

Nash 협상 해법 기반 전력 최소화를 위한 다중 청소로봇 간 영역분배 알고리즘

최 지 수*, 박 형 곤^o

Cleaning Area Division Algorithm for Power Minimized Multi-Cleanup Robots Based on Nash Bargaining Solution

Jisoo Choi*, Hyunggon Park^o

요 약

본 논문에서는 주어진 영역 안에서 다중 청소로봇을 동시에 운용하여 전력 소비량을 최소화하는 방법을 제안한다. 협력 게임 이론 중 Nash 협상 해법을 이용하여 다중 청소로봇 사이의 가용 자원 및 대상 영역의 특성을 고려하여 대상 영역을 공평하고 효율적으로 관리하여 자원 효율을 극대화하였으며 궁극적으로 이를 통하여 총 소비전력량을 최소화 할 수 있다. 본 논문에서는 가용 자원 및 대상 영역의 특성을 포괄할 수 있는 효용 함수를 정의하고 이를 통한 다중 로봇 간 협상 게임을 통하여 공평하고 효용이 파레토 최적인 지점에서 각 청소로봇의 해당 영역이 결정된다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 해결 방법이 임의의 공간 할당 방법 대비 소비전력량 면에서 15-30% 이상의 효율이 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : Cooperative Games, Nash Bargaining Solution, Clean-up Robots, Cleaning Area Division, Fairness, Pareto Optimality

ABSTRACT

In this paper, we propose an approach to minimizing total power consumption by deploying multiple clean-up robots simultaneously in a given area. For this, we propose to use the cooperative game theoretic approaches (i.e., Nash bargaining solution (NBS)) such that the robots can optimally and fairly negotiate the area division based on available resources and characteristics of the area, thereby leading to the minimum total power consumption. We define a utility function that includes power consumptions for characteristics of areas and the robots can agree on a utility pair based on the NBS. Simulation results show that the proposed approach can reduce the total average power consumption by 15-30% compared to a random area division approach.

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업/IT융합고급인력과정지원사업의 연구결과로 수행되었으며 (NIPA-2014-H0301-14-1012, NIPA-2014-H0301-14-1015) 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2010-0009717).

* 본 연구 내용의 일부는 2013년 한국통신학회 추계종합학술발표회 학부논문경진대회에서 발표되었습니다.

• First Author : Multimedia Communications and Networking Lab., Ewha Womans University, cjs2094@ewhain.net, 학생회원

o Corresponding Author : Multimedia Communications and Networking Lab., Ewha Womans University, hyunggon.park@ewha.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2014-01-029, Received January 31, 2014; Revised April 4, 2014; Accepted April 4, 2014

I. 서 론

최근 자동차를 조립하는 산업용 로봇에서 잔디 깎기와 같은 가정용 로봇에 이르기까지 로봇이 이용되는 범위가 매우 다양해지고 있으며 세계적으로도 로봇 시장은 매우 높은 폭으로 성장하고 있는 추세이다. 특히 로봇의 가정 활용도가 높아지면서 청소로봇에 대한 성장이 주목 받고 있으며, 그림 1에서 보는 것과 같이 세계적으로 청소로봇의 수요가 최근 몇 년 사이에 급격하게 증가하고 있다. 애완동물을 많이 기르며, 실내에서 신발을 신고 생활하는 북미와 유럽인들에게 있어서 청소로봇에 대한 수요량이 매우 높기 때문에 세계시장에서 청소로봇에 대한 넓은 시장이 이미 형성되어 있으며, 국내 시장도 점차적으로 청소로봇의 수요량이 증가하고 있는 추세이다.

