

중첩된 WBAN 환경에서 내쉬중재를 이용한 비경쟁구간 할당 방안

신상배^o 조진성

경희대학교 컴퓨터공학과

{sbshin, chojs}@khu.ac.kr

Contention Free Period Allocation by Nash Arbitration in Overlapped WBAN Environment

Sangbae Shin^o Jinsung Cho

Department of Computer Engineering

Kyung Hee University

요 약

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 방안을 살펴본다. 내쉬중재 협상해법을 통해 WBAN 간 비경쟁 전송구간의 충돌 없이 신뢰성 있는 전송을 보장한다. 또한, 각 WBAN의 비경쟁 전송 구간 내의 디바이스 우선순위와 할당받은 timeslot의 개수를 고려하여 전략 선택에 따른 형평성과 각 WBAN이 비경쟁전송 구간 내에 요구하는 최소한의 timeslot을 보장한다.

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 뿐만 아니라, 멀티미디어 게임, 스트리밍 서비스와 같은 엔터테인먼트 데이터의 전송을 포함한다. WBAN의 데이터링크 계층에서 이루어지는 디바이스의 전송 구간 할당은 신체 및 의료 데이터의 신뢰성 있는 데이터 전송을 확보하기 위한 비경쟁 구간과 엔터테인먼트와 같은 멀티미디어 응용서비스를 위한 경쟁 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. 간섭으로 발생하는 신체 및 의료데이터의 전송 실패는

사용자의 생명과 밀접한 관계가 있다. 따라서, WBAN 사이의 중첩 상황이 발생 했을 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 사용자에 나누어 사용하는 방안은 게임이론을 통해 그 해결 방안을 찾을 수 있다. 1944년 Von Neuman에 의해 시작된 게임이론은 상대방의 대처행동을 고려하면서 자기의 이익을 효과적으로 달성하기 위한 수단으로 합리적으로 선택하는 행동을 수학적으로 분석하는 이론이다.[2] 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. 특히, 협동적 게임이론의 내쉬중재 협상해법을 사용하여 게임에 참여하는 WBAN의 요구사항을 만족하면서 공평하게 자원을 할당하는 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 협동적 게임과 내쉬중재 해법에 대한 특징을 살펴보고, 3장에서는 WBAN 환경에서의 문제 정의와 적용 방안 및 해결 방안을 알아본다, 4장에서는 사례를 통하여 분석한 후 5장에서 결론을 맺는다.

“이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업(NIPA-2011-(C1090-1021-0003)) 및 교육과학기술부 및 한국과학재단의 중견연구자 사업(No. 2008-0061488)의 지원으로 수행된 연구결과임.”

2. 협동적 게임(Cooperative Game)과 내쉬중재(Nash Arbitration)

협동적 게임은 경기자의 일부 또는 전부가 자발적으로 구속력 있는 계약에 합의하여 연대가 허용되는 경우이다. 앞서, 1절에서 설명한 바와 같이 한정된 자원을 공평하게 나누기 위해서는 협동을 통해 경기자가 자발적으로 합의 또는 중재하여 이익을 극대화 시켜야 한다.

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. 즉, 그 영역에 속하는 임의의 두 점을 연결하는 선분상의 모든 점들 또한 해당영역에 속하는 경우를 의미한다. 그림 1.(b)에서 보이는 payoff polygon은 convex hull로 정의된다.

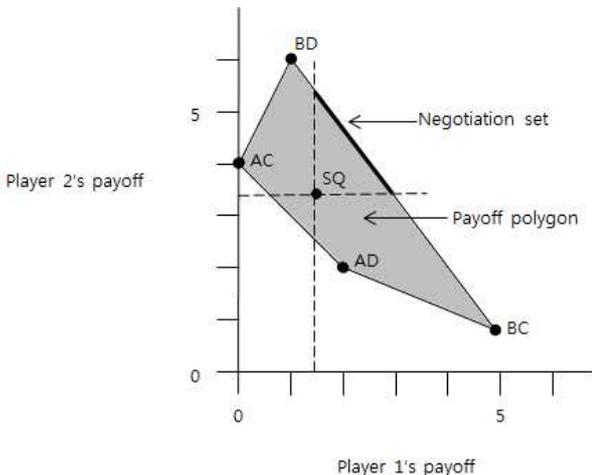
2) Security level : 게임의 경쟁자가 어떤 선택을 하더라도 자신에게 보장되는 최소한의 기대이익으로 정의한다. security level의 도출 방안은 III장에서 자세히 살펴보도록 한다.

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

- ① Pareto Optimal
- ② 최소한 security level 이상의 기대이익을 갖는다.

		Player 2	
		Strategy	
Player 1	A	$u(s_a, s_c)$	$u(s_a, s_d)$
	B	$u(s_b, s_c)$	$u(s_b, s_d)$

(a), 사용자 전략에 따른 기대이익



(b). Payoff polygon

그림 1. 두 명 사용자 협상 문제의 내쉬중재 해법의 예

그림 1.(b)에서 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[5].

