 2 부분과 같이 리더간 충돌 현상이 발생하면 충돌이 발생한 리더에 무작위(Random)로 새로운 색(Timeslot)을 할당한다. 새로운 색을 지정하는 방식은 DCS 알고리즘(DCS Subroutine 1~3)과 동일하나 필요 색상 변수(max colors)를 변경시키는 서브루틴(Colorwave Subroutine 1~2)을 추가로 두어 RFID 네트워크의 특성에 맞는 색의 개수를 찾을 수 있도록 DCS를 개선한 알고리즘이다. 하지만 RFID 네트워크에 적합한 필요 색상 변수를 알아내기 위해서 무작위로 새로운 색을 지정하는 것은 상당한 회수의 시행착오를 반복해야 한다. 따라서 많은 시간이 걸리고 최적의 해를 찾지 못할 수 있다는 단점이 존재한다.

따라서 기존의 연구들이 리더간 충돌 문제를 지도 색칠 문제로 인식하고 최소개의 색 수를 찾는 것이 문제의 해를 구하는 것이라고 판단한 것은 의미가 있으나 해를 얻는 방법론에서는 추가적인 연구가 필요한 상황이다. 즉 최적의 해를 빠르게 찾기 위해 탐색공간의 축소가 필요하고 TDMA 기술을 사용하는 RFID 시스템에 적합한 제약조건들에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 리더간 충돌문제의 모델링

앞에서 언급하였듯이 리더간 충돌 문제를 빠르게 풀기 위해서는 탐색공간의 축소가 필요하다. 탐색공간의 축소는 문제의 분야에 존재하는 제약조건들을 잘 찾아내었을 때 가능하다. 이렇게 제약조건을 가지고 탐색공간을 축소하는 방법론이 CSP 알고리즘이다. 즉 CSP의 해를 찾는 과정이 제약조건을 만족하면서도 도메인의 값들을 모든 변수에 할당하는 것이고 이러한 과정을 통해서 주어진 목적에 맞는 최적의 해를 찾아가는 과정이다. 따라서 CSP로 표현된 문제는 제약조건 전파를 통해 해를 가질 수 없는 탐색공간을 제거하여 효율적인 해를 구할 수 있게 한다.

3.1. 기본 개념

CSP는 유한 이산 도메인(Domain)을 가지는 유한개의 변수(Variable)들의 집합과 제약조건(Constraint)집합에 의해 문제를 정형화시키고 일치성 검사와 휴리스틱 검색 알고리즘을 적용하여 문제를 해결하는 방법이다[7]. CSP의 정의에 의한 표현을 하면 다음과 같이 쓰여진다[8].

CSP $\langle V, D, C \rangle$

V : 유한개의 변수의 집합 $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$

D : 유한개의 가능한 값의 집합 $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, D_i 는 V_i 의 도메인

C : 유한개의 제약조건들의 집합 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, C_i 는 V가 가질 수 있는 값들을 제한함

CSP는 제약조건 그래프 $G=(V, E)$ 로 표현되는데 정점(Vertex) $v \in V$ 는 주어진 변수를 의미하고 간선(Edge) $e \in E$ 는 제약조건을 의미한다. 그래프 G는 정점들과 간선들의 집합인데 정점들은 유한집합 $V(G)$ 로 표현되고 간선들은 임의의 정점 (u, v) 에 의한 유한집합 $E(G)$ 로 표현된다. 그리고 정점 u의 이웃한 정점을 인접(Adjacent)하다고 표현하고 u와 붙어있는 간선을 근접(Incident)하다고 표현한다. 정점의 차수(Degree)는 정점에 근접된 간선의 개수를 의미한다.

RFID 네트워크의 리더들을 최소의 타임슬롯의 개수로 할당하는 문제는 그래프 색칠 문제를 푸는 것과 유사하다[5][13]. 이는 RFID 네트워크 역시 정점과 간선의 집합들로 표현될 수 있는데, 리더들은 정점으로 표현되고 리더간의 제약들은 간선으로 표현될 수 있고 정점 색칠(Vertex Coloring) 문제처럼 인접한 정점끼리는 서로 다른 색이 지정되어야 한다는 제약조건을 갖기 때문이다.

