

논문 2009-46TC-5-5

RFID 리더 주파수 간섭에 대한 게임 이론 관점에서의 해석

(Game Theoretic Analysis for RFID Reader Collision)

이동열*, 이채우**

(Dong-Yul Lee and Chae-Woo Lee)

요약

RFID의 리더와 태그간의 비가역성으로 인해 리더들이 밀집한 경우 리더 간에 서로 간섭을 일으켜서 태그로부터 오는 신호의 SIR을 낮게 만들어 수신단에서 태그를 식별하지 못하는 RFID 주파수 간섭문제가 존재한다. 현재 이에 대한 해결 방법으로 서로 다른 시간자원을 할당하는 TDM 기반의 방법들이 제안되고 있다. 그러나 대부분 리더들 간에 최적의 시간 할당을 구하는 것이 아닌 heuristic 스케줄링 알고리즘을 제안하고 있다. 이에 본 논문에서는 리더들 간의 주파수 간섭문제를 게임의 참여자간에 발생하는 이해관계를 해결하는 게임이론을 주파수 간섭문제에 적용함으로써 TDM을 사용하는 RFID 리더 간에 발생하는 시간 자원 할당 문제를 사전 협약이 존재하는 협조 게임의과 협약이 존재하지 않는 비협조 게임의 내쉬 협상 해와 내쉬 균형 관점에서 해석해 보았다. 게임이론을 적용한 결과는 밀집리더환경에서는 협조게임의 내쉬 협상 해가 비협조게임의 내쉬 균형보다 더 큰 이득을 만들어 내는 것을 보여주고, 밀집 리더 환경에서의 최적의 시간할당량을 보여준다.

Abstract

There exists RFID reader-to reader frequency which can not recognize tag in dense reader mode because the interference causes low SIR. To solve this frequency, the many algorithms based on TDM have been proposed. But the most of existing algorithms not obtain the optimal time allocation but propose heuristic scheduling algorithm. In this paper, we apply game theory which deals with interest between players of game to RFID reader-to reader interference and analyze the time allocation problem of reader based on TDM in terms of cooperative game which the players bind agreements using Nash Bargaining Solution(NBS) and non-cooperative game which the players do not bind agreements using Nash Equilibrium(NE). The applied results show that in dense reader mode, NBS of cooperative game is superior to NE of non-cooperative game and present optimal time allocation in dense reader mode.

Keywords: Game Theory, Cooperative Game, Nash Bargaining Solution, RFID, Frequency Interference.

I. 서론

대표적인 비접촉식 통신기술인 RFID는 특정 사물이나 물체에 부착된 태그를 리더로 하여금 인식하게 해줌으로써 태그안의 정보 및 지식 콘텐츠를 자유롭게 이용

하는 기술을 말한다^[1]. 또한 대용량 데이터 전송이 가능해지면서 RFID는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경 구축을 위한 핵심기술로 각광 받으면서 운송, 물류, 보안등 다양한 분야에서 그 활용 범위는 점점 넓어지고 있다^[2].

RFID는 비접촉식 대용량 데이터 전송이라는 장점을 가지지만 RFID 리더와 태그에서 발생하는 간섭 및 충돌로 인해 리더의 태그 인식률이 떨어지는 문제가 존재한다. 특히 RFID 리더간 충돌문제는 태그의 인식효율을 심각하게 감소시키기 때문에^[3], RFID 시스템의 산업화를 위해 해결되어야 할 선행 과제라 할 수 있다^[2].

현재 RFID 시스템에서 존재하는 충돌은 크게 태그 충돌(Tag Collision)과 리더 충돌(Reader Collision)이

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

※“This research was supported by the MKE(Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the IITA(Institute of Technology Advancement)”
IITA-2009-C1090-0902-0014(2009년도 사업)

접수일자: 2009년2월11일, 수정완료일: 2009년4월17일

있다. 먼저 태그 충돌은 다수의 태그가 하나의 리더에 동시에 역산란(back-scattering) 함으로써 태그가 보낸 데이터들 사이에서 충돌이 발생하는 것을 의미한다. 리더 충돌이란 인접한 위치에 있는 리더들이 서로에게 영향을 주게 됨으로써 발생하는 간섭을 말한다. 리더충돌은 태그 간섭과 주파수 간섭으로 나누어진다. 태그 간섭은 다수의 리더가 동시에 동일한 태그를 읽음으로써 태그가 리더들의 명령을 구별 하지 못하는 문제를 의미한다. 주파수 간섭은 인접한 거리에 있는 리더들이 동일한 주파수나 인접한 주파수를 이용하는 경우에 발생하는 주파수 간섭으로 동일 채널 간섭 과 인접 채널 간섭으로 분리된다^[4]. 이 중 동일 채널의 간섭의 경우 1km이상까지 영향을 줄 수 있는 가장 심각한 간섭이라고 여겨진다^[3].

특히 인접한 거리에 다수의 리더가 존재하는 밀집리더 환경에서는 주파수 간섭으로 인한 태그인식 문제가 더욱 심각해지기 때문에 주파수 간섭을 해결하기 위한 방법이 요구된다. 현재 밀집리더 환경에서 주파수 간섭을 해결하기 위한 방법으로 리더들의 통신 시간을 서로 다르게 하는 TDM방법이 각광받고 있다. 현재 대부분의 연구는 리더의 주파수 간섭문제를 해결하기 위해 최적의 시간 자원할당 해를 구하는 것이 아닌 리더들 간의 heuristic 스케줄링 알고리즘을 제안하고 있다^[5~6, 8].

게임 참여자들의 이해 충돌문제를 다루는 게임이론의 특성을 RFID 주파수 간섭을 해결하기 위한 시간 자원 할당 문제에 적용해 볼 수 있다. 게임이론에서는 이러한 자원 할당 문제를 게임의 참여자들 간에 사전 협약이 없는 비협조 게임과 사전 협약이 존재하는 협조 게임 두 가지로 해결방법을 제시한다. 먼저 게임의 참여자가 자신의 이득만을 최대화하려고하는 이기적인 존재로 가정되는 비협조 게임에서 문제해결 방법은 다음과 같다. 비협조 게임에서 게임의 참여자들은 자신의 이득만을 높이기 위해 이기적인 전략을 사용하여 게임을 진행한다. 이런 비협조 게임방식은 주어진 상대방의 전략들에 대한 자신의 최대 이득을 얻게 하는 전략을 의미하는 내쉬 균형(Nash Equilibrium)에 다다른다. 이로 인해 게임의 참여자가 이기적이라는 가정 하에서 해를 얻어내는데 있어 비협조 게임은 중요하게 인식되고 있다. 비협조게임에서 내쉬균형을 보여주는 대표적인 예로 다수의 이기적인 사용자가 채널 점유를 위해 경쟁하는 MAC^[10]의 채널자원 할당 해를 얻어내는 water-filling^[9] 기법이 있다^[11~12]. 현재 비협조 게임에서 문제를 해결하는 방

법으로 반복적 게임(Repeated Game) 방법^[13]을 비롯하여 많은 방법들이 제안되고 있다.

비협조게임은 전체의 이득을 신경 쓰지 않고 참여자 자신의 이득만을 최대화하려고 하는 특성으로 인해 최적의 결과를 가져오지 못할 수 있어, 총 이득의 입장에서 이득의 손실을 가져 올 수 있다. 그러나 게임의 참여자들이 이기적이라는 가정 하에 진행되는 비 협조게임이 아니라 사전에 서로 협상을 하여 협약을 맺음으로써 참여자들이 서로 협조관계에서 게임을 진행하는 협조게임에서는 자원 분배 문제를 다루는 내쉬 협상 이론을 사용하여 최적의 공평한 자원 할당 해를 찾을 수 있다^[15~16]. 협조게임에서 내쉬 협상이론을 보여주는 대표적인 예로 IEEE 802.11에서 경쟁구간과 비경쟁구간의 최적의 시간 분배를 구하는 것이 있다^[14].