[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. 제안하는 방안

WBAN은 의료 및 신체 데이터의 신뢰성 있는 전송을 확보하기 위해 비경쟁 전송 구간을 보장한다. 802.15.4 ZigBee Superframe 구조에서는 CFP(Contention Free Period) 구간으로 최대 7개의 GTS(Guaranteed Time Slot) 구간을 할당 할 수 있고, 현재 표준화 진행 중인 802.15.6 MAC 구조에서는 Type1/Type2 access period 내에 scheduled 기반의 비경쟁 전송 구간을 할당한다. 두 개의 단일 WBAN이 중첩되어 하나의 WBAN처럼 동작 될 시, 각각의 WBAN 내에서 비경쟁 전송 구간에 할당되었던 timeslot의 개수를 한정된 전송구간에 맞게 새롭게 할당해야 한다. 내쉬중재 협상해법을 통한 비경쟁 전송 구간 내 timeslot 할당 방안은 단일 WBAN 속한 의료용 단말을 위해 최소한의 전송구간을 보장하며 할당한다. 두 개의 중첩된 WBAN 환경에서 내쉬중재 협상해법의 적용을 위해 다음과 같은 사실을 가정한다.

- 1) 중첩된 두 개의 WBAN은 Timeline을 기준으로 동작되어지며, 중첩이 발생 했을 시 비경쟁구간의 동기는 맞춰져 있다.
- 2) WBAN 코디네이터는 동기화 진행 시 메시지 교환으로 경쟁자의 전략 및 기대이익을 모두 알고 있다. 즉, 단일 WBAN은 완전정보를 가지고 협동적 게임에 참여한다.
- 3) 비경쟁전송 구간은 모두 동일한 크기를 가진다.

표기	정의
S	비경쟁 전송구간을 할당하는 전략의 집합
E	비경쟁 전송구간의 총 timeslot의 개수
p	비경쟁 전송구간 내 디바이스 트래픽 우선순위
c	단일 WBAN이 요구하는 비경쟁 전송구간 timeslot의 개수
w	단일 WBAN에서 비경쟁 전송구간 내 트래픽 우선순위를 고려한 가중치
u	전략 선택에 따른 기대이익
g	비경쟁 전송구간 timeslot의 개수에 비례하여 확장된 가중치

표 1. 문제 정의를 위한 표기법

쟁 전송구간 내에 timeslot을 할당받은 디바이스 트래픽의 평균 우선순위 값으로 계산된다.

$$w_i = \frac{1}{c_i} \cdot \sum_{n=1}^{c_i} p_i, w_j = \frac{1}{c_j} \cdot \sum_{n=1}^{c_j} p_j \quad \dots\dots\dots (1)$$

두 번째 전략 s_2 는 트래픽의 우선순위를 고려하지 않고, 단일 WBAN이 요구하는 비경쟁 전송구간의 timeslot의 개수에 비례하여 할당하는 전략이다. 두 단일 WBAN인 i 와 j 가 서로 다른 전략 s_1, s_2 를 선택한다면, 기대이익을 계산하기 위한 가중치 값의 범위는 식(2), 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{lowest priority} \leq w \leq \text{highest priority} \quad \dots\dots\dots (2) \\ 0 \leq c \leq E \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

따라서, 각기 다른 전략 선택에 따른 기대이익을 비교하기 위해서는 s_1 전략 선택에 따른 가중치 값을 비경쟁 전송구간의 총 timeslot의 개수인 E 만큼 확장해야 한다. 확장된 가중치 값은 식(4)을 통해 구할 수 있다.

$$g_i = \frac{E \cdot w_i}{P_{\text{highest}}}, g_j = \frac{E \cdot w_j}{P_{\text{highest}}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

두 개의 WBAN의 전략 선택에 따른 기대이익은 표 3과 같다. 앞서, 2절에서 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. i, j 에 대한 security level의 산출 방법은 각 행과 열의 우월전략의 존재여부에 따라 나뉘어 진다. 만약, 우월전략이 존재한다면, 맥시민 전략(maximin strategy)을 통해 구할 수 있다. 맥시민 전략은 상대방이 어떠한 선택을 하더라도 자신에게 최소한도의 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

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

표 2. WBAN 트래픽 우선순위

내쉬중재를 통한 협동적 게임에 참여하는 두 개의 서로 다른 WBAN을 각각 i, j 라 하자. i 와 j 가 중첩되어 비경쟁전송구간을 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 할당받는다. 식(1)의 가중치 값은 비경

j

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

표 3. 전략집합 S 에 따른 기대이익

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(5)와 같다. 식(5)와 같이 정의된 일차함수를 앞서 2절에서 살펴 본 정리에 의해 대입하면 식(6)과 같다. 식(6)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.

$$g(x) = ax + b \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$f(x) = (x - x_0)(ax + b - y_0) \quad \dots\dots\dots (6)$$

즉, 식(6)를 최대값으로 만드는 x 값과 협상집합 내에서 그에 대응하는 y 값은 내쉬중재 협상해법을 통한 합의점이 된다. 두 WBAN i, j 는 전략집합 $S = \{s_1, s_2\}$ 내에서 전략의 선택에 따라 효율적이고 공평하게 비경쟁 전송구간 내 timeslot의 개수를 할당 받을 수 있다. x 는 i 가 할당 받은 timeslot의 개수, y 는 j 가 할당 받은 timeslot의 개수를 의미한다.