그러나 지금까지 상용화된 대부분의 청소로봇은 단일 운용시스템으로 한 대의 청소로봇이 운용되고, 이에 따라 소비전력량과 청소시간 측면에서 비효율적이라는 문제점을 가지고 있다. 주어진 청소 대상 공간에서 한 대의 청소로봇만을 운용하는 방법은 중복 청소로 인해 시간 및 전력이 낭비될 수 있으며, 청소 구역이 누락되는 경우가 발생할 수 있고, 넓은 청소공간을 한 대의 청소로봇이 담당하게 되는 경우에는 배터리 전력 면에서 한계를 가질 수 있다. 이러한 한계점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 단일 청소로봇이 아닌 2대 이상의 다수의 청소로봇을 동시에 운용하여 청소 효율을 높일 수 있는 전략, 즉 다수 청소로봇 간의 최적화된 청소 영역 분배 전략을 제안한다. 이를 위하여 청소에 필요한 공간적인 영역을 일정한 단위 공간으로 구분하고 각 단위 공간을 공간의 크기와 오

염도로 특징짓는다. 그리고 청소로봇의 현 배터리 상태는 물론 다수의 청소로봇을 소비 전력 측면에서 가장 효율적으로 운용하기 위한 이들 간의 협업 알고리즘을 제안한다. 이러한 복합적인 문제를 해결하기 위하여 게임 이론적인 접근 방법을 도입하였으며 특히 다중 청소로봇의 협업을 협력적 게임이론을 이용하여 해결하였다.

협력적 게임이론은 제한된 자원을 다수의 사용자가 공평하고 최적화하여 공유할 수 있는 방법론을 제시한다. 게임이론은 대역폭 할당^[1,2], 채널 할당^[3], 네트워크 흐름 제어^[4], 전력 제어^[5] 및 비디오 압축^[6]과 같이 다양한 자원 할당 문제를 해결하기 위한 방법으로 사용되어 왔다. 본 연구에서는 다중 청소로봇 사이의 가용 자원 및 대상 영역의 특성을 고려하여 대상 영역을 공평하고 효율적으로 관리하여 자원 효율을 극대화하는 방법으로 게임이론을 이용한다. 따라서 가용 자원 및 대상 영역의 특성을 포괄할 수 있는 효용 함수를 정의하고 주어진 청소로봇 사이의 여러 개의 청소공간을 의미하는 단위 공간을 할당 받는 과정을 협상 문제로 정의한다. 이 때 협상 문제의 해법으로 내쉬 협상 해법 (Nash Bargaining Solution, NBS)^[7]을 사용하여 공평하고 효율적으로 청소공간을 분배한다. 또한 제안한 효용 함수 및 접근 방법이 임의의 공간 할당 방법 대비 소비전력량 면에서 효율이 개선됨을 보였고 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 협력 게임 이론과 내쉬 협상 해법에 대한 특징을 다루고, III장에서는 문제 정의 및 그에 대한 해결방법을 제시한다. IV장에서는 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과를 살펴보고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 배경 지식: 협력 게임 이론

게임 이론의 한 분야인 협력 게임 이론은 게임에 참여한 사용자들의 효율적이며 공평한 자원 분할에 초점을 맞추고 있다. 특히 협상 문제를 통하여 참여한 사용자들이 공평하고 최적화된 합의점 (agreement point)에 도달했을 때 이를 협상 문제의 해법이라고 하며 이러한 합의점을 공리적인 접근 방법으로 제시한 해법을 공리적 협상 해법이라 한다^[8].

공리적 협상 해법은 협상 문제에 대한 해법이 여러 가지의 공리 (axioms)를 만족시키는 점에서 결정된다고 설명한다. 여러 공리는 협상 문제에 참여하는 이성적인 (rational) 사용자들이 모두 만족할 수 있는 조건