본 논문에서는 RFID 주파수 간섭문제를 리더의 시간 자원 할당 게임으로 정의하고, 이를 비협조 게임과 협조게임을 사용하여 그들의 해인 내쉬 균형과 내쉬 협상을 구하여 이들을 비교 분석한다. 분석된 결과는 리더가 밀집된 상황에서는 내쉬 협상 해가 내쉬 균형보다 우수함을 보이며 리더간의 거리가 멀어질수록 내쉬균형이 더 우수함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 RFID 시스템에서 발생하는 주파수 간섭에서 분석하고, 제 III장에서는 게임 이론의 비협조 게임과 협조게임, 그리고 그들의 해인 내쉬 균형과 내쉬 협상 해에 대해서 간략하게 요약한다. 제 IV장에서는 RFID 주파수 간섭 문제를 줄이기 위한 TDM기반 모델을 제시한다. 이어 제 V장에서는 정의한 모델을 게임이론 관점에서 해를 구해보고 해의 의미에 대해 분석한다. 마지막으로 제 VI장에서는 본 논문을 정리하고 결론을 도출한다.

II. RFID 리더 간 주파수 간섭

이번 장에서는 RFID 주파수 간섭 문제를 만들어내는 리더 간 파워에 따른 간섭 현상을 분석하여 리더의 파워와 거리로 인한 태그 인식거리 관계를 유도해본다.

분석에 앞서 각 RFID 리더와 태그는 한 개의 안테나만을 가지고, 각 리더가 통신할 수 있는 태그의 수는 통신 면적범위에 비례한다고 가정한다. 또한 리더와 태그 사이의 링크의 집합과 리더간의 링크의 집합을 각각 $S_i = \{1, 2, \dots, T\}$, $S_r = \{1, 2, \dots, R\}$ 으로, 그리고 이때 리더 i 의 송신파워를 P_i 으로 가정한다. 또한 평탄

페이딩과 함께 추가적인 백색 가우시안 잡음만을 고려한다. 이때 태그와의 거리가 x 라면 리더 i 에서 수신되는 신호는 태그와의 링크 t 에 대하여 다음과 같다.

$$R(x_{ti}) = h_{ii} \frac{P_i}{x_{ti}^4} \quad (1)$$

여기서 h_{ii} 은 리더 i 과 태그 t 간의 채널 이득을 나타내며, 이는 리더와 태그간의 통신은 태그가 리더의 신호를 역산란을 통해서 다시 재전송하기 때문에 리더에서 태그, 태그에서 리더로 전송 시의 채널 이득의 곱이다. 또한 리더의 신호를 다시 역산란하기 때문에 (1)은 x^4 에 반비례한다. 리더간 거리가 d_{ij} 라면 리더 i 에서 수신되는 간섭 신호는 다음과 같다.

$$I(d_{ij}) = \sum_{j \neq i} h_{ij} \frac{P_j}{d_{ij}^2} \quad (2)$$

여기서 P_j 는 간섭 리더 j 의 송신전력을, h_{ij} 은 리더의 안테나 이득과 모듈레이션 값 등에 의해서 리더 i 까지 수신되었을 경우의 채널 이득이다. 일반적으로 h_{ii} 는 태그의 반사계수로 인해 h_{ij} 보다 훨씬 작은 값을 갖는다. 또한 리더 i 은 각각 다음과 같은 파워 제약을 가진다.

$$0 < P_i \leq P_i^{\max} \quad i \in S_r \quad (3)$$

이로부터 리더와 태그의 거리 x , 그리고 리더간거리 d_{ij} 에 대하여 리더 i 에서의 SIR, $SIR(x_{ti}, d_{ij})$ 은 다음과 같다^[7-8].

$$SIR(x_{ti}, d_{ij}) = \frac{R(x_{ti})}{I(d_{ij}) + N_i} = \frac{h_{ii} \frac{P_i}{x_{ti}^4}}{\sum_{j \neq i} h_{ij} \frac{P_j}{d_{ij}^2} + N_i} \quad (4)$$

여기서 잡음 값인 N_i 는 평균값 0과 분산 1을 가지는 가우시안 랜덤 변수이다. 리더에서 수신된 SIR이 주어진 임계값(V_{TH}) 이상일 경우 간섭신호가 있어도 복조 할 수 있다고 가정한다면, 파워와 h_{ij} 에 대한 리더의 태그 인식 가능 거리를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x_{ti} = \left(\frac{h_{ii} P_i}{V_{TH} \sum_{j \neq i} h_{ij} \frac{P_j}{d_{ij}^2} + \frac{h_{ii} P_i}{v^4}} \right)^{1/4} \quad (5)$$

여기서 v 는 AWGN만을 고려했을 경우의 태그 인식거리

를 의미하며 다음과 같다.

$$v = \left(\frac{h_{ii} P_i}{V_{TH} N_i} \right)^{1/4} \quad (6)$$

(6)은 리더간 거리에 제한받지 않고 오직 송신파워에만 영향을 받기 때문에 (5)와 비교하였을 때 더 큰 태그 인식 가능거리를 가진다. 식 (5)는 측정하려는 리더와 다중의 간섭 리더의 파워(P_i, P_j)와 거리(d_{ij}), 그리고 태그인식거리(x)간의 관계를 보인다. 그러나 식의 복잡도로 인해 이들 간의 관계를 알아보는 데 어려움이 있다.

따라서 파워에 따른 리더의 태그 인식 거리의 변화를 살펴보기 위해 하나의 측정리더와 하나의 간섭 리더만을 가정한다. 또한 두 리더의 파워는 P 로 동일하게 하고, 두 리더 간의 거리는 d 로 가정하며, 이 때 P 에 따른 태그 인식거리의 변화를 식 (5)를 사용하여 그림 1에 나타내었다.

그림 1에서 가로축은 리더간거리에 대한 기준 리더와 태그간 거리 비율(x/d)를 나타내고 세로축은 이에 대한 SIR을 나타낸다. 명확한 해석을 위해 세로축인 SIR은 임의의 임계값을 설정한 후 그 값을 1로 정규화시킨 다음에 로그 스케일 하였다. 여기서 P_{MAX} 는 만약 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이 없다면 즉 이상적인 경우에서 태그 인식 거리와 유사한 인식거리를 갖게 해주는 파워의 값을 말하며 이 때의 태그인식 거리는 식 (5)로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$x_M = \left(\frac{h_{ii}}{V_{TH} h_{ij}} \right)^{1/4} d^{1/2} \quad (7)$$

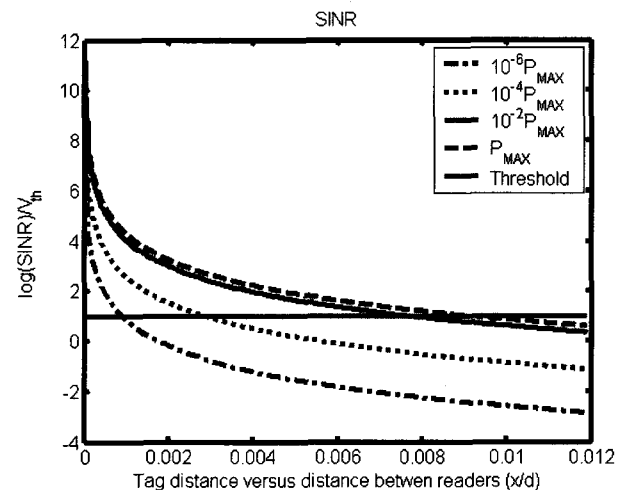


그림 1. 태그 인식거리에 대한 SIR
Fig. 1. SIR based on tag read distance.