앞의 그림 3의 RFID 네트워크상의 리더의 색칠 문제는 그림 5와 같은 그래프로 표현이 가능하고 정점 색칠문제로 등치시킬 수 있다. 즉 리더간 충돌을 피하기 위해 타임슬롯 할당 문제는 k개의 색을 이용하여 정점을 색칠하는 k-coloring 문제와 유사하다. 따라서 리더의 타임슬롯 할당을 위한 그래프를 색칠하는

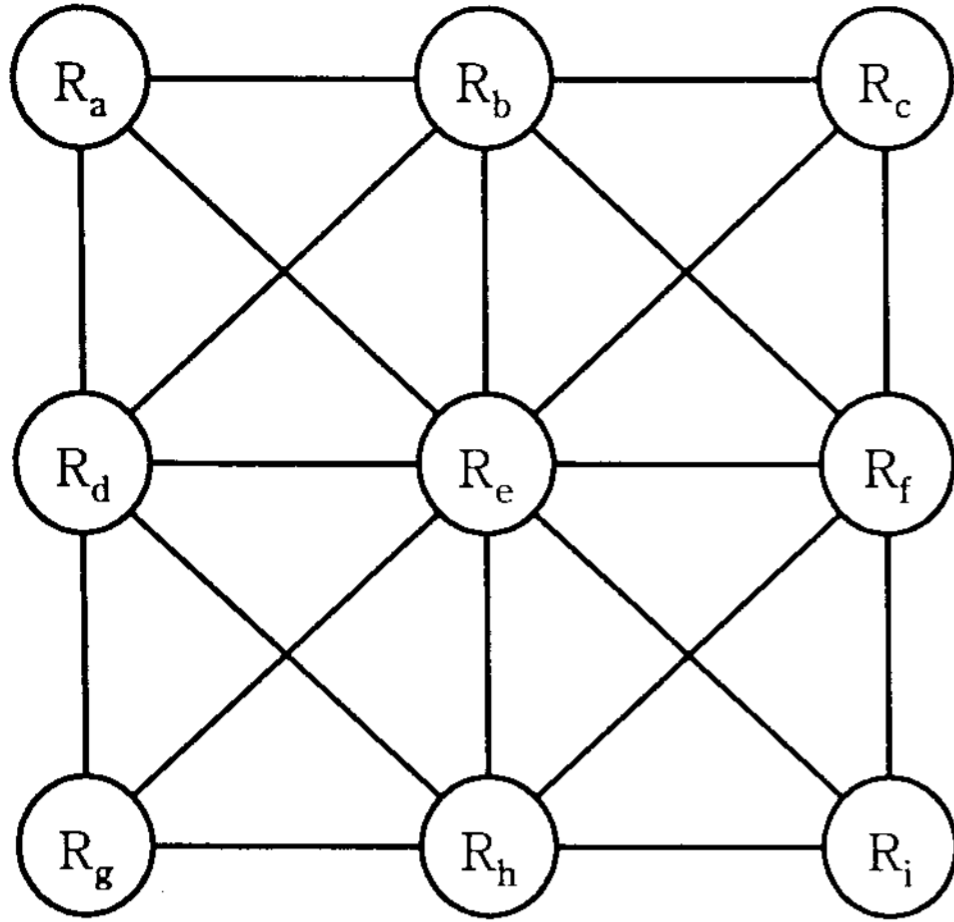


그림 5- 리더간 충돌 문제의 그래프

문제 또한 NP-hard인 문제가 된다[6][7][8][9].

그래프 G의 k-coloring 문제는 인접한 정점과 서로 다른 색에 해당하는 정수 값을 각각 할당하는 문제이다. k-coloring에서 최소한의 색 숫자를 의미하는 k 값을 G의 색수(Chromatic number)라 하고 기호로 $\chi(G)$ 로 표시한다. 하지만 그래프 G에 대한 $\chi(G)$ 를 구하는 문제는 NP-complete 하다[9].

