

碩士學位論文

WBAN에서의 중첩 문제를 위한
게임 이론 모델

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

申 相 培

2012年 1月 6日

碩士學位論文

WBAN에서의 중첩 문제를 위한
게임 이론 모델

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

申 相 培

2012年 1月 6日

WBAN에서의 중첩 문제를 위한 게임 이론 모델

指導教授 趙 眞 星

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

申 相 培

2012年 1月 6日

申相培의 工學碩士 學位論文을 認准함

主審敎授 홍 충 선 (印)

副審敎授 유 인 태 (印)

副審敎授 조 진 성 (印)

慶熙大學校 大學院

2011年 1月 6日

WBAN에서의 중첩문제를 위한 게임 이론 모델

(A Game Theory Model for Coexistence Problem in WBANs)

慶熙大學校大學院

컴 퓨 터 공 학 과

신 상 배

본 논문에서는 중첩된 WBAN(Wireless Body Area Network) 환경에서 비경쟁 전송구간의 신뢰성 있는 전송을 위해 한정된 자원(비경쟁 전송구간)을 각각의 WBAN에게 할당하는 방안을 제안한다. 이를 위해 협동적 게임 이론(cooperative game theory)을 바탕으로 한정된 자원(비경쟁 전송구간)을 효율적이고 공평하게 할당 할 수 있도록 내쉬중재(nash arbitration) 기법을 통한 자원 할당 방안과 쿠르노 경쟁 모델링(cournot competition modeling)을 이용하여 QoS를 보장하는 자원 할당 방안을 제안한다. 내쉬중재 협상해법을 통해 WBAN 간 비경쟁 전송구간의 충돌 없이 신뢰성 있는 전송을 보장한다. 각 WBAN의 비경쟁 전송 구간 내의 디바이스 우선순위와 할당 받은 구간의 크기를 고려하여 전략 선택에 따른 형평성과 각 WBAN이 비경쟁 전송구간 내에 요구하는 할당구간(allocation interval)을 보장한다. 또한, 단일 WBAN

의 요구사항을 만족시키는 QoS를 보장하기 위해 전송량(throughput), 지연시간(delay), 트래픽 우선순위(traffic priority)를 고려하여 쿠르노 경쟁 모델을 사용한 전송 구간 할당 방안을 제안한다. 이러한, 게임 이론 모델링을 통하여 중첩된 WBAN 환경에서의 단일 WBAN의 요구사항을 만족시키며 효율적이고 공평한 전송 구간 할당 방안을 살펴본다. 수학적 분석과 시뮬레이션을 통해 단일 WBAN의 QoS를 보장하며 성능이 개선됨을 확인한다.

키워드 : WBAN, 게임이론, 내쉬중재, 쿠르노 경쟁, 공존성 문제

<목 차>

1. 서론	1
2. 관련연구	3
2.1 IEEE 802.15.6 WBAN	3
2.2 협동적 게임이론	5
3. 제안사항	6
3.1 내쉬중재를 이용한 비경쟁구간 할당방안	6
3.1.1 문제정의 및 협상해법	8
3.1.2 사례분석	12
3.2 쿠르노 경쟁을 이용한 공존성 모델링	15
3.2.1 QoS 보장을 위한 유용함수	15
3.2.2 마르코프 연쇄를 통한 상대 전략 예측방안	20
4. 성능평가	26
4.1 시뮬레이션 환경	26
4.2 결과 및 분석	27
5. 결론	31
참고문헌	32
Abstract	34

<그 립 목 차>

그림 1.	.....	3
그림 2.	.....	7
그림 3.	.....	13
그림 4.	.....	14
그림 5.	.....	15
그림 6.	.....	18
그림 7.	.....	19
그림 8.	.....	21
그림 9.	.....	27
그림 10.	.....	28
그림 11.	.....	29
그림 12.	.....	29
그림 13.	.....	30

<표 목 차>

표 1.	.....	8
표 2.	.....	9
표 3.	.....	10
표 4.	.....	12
표 5.	.....	21
표 6.	.....	26

1. 서 론

최근 평균 수명의 증가로 초고령화 사회의 진입이 가속화되고, 맞춤형건강서비스와 같은 사용자 요구사항으로 인해 u-헬스케어, u-라이프케어와 같은 서비스가 대두되고 있다. 현재 IEEE 802.15 TG6에서 표준화 진행 중인 WBAN (Wireless Body Area Network)은 이를 뒷받침 해주는 기술로써 인체를 중심으로 3m 이내의 영역으로 이루어지는 통신 기술을 말한다[1]. 또한, WBAN은 사용자의 신체 및 의료 데이터의 전송 뿐 만 아니라, 멀티미디어 게임, 스트리밍 서비스와 같은 엔터테인먼트 데이터의 전송을 포함한다[2]. WBAN의 데이터링크 계층에서 이루어지는 디바이스의 전송 구간 할당은 신체 및 의료 데이터의 신뢰성 있는 데이터 전송과 엔터테인먼트와 같은 멀티미디어 응용서비스를 위해 경쟁 구간과 비경쟁 구간으로 나누어진다.

병원, 노인복지시설 등과 같이 WBAN 사용자들의 밀집도가 높은 지역에서는 WBAN 사이의 전송 구간의 중첩으로 인해 충돌이 발생하고, 이는 신체 및 의료데이터의 전송 실패로 이어진다. 간접으로 발생하는 신체 및 의료데이터의 전송 실패는 사용자의 생명과 밀접한 관계가 있다. 따라서, WBAN 사이의 중첩 상황이 발생했을 시, 신체 및 의료데이터 전송의 신뢰성을 확보하기 위해, 보장된 전송구간인 비경쟁 전송구간을 각각의 WBAN에게 효율적이며 공평하게 할당해 주어야 한다.

한정된 자원, 즉, 제한적인 전송구간을 다수의 사용자에게 나누어 사용하는 방안은 게임이론을 통해 그 해결 방안을 찾을 수 있다. 1944년 Von Neuman에 의해 시작된 게임이론은 상대방의 대처행동을 고려하면서 자기의 이익을 효과적으로 달성하기 위해 합리적으로 선택하는 행동을 수학적으로 분석하는 이론이다[3]. 정치, 경제 분야에서 주로 사용되었던 게임 이론적 방법론이 최근 공학 분야의 여러 문제에 활발히 적용되고 있다[3][4]. 본 논문에서는 사용자들의 효율적이고 공평한 자원 분할에 초점을 맞추고 있는 협동적 게임이론을 바탕으로 중첩된 WBAN 환경에서 제한적인 비경쟁 전송구간을 각각의 WBAN에게 할당하는 방안을 살펴본다. 중첩된 WBAN 환경에서 단일 WBAN이 요구하는 전송구간의 크기와 트래픽의 평균 우선순위를 기준으로 하는 비경쟁 전송 구간 할당 방안에 있어 협동적 게임이론의 내쉬중재 협상해법을 사용하여 단일 WBAN의 요구사항을 만족하면서 공평하게 자원을 할당하는 방안을 제안한다. 또한, 두 개의 WBAN이 중첩된 환경에서 QoS 요소인 전송량(throughput), 지연시간(delay), 트래픽 우선순위(traffic priority)를 고려하여 쿠르

노 경쟁(cournot competition)을 이용한 모델링을 제안한다. 제안하는 중첩된 WBAN 환경에서의 게임이론을 이용한 모델링 기법은 WBAN의 QoS 요구사항을 만족시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.15 Task Group6 에서 표준화 진행 중인 WBAN의 요구사항과 MAC 프로토콜과 협동적 게임 이론에 대한 특징을 살펴보고, 3장에서는 WBAN 환경에서의 QoS 보장을 위해 내쉬중재를 이용한 비경쟁 전송 구간 할당 방안과 쿠르노 경쟁을 이용한 모델링 방안을 살펴본다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능평가를 한 후, 5장에서는 결론을 맺는다.

그림1.(a)에 보여 지는 그림에서 EAP(Exclusive Access Period), RAP(Random Access Period), CAP(Contention Access Period) 구간은 경쟁을 통해 채널을 점유하는 구간으로 CSMA/CA 혹은 Slotted ALOHA 기법을 사용한다. Type I/II 전송 구간은 비경쟁 전송구간으로 Type I 전송구간은 time duration 기반으로 Type II 전송구간은 frame count 기반으로 동작 된다. Type I/II 전송 구간 내에서는 예약(scheduled) 기반의 비경쟁 전송 구간을 할당한다. 그림 1.(b)는 비콘 전송 없이 Type I 혹은 Type II의 모드로만 동작되어진다. 그림 1.(c)는 코디네이터의 폴링(polling) 및 포스팅(posting) 방식으로 동작되어 지며 그림 2에서 보여 지는 세 가지 전송모두 비경쟁 전송 구간을 포함하는 allocation interval을 포함한다. 두 개의 단일 WBAN이 중첩되어 하나의 WBAN처럼 동작 될 시, 각각의 WBAN 내에서 비경쟁 전송구간의 allocation interval을 한정된 전송구간에 맞게 새롭게 할당해야 한다. 내쉬중재 협상해법을 통한 비경쟁 전송구간 내 allocation interval 할당 방안은 단일 WBAN 속한 의료용 단말을 위해 최소한의 전송구간을 보장하며 할당한다.

서론에서 기술한 바와 같이, WBAN은 인체 내·외부를 포함하는 인체 주변 영역에서 서로 상이한 특징을 가진 다양한 디바이스들로 네트워크가 구성되며, 통신 서비스를 제공 한다(i.e., medical or CE devices). 그러므로 WBAN MAC 프로토콜은 다양한 디바이스 또는 응용 간에 충분히 유연성을 제공해야 한다. 유연성을 제공하기 위해서 WBAN MAC 프로토콜은 다음의 요구사항을 만족해야 한다[2].

■ 저전력 (power consumption) : WBAN 디바이스는 인체 내부에 이식되거나 배터리 기반으로 휴대할 수 있는 의료 센서 디바이스 또는 휴대형(portable) 디바이스로 대부분 구성되기 때문에 에너지 사용 효율성이 가장 중요한 이슈이다.

■ 듀티 사이클 (duty cycle) : 듀티 사이클에 대한 요구사항은 매우 광범위하다. 특히 의료 디바이스는 듀티 사이클에 대한 요구사항이 매우 중요하다(e.g., <1% or <10%). 듀티 사이클은 저전력 요구사항과 매우 밀접한 관계를 가지므로 요구사항을 만족하는 것이 저전력 요구사항을 만족하는 방안 중에 하나가 될 수 있다. 최대한 오래 슬립(sleep) 상태를 유지하고, 전송이 필요한 경우에만 wakeup 하여 통신을 수행하도록 요구된다. 반면에 CE 디바이스는 듀티 사이클을 크게 요구받지 않는다. (e.g., low, medium or high).

■ 전송 지연 (latency) : 긴급(emergency) 의료 상황, QoS 보장을 요구하는 의료 응용은 낮은 전송 지연이 요구 된다(i.e., 의료 응용 ; $\leq 125\text{ms}$). CE 응용도 QoS 보장을 요구하거나 실시간 서비스를 제공해야 하는 서비스의 경우 낮은 전송 지연을 요구 한다(i.e., CE 응용 $\leq 250\text{ms}$).