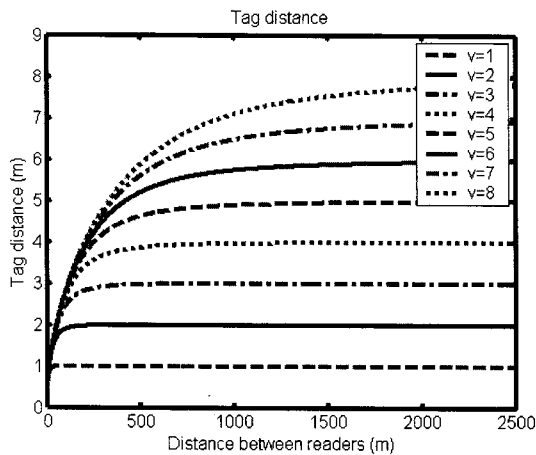


그림 2. 주파수간섭 리더간 거리에 따른 태그인식거
Fig. 2. Tag distance given distance without frequency interference.

(7)은 리더의 최대파워에만 제약 받는 v 와 달리 간섭 신호가 존재할 경우 태그인식거리는 리더간거리 d 에 의해서도 제한됨을 보인다. 예를 들어 h_{ij}, h_{ii}, V_{TH} 를 일반적으로 다음과 같이 $h_{ij} = 10h_{ii}, V_{TH} = 11.6dB$ 로 가정 한다면^[4], d 가 1000m에서 최대 태그 인식 가능 거리는 약 8.9m 정도가 나온다. 그러나 AWGN을 고려해야 하는 실제 상황에서 동일 주파수 간섭으로 인한 태그 인식가능거리 x 는 주어진 파워제약에 의해서 정해지는 v 에 따라 그림 2와 같은 값을 갖는다.

그림 2의 가로와 세로축은 각 리더간의 거리와 동일 주파수간섭이 존재할 경우에서의 태그인식거리를 나타낸다. 그림으로부터 동일주파수가 존재하는 경우 태그 인식거리는 리더가 인접할 경우 거리의 반제품에 비례하여 감소하는 것을 보이며 거리가 증가할 경우 최대 파워제약에 의해서 최대 태그인식거리(v)에 수렴하는 것을 알 수 있다. 따라서 주파수 간섭이 존재할 경우 리더 간 거리와 리더의 신호 세기로 인한 태그 인식 거리 감소 문제가 존재하기 때문에 직관적으로 리더가 인접한 경우 태그인식 거리 감소를 막기 위해 다른 시간을 사용하는 방법이 요구된다.

III. 비협조 게임과 협조 게임

이번 장에서는 먼저 간단하게 비협조 게임과 협조게임에 대해서 설명 하고, 각각의 게임에서 문제를 해결하는 방법과 그 해인 내쉬 균형과 내쉬 협상 해를 설명 한다.

1. 비협조 게임

비협조 게임은 게임 참여자들이 사전 협약을 통해 게임을 할 수 있지만 그 협약을 위반할 경우에 불이익이 없는 경우를 말한다^[17~18]. 비협조 게임에서 게임 참여자들은 타인의 이익을 고려하지 않고 자신의 이익을 극대화하기 위한 전략을 선택하고 행동하는 게임을 한다. 이러한 특성으로 인해 비협조 게임에서 모든 참여자는 처음 선택한 전략으로부터 최선의 이득을 얻기 위해 계속적으로 전략을 바꾸게 되며, 결국 자신의 이득을 최대로 만드는 하나의 전략에 도달하게 된다. 이 때 모든 참여자가 자신의 전략을 최선이라고 생각하며 더 이상 전략을 변화시킬 의도가 없는 상황을 의미하는 내쉬 균형을 만들어 낸다.

가. 내쉬 균형

N 명의 참여자들과 J 개 전략 ($S = (s_1, \dots, s_j)$)이 존재할 때, 참여자 i 의 이득 u_i 에 대하여 다음과 같은 조건이 만족되는 경우를 내쉬 균형에 도달 했다고 한다.

$$u_i(s_j) \geq u_i(s_1, \dots, s_{j-1}, s_{j+1}, \dots, s_j) \quad \forall s_j \in S \quad (8)$$

여기서 $u_i(s_j)$ 와 $u_i(s_1, \dots, s_{j-1}, s_{j+1}, \dots, s_j)$ 는 i 번째 사용자가 j 번째 전략을 사용했을 때의 이득과 i 번째 사용자가 j 번째 전략 이외의 전략들을 사용했을 때의 이득을 의미한다. 즉 식 (7)로부터 내쉬 균형은 사용자가 가진 전략 중에서 최대의 이득을 가져오는 전략을 의미한다.

2. 협조 게임

게임의 참여자들이 사전에 상호간에 어떤 협약을 맺고 이를 지키는 게임을 협조 게임이라고 한다. 협조 게임의 이런 특성은 비협조게임에서는 달성되는 이득보다 게임의 참여자들에게 더 많은 이득을 줄 수 있다. 현재 까지 협조게임은 많이 연구가 되었기 때문에 본 논문에서는 N -명의 내쉬 협상 모델에 대해 다루고자 한다.

가. 내쉬 협상 해(Nash Bargaining Solution)

내쉬 협상 해는 다음과 같이 정의된다.

Theorem 1. 내쉬의 협조적 협상 해 u 는 다음 세 개의 공리 A1~A3를 만족할 때 유일 해를 갖는다^[17~18].

A1. [불변성 (invariance)] 두 참여자의 이득은 어떤 단위로 측정되는가에 상관없이 내쉬 협상 해는 변해서

는 안 된다.

A2. [파레토 최적화 (Pareto optimality)] 협상 해에서는 다른 사람의 이득을 줄이지 않고서는 다른 참여자에게 더 많은 이득을 줄 수 없다.

A3. [독립성 (independence)] 선택 할 수 있는 전략의 개수가 줄어들더라도 원래의 협상 해를 포함하고 있다면, 새로운 협상 해는 기존의 협상 해와 똑같아야 한다.

이러한 공리에 대한 토의는 많이 연구 되어 왔기 때문에 본 논문에서는 이를 받아들이기로 한다. 내쉬는 이 세 가지의 공리가 만족될 때 내쉬 협상 해(NBS)는 다음과 같이 유일하게 얻어진다고 증명하였다.

$$\begin{aligned} NBS &= \arg \max NBP = s^* \\ &= \arg \max_{\substack{s_i \in S \\ f_i \in S}} \prod_{i=1}^N (u_i(s_i) - u_i(f_i)) \end{aligned} \quad (8)$$

$$s^* = \{s_1^{NB}, s_2^{NB}, \dots, s_i^{NB}, \dots, s_N^{NB}\} \quad \forall s_i^{NB} \in S$$

여기서 NBP 는 내쉬 협상 곱(Nash Bargaining Product)을 나타내며, S 는 참여자들이 선택할 수 있는 전략의 집합을, s^* 는 참여자들이 협약이 성립 되었을 때의 전략들의 집합을 의미하는 내쉬협상을 의미한다. 여기서 s_i^{NB} 는 내쉬 협상 해에서 i 번째 유저의 전략을 의미한다. 또한 s_i 와 f_i 는 각각 협상이 성공했을 경우와 결렬 되었을 경우의 참여자 i 의 선택을 의미한다. 또한 $u_i(f_i)$ 는 그 때의 참여자 i 의 이득을 의미한다. 만약 각각의 참여자들이 $u_i(f_i) < u_i(s_i)$ 를 모두 만족한다면 내쉬 협상 해 s^* 가 존재한다. 그러나 만약 그렇지 않다면 이때의 내쉬 협상 해는 f_i 가 된다. 본 논문의 경우 $u_i(f_i)$ 는 내쉬 균형과 같다.