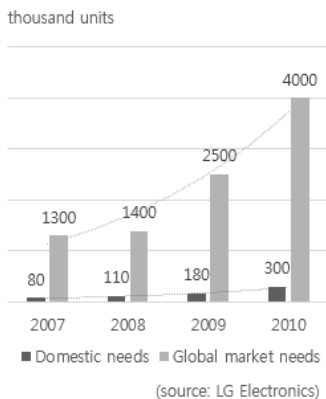


그림 1. 연도별 로봇청소기 시장 전망
Fig. 1. Cleaning robots market growth

들을 특징짓는데, 그 공리들을 만족하는 협상 문제의 해법은 공유된 자원의 사용 측면에서 효율적 (efficient)이며 자원의 할당을 통하여 얻게 되는 각 사용자들의 효용은 공평 (fair)하다. 공리적 협상 해법에 의하여 결정된 합의점은 파레토 최적 (Pareto efficient)이며 공평성을 이루는 유일한 자원 할당점을 결정한다. 대표적인 공리적 협상해법은 Nash가 제시한 내쉬 협상 해법 (NBS)^[7], Kalai와 Smorodinsky가 제시한 Kalai-Smorodinsky 협상 해법 (Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution, K SBS)^[9]을 비롯하여 Egalitarian bargaining solution (EBS), Proportional bargaining solution (PBS)^[10] 등이 있다. 각각의 협상 해법은 그 특유의 공평성을 정의하는데, 본 논문에서는 NBS를 로봇 사이의 공간 분배 알고리즘에 적용하도록 한다. NBS는 협상 문제로 모형화가 가능한 여러 분야에서 다양하게 사용되어 왔다. NBS를 이용해 일반 유선통신망에서 흐름 제어를 최적화^[4] 하였고 또한, 멀티미디어 어플리케이션에 대한 사용자의 협력과 서비스 품질 요구사항을 고려한 공평하고 최적화된 자원 할당 관리 전략^[2,11]을 제안하였다. 그리고 NBS를 비디오 압축 기술에 이용하여 그 효율성을 높였다^[6].

NBS는 다음과 같은 공평성 공리를 기반으로 정의되어 있다.

- a) 파레토 최적 (Pareto Optimality)

- b) 선형 변환에 대한 불변성 (Independence of Linear Transformations)
- c) 관련성 없는 대안들에 대한 불변성 (Independence of irrelevant alternatives)
- d) 대칭성 (Symmetry)

공리 a)는 협상 해법이 협상 집합에서 결정되며 최적화됨을 뜻하고, 공리 b), c) 그리고 d)는 NBS의 공평성 특징을 나타낸다. 각 공리들에 대한 자세한 내용과 특징은 [9]에 설명되어 있다. 위의 공리들에 의해 결정되는 NBS는 Nash Product를 최대화 한다고 알려져 있으며 n 명의 사용자가 있을 때의 Nash Product는 다음과 같이 정의된다.

$$G(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n (X_i - d_i)^{a_i}$$

여기에서 X_i, d_i, a_i 는 각각 사용자 i 의 효용, 합의 실패점 (disagreement point)에서의 효용, 그리고 협상력 (bargaining power)을 뜻한다. 따라서 NBS는 협상 집합에서 Nash Product가 최대화 되는 한 점에서 결정된다.

III. 문제 정의 및 제안한 해결 방법

3.1 문제 정의

본 논문에서는 청소를 위한 공간은 각 단위 공간 S_{ij} ($1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N$, 단, i, j, M, N 은 모두 정수)으로 나누어져 있으며 각 공간에 대하여 공간 크기 C_{ij} 와 오염 정도 D_{ij} 가 정의되어 있다고 가정한다 (그림 3 참고). 공간 넓이와 오염 정도는 실제 청소 로봇의 성능에 큰 영향을 끼치는 요소이기 때문에 효용함수를 결정할 때 이를 반영한다. 다만, 오염 정도에 관한 정보가 정의되어 있다고 가정하였는데 이는 청소로봇이 고정된 공간을 대상으로 한다는 특징을 갖기 때문에 해당 공간에 대한 정보(공간의 구조, 크기 등)와 그에 대한 오염 정도를 포함하여 이를 청소로봇과 연동되어 있는 서버로부터 얻을 수 있거나 기계 학습 등의 기법을 이용하여 경험을 통한 습득이 가능하다. 특히, 청소로봇은 고정된 환경 내에서 반복되는 경험으로 학습하게 되므로 학습효과가 높아 각각의 청소로봇이 습득한 정보를 효율적으로 사용할 수 있다.