■ 확장성 (scalability) : WBAN 네트워크의 크기는 256개의 디바이스까지 확장을 지원 할 수 있어야 한다. Technical Requirement Document에 따라 WBAN MAC 프로토콜은 의료 디바이스가 확장 가능한 네트워크 크기만큼 확장될 경우까지 고려되어야 한다. 또한 다양한 특성을 가지는 디바이스가 네트워크에 혼재되어 있고, 저속의 서비스부터 고속의 서비스까지 다양하므로 전송 속도는 10Kbps부터 10Mbps까지 디바이스의 전송 특성에 따라 다양한 전송 속도의 지원을 요구한다.

■ 주기성과 비주기성 (periodic and non-periodic): 대체로 의료분야의 WBAN 디바이스는 인체의 정보를 주기적으로 수집하고 취합된 정보를 분석할 수 있도록 모니터링 시스템과 같은 응용 서비스로의 전달을 수행한다. 따라서 일반적인 의료 분야의 WBAN 디바이스는 WBAN 네트워크에 항상 연결되어 있으며, 주기적인 sleep과 wakeup를 반복하는 듀티 사이클을 통해 에너지 소비 효율을 높이고 주기성을 가지고 데이터 전송을 시도한다. 이러한 데이터 생성 주기는 1ms부터 1000s까지 광범위하게 다양한 주기를 가질 수 있다. 반면에 CE 디바이스는 때때로 네트워크에 연결되며, 데이터 전송도 Event-driven 기법에 의하여 때때로(sporadically) 대량의 데이터가 폭발적(bursty)으로 발생하는 특징을 일반적으로 가진다.

2.2 협동적 게임 이론(Cooperative Game Theory)

협동적 게임 이론(cooperative game theory)은 다중 사용자들이 어떻게 하면 한정된 자원을 효율적이고 공평하게 공유할 수 있는지에 초점을 맞춘 이론이다[3][4]. 특히 협동적 게임이론의 협상 해법은 각 사용자들만의 독특한 이종성을 고려할 수 있기 때문에, 사용자들의 서비스 요구 사항의 편차가 큰 서비스의 자원 관리에 유용하게 사용될 수 있다[5]. 또한, 협동적 게임은 경기자의 일부 또는 전부가 자발적으로 구속력 있는 계약에 합의하여 연대가 허용되는 경우이다. 앞서 설명한 바와 같이 한정된 자원을 공평하게 나누기 위해서 협동을 통해 경기자가 자발적으로 합의 또는 중재하여 이익을 극대화 시켜야 한다.

3. 제안 사항

3.1 내쉬중재(Nash Arbitration)를 이용한 비경쟁 구간 할당 방안

내쉬중재(nash arbitration)는 두 명의 경쟁자가 협동을 통해 얻게 되는 기대이익을 자신의 최소 요구사항을 만족시키면서 효율적이고 공평하게 나눌 수 있는 협상해법이다. 즉, 경쟁자들이 자신이 인정할 수 있는 어떠한 합의점에 도달하고 인정하는 것이다. 내쉬중재를 통한 협상해법 도출을 위해서는 다음 3가지 요소를 정의하거나 만족하여야 한다.

1) Payoff polygon : 경쟁자의 전략선택에 따른 기대이익을 2차원 평면상의 그래프로 표현하였을 때, 기대이익의 점을 연결하는 평면상의 영역이 convex 해야 한다. 그림 2에서 보이는 payoff polygon은 convex hull로 정의된다.

2) Security level : 게임의 경쟁자가 어떤 선택을 하더라도 자신에게 보장되는 최소한의 기대이익으로 정의한다. security level의 도출 방안은 3.1.1절에서 자세히 살펴보도록 한다.

3) Negotiation set : Von Neumann과 Morgenstern이 제안한 방법으로 합의점을 도출 할 수 있는 협상집합을 의미한다. 도출 된 합의점은 다음 두 가지 성질을 만족해야 한다[5].

① Pareto Optimal

② 최소한 security level 이상의 기대이익을 갖는다.

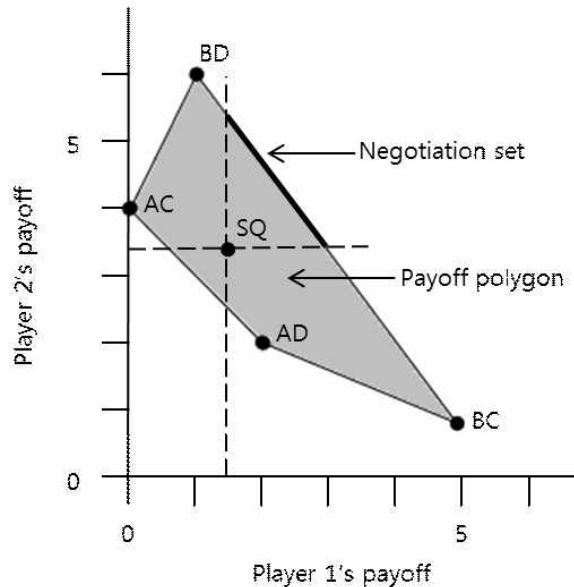


그림 2. 두 명 사용자의 내쉬중재 해법 사례

그림 2에서 보는 바와 같이 협상전략 내에서 합의점을 발견하게 된다. 전략 집합의 범위를 정하기 위해 사용되는 점 SQ는 payoff polygon 내에 한 점이 되며, 점 SQ는 security level로 정의된다. 이 때, 중재 원칙에서 합의점 도출에 사용되는 점 SQ를 status quo point라고 한다.

또한, 내쉬중재는 공리적 협상해법으로 협상 문제에 대한 해법이 여러 가지의 공리를 만족시킨다는 점에서 결정된다고 설명한다[6]. 내쉬중재는 다음의 공리를 만족한다.

- 1) 합리성 (Rationality)
- 2) 선형변환에 대한 불변성 (Linear Invariance)
- 3) 대칭성 (Symmetry)
- 4) 관련성 없는 대안들의 불변성 (Independence of irrelevant alternatives)

공리 1)은 협상해법이 협상 집합에서 결정됨을 뜻하고, 공리 2), 3), 4)는 내쉬중재의 공평성을 특징짓는다. 각 공리들에 대한 자세한 내용과 특징은 [7]에 설명되어

있다. 내쉬(nash)는 중재 원칙에서 위의 요소와 공리들을 모두 만족시킨다면, 하나의 협상점을 찾을 수 있음을 증명하였다[8].

[정리, Nash] 중재 원칙에서 4가지 공리를 모두 만족시킨다면, $SQ = (x_0, y_0)$ 일 때, $(x - x_0)(y - y_0)$ 을 최대로 하는 polygon 내의 오직 한 점 (x, y) 을 찾을 수 있다. 단, $x \geq x_0, y \geq y_0$

위 정리에서 $(x - x_0)(y - y_0)$ 을 최대로 하는 한 점 (x, y) 가 내쉬중재의 합의점이 된다.

3.1.1 문제정의(Problem Formulation) 및 협상해법(Bargaining Solution)

두 개의 중첩된 WBAN 환경에서 내쉬중재 협상해법의 적용을 위해 중첩된 두 개의 WBAN은 중첩이 발생했을 시 비경쟁구간의 동기화 과정은 완료되었으며, 동기화 진행 시 메시지 교환으로 경쟁자의 전략 및 기대이익을 모두 알고 있다는 사실을 가정한다. 즉, 단일 WBAN은 완전정보를 가지고 협동적 게임에 참여한다.

표 1. 문제 정의를 위한 표기법

표기	정의
S	비경쟁 전송구간을 할당하는 전략의 집합
E	비경쟁 전송구간 길이
p	비경쟁 전송구간 내 디바이스 트래픽 우선순위
D	단일 WBAN이 요구하는 비경쟁 전송구간의 총 allocation interval
d	단일 WBAN 비경쟁 전송구간 내 allocation interval
w	단일 WBAN에서 비경쟁 전송구간 내 트래픽 우선순위를 고려한 가중치
u	전략 선택에 따른 기대이익
g	비경쟁 전송구간 길이에 비례하여 확장된 가중치
n	단일 WBAN 비경쟁 전송구간에 참여하는 노드의 개수
l	단일 WBAN 비경쟁 전송구간의 allocatioin interval의 개수

표 2. WBAN 트래픽 우선순위

우선순위	트래픽 우선순위	트래픽 명칭
Lowest ↓ Highest	0	Background (BK)
	1	Best Effort (BE)
	2	Excellent Effort (EE)
	3	Controlled Load (CL)
	4	Video (VI)
	5	Voice (VO)
	6	Medical data / network control
	7	Emergency / medical event report

내쉬중재를 통한 협동적 게임에 참여하는 두 개의 서로 다른 WBAN을 각각 i, j 라 하자. i 와 j 가 중첩되어 비경쟁전송 구간을 할당하는 방안으로 두 가지 전략을 구사한다. 전략집합 $S = \{s_1, s_2\}$ 에 대해 첫 번째 전략 s_1 은 단일 WBAN의 비경쟁 전송구간에서 디바이스 트래픽의 우선순위를 고려하여 비경쟁 전송구간을 할당하는 방법이다. 단일 WBAN은 비경쟁 전송구간 내에 표 2에서 보는 바와 같이 의료 디바이스의 중요도에 따라 트래픽 우선순위를 구분하였다. 첫 번째 전략의 선택에 따른 기대이익은 식(1)에 의해 계산되어진 가중치 값에 비례하여 비경쟁 전송구간을 할당 받는다. 식(1)의 가중치 값은 비경쟁 전송구간 내에 할당받은 디바이스 트래픽의 평균 우선순위 값으로 계산된다.

$$w_i = \frac{1}{n_i} \cdot \sum_{k=1}^{n_i} p_i, \quad w_j = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{k=1}^{n_j} p_j \quad (1)$$

두 번째 전략 s_2 는 트래픽의 우선순위를 고려하지 않고, 단일 WBAN이 요구하는 비경쟁 전송구간의 할당받은 총 allocation interval에 비례하여 할당하는 전략이다. 단일 WBAN의 비경쟁 전송구간 내에서 할당 받은 allocation interval을 d 로 표기한다면 할당받은 총 allocation interval은 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$D = \sum_{k=1}^l d_k \quad (2)$$

두 단일 WBAN인 i 와 j 가 서로 다른 전략 s_1, s_2 를 선택한다면, 기대이익을 계산하기 위한 가중치 값의 범위는 식(3), 식(4)과 같다.

$$lowest\ priority \leq w \leq highest\ priority \quad (3)$$

$$0 \leq D \leq E \quad (4)$$

따라서, 각기 다른 전략 선택에 따른 기대이익을 비교하기 위해서는 s_1 전략 선택에 따른 가중치 값을 비경쟁 전송구간의 길이 E 만큼 확장해야 한다. 확장된 가중치 값은 식(5)을 통해 구할 수 있다.

$$g_i = \frac{E \cdot w_i}{P_{highest}}, \quad g_j = \frac{E \cdot w_j}{P_{highest}} \quad (5)$$

두 개의 WBAN의 전략 선택에 따른 기대이익은 표 3과 같다. 앞서, 2장에서 기술한 바와 같이 협상집합을 결정짓기 위해서는 표 3에서 보는 바와 같이 얻어 지는 기대이익을 2차원 평면 상의 그래프로 표현 했을 때, 평면상의 내부에 존재하는 status quo point, 즉, 각각의 WBAN i, j 에 대한 security level을 구해야 한다.