IV. RFID 리더의 TDM 모델

앞서 설명했듯이 주파수 간섭으로 인한 태그 인식거리는 리더간의 거리와 파워에 의해 제한되는 문제가 발

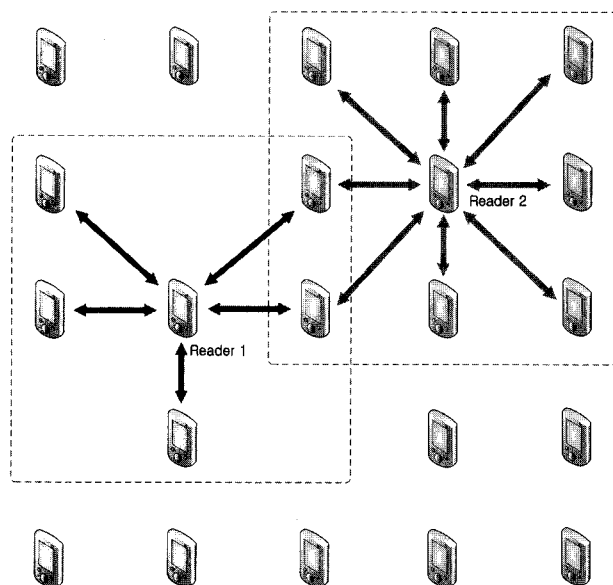


그림 3. 리더의 분포 및 주파수 간섭 범위

Fig. 3. The distribution of reader and the range of frequency interference.

생하기 때문에 서로 다른 시간 슬롯을 사용하는 TDM 방식이 요구된다. TDM 모델을 제한하기 위해 앞서 그림 3과 같이 N 개의 리더가 존재하며 각 리더는 태그의 신호를 디코딩하기 위해 필요한 임계값에 대하여 같은 값을 갖는다고 가정한다. 또한 채널의 상태는 전송기간 동안 변하지 않고 AWGN만이 존재한다고 가정한다.

태그의 인식 효율은 태그와 통신할 수 있는 면적에 비례하기 때문에 리더의 이득은 반지름의 제곱에 비례한다. 또한 시간할당량이 많을수록 많은 태그와 통신할 수 있기 때문에 태그의 인식효율은 시간에 비례하게 된다. 따라서 리더 i 의 이득은 다음과 같이 정의된다.

$$u_i(P_i, \alpha_i) = \alpha_i \left(\frac{h_{ii} P_i}{V_{TH} N_i} \right)^{1/2}, \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1, \quad \forall i \quad (9)$$

여기서 α_i 는 리더 i 의 시간할당량을 의미한다. (9)는 리더 i 의 이득은 AWGN만 존재할 경우의 태그인식거리 (6)의 제곱에 시간할당량 α_i 을 곱한 값을 의미한다.

다음 장에서는 세워진 이득 모델에 기반을 두고 일반

$$\begin{aligned} NBS = \alpha^* &= \arg \max_{i=1}^N \left(\alpha_i \left(\frac{h_{ii} P_i}{V_{TH} N_i} \right)^{1/2} - \left(\frac{h_{ii} P_i}{V_{TH} \left(\sum_{j \neq i} h_{ij} \frac{P_j}{d_{ij}^2} + N_i \right)} \right)^{1/2} \right) \text{ only if } \alpha_i \geq \left(\frac{N_i}{\sum_{j \neq i} h_{ij} \frac{P_j}{d_{ij}^2} + N_i} \right)^{1/2} \\ \alpha^* &= \{\alpha_1^{NB}, \dots, \alpha_i^{NB}, \dots, \alpha_N^{NB}\} \quad \forall \alpha_i^{NB} \in a \end{aligned} \quad (10)$$

적인 상황에서의 간단한 예에서 리더의 주파수 간섭 문제의 내쉬 협상 해를 다루어보고자 한다.

V. 주파수 간섭 게임

이번 장에서는 주파수 간섭문제를 비협조 게임과 협조게임을 통해서 분석해보고자 한다. 먼저 그림 2와 같이 임의로 노드가 배치되어 있는 상황에서 내쉬 협상을 다루어 보고 그 후 간단한 모델을 통해서 이를 분석해보고자 한다.

1. 다수 리더의 주파수 간섭 게임

그림 2와 같이 다수의 리더가 존재하는 상황에서 비협조 게임을 적용하면 모든 리더가 이기 적이기 때문에 리더들은 서로 간에 시간을 나누어 독립적으로 사용하지 않고 전체 시간 모두를 사용하려고 한다. 이로 인해 비협조게임에서는 주파수간섭이 발생하게 되고 이로 인해 내쉬 균형은 (4)과 같다. 또한 이는 협조게임에서 협상이 결렬되었을 때의 이득과 같다.

협조게임에서 내쉬 협상 해를 구하기 위해선 먼저 설명한 바와 같이 몇 개의 공리를 만족 하는 것으로부터 시작한다. 이 공리를 모두 만족할 경우 내쉬 협상 해는 볼록 (Convex) 하기 때문에 유일 해를 갖게 된다. N 개의 리더가 TDM 협조게임에 참여 할 때, 리더 i 에 대한 내쉬 협상 해 α^* 는 이득 (9)로부터 (10)과 같이 얻어 진다. (10)에서 i 는 기준 리더를, j 는 간섭리더를 의미하며, a 는 시간 할당 전략의 집합을 나타낸다. 이는 그림 2와 같이 임의적으로 리더가 배치된 상황에서 내쉬 협상 해이자 리더 i 에 대한 최적의 시간 할당량을 의미한다. 또한 (10)의 조건식은 각 리더의 협력 이득이 비협력 이득보다 높을 때 시간 자원 할당량의 범위를 의미한다. 여기서 태그인 식거리를 감소시키는 3가지 요인인 간섭리더 j 의 수, 간섭리더와의 거리 그리고 리더들의 파워로 인해 내쉬 협상 해는 변화하기 때문에 태그인식거리에 대하여 정확하게 분석하는 것은 상당히 어렵다. 따라서 내쉬 협상 해에 대한 정확한 분석을 위해 이들에 대한 적절한 가정이 요구된다. 다음 절에서는 이들 3가의 요인에 대하여 적절한 가정을 함으로써 정확한 해를 구해보고 분석하고자 한다.

2. 간단한 주파수 간섭게임에 대한 내쉬 협상 해

먼저 계산의 간소화를 위하여 리더간의 거리는 각각 d 로 동일하다고 가정하며 간섭은 한 홉 거리에서만 존

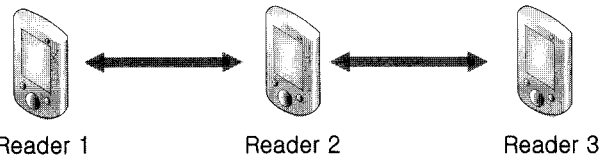


그림 4. 3개 리더의 주파수간섭 모델
Fig. 4. The three readers model of frequency interference.