n 개의 청소로봇이 있고 이들은 주어진 청소공간을

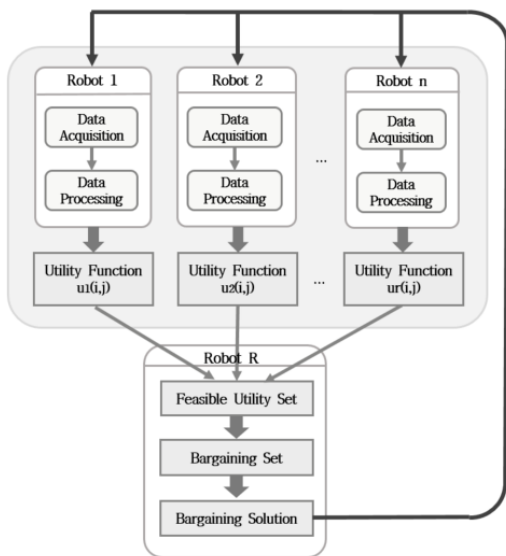


그림 2. 협력 게임을 이용한 청소구역 분배 알고리즘
Fig. 2. Algorithm for distributing cleaning area based on cooperative games

독립적으로 돌아다니면서 청소 환경에 대한 데이터 (즉, C_{ij} 와 D_{ij})를 수집한다. 수집된 데이터는 청소로봇들 사이에 공유되고 처리된다. 청소 환경에 대한 데이터는 주어진 청소공간을 일정한 단위 공간을 기준으로 구분되며 이 단위 공간을 기준으로 청소로봇의 효용 함수를 정의한다. 이렇게 수집된 정보를 바탕으로 효율적인 청소를 위한 각자의 효용 함수 (utility function)를 정의하고 이를 청소 구역을 결정하는 대표 청소로봇 R 에게 전송하여 NBS를 계산할 수 있도록 한다. 대표 청소로봇 R 은 NBS를 계산하고 이를 바탕으로 각 청소로봇들에게 공평하고 최적화된 청소 분배 영역을 알려주어 이를 바탕으로 각 청소로봇은 효율적으로 청소를 할 수 있다. 본 논문에서는 데이터를 전송하는데 사용되는 전력 소모량은 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정하였다. 그림 2은 본 논문에서 제안하는 청소구역 분배 알고리즘을 나타내는 도식이다.

3.2 NBS 기반 청소 영역 분배 알고리즘

3.2.1 효용 함수 정의

공평하고 효율적인 청소구역 분배를 위하여 각 청소로봇 r 은 주어진 전체 청소공간을 다수의 단위 공간들로 분할하고 각 단위 공간에 대한 공간 크기 및 오염 정도를 기반으로 해당 단위 공간을 청소로봇 r 이 청소를 완료하는 데 걸리는 시간을 계산할 수 있다. 청소로봇 r 에 대한 효용함수를 다음과 같이 정의한다. 청소로봇 r 의 소비전력을 w_r , 단위 공간 S_{ij} 를 청소하는 데 걸리는 시간을 T_{ijr} , 단위 공간 S_{ij} 의 크기를 C_{ij} , 단위 공간의 오염 정도를 D_{ij} 라고 할 때, 청소로봇 r 이 단위 공간 S_{ij} 를 청소하는 데 걸리는 시간은 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$T_{ijr} = \frac{C_{ij}D_{ij}}{w_r} \quad (1)$$

이를 이용하여 로봇 r 의 단위 공간 S_{ij} 를 청소함으로써 얻게 되는 효용은 식 (2)

$$u_r(i, j) = \sum_{i,j} \left(\frac{\alpha_r}{w_r T_{ijr}} \right) + \frac{k}{w_r \left(\frac{L_r}{v_r} \right)} \quad (2)$$

$\{i, j | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$

와 같이 표현할 수 있으며, 이때 α_r 는 각 청소로봇의 효용 상수, k 는 이동 거리에 대한 효용 상수, v_r 는 청

소로봇 r 의 주행속도, L_r 는 단위 공간 사이의 총 이동 거리를 나타낸다. M 과 N 은 전체 공간을 $M \cdot N$ 개의 단위 공간으로 구분하였음을 나타낸다.