표 3. 전략집합 s 에 따른 기대이익

		j	
		s_1	s_2
i	s_1	$\left(E \cdot \frac{w_i}{w_i + w_j}, E \cdot \frac{w_j}{w_i + w_j} \right)$	$\left(E \cdot \frac{g_i}{g_i + D_j}, E \cdot \frac{D_j}{g_i + D_j} \right)$
	s_2	$\left(E \cdot \frac{D_i}{D_i + g_j}, E \cdot \frac{g_j}{D_i + g_j} \right)$	$\left(E \cdot \frac{D_i}{D_i + D_j}, E \cdot \frac{D_j}{D_i + D_j} \right)$

i, j 에 대한 security level의 산출 방법은 각 행과 열의 우월전략의 존재여부에 따라 나누어진다. 만약, 우월전략이 존재한다면, 맥시민 전략(maximin strategy)을 통해 구할 수 있다. 맥시민 전략은 상대방이 어떠한 선택을 하더라도 자신에게 최소한의 보수를 보장하는 전략으로 기대이익은 $\max_{s_i} \min_{s_j} u_i(s_i, s_j)$ 값이 된다. 이는 경쟁자 j 가 i 의 기대이익을 최소화 시키는 전략으로 얻어지는 기대이익 $\min_{s_j} u_i(s_i, s_j)$ 의 값 중에서 최대값을 선택한 것이다. 반면에 우월전략이 존재하지 않는다면, 혼합전략에서 혼합균형을 찾는 방법과 유사하게 security level을 구할 수 있다. 혼합 균형은 경쟁자의 전략 선택의 확률에 따라 게임의 참여자가 기대하는 기대이익이 일치하여야 한다는 것으로써 구할 수 있다. security level은 경쟁자의 전략 선택이 확률이 아닌 자신 스스로의 전략 선택 확률에 따른 기대 이익이 일치한다고 놓음으로써 산출해 낼 수 있다. security level 값을 status quo point로 놓음으로써 그림 1에서 보이는 바와 같이 협상 집합을 정할 수 있다. 협상집합은 일차함수 형태로 정의가 가능하고 $y=g(x)$ 로 놓는다면 협상집합 함수는 식(6)과 같다. 식(6)와 같이 정의된 일차함수를 앞서 2절에서 살펴 본 정리에 의해 대입하면 식(7)과 같다. 식(7)의 값을 최대로 하는 $\max f(x)$ 에 의해 x 값을 도출 할 수 있다. 여기서, x_0 와 y_0 의 값 SQ는 security level 값이다.

$$g(x) = ax + b \quad (6)$$

$$f(x) = (x - x_0)(ax + b - y_0) \quad (7)$$

즉, 식(7)를 최대값으로 만드는 x 값과 협상집합 내에서 그에 대응하는 y 값은 내쉬 중재 협상해법을 통한 합의점이 된다. 두 WBAN i, j 는 전략집합 $S = \{s_1, s_2\}$ 내에서 전략의 선택에 따라 효율적이고 공평하게 비경쟁 전송구간 내 allocation interval을 할당 받을 수 있다. x 는 i 가 할당 받은 총 allocation interval의 길이, y 는 j 가 할당 받은 총 allocation interval의 길이를 의미한다.

3.1.2. 사례 분석

중첩 된 WBAN 환경에서의 비경쟁 전송구간 할당방안을 앞서 제안한 방안에 적용하여 분석한다. 중첩 된 WBAN 환경에서 비경쟁 전송구간의 내쉬중재를 이용한 할당방안을 분석하기 위해 표4에서 보이는 바와 같이 두 가지 경우로 나누어 분석하였다. 평균 트래픽 우선순위가 높은 단일 WBAN이 더 많은 비경쟁 구간을 할당 요청했을 경우(case 1)와 평균 트래픽 우선순위가 낮은 단일 WBAN이 더 많은 비경쟁 구간을 요청했을 경우(case 2)이다.

표 4. 사례분석을 위한 설정값

Notation	Case 1.	Case 2.
E	50	50
D	$D_i=50, D_j=30$	$D_i=40, D_j=30$
w	$w_i=4, w_j=6$	$w_i=4, w_j=2$
g	$g_i=\frac{200}{7}, g_j=\frac{300}{7}$	$g_i=\frac{200}{7}, g_j=\frac{100}{7}$
SQ	$x_0=20, y_0=\frac{75}{4}$	$x_0=\frac{1000}{41}, y_0=\frac{250}{19}$

첫 번째 사례의 경우 3장에서 살펴본 바와 같이 식(5)에 의해 각 WBAN에서 확장된 가중치 값은 $g_i=\frac{200}{7}, g_j=\frac{300}{7}$ 로 계산되며, 맵시민 전략에 의해 security level, SQ 는 $(20, \frac{75}{4})$ 로 산출 할 수 있다. i 와 j 는 E 의 개수를 중재하여 나눠 갖는다. 따라서 그림 3에서 보이는 바와 같이 협상집합을 갖는 일차함수는 식(7)과 같고, 협상집합의 범위는 식(8)과 같다.

$$x+y=50 \quad (7)$$

$$20 \leq x \leq g^{-1}\left(\frac{75}{4}\right) \quad (8)$$

식(6)를 최대화 하는 x 값은 $\frac{205}{8}$ 가 되고, 협상집합 함수인 식(7)에 의해 y 값은 $\frac{195}{8}$ 을 얻게 된다. 따라서, 내쉬중재 해법의 의한 합의점은 $\left(\frac{205}{8}, \frac{195}{8}\right)$ 이 되고, i 와 j 가 할당 받는 allocation interval은 $\left(\frac{205}{8}, \frac{195}{8}\right)$ 로 할당 받게 된다.

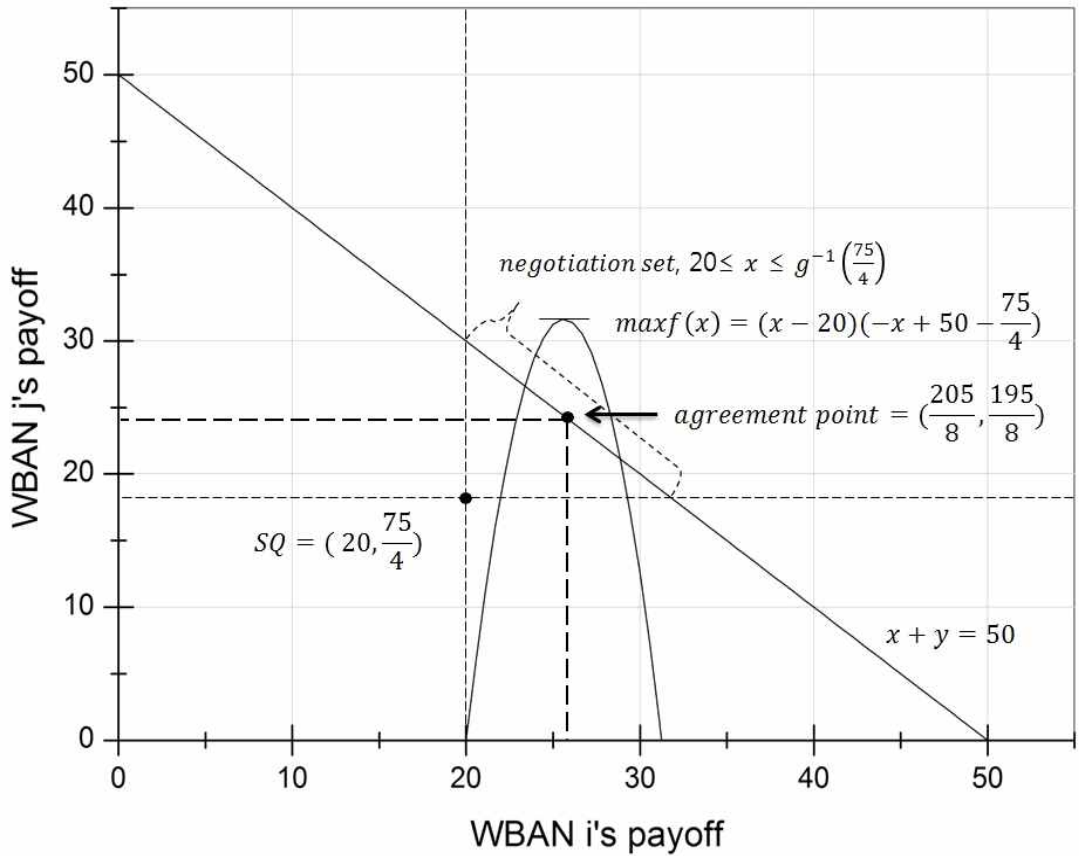


그림 3. Case 1의 내쉬중재 해법 사례 분석

두 번째 사례의 경우도 마찬가지로 위와 같은 방법으로 계산되어 질 수 있다. 그림 4에서 보이는 바와 같이 협상집합과 내쉬중재 해법에 의한 합의점으로 $\left(\frac{1000}{41}, \frac{250}{19}\right)$ 을 산출 할 수 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 첫 번째 사례의 경우 i 는 j 보다 신체 정보 및 긴급 트래픽의 비율이 적지만 비의료용 서비스를 위한 트래픽의 양을 보장

하기 위해 i 와 j 가 비슷한 비율로 비경쟁 전송 구간을 나누어 사용함을 알 수 있다. 두 번째 사례의 경우 트래픽 우선순위가 높고 더 많은 비경쟁 전송구간을 요구하는 i 에게 상대적으로 많은 구간을 할당함을 확인 할 수 있다. 또한, 단일 WBAN i 와 j 가 만족해야하는 최소한의 allocation interval인 SQ 값을 게임이론을 통해 산출 해 낼 수 있음을 알 수 있다.