3.2. 리더간 충돌문제의 CSP 모델링

이번 절에서는 리더간 충돌에 대한 그래프의 k-coloring 문제를 풀기 위해 위에서 서술한 CSP로 문제를 표현하고 RFID 네트워크에 존재하는 제약조건을 찾아내어 제약식으로 표현하고 각 제약조건 의미에 대해 설명하겠다.

리더간 충돌 문제를 CSP로 표현하면 다음과 같다.

CSP $\langle V, D, C \rangle$

V : Readers = $\{R_1, R_2, R_3, \dots, R_m\}$

D : Timeslots = $\{ts_1, ts_2, ts_3, \dots, ts_n\}$

C : 제약조건

$$C_1 : ts_i \neq ts_j$$

$$C_2 : |ts_i - ts_j| \geq d \quad (d \cong 2)$$

$$C_3 : |ts_i - ts_j| \leq e \quad (e \cong 4)$$

$$\text{목적함수} : \min \sum_{i=1}^n \text{Occured}(ts_i)$$

- 타임슬롯간 제약조건 (C₁):

$$ts_i \neq ts_j$$

두 개의 리더가 거리상으로 충분히 멀리 떨어져 있어서 상호간에 전파 간섭이 발생하지 않는 한 동일한 타임슬롯을 사용하면 안 된다는 것을 의미한다. 따라서 리더 R_i와 R_j에 할당된 타임슬롯 ts_i와 ts_j에 대해 타임슬롯간 제약조건 C₁이 존재한다.

- 인접 타임슬롯간 제약조건 (C₂):

$$|ts_i - ts_j| \geq d \quad (d \cong 2)$$

인접한 리더에 할당된 타임슬롯간에는 시간적으로 간섭이 생길 수 있으므로 일정단계가 떨어진 타임슬롯을 선택해 주어야 한다. 타임슬롯은 시간 축을 일정간격으로 자른 것이므로 바로 옆 단계의 타임슬롯을 인접한 리더에 사용할 경우 반사파나 시간지연으로 인한 전파에 의해 간섭이 발생할 수 있다. 따라서 인접한 리더간에는 최소한 2단계 이상 떨어진 타임슬롯을 선택하는 것이 좋다. 이 떨어진 단계의 정도가 d 값을 의미하며 이러한 이유에서 인접 타임슬롯간 제약조건 C₂가 존재하게 된다.

- 최소 타임슬롯 선택 제약조건 (C₃):

$$|ts_i - ts_j| \leq e \quad (e \cong 4)$$

일반적인 주파수 할당 문제에선 나타나지 않는 제약조건으로 TDMA방식으로 타임슬롯을 할당할 경우 나타나는 문제점이 되겠다. 인접한 리더 간에는 가까운 단계의 타임슬롯을 선택해야 한다는 제약조건으로 태그가 이동할 경우 리더가 스캔한 후 인접한 리더에서 곧바로 스캔(Scan)하는 것이 태그의 이동을 지속적으로 추적할 수 있기 때문이다.

이외에도 기둥이나 칸막이로 인하여 특정 공간에는 리더를 설치할 수 없는 경우가 있을 수 있는데 이러한 지리적인 요인 또한 제약조건이 되겠다.

- 목적함수

$$\min \sum_{i=1}^n Occurred(ts_i)$$

Occurred(): 타임슬롯이 사용 여부를 판단하는 함수

n: 모든 타임슬롯의 개수

그리고 목적함수는 전체 리더에게 할당되는 타임슬롯의 개수를 최소화하는 것으로 타임슬롯의 개수가 적어지게 되면 모든 리더들이 스캔을 하는데 걸리는 총 시간이 줄어든다는 것을 의미한다. 따라서 단일 리더의 입장에서 보면 스캔을 하고 다음 스캔을 하는데 까지 걸리는 시간(1주기 시간)이 적어지게 되므로 태그의 변동을 빠르게 감지할 수 있게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 RFID 네트워크에서 리더간 충돌 현상을 피하기 위해 문제를 CSP로 표현하였고 제약조건을 설계하였다. CSP 표현은 문제에 대해서 체계적이고 효율적인 표현을 가능케 하고 제약조건에 의해 불필요한 탐색공간을 효율적으로 제거하여 탐색시간을 줄여줄 수 있다.