재한다고 가정한다. 그로인해 리더 1과 리더 3은 리더 2하고만 리더 2는 리더1과 3 모두에게 간섭영향을 받는다. 이 때 리더의 파워는 각각 P_1, P_2, P_3 로 가정한다. 또한 3개의 리더만을 사용한다고 가정한다. 여기서 2개가 아닌 3개의 리더만을 사용하는 이유는 리더가 2개 존재할 경우 각 리더는 모든 조건이 동일할 때 그 시간 할당량은 단순히 0.5 자칫 단순해지기 때문이다. 이러한 가정에 근거한 간단한 모델을 그림 4에 나타내었다.

여기서 이 모델에서 비협조게임의 이득은 식 (4)로부터 다음과 같이 얻어 진다.

$$u_1(f_1) = u_3(f_3) = \left(\frac{h_{11}P_1}{V_{TH}h_{12} \frac{P_2}{d^2} + \frac{h_{11}P_1}{v_1^4}} \right)^{1/2} \tag{11}$$

$$u_2(f_2) = \left(\frac{h_{22}P_2}{V_{TH}h_{21} \frac{P_3}{d^2} + \frac{h_{22}P_2}{v_2^4}} \right)^{1/2}$$

여기서 $u_1(f_1), u_2(f_2), u_3(f_3)$ 은 각각 협상 결렬되었을 경우의 리더 1, 2, 3의 이득을 의미한다. v_1 과 v_2 는 (6)으로부터 다음과 같다.

$$v_1 = \left(\frac{h_{11}P_1}{V_{TH}N_1} \right)^{1/4}, \quad v_2 = \left(\frac{h_{22}P_2}{V_{TH}N_2} \right)^{1/4} \tag{12}$$

리더 1과 3은 간섭이 없다고 가정하였기 때문에 단순함을 위해 1과 3의 파라미터는 동일하게 두었다. 그 다음 내쉬 협상 해를 구하기 위해 (9)로부터 리더들의 협조 이득을 $u_1 = u_3 = \alpha_1 v_1$ 와 $u_2 = \alpha_2 v_2$ 로 정의 할 수 있다. $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 는 각각 리더 1, 2, 3의 전체 프레임 시간 중 사용할 수 있는 시간을 의미한다. 리더 1과 3는 서로 간섭이 없기 때문에 같은 슬랏을 사용한다고 가정하며 또한 리더 1과 3의 파워 비롯한 나머지 파라미터들은 동일하다고 가정한다. 내쉬 협상 해 (8)에 협상 성공시의 리더의 이득함수인 u_1 와 u_2 그리고 협상 결렬시의 이득인 (11)을 적용하면 내쉬 협상 해는 다음과 같은 최적화 문제 형태로 바꿀 수 있다.

$$\begin{aligned} & \arg \max \prod_{i=1}^3 (u_i(\alpha_i) - u_i(f_i)) \\ & \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1, \\ & \text{subject to: } \forall i \alpha_i \geq 0, \\ & \quad \forall i u_i(\alpha_i) \geq u_i(f_i) \end{aligned} \quad (13)$$

간단한 해석을 위해서 동일 파워 할당 $P_1 = P_2 = P$ 이라 하면, 내쉬 협상 해는 (13)으로부터 다음과 같다.

$$NBS = \left\{ \begin{aligned} \alpha_1 = \alpha_3 = \frac{2}{3} - \frac{1}{3v^2} (2(u_2(f_2))^2 - (u_1(f_1))^2) \\ \alpha_2 = \frac{1}{3} + \frac{1}{3v^2} (2(u_2(f_2))^2 - (u_2(f_2))^2) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

여기서 v 는 P 를 사용할 때의 최대 태그 인식거리를 의미한다. (14)에 대한 증명은 참조 I 에 남겨두기로 한다. 내쉬 협상 해로 구한 결과 (14)는 리더 1과 리더 3의 한 프레임 시간동안의 시간 할당량을 의미한다. 이때 리더 2의 시간 할당량은 1에서 이 값을 뺀 값이 된다. 거리가 0에 가까운 밀집리더의 경우 동일채널 간섭에서의 리더 인식 거리 $u_1(f_1)$, $u_2(f_2)$ 가 0에 수렴하기 때문에 기본적으로 리더 1과 3의 시간 할당량은 리더 2의 시간할당량의 약 2배정도가 되는 것을 알 수 있다. 그러나 리더간의 거리가 증가할수록 간섭량에 의한 리더 인식거리가 점차 증가함에 따라 리더 1과 3의 인식거리는 리더 2의 인식거리보다 더 빠른 속도로 커지기 때문에 리더 2의 손실을 보상해주기 위해 리더 1과 3의 시간할당량은 점점 작아지게 된다.

(11)과 (12)로부터 내쉬 협상 해는 거리 d 와 파워에 의존하는 내쉬 균형과는 달리 파워에만 의존하기 때문에 거리에 따라 이들의 이득 차이는 역전된다. 즉, $u_i(f_i) \leq u_i(\alpha_i)$ 이 아닌 경우가 있기 때문에, TDM이 더 큰 이득을 가져오는 리더간의 거리는 다음과 같다.

Theorem 2 : 다음의 거리에서 내쉬 협상 해는 내쉬 균형보다 항상 더 큰 이득을 가져 온다.

$$d < \left(\left(\sqrt{1 + \frac{2}{3} \sqrt{3} - 1} \right) 10 V_{TH} \right)^{1/2} v^2 \quad (15)$$

Proof : 식의 복잡함으로 인해 이 증명은 참조 II에서 하기로 한다.

이는 리더들의 송신파워가 동일 할 때 주어진 거리에

서 리더의 최적의 전략을 알려준다. 즉, Theorem 2를 만족하는 상황에서는 주어진 거리에 대하여 TDM 게임에 협력하는 것이 최적의 전략이 된다.

그림 5와 6는 각각 (14)를 사용하여 리더간 거리 d 에 대한 내쉬 협상 해를 보여준다.

그림에서 리더간 거리가 가까울수록 즉, 밀집리더 환경에서는 리더 1과 3이 사용하는 시간의 양이 증가하면서 2/3에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이는 밀집리더 환경에서 리더간 거리가 0으로 근접함에 따라 간섭량이 이론적으로 무한대에 가까워지게 됨에 따라 리더 2하고의 간섭량 차이가 매우 적어져 간섭량에 대한 고려 없이 시간할당이 단순히 2:1의 비율로 할당되는 것을 의미한다. 또한 거리가 멀어질수록 리더 2의 시간할당량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 거리가 0에서 멀어

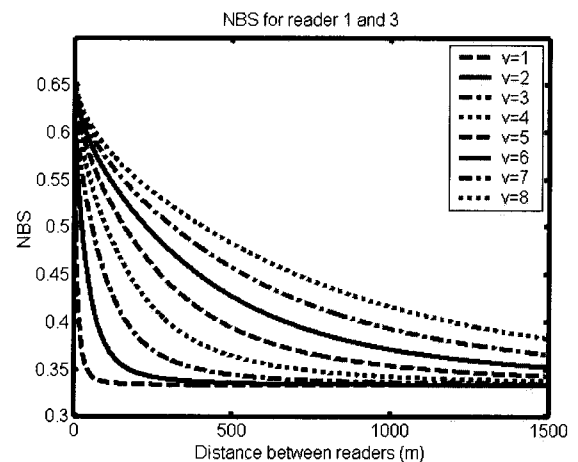


그림 5. 리더간 거리에 따른 리더 1과 3의 내쉬 협상해
Fig. 5. The nash bargaining solution for reader 1 and 3 according to distance between readers.