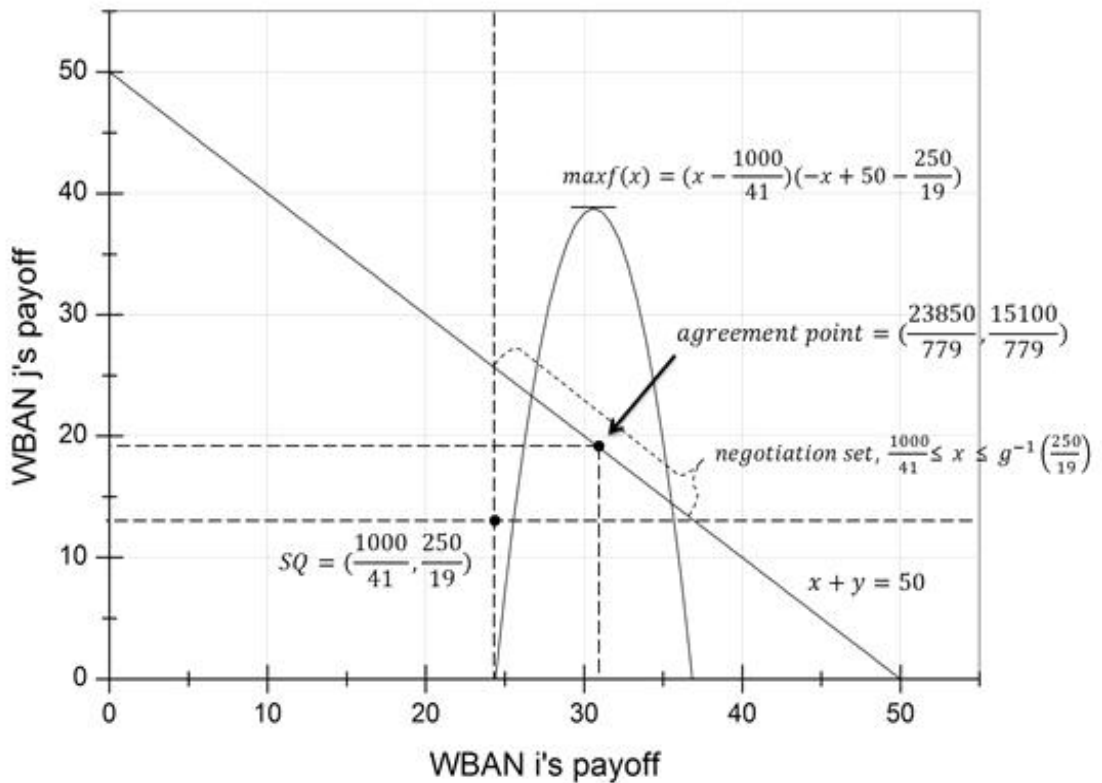


그림 4. Case 2의 내쉬중재 해법 사례 분석

3.2 쿠르노 경쟁(Cournot Competition)을 이용한 공존성 모델링

3.2.1 QoS 보장을 위한 유틸리티 함수 (Utility Function)

쿠르노 경쟁은 게임에 참여하는 참여자가 그들 자신의 전략을 알고하고 각자의 유틸리티 함수(utility function)에 맞게 자신이 얻을 수 있는 이익을 최대화하는 것이다. 이는 협조적 게임이론으로 독점적 행동과는 다르다. 독점적 행동 방식은 상대방의 전략을 고려하지 않고 자신의 이익만을 극대화하는 방법이지만, 쿠르노 게임이론은 상대방의 전략을 고려하고 반영함과 동시에 자신이 얻을 수 있는 이익을 극대화하며, 게임에 다수의 참여자가 존재하는 경우 가장 우월적인 참여자에게 많은 이익을 얻을 수 있게 해주는 게임이론 방법이다[9]. WBAN 환경에 QoS를 보장하기 위해 쿠르노 경쟁을 이용한 모델링 방안에서는 전송량(throughput), 지연시간(delay), 트래픽 우선 순위(traffic priority) 세 가지 파라미터를 고려하여 QoS를 보장할 수 있도록 모델링한다[10-12].

그림 5에서 보이는 바와 같이 IEEE 802.15.6 WBAN의 MAC 구조에서 비경쟁 전송 구간에서의 두 개의 WBAN 사용자가 자신의 전송구간을 할당 받을 수 있도록 모델링하였다.

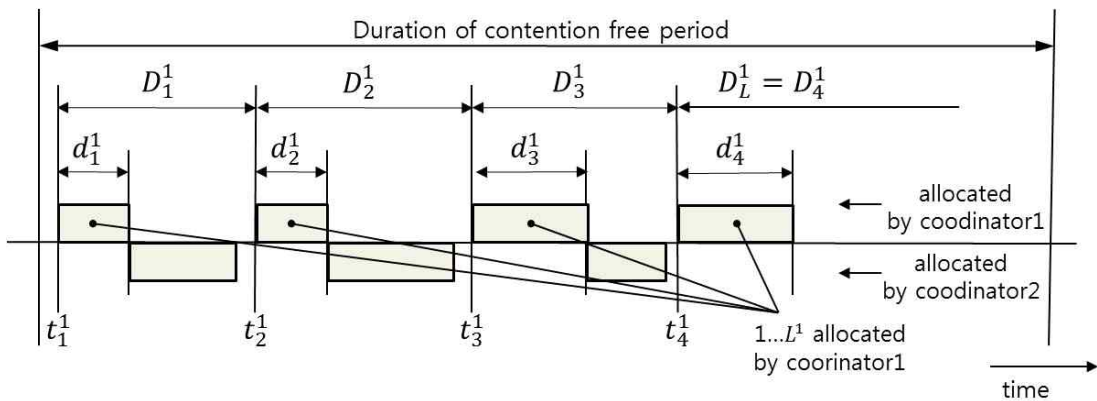


그림 5. WBAN Modeling

비경쟁 전송구간 내에서 각각의 WBAN은 할당 받은 전송 구간 내에서 돌아가면서 전송을 한다. 이는 일방적으로 하나의 단일 WBAN이 연속적으로 전송구간을 할당 받을 경우, 다른 WBAN의 전송 지연시간이 길어지게 되어 WBAN의 전송 지연 요

구사항을 만족시킬 수 없는 경우를 방지하고자 함이다. 우리는 세 개의 파라미터를 0과 1사이의 값으로 평균화하여 사용한다. QoS를 보장하기 위한 세 개의 파라미터를 다음과 같이 표기한다. 전송량(throughput) θ , 지연시간(delay) Δ , 트래픽 우선순위(traffic priority) P , L^i 은 비경쟁 전송 구간 내에 할당 받은 전송 구간의 순서와 총 개수를 의미한다. 그림 5에서 보이는 바와 같이 coordinator 1에게 전송 받은 WBAN 1의 비경쟁 전송 구간에서의 L^1 은 4이고, coordinator 2에게 전송 받은 WBAN 2의 비경쟁 전송 구간에서의 L^2 은 3이 된다.

전송량은 하나의 주기를 갖는 비경쟁 전송 구간 내에 단일 WBAN이 할당 받은 전송구간의 길이를 나타낸다. 이는 0과 1사이의 평균값으로 나타내지며 0은 전송 구간을 전혀 할당 받지 못한 상태를 나타내고, 1은 비경쟁 전송 구간을 단일 WBAN이 전부 할당 받아 사용하는 경우를 나타낸다. 0은 전체 비경쟁 전송 구간 내에서 전송할 데이터가 없다는 것을 의미한다. 1은 비경쟁 전송 구간 전체를 모두 할당 받아 전송함을 의미한다. 식(9)에서 보이는 바와 같이 전송량을 계산 할 수 있다.

$$\Theta_i = \frac{1}{Dur} \sum_{l=1}^{L^i} d_l^i \quad (9)$$

지연시간은 순서대로 전송 구간을 할당 받은 경우 비경쟁 전송 구간 내에서 단일 트래픽의 전송 지연시간을 나타내는 것이다. 앞서 WBAN의 요구사항에서 살펴보았듯이 신체 및 의료 정보를 전달하는 트래픽은 지연시간에 민감하다. 따라서, 트래픽의 지연시간을 고려하여 모델링하여야 한다. 지연시간 또한 0과 1사이의 평균값으로 나타내지며 0은 지연시간 발생 없이 비경쟁 전송구간의 시작과 함께 바로 전달되는 트래픽을 의미한다. 1은 비경쟁 전송 구간의 끝에서 전송이 시작되는 경우로 이는 전송 구간 내에서 전송하지 못한다는 것을 의미한다. 식(10)에서 보이는 바와 같이 지연시간을 계산 할 수 있다.

$$\Delta_i = \frac{1}{Dur} \sum_{l=1}^{L^i-1} D_l^i \quad (10)$$

WBAN은 트래픽의 우선순위를 고려해서 전송 구간을 할당해야 한다. 이는 비경쟁 전송 구간의 제한적인 할당 범위 안에서 트래픽 우선순위가 높은 WBAN에게 더 많은 전송 구간을 할당하기 위함이다. 비경쟁 전송 구간 내에서 전송되는 트래픽의 평균 우선순위를 구함으로써 식(11)과 같이 산출해 낼 수 있다.

$$P_i = \frac{1}{\rho_{highest}} \cdot \frac{1}{L^i} \sum_{l=1}^L \rho_l^i \quad (11)$$

게임의 참여자 i 가 얻게 되는 기대 이익을 나타내는 유틸리티 함수(utility function)은 식(12)와 같이 계산되어 질 수 있다. 이는 쿠르노 경쟁 모델링을 이용하여 산출되는 결과로 얻게 되는 기대 이익은 지연시간에서 얻게 되는 이익과 전송량을 통해서 얻게 되는 이익의 곱으로 산출 될 수 있다. 단일 WBAN의 평균 트래픽은 전송량과 지연시간의 기대 이익을 산출해내는 파라미터로 고려된다. 전송량과 지연시간으로 계산되는 유틸리티 함수는 단일 WBAN이 요구하는 *demand* 값, 단일 WBAN에서의 최소 요구사항을 만족시킬 수 있는 *requirement* 값, 단일 WBAN에서 비경쟁 전송 구간 내에 전송되는 트래픽의 평균 우선순위를 파라미터로 계산된다.

$$u_i = u(\Theta) \cdot u(\Delta), with \quad (12)$$

$$u(\Theta) = \frac{1}{2} + \arctan [P \cdot (\Theta_{dem} - \Theta_{req})] \cdot \frac{1}{\pi} \quad (13)$$

$$u(\Delta) = 1 - \left(\frac{1}{2} + \arctan [P \cdot (\Theta_{dem} - \Theta_{req})] \cdot \frac{1}{\pi} \right) \quad (14)$$

그림 6은 쿠르노 경쟁 모델링을 이용하여 정의한 유틸리티 함수와 지연시간, 전송량과의 관계를 수학적 분석을 통해 나타낸 것이다. 중첩된 두 개의 WBAN 환경에서 단일 WBAN을 대상으로 분석하였다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 요구하는 전송량이 많을수록 기대 이익은 높아지고, 지연시간이 짧을수록 기대 이익 또한 높아지는 것을

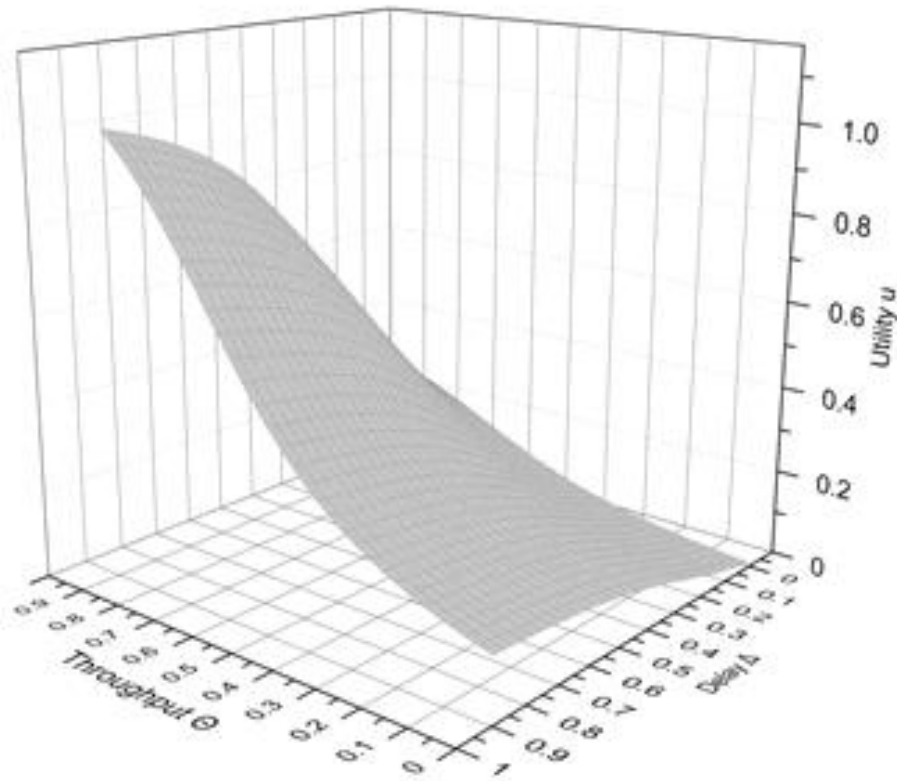


그림 6. Utility Function

확인할 수 있다. 식(13)과 식(14)를 이용하여 정의된 식(12)에서 지연시간이 짧을수록 전송구간을 먼저 점유하여 전송하게 된다. 따라서, 전송구간을 먼저 점유할수록 요구 사항에 만족할만한 결과를 얻게 되어 더 많은 이익을 얻을 수 있게 된다. 앞서 설명한 바와 같이 전송량이 1에 가까울수록 비경쟁 전송 구간을 점유하는 구간이 많아지는 것을 의미한다. 이는 중첩된 WBAN 환경에서 전송구간을 할당받는 게임에 참여하는 단일 WBAN이 다른 WBAN 보다 더 많은 전송구간을 할당 받는 것을 의미한다. 할당 받은 전송구간이 많아질수록 얻게 되는 이익 또한 높아지게 되어 그림 6에서 보는 바와 같이 나타나게 된다.