식 (2)에서 정의된 효용 함수에서 볼 수 있는 것과 같이, 각 청소로봇의 시간당 소비전력 w_r 은 일정하게 정해져 있기 때문에 각 단위 공간에 대한 청소시간에 따라 청소로봇의 효용이 결정된다. 여기서 T_{ijr} 은 청소 환경 데이터인 각 단위 공간의 크기와 오염 정도에 기초하여 결정될 수 있으므로 청소로봇이 최소한의 시간으로 청소를 완료하는 것은 최대 효용을 갖는 것과 같다.

3.2.2 대표 청소로봇 결정 및 단위 공간 이동 알고리즘

각 청소로봇에서 수집된 필요한 정보는 대표 청소로봇으로 전달되고, 대표 청소로봇 R 은 NBS를 계산하고 이에 따라 분할된 영역을 각 청소로봇에게 알려주는 역할을 한다. 이때 대표 청소로봇을 결정하기 위한 방법으로 본 논문에서는 전체 청소로봇들이 돌아가면서 차례대로 대표 청소로봇으로 선정될 수 있는 순환 순서 방식 (round robin)을 사용하였다. 하지만 다른 여러 가지 대표 선택 알고리즘을 사용할 수 있다. 예를 들어, 대표 청소로봇으로 선정될 확률을 동일하게 가지는 전체 청소로봇들에서 임의 선택 (random selection)된 어느 하나의 청소로봇이 대표 청소로봇으로 선정될 수 있고, 가장 먼저 작동을 시작한 청소로봇이 대표 청소로봇으로 선정되게 할 수 있다. 또는 배터리 충전량이 가장 높은 청소로봇이 대표 청소로봇으로 선정될 수 있다. 이는 유효 효용 집합을 결정하고 NBS를 계산하는 과정에서 소비되는 전력을 고려할 때, 배터리 충전량이 가장 높은 청소로봇을 대표 청소로봇으로 선정함으로써 전력 소모 효율성을 개선시킬 수 있기 때문이다.

각각의 청소로봇은 한 단위 공간에서 청소를 완료한 후 다른 단위 공간으로 이동할 때도 전력을 소비하

S_{11} { C_{11}, D_{11} }	S_{12} { C_{12}, D_{12} }	S_{13} { C_{13}, D_{13} }
S_{21} { C_{21}, D_{21} }	S_{22} { C_{22}, D_{22} }	S_{23} { C_{23}, D_{23} }
S_{31} { C_{31}, D_{31} }	S_{32} { C_{32}, D_{32} }	S_{33} { C_{33}, D_{33} }

그림 3. M=3, N=3인 경우의 전체 청소공간의 예시
Fig. 3. An example of cleaning areas for M=3 and N=3

게 된다. 이 때 소비되는 전력량 또한 효용함수에 반영해야 한다. 위에서와 마찬가지로 할당 받은 단위 공간 사이를 이동하는 데에 쓰이는 전력량을 최소화 할 수록 그에 상응하게 높은 효용을 가지는 것으로 효용 함수를 정의한다. 총 이동거리는 최단거리로 가정하고 이 최단거리를 찾는 방법은 외판원 문제 (Traveling Salesman Problem, TSP) 알고리즘을 이용한다. 본 논문에서는 각 청소로봇의 소비전력량을 최소화하기 위하여 할당 받은 청소구역에 모두 거치되, 이미 지난 청소구역은 다시 거치지 않고 최단거리로 이동하도록 한다. 따라서 청소로봇의 이동 경로(path)는 TSP 알고리즘을 통해 최단거리로 구할 수 있게 된다. 모든 청소로봇은 처음 출발했던 곳으로 다시 돌아오도록 하여 모든 이동 경로를 폐경로로 구성한다.