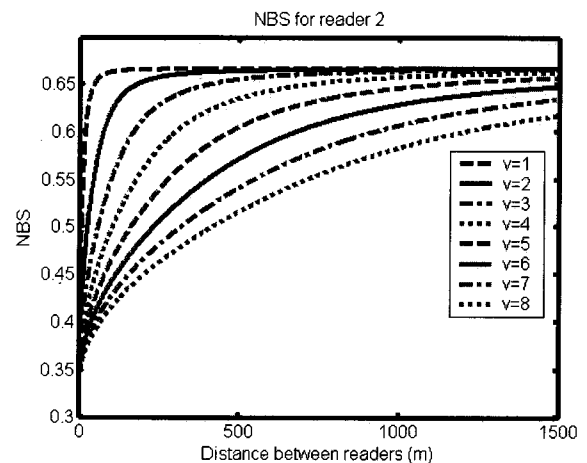


그림 6. 리더간 거리에 따른 리더 2의 내쉬 협상해
Fig. 6. The nash bargaining solution for reader 2 according to distance between readers.

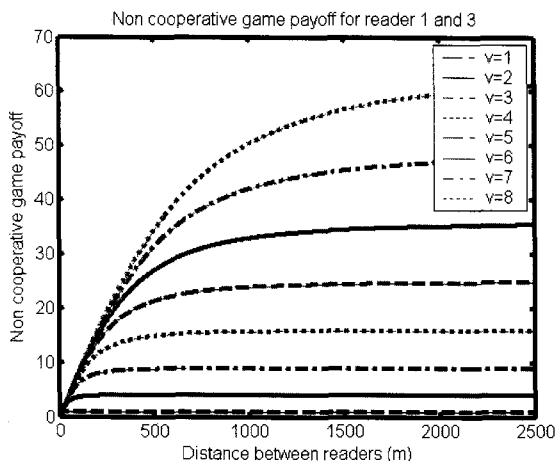


그림 7. 리더간 거리에 따른 리더 1과 3의 비협조 게임 이득

Fig. 7. The payoff of non-cooperative game for reader 1 and 3 according to distance between readers.

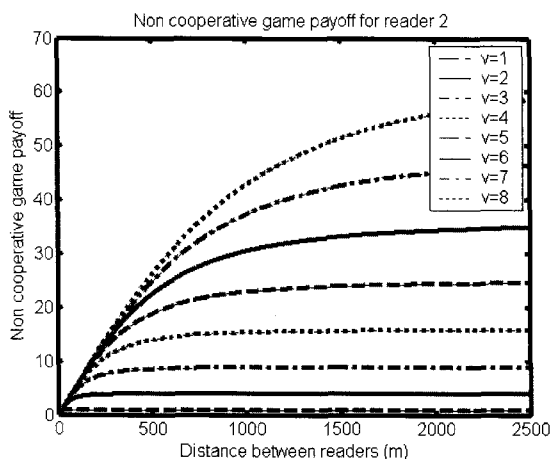


그림 8. 리더간 거리에 따른 리더 2의 비협조 게임 이득

Fig. 8. The payoff of non-cooperative game for reader 2 according to distance between readers.

집에 따라 간섭이 무한대에 가까운 값이 아닌 값으로 줄어들고 동시에 리더1과 리더2의 간섭량 비율이 증가하여 생기는 리더2의 이득 손실을 보상하기 위함이다. 협조게임의 결과를 보여주는 그림 4와 5는 다르게 그림 7과 8은 비협조 게임의 결과를 보여준다. 거리가 증가함에 따라서 처음에는 급격하게 증가하지만 점차적으로 증가폭이 줄어들면서 일정 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이는 거리가 증가함에 따라 간섭량이 급격하게 감소하기 때문이다. 그림 5와 7을 그리고 6와 8의 비교는 내쉬 협상 해의 이득과 내쉬 균형의 이득이 차이가 증가하는 거리에 대해서 점점 줄어듦을 보여준다. 그림 9과 10은 리더 1,3과 2에 대한 비협조게임과 협조게임의 이득의

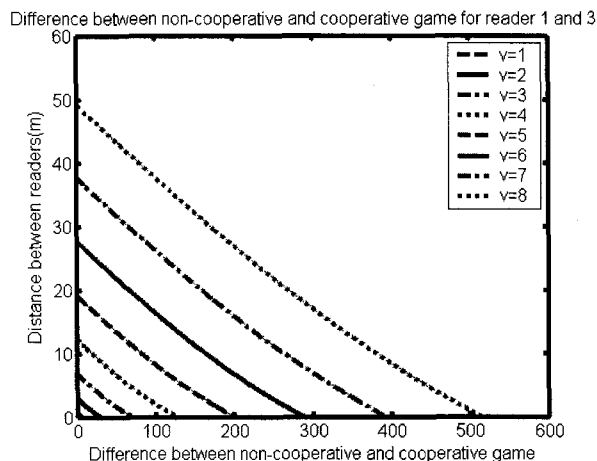


그림 9. 리더 1과 3의 NBS와 NE의 이득 차이

Fig. 9. The difference between payoff of NBS and NE for reader 1 and 3.

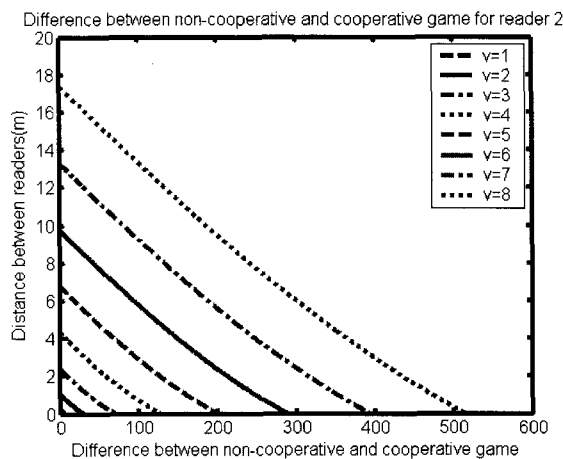


그림 10. 리더 2의 비협조 게임과 협조게임의 이득 차이
Fig. 10. The difference between payoff of NBS and NE for reader 2.

차이를 보여준다.

여기서 가로축은 리더간의 거리를 세로축은 협조게임의 이득에 대한 비협조게임의 이득의 차를 의미한다. 그림 9과 10로부터 거리가 작을 때는 이득의 차이가 상당히 큰 폭으로 감소하다가 점점 감소폭이 적어지는 것을 볼 수 있다. 그림 5, 6, 7과 8을 통해 이는 내쉬 협상해와 내쉬 균형 해의 이득의 증가폭 또는 감소폭이 점점 적어지기 때문임을 알 수 있다. 또한 협조 게임과 비협조 게임의 이득의 경계는 AWGN 존재 시 최대 태그 인 식거리 v 가 증가 할수록 점점 증가하는 것을 알 수 있으며 이를 그림 10에 나타냈다. 여기서 가로축은 v 를 세로축은 주어진 v 에 대해서 협조의 이득이 비협조의 이득보다 큰 최대 리더간 거리를 의미한다.

지금까지의 결과는 $P_1 = P_2$ 가정 하에서 이루어졌다.

그러나 실제 $P_1 \neq P_2$ 인 상황이 더 많고, 한 프레임 길이 동안 리더의 총 파워의 합이 일정한 총 파워 제약이 존재하는 상황에 대해서도 고려해야만 한다.