그림 7은 쿠르노 경쟁에서의 우월적인 참여자에게 자원(전송구간) 할당이 이루어지는 것을 보여준다, 우월적인 참여자란 한정된 자원 할당에 있어 다른 참여자와의 경쟁에서 항상 우월적인 위치를 차지하며 자원을 할당 받은 참여자이다. 즉, 중첩된

WBAN 환경에서는 한정된 전송구간을 할당받는 게임에서 다른 참여자보다 우선순위가 높은 참여자를 고려한 경우 우선순위가 높은 우월적인 참여자가 얻게 되는 기대이익이 더 많아진다는 것이다. 그림 7에서 보이는 바와 같이 두 개의 WBAN이 중첩된 환경에서 얻게 되는 기대 이익의 합이 1이 되기 전까지는 서로의 기대 이익을 만족하면서 높아지는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 중첩된 두 개의 WBAN 기대이익이 1이 도달하는 순간부터 WBAN 2의 우월적인 참여자를 위해 WBAN 1의 기대이익이 감소함을 볼 수 있다. 이는 우월적인 사용자에게 더 많은 기대 이익을 얻게 해주는 합리적인 쿠르노 경쟁 모델의 특성에서 나온 것이다.

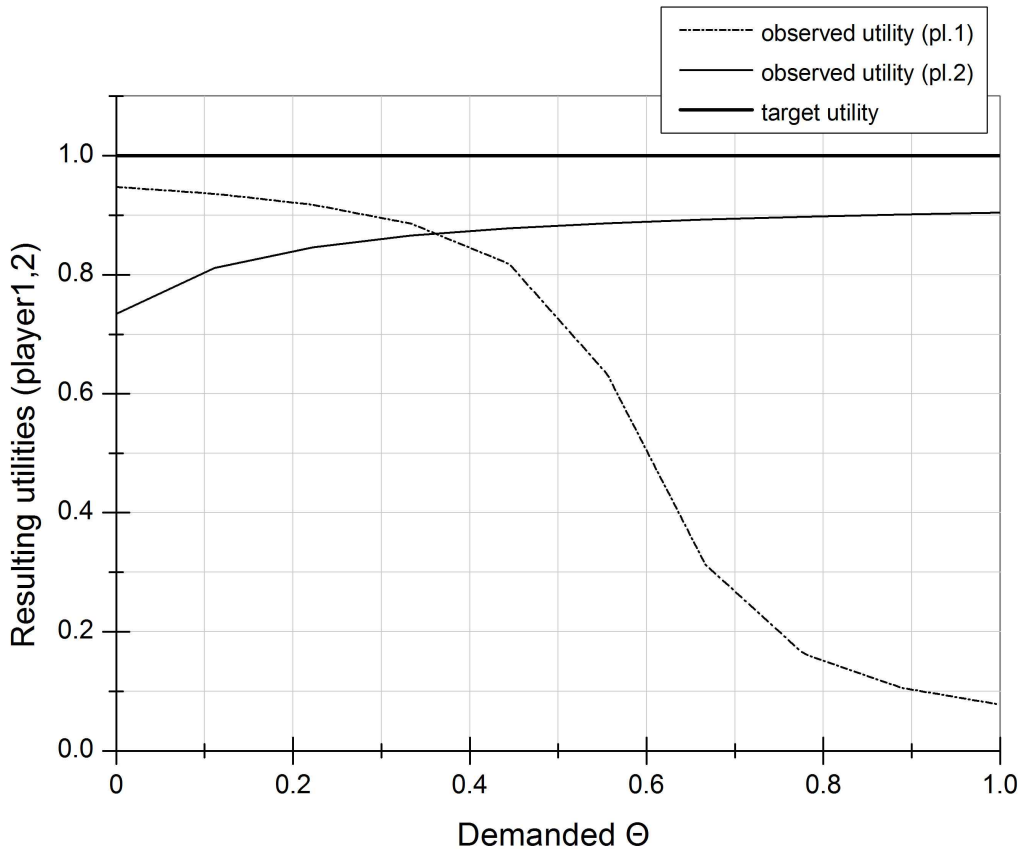


그림 7. Observed utility vs. throughput demand both players

3.2.2 마르코프 연쇄(Markov Chain)을 통한 상대 전략 예측방안

앞서 살펴 본 유용함수는 상대방의 요구하는 지연시간과 전송량을 고려하지 않았다. 이는 상대방의 지연시간과 전송량을 전부 알고 있다는 전제 조건 하에서 진행되는 내용이다. 그러나, 실제 WBAN 환경에서 단일 WBAN이 상대방이 전송량과 지연시간을 알고 있는 것은 불가능하다. 따라서, 상대방의 예상되는 전송량과 기대이익을 고려하여 유용함수를 재정의해야 한다. 본 절에서는 마르코프 연쇄를 이용하여 상대방의 전송량과 전송지연시간을 고려한 유용함수를 정의한다. 앞 절에서의 유용함수에서는 자신의 전송량과 지연시간만을 고려한 *demand* 값으로 정의했다. 자신의 전송량과 지연시간 뿐 만 아니라 상대방의 전송량과 지연시간까지 고려한 *observation* 값으로 재설정한다. 이를 위해 이산시간 마르코프 연쇄(discrete-time Markov chain)를 이용하여 문제를 해결한다. 마르코프 연쇄는 마르코프 성질을 가진 이산 시간 확률 과정이다[13]. 마르코프 연쇄는 시간에 따른 시스템 상태의 변화를 나타낸다. 매 시간마다 시스템은 상태를 바꾸거나 같은 상태를 유지하며 상태의 변화를 전이라 한다. 마르코프 연쇄는 미래의 예측되는 상태는 현재의 상태에 의해서만 결정되며 그 이전의 상황과는 무관한 마르코프 성질(Markov property)을 만족한다[14]. 마르코프 연쇄를 이용한 문제 해결을 위해 다음과 같이 5개의 상태로 나누고, 문제 해결을 위해 중첩된 WBAN 환경에서는 두 개의 서로 다른 WBAN이 존재함을 가정한다. 두 개의 WBAN 1과 2가 전송 구간을 선점하는 상태를 아래와 같이 정의한다.

■ 0 : 채널이 사용되고 있지 않음

■ 1 : WBAN 1이 성공적으로 전송 구간을 할당 받음

WBAN 2는 전송 구간을 할당받기 위한 시도를 하지 않음

■ 2 : WBAN 1이 성공적으로 전송 구간을 할당 받음

WBAN 2는 전송 구간을 할당받기 위한 대기 상태

■ 3 : WBAN 2이 성공적으로 전송 구간을 할당 받음

WBAN 1는 전송 구간을 할당받기 위한 시도를 하지 않음

■ 4 : WBAN 2이 성공적으로 전송 구간을 할당 받음

WBAN 1는 전송 구간을 할당받기 위한 대기 상태

현재시점 상태 m 에서 다음시점 상태 n 으로 천이하는 확률을 전이 확률이라고 하고 P_{mn} 으로 정의한다. 현재시점과 다음시점에 대한 상태 천이는 그림 8과 같이 나타내고, 5가지의 상태에 맞게 변화하는 전이 확률을 표 5와 같이 정의 한다.

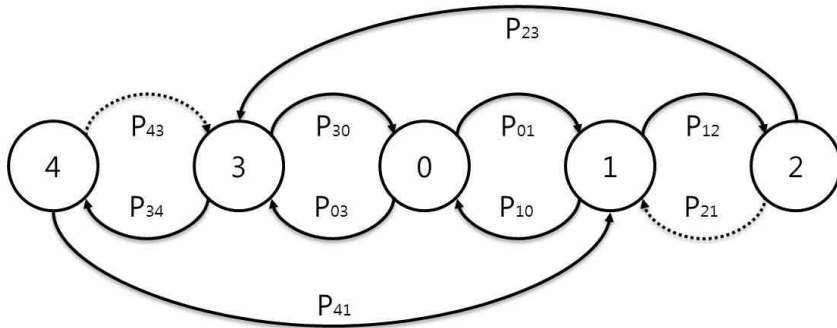


그림 8. 자원 할당을 시도하는 두 게임 참여자의 이산시간 마르코프 연쇄 (discrete-time Markov chain) P

표 5. 전이 확률 (the transition probabilities)과 정의(description)

전이 확률	정의
P_{01}	채널이 사용되지 않는 동안 WBAN 1이 자원 할당 받아 전송할 확률
P_{03}	채널이 사용되지 않는 동안 WBAN 2가 자원 할당 받아 전송할 확률
P_{10}	WBAN 1이 자원을 할당 받아 전송하는 동안에 WBAN 2는 전송을 시도하지 않을 확률
P_{12}	WBAN 1이 자원을 할당 받아 전송하는 동안에 WBAN 2는 전송을 시도할 확률
P_{21}	WBAN 1이 전송을 끝내기 전에 WBAN 2가 전송 시도를 포기할 확률
P_{23}	WBAN 1이 전송을 하는 동안에 WBAN 2가 계속 전송을 시도하여, WBAN 1의 전송 완료 후 바로 WBAN 2가 전송할 확률
P_{30}	WBAN 2가 자원을 할당 받아 전송하는 동안에 WBAN 1은 전송을 시도하지 않을 확률
P_{34}	WBAN 2가 자원을 할당 받아 전송하는 동안에 WBAN 1은 전송을 시도할 확률
P_{41}	WBAN 2가 전송을 끝내기 전에 WBAN 1이 전송 시도를 포기할 확률
P_{43}	WBAN 2가 전송을 하는 동안에 WBAN 1이 계속 전송을 시도하여, WBAN 2의 전송 완료 후 바로 WBAN 1이 전송할 확률

중첩된 WBAN 환경에서는 단일 WBAN이 이동성을 가지고 있기 때문에 동적으로 네트워크 변화가 발생한다. 이는 반복되는 슈퍼프레임 주기에서 이전 슈퍼프레임 주기에서 비경쟁 전송 구간의 크기가 다음 슈퍼프레임 주기에서의 비경쟁 전송 구간 할당에 영향을 미치지 않음을 의미한다. 따라서, 그림 8에서 보이는 마르코프 연쇄는 비주기적인 성질을 갖는다. 마르코프 연쇄를 이용한 상대 전략 예측 방안은 하나의 슈퍼프레임 주기에서의 비경쟁 전송구간 할당에 제한한다.