4 사례 분석

중첩된 WBAN 환경에서의 비경쟁 전송구간 할당방안을 앞서 제안한 방안에 적용하여 분석한다. 중첩된 WBAN 환경에서 비경쟁 전송구간의 timeslot의 개수 E 는 50개로 가정하고, i 와 j 가 요구하는 timeslot의 개수 c_i 는 50개, c_j 는 30개, 비경쟁 전송구간 내의 평균 트래픽 우선순위인 w_i 는 4, w_j 는 6으로 가정한다. 3장에서 살펴본 바와 같이 식(4)에 의해 각 WBAN에서의 확장된 가중치 값은 $g_i = \frac{200}{7}, g_j = \frac{300}{7}$ 로 계산되며, 맥시민 전략에 의해 security level, SQ는 $(20, \frac{75}{4})$ 로 산출 할 수 있다. i 와 j 는 E 의 개수를 중재하여 나눠 갖는다. 따라서 그림 2에서 보이는 바와 같이 협상집합을 갖는 일차함수는 식(7)과 같고, 협상집합의 범위는 식(8)과 같다.

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

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

식(6)를 최대로 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 받은 timeslot의 개수는 $\left(\left\lfloor \frac{205}{8} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{195}{8} \right\rfloor\right)$ 로 25개와 24개를 할당 받게 된다.

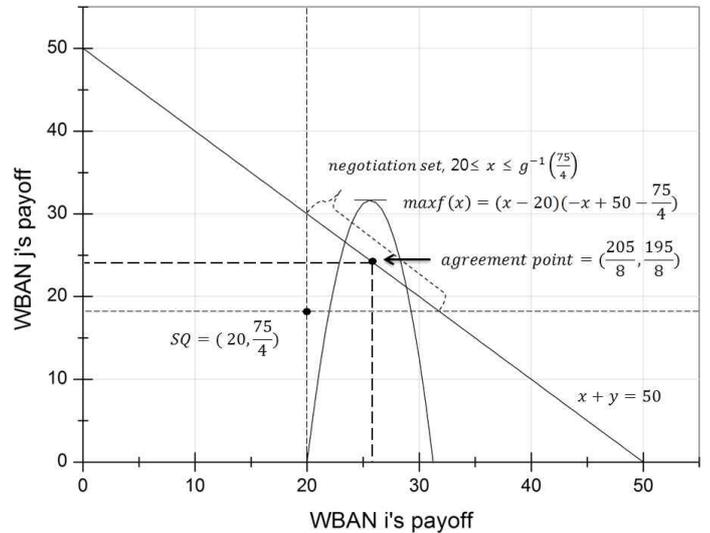


그림 2. 내쉬중재 해법 사례 분석

5. 결 론

본 논문에서는 두 개의 단일 WBAN이 중첩되어 하나의 WBAN으로 동작되어 질 때, 협동적 게임이론을 통한 비경쟁 전송 할당 방안에 대해 살펴보았다. 한정된 비경쟁 전송구간의 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 비경쟁 전송구간의 충돌 없이 신뢰성 있는 전송을 보장하고, 비경쟁 전송구간 내 디바이스 우선순위와 할당받은 timeslot의 개수를 고려하여 형평성과 비경쟁 전송구간 내에서 요구하는 최소한의 timeslot을 보장하였다.

5. 참고 문헌

[1] IEEE 802.15.6 WPAN Task Group 6 BAN: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>
 [2] 김영세, 게임이론 전략과 정보의 경제학, 제3판, pp.1~2. 2007.03
 [3] 모정훈, 박광우, 김대현, "게임이론과 네트워크의 만남," 한국통신학회지, vol. 26, no.7, pp17-23, July. 2009
 [4] 박형근, "다중 사용자 환경에서 협동적 게임 이론의 협상해법을 이용한 멀티미디어 통신 및 네트워크 관리," 한국통신학회지, vol. 26, no.7, pp17-23, July. 2009
 [5] Philip D. Straffin, Game Theory and Strategy, MAA, 2002.
 [6] E.Kalai and M. Smorodinsky, "Other solutions to Nash's bargaining problem," Econometrica, vol. 43, no. 3, pp.513-518, May. 1975.