Theorem 3 : 한 프레임의 리더들이 사용할 수 있는 파워의 합이 제한된다면, 리더1에 대한 리더 3의 파워비율 β 에 대하여 다음의 거리에서 내쉬 협상 해는 내쉬 균형보다 항상 더 큰 이득을 가져 온다.

$$d < v^2 \sqrt{\frac{2(\beta+2)+3W-3\sqrt{\frac{2m}{W}-3l-2y}}{-3(\beta+1)}} 10V_{TH}$$

$$v = \sqrt{\frac{h(P_1+P_2)}{2}}, \sqrt{l+2y},$$

$$y = -\frac{5}{6}\alpha + \frac{P}{3U} - 3\sqrt[3]{R}, R = \frac{Q}{2} + \sqrt{\frac{Q^2}{4} + \frac{P^3}{27}},$$

$$Q = -\frac{l^3}{108} + \frac{l}{3}n - \frac{\beta^2}{8}, P = -\frac{l^2}{12} - n,$$

$$l = -\frac{2}{3}(\beta+2)2 + 4\beta,$$

$$m = \frac{8}{3^3}(\beta+2)(\beta^2 - 5\beta + 4),$$

$$n = -\frac{(\beta+2)^4}{3^3} + \frac{4\beta(\beta+2)^2}{3^2} - \frac{4}{3}\beta^2$$

proof : 이 해는 페라리 해법을 통해 얻었으며 자세한 증명은 참조III에 남겨두기로 한다.

그림 11로부터 각 리더가 동일한 파워를 사용할 경우, 파워의 크기가 서로 다른 경우 보다 더 넓은 리더간 거리에서 내쉬 협상 해의 이득이 내쉬 균형 해의 이득

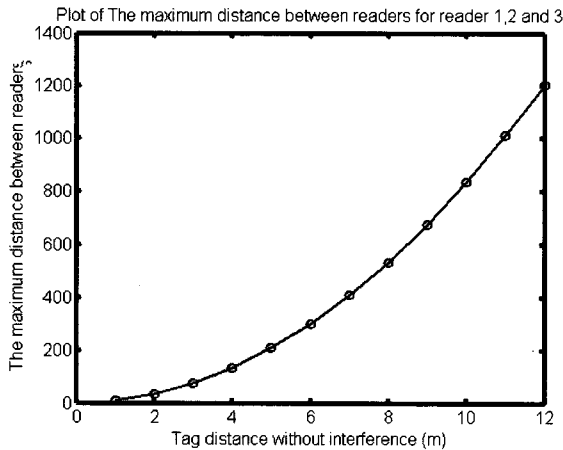


그림 11. NBS의 이득이 NE의 이득보다 높을 때 최대 태그 인식 거리에 따른 최대 리더간 거리
Fig. 11. The maximum between readers according to distance between the maximum tag distance for $u(NBS) > u(NE)$.

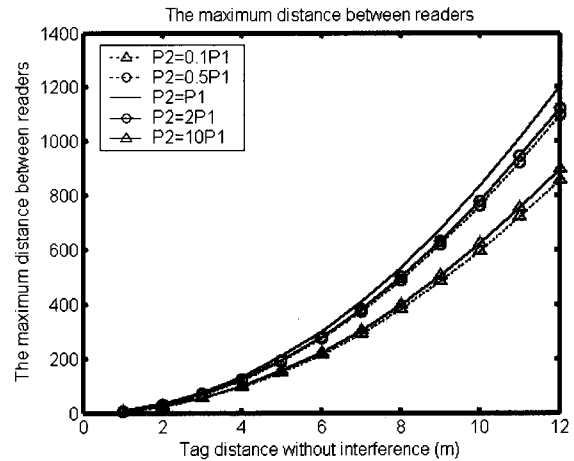


그림 12. NBS의 이득이 NE의 이득보다 높을 때 리더의 최대 태그 인식 거리에 따른 최대 리더간 거리
Fig. 12. The maximum between readers according to distance between the maximum tag distance for $u(NBS) > u(NE)$.

보다 더 크다는 것을 알 수 있다. 또한 리더2와 1간의 파워의 비율이 증가할수록 내쉬협상해의 범위는 감소한다는 것을 알 수 있다. 또한 리더 1 보다 2의 파워가 더 작을 경우에 더 많이 감소하는 것을 알 수 있다. 예를 들어 그림과 같이 리더 1과 2간의 파워가 2배 보다 10배 일 경우에 거리 감소가 훨씬 크며, $P_2 = 10P_1$ 보다 $P_2 = 0.1P_1$ 의 경우에 거리감소가 조금 더 큰 것을 볼 수 있다. 이는 더 많은 파워를 할당받은 리더는 비협조 게임 시 더 적은 거리에서 더 많은 이득을 얻기 때문이다. 또한 더 적은 파워를 할당받을 경우에도 비협조 게임의 이득이 감소하지만 협조 게임의 이득은 더 큰폭으로 감소하기 때문이다.

VI. 결 론

본 논문에서 우리는 동일 주파수사용으로 인한 간섭 현상을 분석하기 위해 리더 3개가 일렬로 배치된 간단한 모델을 다루었다. 세 리더들이 태그와 통신을 하는데 필요한 시간을 차지하기 위해 경쟁하여 다투는 상황을 게임으로 정의한 후 이를 참여자간의 사전협약이 존재하는 협조게임과 비협조게임으로 분석해보았다. 서로 간의 사전협약이 없이 서로가 모든 시간을 사용하려고 하는 비협조게임의 이득인 내쉬균형과 참여자들 간에 사전에 협약이 존재하여 서로의 시간을 나누어 사용하는 협조게임의 내쉬 협상 해를 비교한 결과는 밀집 리더 환경과 같이 주파수 간섭이 상당히 큰 상황에서는

내쉬 협상 해가 내쉬 균형보다 높음으로써 협조를 하는 것이 더 많은 이득을 가져옴을 보인다. 본 논문에서는 리더들 간에 경쟁으로 인한 RFID 주파수간섭 문제의 시간 자원 간 충돌 문제를 게임이론을 통해서 분석해 보았다. 현재 RFID 시스템에서는 리더들 간의 자원경쟁문제 뿐만이 아니라 태그 간 자원할당문제도 존재하기 때문에 앞으로는 이에 대한 연구 또한 필요가 요구되고 있다.

참 조 I

내쉬 협상 해는 (13)으로 다음과 같은 형태로 나타난다.

$$\begin{aligned}
 NBS &= \arg \max NBP \\
 &= \arg \max (v_1^2 \alpha_1 - u_1(f_1)^2)(v_2^2 \alpha_2 - u_2(f_2)^2) \\
 &\quad (v_3^2 \alpha_3 - u_3(f_3)^2) \\
 NBP &= -3v^2 \alpha^2 + 2v^4 (\beta^{\frac{1}{2}} v^2 - u_2(f_2)^2 + 2u_1(f_1)^2) \alpha \\
 &\quad + v^2 (-2u_1(f_1)^2 + 2u_1(f_1)^2 u_2(f_2)^2 - u_1(f_1)^4) \\
 \alpha &= \alpha_1 \alpha_3 = 1 - \alpha_2, \quad 0 \leq \alpha \leq 1
 \end{aligned}$$

3차 방정식인 이식은 각 유저의 협조이득이 비협조 이득보다 큰 경우 즉, NBS의 공리를 만족하는 경우에 0과 1사이에서 위로 볼록한 함수이기 때문에, 미분을 통해서 다음과 같이 최대값을 갖게 해주는 극대값을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 0 &= \frac{\partial}{\partial \alpha} NBP \\
 \therefore \alpha &= \frac{2}{3} - \frac{1}{3v^2} (2u_2(f_2)^2 - u_1(f_1)^2)
 \end{aligned}$$

리더 2의 내쉬 협상해는 α 의 합은 총 1이기 때문에 $1-\alpha$ 이 된다.

참 조 II

α 와 협조 이득간의 선형 관계와 $u_i(f_i) \leq u_i(\alpha_i)$ 의 성립은 NBS의 공리를 만족시켜 내쉬 협상해가 존재하도록 만들어 준다. 따라서 $u_i(f_i) \leq u_i(\alpha_i)$.