그림 8과 표 5에서 보이는 바와 같이 $P_{21} \rightarrow 0$ 과 $P_{43} \rightarrow 0$ 으로 수렴함을 예측할 수 있다. 이로 인해 $P_{03} = 1 - P_{01}$, $P_{10} = 1 - P_{12}$, $P_{30} = 1 - P_{34}$ 으로 나타낼 수 있다. 표 5에서 보이는 전이 확률을 바탕으로 특정 상태들이 가질 수 있는 모든 전이 확률을 행렬로 만들어 낸 전이 행렬을 나타낼 수 있다. 전이 행렬은 식(15)와 같이 정의되어 진다.

$$P = \begin{bmatrix} 0 & P_{01} & 0 & P_{03} & 0 \\ P_{10} & 0 & P_{12} & 0 & 0 \\ 0 & P_{21} & 0 & P_{23} & 0 \\ P_{30} & 0 & 0 & 0 & P_{34} \\ 0 & P_{41} & 0 & P_{43} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & P_{01} & 0 & 1 - P_{01} & 0 \\ 1 - P_{12} & 0 & P_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 - P_{34} & 0 & 0 & 0 & P_{34} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

마르코프 연쇄 P 는 $\lim_{t \rightarrow \infty} P\{state = i\}$ 을 p_i 로 표현하고, 이는 Stationary distribution으로 정의된다, 이러한 성질을 이용하여 식(16), 식(17), 식(18), 식(19), 식(20)을 계산 할 수 있다.

$$p_0 = 1 - p_1 - p_2 - p_3 - p_4 \quad (16)$$

$$p_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_{34} + P_{01} \cdot (1 - P_{34})}{1 + P_{34} + P_{01} \cdot (P_{12} - P_{34})} \quad (17)$$

$$p_2 = P_{12} \cdot p_1 \quad (18)$$

$$p_3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_{12} + (1 - P_{01}) \cdot (1 - P_{12})}{1 + P_{12} + (1 - P_{01}) \cdot (P_{34} - P_{12})} \quad (19)$$

$$p_4 = P_{34} \cdot p_3 \quad (20)$$

앞 절에서 살펴본 바와 같이 QoS를 보장하기 위한 파라미터를 이용하여 마르코프 연쇄 확률 P 를 구할 수 있다. 채널이 사용하지 않는 동안에 WBAN 1이 자원을 할당 받을 확률(P_{01})은 식(21)과 같이 구할 수 있다. 또한, $P_{03} = 1 - P_{01}$ 임을 이용하여 식(21)과 유사하게 구할 수 있다.

$$P_{01} \simeq \frac{L^1}{L^1 + L^2}, \quad L^1, L^2 > 0 \quad (21)$$

또한, WBAN 1이 자원을 할당 받아 전송하는 동안에 WBAN 2는 전송을 시도할 확률(P_{12})는 식(22)와 같이 구할 수 있으며, 동일한 방법으로 WBAN 2가 자원을 할당 받아 전송하는 동안에 WBAN 1은 전송을 시도할 확률(P_{34})를 식(23)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{12} = \begin{cases} \frac{d^1}{D^2 - d^2} & , D^2 - d^2 > d^1 \\ 1 & else \end{cases} \Rightarrow P_{12} \simeq \min\left(1, \frac{d^1}{D^2 - d^2}\right) \quad (22)$$

$$P_{34} = \begin{cases} \frac{d^2}{D^1 - d^1} & , D^1 - d^1 > d^2 \\ 1 & else \end{cases} \Rightarrow P_{34} \simeq \min\left(1, \frac{d^2}{D^1 - d^1}\right) \quad (23)$$

앞 절에서 살펴본 모델링과 식(9), 식(10)에서 아래 식을 유추해 낼 수 있다.

$$L^i = \left\lceil \frac{1}{\Delta_{dem}^i} \right\rceil, \quad \Delta_{dem}^i > 0 \quad (24)$$

$$D^i = Dur \cdot \Delta_{dem}^i \quad (25)$$

$$d^i = Dur \cdot \Theta_{dem}^i \cdot \Delta_{dem}^i \quad (26)$$

식(24), 식(25), 식(26)을 식(21), 식(22), 식(23)에 대입함으로써 다음과 같이 정리되어 표현할 수 있다.

$$P_{01} = \frac{\Delta_{dem}^2}{\Delta_{dem}^2 + \Delta_{dem}^1}, \quad \Delta_{dem}^{1,2} > 0 \quad (27)$$

$$P_{12} = \min\left(1, \frac{\Delta_{dem}^1}{\Delta_{dem}^2} \cdot \frac{\Theta_{dem}^1}{1 - \Theta_{dem}^2}\right), \quad \Delta_{dem}^2 > 0, \Theta_{dem}^2 < 1 \quad (28)$$

$$P_{34} = \min\left(1, \frac{\Delta_{dem}^2}{\Delta_{dem}^1} \cdot \frac{\Theta_{dem}^2}{1 - \Theta_{dem}^1}\right), \quad \Delta_{dem}^1 > 0, \Theta_{dem}^1 < 1 \quad (29)$$

상대방의 전송량과 지연시간을 고려한 *observation* 값을 *demand* 값으로 표현하기 위해서는 각 상태의 평균 유지시간을 고려하여 확률 P 로써 도출 할 수 있다. 각 상태의 평균 유지시간을 T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 로 나타내면 아무도 전송 구간을 사용하지 않는 확률 P 의 평균 유지시간은 식(30)과 같이 예측할 수 있다.

$$T_0 \simeq Dur \cdot \min(D^2 - d^2, D^1 - d^1) \quad (30)$$

식(30)을 앞서 유도한 식(25), 식(26)을 대입하여 변형하면 식(31)과 같이 정리할 수 있다.

$$T_0 \simeq Dur \cdot \min(\Delta_{dem}^1 \cdot (1 - \Theta_{dem}^1), \Delta_{dem}^2 \cdot (1 - \Theta_{dem}^2)) \quad (31)$$

$$T_{Mean} = p_0 T_0 + p_1 T_1 + p_2 T_2 + p_3 T_3 + p_4 T_4 \quad (32)$$

평균 상태 유지시간은 각 상태의 확률과 평균 유지시간으로 계산해 낼 수 있다. 식(32)는 평균 상태 유지시간을 나타낸 것이다. WBAN 2가 WBAN 1이 전송을 하는 동안에 전송을 시도 하지 않는다면 천이 상태 p_1 은 WBAN 1의 할당 받은 전송 구간의 크기에 의해 결정된다. 만약 WBAN 2가 전송을 시도한다면 천이 상태 p_2 로 바뀌게 된다. 결국 천이 상태 p_1 과 p_2 는 WBAN 1에 의해서 결정된다. 따라서, 식(32)는 아래 단계를 거쳐 식(33)으로 정리된다.

$$T_{Mean} \simeq p_0 T_0 + p_1 \cdot d^1 + p_3 \cdot d^2 \quad (33)$$

앞서 살펴본 식들을 사용하여 정리하면 식(34)의 결과를 얻을 수 있다.

$$T_{Mean} = Dur \cdot (p_0 \cdot \min(\Delta_{dem}^1 \cdot (1 - \Theta_{dem}^1), \Delta_{dem}^2 \cdot (1 - \Theta_{dem}^2)) + p_1 \cdot \Theta_{dem}^1 \cdot \Delta_{dem}^1 + p_3 \cdot \Theta_{dem}^2 \cdot \Delta_{dem}^2) \quad (34)$$

T_{Mean} 의 정의에 따라 각 WBAN의 *observation* 전송량은 식(35), 식(36)과 같고, 요구하는 *demand* 전송량이 1에 가까워질수록 *observation* 전송량 값은 식(37)로 정의할 수 있다.

$$\Theta_{obs}^1 = Dur \cdot \Delta_{obs}^1 \cdot \Theta_{obs}^1 \cdot \frac{p_1}{T_{Mean}} \quad (35)$$

$$\Theta_{obs}^2 = Dur \cdot \Delta_{obs}^2 \cdot \Theta_{obs}^2 \cdot \frac{p_3}{T_{Mean}} \quad (36)$$

$$\sum_i \Theta_{dem}^i \rightarrow 1 \Rightarrow \Theta_{obs}^i = \frac{\Theta_{dem}^i \cdot \Delta_{dem}^i}{\Theta_{dem}^i \cdot \Delta_{dem}^i + \Theta_{dem}^{-i} \cdot \Delta_{dem}^{-i}}, \quad i, -i \in N = \{1, 2\} \quad (37)$$

$\Theta_{obs}^i = \Theta_{dem}^i$ 이 같을 경우 발생하는 지연시간은 요구되는 *demand* 지연시간과 게임의 다른 참여자가 발생하는 지연시간과의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서, *observation* 지연시간은 식(38)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta_{obs}^i = \Delta_{dem}^i + \Delta_{dem}^{-i} \cdot \Theta_{dem}^{-i}, \quad i, -i \in N = \{1, 2\} \quad (38)$$

결과적으로 마로코프 연쇄를 적용하여 예측되는 *observation* 값은 식(39)와 같다. 식(39)를 적용하여 기대 이익에서 참여자가 요구하는 전송량과 지연시간 뿐 만 아니라 상대방이 요구하는 전송량과 기대이익 또한 예측해서 기대 이익을 계산할 수 있다. 이는 실제 환경에서 적용 가능한 것으로 WBAN 환경에서의 적용 또한 가능하다.

$$P := \left(\begin{pmatrix} \Theta_{dem}^i \\ \Delta_{dem}^i \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \Theta_{dem}^{-i} \\ \Delta_{dem}^{-i} \end{pmatrix} \right) \rightarrow \left(\begin{array}{l} \Theta_{obs}^i = \min \left(\Theta_{dem}^i, \frac{\Theta_{dem}^i \cdot \Delta_{dem}^i}{\Theta_{dem}^i \cdot \Delta_{dem}^i + \Theta_{dem}^{-i} \cdot \Delta_{dem}^{-i}} \right) \\ \Delta_{obs}^i = \Delta_{dem}^i + \Delta_{dem}^{-i} \cdot \Theta_{dem}^{-i} \end{array} \right) \quad (39)$$

4. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

제안하는 방안의 성능평가를 위해 본 논문은 beacon-enable 슈퍼프레임 구조를 사용하는 현재 WBAN 표준화가 진행 중인 IEEE 802.15.6 Baseline MAC 프로토콜을 선택하여 성능 분석을 수행하였다. 본 논문에서는 가장 먼저 시뮬레이션 모델을 설명하고, 이후에 시뮬레이션 시나리오를 설명 한다.