TDMA 기술이 적용되는 RFID 네트워크는 일반적인 라디오 주파수 할당 문제와 달리 순차적 스캔이 진행되면서 지속적인 태그의 스캔작업이 이루어져야 한다. 즉 시간 축을 분할한 타임슬롯을 사용하므로 리더의 스캔 시 인접한 리더간에는 가까운 시간의 타임슬롯을 사용해야 한다는 제약조건이 추가하였다. 그리고 단일 주파수를 사용하기 때문에 주파수간의 간섭에 대한 제약조건은 제거하였다. 그리고 목적함수는 동일한 개념의 사용되는 타임슬롯의 개수가 최소화 되어야 한다는 개념이 일반적인 주파수할당 문제에서처럼 사용되었다.

기존의 Colorwave 방법론이 해를 찾기 위해 무작위로 다른 타임슬롯을 할당하면서 충돌현상이 발생하지 않는 최소의 색 수를 찾으므로 거의 모든 경우의 수를 검색하게 되는데 반해 CSP로 모델링된 리더간 충돌 문제는 제약조건에 의해 필요 없는 탐색 공간을 제거하고 탐색을 시행하므로 최소의 타임슬롯의

개수를 빠르게 찾아낼 수 있다.

그리고 기존의 연구가 리더간 충돌 문제를 단순히 지도 색칠 문제로만 인식하는데 반해 본 논문에서는 RFID 네트워크 상의 특성에 맞게 제약조건을 찾아내어 모델링 하므로 정확하고 빠른 해를 찾을 수 있다.

향후에는 본 논문에서 CSP로 모델링된 리더간 충돌문제를 실험을 통하여 모델의 정확성과 기존의 방법론보다 해를 효율적으로 찾을 수 있음을 증명하겠다.

References

- [1] Shailesh M. Birari, and Sridhar Iyer (2005). "Mitigating the Reader Collision Problem in RFID Networks with Mobile Readers," Networks, 2005. Jointly held with the 2005 IEEE 7th Malaysia International Conference on Communication, Vol. 1, pp 463-468.
- [2] J. Waldrop, D.W. Engels, S.E. Sarma (2003). "Colorwave: A Mac for RFID Reader networks," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1701-1704.
- [3] J. Waldrop, D.W. Engels, S.E. Sarma (2003). "Colorwave: an anticollision algorithm for the reader collision problem," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1206-1210.
- [4] M. Duque-Anion, D. Kunz, B. Ruber (1993). "Channel assignment for cellular radio using simulated annealing," IEEE Trans, Vehicular Technology, Vol. 42, 14-21.
- [5] D. W. Engels, S. E. Sarma (2002). "The reader collision problem," Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 3, 6 pp.
- [6] Surgwon Sohn and Geun-Sik Jo (2006). "Solving a Constraint Satisfaction Problem for Frequency Assignment in Low Power FM Broadcasting," Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 4304, Dec. pp.739-748.

- [7] Stuart J. Russell and Peter Norvig (2003). "Artificial Intelligence: A Modern Approach Second Edition," Prentice Hall, pp. 137-160.
- [8] Edward Tsang (1993), "Foundations of Constraint Satisfaction," Academic Press, pp. 5-30.
- [9] 윤영진 (2002), "그래프 이론," 교우사.
- [10] D. Kunz (1991), "Channel assignment for cellular radio using neural networks," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 40, pp. 188-193.
- [11] W.K. Lai, G.G. Coghill (1996). "Channel Assignment for a homogenous cellular network with genetic algorithm," IEEE Trans, Vehicular Technology, Vol. 45, pp. 91-96
- [12] 조대진 (2005). "RFID 이론과 응용," 홍릉과학출판사, p. 14.
- [13] Dong-Her Shih, Po-Ling Sun, David C. Yen, Shi-Ming Huang (2006). "Taxonomy and survey of RFID anti-collision protocols," *Computer Communications*, Vol. 29, pp. 2150-2166