일 때 각 리더 들은 협조전략을 사용하게 된다. 따라서 동일 파워 할당에서의 협조전략이 최선의 전략이 되는 리더간의 범위는 먼저 리더 1에 대하여 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 u_1 &\geq u_1(f_1)^2 \\
 i.e., \quad v^2 \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{3v^2} (2u_2(f_2)^2) - u_1(f_2)^2 \right) &\geq u_1(f_1)^2 \\
 i.e., \quad v^2 > u_1(f_1)^2 + u_2(f_2)^2 \\
 i.e., \quad 3d^8 + 12(10V_{TH}v^4)d^6 + 12(10V_{TH}v^4)^2d^4 \\
 &\quad + 4(10V_{TH}v^4)^4 > 0 \\
 i.e., \quad (\sqrt{3}d^4 + 2\sqrt{3}xd^2 + 2x^2) \\
 &\quad \times (\sqrt{3}d^4 + 2\sqrt{3}xd^2 - 2x^2) < 0 \\
 i.e., \quad d < \left(\left(\sqrt{1 + \frac{2}{3}\sqrt{3}} - 1 \right) 10V_{TH} \right)^{1/2} v^2
 \end{aligned}$$

리더 2의 경우에도 동일 한 방법을 사용하여 같은 값을 얻을 수 있다.

참 조 III

한 프레임시간 동안 총 파워제약이 있는 경우에 협조 전략이 최선의 전략이 되는 리더간의 거리를 구하기에 앞서 다음과 같이 총 파워제약에서 리더 1과 리더 3사의 파워 비율 β 에 대하여 내쉬 협상 해를 다음과 같이 구해야 한다.

$$\begin{aligned}
 NBS &= \arg \max NBP \\
 &= \arg \max (v_1^2 \alpha_1 - u_1(f_1)^2)(v_2^2 \alpha_2 - u_2(f_2)^2) \\
 &\quad (v_3^2 \alpha_3 - u_3(f_3)^2) \\
 &= \arg \max (v_1^2 \alpha_1 - u_1(f_1)^2)^2 \\
 &\quad (\beta^{\frac{1}{2}} v^2 (1 - \alpha) - u_1(f_1)^2) \\
 NBP &= -3\beta^{\frac{1}{2}} v^6 \alpha^2 + 2v^4 (\beta^{\frac{1}{2}} v^2 - u_2(f_2)^2 + 2u_1(f_1)^2) \alpha \\
 &\quad + v^2 (-2\beta^{\frac{1}{2}} u_1(f_1)^2 + 2u_1(f_1)^2 u_2(f_2)^2 - \beta^{\frac{1}{2}} u_2(f_2)^2) \\
 0 &= \frac{\partial}{\partial \alpha} NBP, \quad \alpha = \frac{2}{3} - \frac{1}{3v^2} \left(\frac{2}{\beta^{\frac{1}{2}}} u_2(f_2)^2 - u_1(f_1)^2 \right)
 \end{aligned}$$

여기서 사용된 $u_1(f_1), u_2(f_2), u_3(f_3)$ 와 v, v_1, v_2 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 u_1(f_1)^2 &= u_3(f_3)^2 = \left(\frac{h_{11}P_1}{V_{TH}\beta h_{21}P_2 \frac{1}{d^2} + \frac{h_{11}P_1}{v_1^4}} \right)^{1/4}, \\
 u_2(f_2)^2 &= \left(\frac{\beta h_{22}P_1}{V_{TH}h_{12}P_1 \frac{1}{d^2} + \frac{\beta h_{22}P_1}{v_2^4}} \right)^{1/4}, \\
 v = v_1 &= \left(\frac{h_{11}P_{Tot}}{(\beta + 1)V_{TH}N_1} \right)^{1/4}, \quad v_2 = \beta^{1/4}v_1
 \end{aligned}$$

이렇게 구한 NBS를 참조 2와 같이 전개하여 풀면 다음과 같다.

$$v^2\alpha > u_1(f_1)^2$$

$$i.e., 3d^8 + 4(\beta + 2)xd^6 + 12\beta x^2d^4 - 4\beta^2x^4 = 0$$

이 방정식은 매우 복잡하기 때문에 치환을 하여 4차 방정식으로 변환 후 페라리 방법을 통하여 Theorem 3 결과를 얻을 수 있다.

참고 문헌

- [1] 이근호 “무선식별(RFID)기술” TTA저널89호, 2003년 10월.
- [2] 김상태, “RFID 기술개요 및 국내외 동향분석” 전자부품연구원 전자정보처리센터 2003년8월.
- [3] 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.
- [4] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook-Second Edition, Jone Wiley & Sons, 2003.
- [5] J. Waldrop, D. W. Engels, S. E. Sarma, “Colorwave : A MAC for RFID Reader Networks,” 2003 IEEE Conf. on Wireless Communication and Networking, March 2003.
- [6] J. Waldrop, D. W. Engels, S. E. Sarma, “Colorwave : An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem,” 2003 IEEE International Conf. on Communications, May 2003.
- [7] 이윤덕, 김도윤, 윤현구, 육종관, 장병준, “리더 간섭에 의한 RFID 시스템의 인식 거리 감소에 관한 연구”, 한국 전자과학회 논문지, 18(7), pp.731-738, 2007년 7월.
- [8] 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
- [9] G. Scutari, D. Palomar, and S. Barbarossa, “Synchronous iterative water-filling for Gaussain frequency-selective interference channles: A unified framework,”in IEEE SPAWC-2006, 2006. Klaus Finkenzeller, RFID Handbook-Second Edition, Jone Wiley & Sons, 2003.
- [10] W. Yu, W. Rhee, S. Boyd, and J.M. Cioffi, “Iterative waterfilling for Gaussian vector multiple-access channels,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 50, no. 1, pp. 145 - 52, 2004.
- [11] A. Laufer and A. Leshem, “Distributed coordination of spectrum and the prisoner’ dilemma,”in Proc. First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks - DySPAN 2005, pp. 94 - 100, 2005.
- [12] A. Laufer, A. Leshem, and H. Messer, “Game theoretic aspects of distributed spectral coordination with application to DSL networks.” arXiv:cs/0602014, 2005.
- [13] R. Etkin, A. Parekh, and D. Tse, “Spectrum sharing for unlicensed bands,”in Proc. of the First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks - DySPAN 2005, pp. 251 - 258, 2005.
- [14] P. Nuggehalli, M. Sarkar and R.R. Rao “QoS and Selfish Users: A MAC Layer Perspective”, in Proceedings of the 2007 IEEE GLOBECOM, pp 4719-4723, 2007.
- [15] J. Nash, “he bargaining problem,”Econometrica, vol. 18, pp. 155 - 62, Apr. 1950.
- [16] J. Nash, “wo-person cooperative games,” Econometrica, vol. 21, pp. 128 - 40, Jan. 1953.[9] G. Scutari, D. Palomar, and S. Barbarossa, “Synchronous iterative water-filling for Gaussain frequency-selective interference channles: A unified framework,”in IEEE SPAWC-2006, 2006. Klaus Finkenzeller, RFID Handbook-Second Edition, Jone Wiley & Sons, 2003.
- [17] G. Owen, Game theory. Academic Press, third ed., 1995.
- [18] T. Basar and G.J. Olsder, Dynamic non-cooperative game theory. Academic Press, 1982.

저 자 소 개



이 동 열(학생회원)
 2008년 아주대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2008년 3월~현재 아주대학교
 전자공학과 석사 과정
 <주관심분야 : Game theory,
 Wireless LAN, Mesh Network>



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>