시뮬레이션 환경의 PHY 모델은 ISM 주파수 대역으로 가정한다. O-QPSK 변조, 2,000kcp/s chip rate, 그리고 24kbps data rate 사용하며, IEEE 802.15.6 표준과 동일한 기준을 따른다. 본 논문에서는 의료용 디바이스에서 Inactive period를 유지하고자 일반적인 의료 데이터가 큰 전송 지연 없이 데이터를 전송할 수 있도록 할 수 있는 최대값으로 245.76ms의 비경쟁 전송 구간을 가지도록 하였다. 시뮬레이션의 트래픽 모델은 다음과 같다. 5개부터 주기성을 가진 메디컬 디바이스가 다음과 같은 주기를 100ms, 200ms를 각각 가지고 데이터를 발생시키며, 매 주기마다 40 Bytes를 발생시킨다. 시뮬레이션에 사용되는 메디컬 디바이스를 아래 표 6과 같이 정의하였다.

표 6. 트래픽 모델

Data Type	Data Rate	Data Priority	Delay Bound
ECG	4 kbps	1	100ms
SpO2	3 kbps	1	100ms
Blood pressure	3 kbps	0	200ms
Temperature	2 kbps	0	200ms
Heart rate	2 kbps	0	200ms

5개의 메디컬 디바이스가 트래픽을 발생시키고 5개 이상의 노드가 존재할 경우 랜덤한 우선순위 가지는 CE 디바이스 트래픽을 발생시킨다. CE 디바이스 트래픽은 PHY 모델에 따른 전송속도를 가진다.

위의 모든 시뮬레이션은 Omnet++ 기반의 Castalia 3.0 [15]을 이용해 구현되었다.

4.2 결과 및 분석

그림 9는 PHY 계층에서의 패킷 충돌 비율을 확인하였고, 그림 10은 MAC 계층에서의 전송구간 사용률, 즉 채널 이용률을 확인한 것이다. 시뮬레이션 결과를 통한 그림 9, 그림 10에서 볼 수 있듯이 전송구간을 할당하는 방안은 낮은 패킷 충돌 비율과 높은 채널 사용 비율을 확인하였다. 이는 간섭에 대한 방안을 사용하지 않고 하는 방안에 비해 할당 구간을 나눠서 사용하는 방안과 비교해 명백히 높은 성능 향상이 있는 것을 알 수 있다.

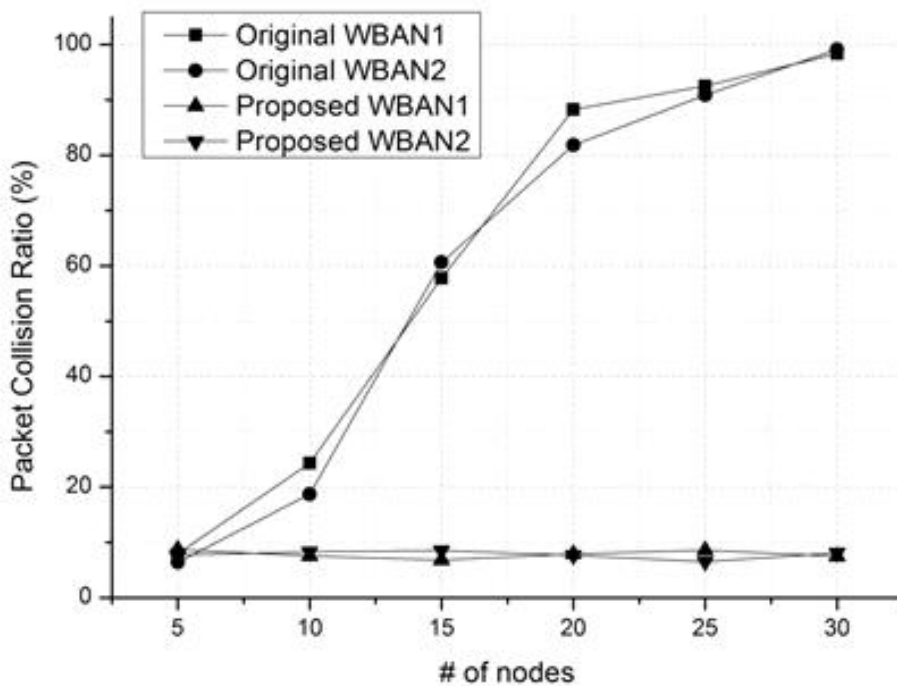


그림 9. Packet collision ratio in physical layer of WBANs

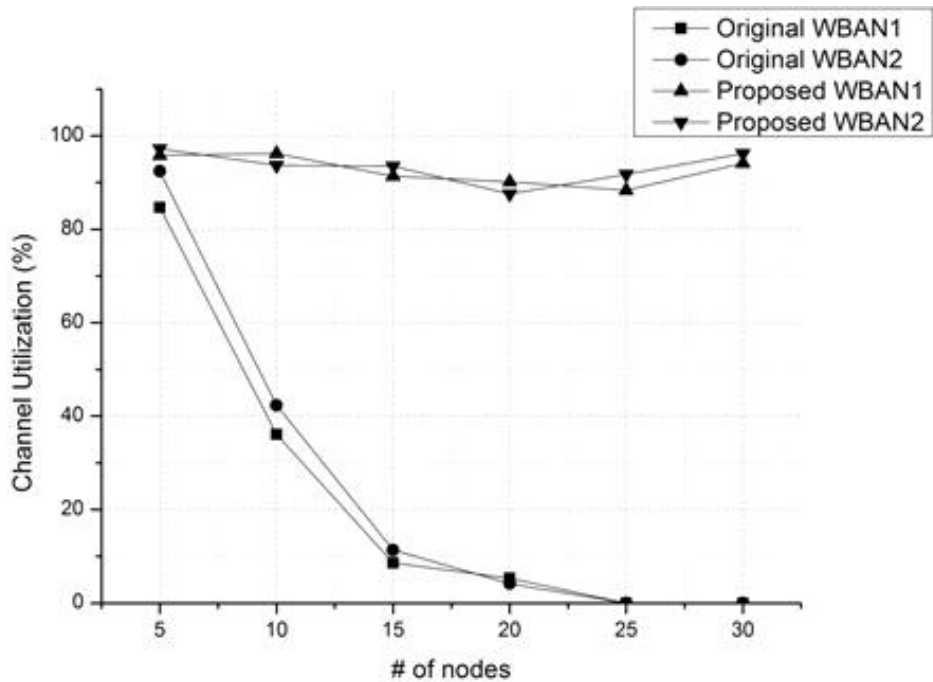


그림 10. Packet collision ratio in MAC layer of WBANs

중첩된 WBAN 환경에서 단일 WBAN의 지연시간 요구사항을 만족시킴을 확인하기 위해 지연시간을 벗어난 횟수를 측정하였다. 두 개의 서로 다른 WBAN이 중첩되었을 경우 공평하게 비경쟁 전송구간을 절반 씩 나누어 사용하는 simple method와 앞서 제안한 내쉬 중재, 쿠르노 게임 이론 모델링을 사용한 결과를 비교하였다. 그림 11과 12에서 보이는 바와 같이 WBAN의 QoS를 보장하기 위한 파라미터를 고려하는 쿠르노 경쟁 모델링 방안이 지연시간을 벗어나는 횟수가 현저히 낮다. 노드가 발생하는 트래픽의 개수가 비경쟁 전송구간에서 전송할 수 있는 전송량보다 적을 경우 물리적 간섭으로 인한 지연시간을 벗어나는 횟수가 거의 차이가 없을 확인 할 수 있다. 이는 전체 비경쟁 전송구간이 트래픽의 전송구간보다 많아 자원할당을 여유 있게 할 수 있기 때문이다. 그러나 중첩 환경에서 발생하는 트래픽의 개수가 전체 비경쟁 전송구간 보다 많아질 경우 단순히 절반씩 나누는 방안보다는 단일 WBAN이 요구하는 전송량과 평균 우선순위를 고려한 내쉬중재 방안과 쿠르노 경쟁 모델링 방안이 지연시간 요구사항을 더 만족시킴을 확인 할 수 있다. 쿠르노 경쟁 모델을 통한

모델링의 경우 내쉬중재를 사용한 방안보다 단일 WBAN의 지연시간을 만족 시킬 수 있는 파라미터를 고려함으로써 더 높은 성능 향상이 있음을 확인 할 수 있다.

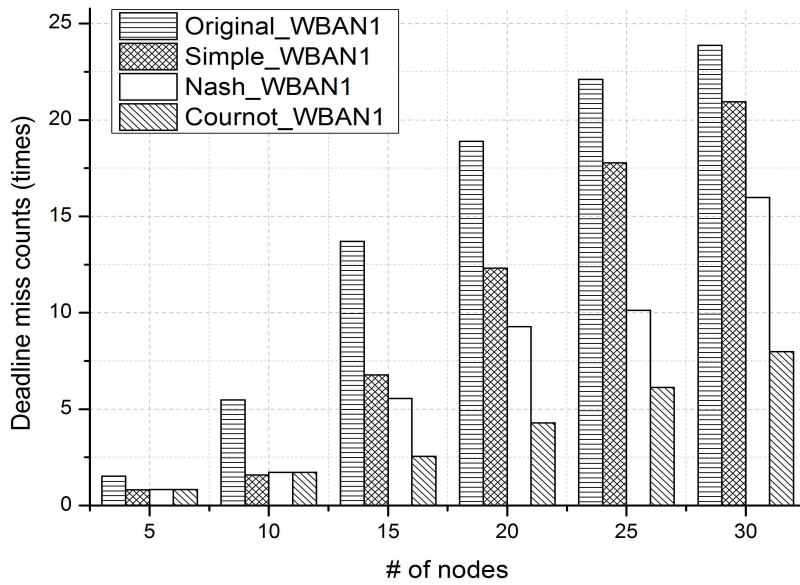


그림 11. Deadline miss counts of WBAN1

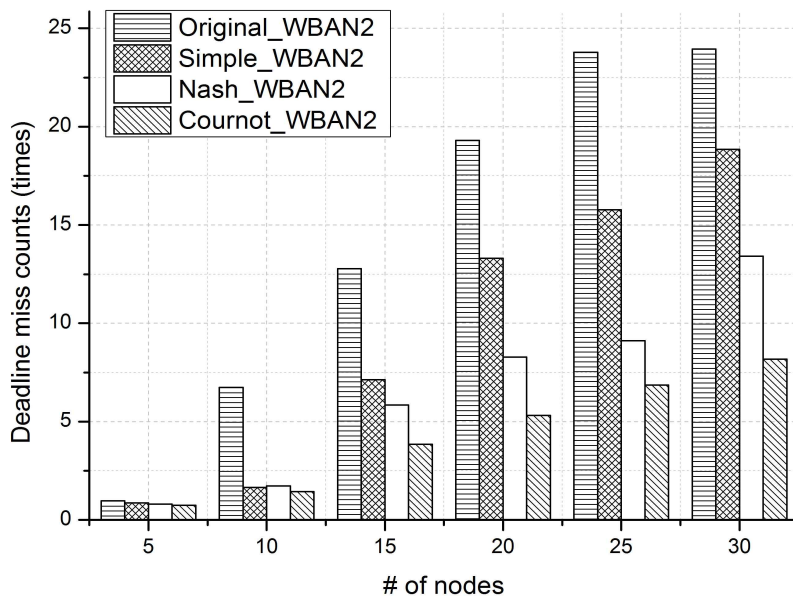


그림 11. Deadline miss counts of WBAN2

또한, 그림 13에서 보이는 바와 같이 이기적인 사용자를 고려한 쿠르노 경쟁 모델을 적용함으로써 평균적으로 높은 우선순위를 가지는 WBAN의 메디컬 센서가 낮은 패킷 지연시간을 갖는 것을 확인 할 수 있다. 이는 한정된 자원을 할당하는 방안에서 우월적인 사용자에게 더 많은 자원을 할당하는 쿠르노 경쟁 모델의 특성이 반영되기 때문이다. 따라서, 평균 트래픽 우선순위가 높은 WBAN의 메디컬 트래픽이 지연시간 만족도가 더 높다.