3.2.3 NBS기반 청소 영역 분배

NBS기반으로 청소 영역을 분배하기 위하여, 대표 청소로봇은 모든 청소로봇의 효용 함수를 취합하여 유효 효용 쌍 (feasible utility pairs)을 결정한다. 유효 효용쌍 중, 파레토 최적이며 합의 실패점에서의 효용보다 더 큰 효용쌍을 찾아 협상 집합 (bargaining set)을 구성하며 이 중, 각각의 효용쌍에 대한 Nash Product를 비교하여 값이 최대가 되는 지점에서 협상 해법 (bargaining solution)을 결정한다. 결과적으로 이를 통해 다중 청소로봇 사이의 가용 자원은 전체 청소로봇 운용시스템의 효용을 극대화할 수 있도록 최적으로 분배되게 된다.

그림 4는 유효 효용 집합과 NBS의 간단한 예를 보여준다. 그림 4에는 두 청소로봇의 유효 효용쌍을 보여주고 있으며 최외각 점을 연결한 볼록 껍질(convex hull)에 NBS가 존재하는 것을 알 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 방법의 검증에 위한 시뮬레이션에서 사용된 파라미터들은 실제 제품 사양^[12]에 맞추어 $w_r = 25 W, v_r = 0.3m/s$ 로 설정하였다. 그리고 전체 청소공간을 $M=12, N=12$ 의 공간, 즉 전체 청소공간을 단위 공간 144개로 구성하였으며 이에 대해 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용하였다. 협상 해법을 찾는 효율적인 방법으로 반복적 협상 전략을 이용한 시스템 자원 할당 방법^[13]을 사용하였다. 이 방법은 단위 공간의 개수와 청소에 참여하는 청소로봇의 수가 늘어날수록 협상 전략을 연산하기 위한 계산 복잡도가 기하급수적으로 증가하는 문제점을 해결하

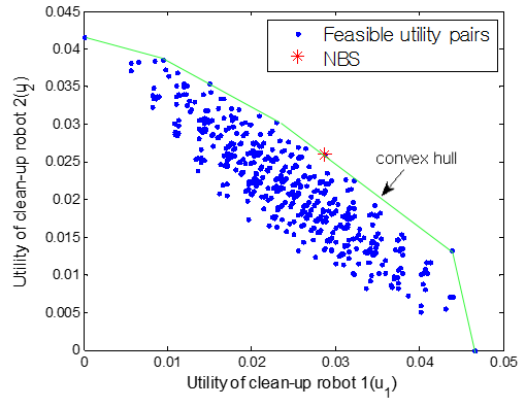


그림 4. 3X3 공간에서의 두 대의 청소로봇에 대한 NBS 적용 결과
Fig. 4. NBS to two clean-up robots for 3X3 cleaning area

기 위한 방법으로 유효 효용 집합을 부 유효 효용 집합으로 분할하고, 각 부 유효 효용 집합에 NBS를 반복적으로 적용하여 최종적인 NBS를 찾아 연산 복잡도를 낮출 수 있다.

시뮬레이션 결과는 그림 5와 표 1에 나타났다. 그림 5의 결과는 본 논문에서 제안하는 방법의 성능 개선 검증에 보이기 위하여 여러 대의 청소로봇 간 단위 공간을 협력 게임을 이용한 NBS 기반 할당 방법과 임의로 단위 공간을 할당 받는 방법에 대해 성능 비교를 나타내고 있다. 공평한 성능 비교를 위하여 임의로 단위 공간을 할당하는 방법에서도 본 연구에서 제안하는 방법과 마찬가지로 각각의 청소로봇이 자기가 수집한 정보 또는 서버로부터 입력받는 청소 환경에 대한 데이터를 기반으로 청소를 한다고 가정하였으며 이 두 가지 방법을 주어진 청소공간을 청소하는데 소비하는 총 소비전력량을 반영한 효용의 측면에서 비교하였다.