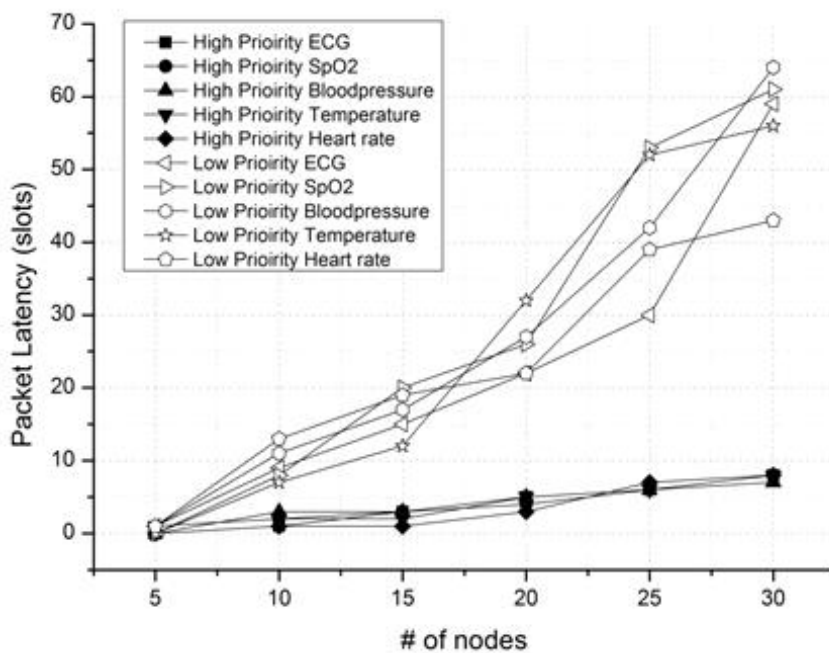


그림 12. Packet latency of vital signals in high and low priority WBANs

5. 결론

본 논문에서는 두 개의 단일 WBAN이 중첩되어 하나의 WBAN으로 동작되어 질 때, 협동적 게임이론을 통한 비경쟁전송 할당 방안에 대해 살펴보았다. 한정된 비경쟁전송구간의 효율적이고 공평한 전송구간 할당을 위해 게임에 참여하는 두 개의 WBAN 코디네이터가 완전 정보를 알고 있으며, 협상과 조정으로 합의점을 찾아내었다. 두 개의 WBAN은 스스로의 전략 선택에 따른 기대이익을 기반으로 내쉬중재 협상해법을 통해 두 WBAN 모두 만족 할 수 있는 합의점을 도출하는 방안을 제안하였다. 이는 각 WBAN의 비경쟁전송구간의 충돌 없이 신뢰성 있는 전송을 보장하고, 비경쟁 전송구간 내 디바이스 우선순위와 할당받은 allocation interval을 고려하여 형평성과 비경쟁 전송구간 내에서 요구하는 최소한의 allocation interval을 보장하였다. 또한, 쿠르노 경쟁 이론을 통한 게임이론 모델링으로 중첩된 WBAN 환경에서 단일 WBAN의 요구사항을 만족시키는 비경쟁 전송 구간 할당 방안을 제안했다. 쿠르노 경쟁 모델을 통한 모델링 방안은 단일 WBAN의 전송량(throughput), 지연시간(delay), 트래픽 평균 우선순위(traffic priority)를 고려함으로써 QoS를 만족시키며 공평하고 효율적으로 비경쟁 전송구간을 할당해주었다. 또한, 마르코프 연쇄(Markov chain)을 이용하여 비경쟁 전송구간을 할당하는 게임에서 상대방의 QoS 파라미터를 예측함으로써 상대방의 전략을 고려한 비경쟁 전송 구간 할당방안을 제안했다.

제안하는 중첩된 WBAN 환경에서의 게임이론 모델링을 통한 QoS 보장방안은 시뮬레이션 성능 분석 결과 신뢰성을 우선으로 하는 WBAN의 지연시간 만족 횟수에서 높은 성능을 나타내는 분석 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] TG6 Body Area Networks (BAN) Draft Standard, IEEE 802.15-10-0245-06-0006, April., 2010.
- [2] TG6 Technical Requirements Document (TRD), IEEE 802.15-08-0644-09-0006, Sep., 2008.
- [3] Fudenberg, D. and Tirole, J., Game Theory. MIT Press, 1988.
- [4] 김영세, 게임이론 전략과 정보의 경제학, 제3판, 2007.
- [5] 모정우, 박광훈, 김대헌, "게임이론과 네트워크의 만남," 한국통신학회지, vol.26, no.7, July. 2009.
- [6] 박형곤, "다중 사용자 환경에서 협동적 게임 이론의 협상해법을 이용한 멀티미디어 통신 및 네트워크 관리," 한국통신학회지, vol. 26, no.7, July. 2009.
- [7] Philip D. Straffin, Game Theory and Strategy, MAA, 2002.
- [8] E. Kalai and M. Smorodinsky, "Other solutions to Nash's bargaining problem," Econometrica, vol. 43, no. 3, May. 1975.
- [9] Ganesh, A. and Laevens, K. and Steinberg, R., "Dynamics of congestion pricing," Technical Report, Microsoft Research, June. 2000.
- [10] Mangold, S. and Choi, S. and May, P. and Klein, O. and Hiertz, G. and Stibor, L. "IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service," in Proc. European Wireless '02, Florence, Italy, February 2002.

- [11] Berlemann, L. "Coexistence and Interworking in IEEE 802.11e in Competition Scenarios of Overlapping Wireless Networks," Diploma Thesis, ComNets RWTH Aachen Univ. of Techn., 2002.
- [12] Hiertz, G. "Development and Evaluation of QoS Schemes in IEEE 802.11e Considering Competition Scenarios of Overlapping Wireless Networks," Diploma Thesis, ComNets RWTH Aachen Univ. of Techn., 2002.
- [13] W. R. Gilks, Sylvia Richardson, D. J. Spiegelhalter, Markov chain Monte Carlo in practice. Chapman & Hall, 1996
- [14] Bianchi, G. "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol. 18, no. 3, Mar. 2000.
- [15] Castalia : A simulator for WSNs, <http://castalia.npc.nicta.com.au/>

Abstract

Coexistence Problem-solving by Cooperative Game Theory in Overlapped WBAN Environment

Sangbae, Shin

Dept. of Computer Engineering
Graduate School of Kyung Hee University

In this paper we propose a limited resources (contention free period) allocation method for reliable transmission in overlapped WBAN (Wireless Body Area Network) environment. For efficient and fair allocation method, we consider a nash arbitration which is based on cooperative game theory. This bargaining solution through the nash arbitration ensures reliable transmission without a collision between two WBAN's contention free period. The decision of our method considers the combination of device priority and allocated intervals in contention free period of each WBAN. This method based on nash arbitration ensures fairness and efficiency. In addition, we address the problem by introducing cooperative game theory based on the Cournot competition. An approach to model such a competition scenario is the static and strategic game model in which players try to maximize their benefits. We define the utility function for QoS support in overlapped WBAN environment and analyze player's utility related with QoS parameters (i.e., throughput, delay, and priority). We verify that the player's utility increases with increasing

throughput and decreasing delay through a mathematical method by using the Cournot competition model. Finally, we observe the change of resulting utilities according to demanded throughput and traffic priority in overlapped WBAN environment.

Key words : WBAN, Game Theory, Nash Arbitration, Cournot Modeling, Coexistence Problem

감사의 글

석사과정을 마치고 사회로 진출을 하게 됩니다. 지금까지 학업을 계속 이어나갈 수 있게 뒷받침 해주신 어머니, 아버지께 감사드립니다. 힘들 때 항상 조언을 아끼지 않았던 큰누나, 작은누나와 항상 먼 곳에서 보고싶어도 자주 못보는 귀여운 조카들 히로, 레이나, 아이리스, 마틸다에게 큰 힘이 되었다고 말해주고 싶습니다.

학부 시절 복학 후 컴퓨터공학의 끈을 놓지 않을 수 있도록 만들어주신 조진성 교수님, 교수님의 운영체제 수업을 듣고 저는 포기하고자 했던 컴퓨터공학이란 학문의 재미를 느끼고 학업을 계속 이어나갈 수 있었습니다. 대학원 진학의 의지를 품었을 때 가장 먼저 생각났던 것이 교수님의 가르침이었습니다. 아쉬움이 많이 남지만 후회 없는 연구실 생활을 할 수 있도록 부족한 저를 지도해주신 조진성 교수님께 진심으로 감사드립니다. 학교 교수님이시자 동아리 선배님으로 많은 가르침을 주신 이성원 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 더불어 부족한 논문을 정성껏 심사해주신 홍충선 교수님, 유인태 교수님께도 감사를 드립니다.

학부 연구생 시절과 석사 시절 3년간의 연구실 생활은 사회로 진출하는 저에게 많은 가르침과 추억을 갖게 해주었습니다. 하루하루 즐거운 생활과 아름다운 추억을 간직하게 해준 모든 MESL 식구들에게 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 학부 연구실 시절 연구실 생활을 함께한 대영이형, 경원이형, 의연이형, 학수형, 영선이형 형들과 함께 했던 시절은 돌이켜 생각해봐도 항상 얼굴에 미소를 짓게 합니다. 학부 연구생과 석사기간 동안 옆에서 많은 응원을 해주신 충용형에게 고맙다는 말 전하고 싶습니다. 함께 동문수학하며 기쁨을 나누었던 자룡이와 범석이, 항상 야식을 같이한 재우, 함께 해서 즐거웠습니다. 형을 저버리고 회사로 도망간 용빈이와 찜뽕을 만든다며 도망간 병식이도 생각나서 적어봅니다. 앞으로 MESL의 미래를 짊어지고 나갈 인재들에게도 감사의 글을 적어볼까 합니다. 병선이 힘내라 많이 야원 모습이 안타깝다. 승준아 보험은 안된다. 대훈아 축구는 졸업하면 제대로 하자. 토실이 윤정아 보기만해도 흐뭇해지는구나. 김성현 안된다. 건륜아 행복해라. 위동아 중국어로 이야기하자. 모두들 사랑합니다. 앞으로도 계속 인연이 이어질거라 믿습니다.

마지막으로 연구실을 졸업한 여러 선배님들에게도 감사를 드립니다. 선배님들의 수고와 땀으로 일궈진 MESL 연구실에서 즐거운 추억을 담아가겠습니다. 다시 한 번 조진성 교수님께 진심으로 감사드리며, 사랑하는 가족과 MESL 식구들에게도 감사의 말을 전합니다.

2012년 겨울 신상배 드림