시뮬레이션 결과를 보면, 협력 게임 이론을 이용해 협력 청소를 하는 것이 임의로 단위 공간을 할당하는 방법으로 청소하는 것보다 총 소비전력량을 언제나

표 1. NBS 기반 할당 방법의 운용 청소로봇 개수에 따른 청소로봇 당 평균 소비전력량
Table 1. Average power consumption per clean-up robot based on NBS

	Number of clean-up robots			
	2	3	4	5
Average of power consumption per clean-up robot (Ws)	61025.00	36643.33	25356.25	19872.00

V. 결론

본 논문에서는 기존 청소로봇의 시스템을 확장하여 단일 청소로봇이 아닌 다수의 청소로봇을 운용하는 시스템을 제안하였다. 특히, 공평성과 효율성을 보장하기 위하여 청소시 소모하는 소비전력량을 효율의 관점에서 바라보고 그에 따른 효율 함수를 제안하였다. 이러한 효율 함수를 기반으로 여러 청소로봇 사이의 협업을 위한 방안으로 협력 게임 이론의 NBS를 사용하여 청소공간을 효율적으로 분배하게 하였으며 시뮬레이션 결과를 통하여 다중 청소로봇의 협업이 소비 전력 측면에서 기존의 방법보다 효율적이며, 전체 운용시스템의 효율을 증대시킨다는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 운용하는 청소로봇의 개수가 증가할수록 소비전력량 측면의 청소 효율이 증대되는 것을 볼 수 있었다.

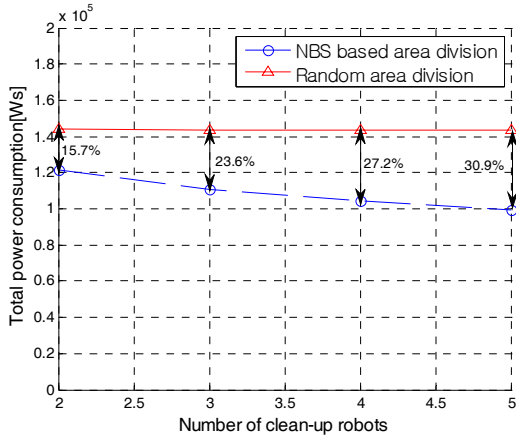


그림 5. NBS 기반 할당 방법과 임의의 공간 할당 방법의 총 소비전력량
 Fig. 5. Total average power consumption based on NBS and Random area division

적게 사용하는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안하는 다중 청소로봇의 협업은 임의의 공간 할당 방법보다 빠른 청소와 효율적인 전력관리가 가능하게 된다는 것을 알 수 있다. 이는 전체 청소로봇 운용시스템의 효율을 극대화하기 위하여 같은 단위 공간을 청소하더라도 더 적은 전력을 사용하면서 청소할 수 있는 청소로봇에게 그 공간을 우선적으로 할당했기 때문이다. 이는 표 1의 결과로도 확인할 수 있다. 표 1은 협력청소시 운용 청소로봇 개수에 따른 총 소비 전력량 및 청소로봇 당 평균 소비전력량을 나타내고 있다. 일정한 공간에 대하여 운용되는 청소로봇의 개수가 증가하므로 청소로봇 한 대당 부담하게 되는 청소량 및 필요한 전력 소모량은 줄어든다.

또한 운용되는 청소로봇의 개수가 증가함에 따라 소비전력량 측면의 청소효율도 증대됨을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 방법을 통하여 하나의 특정 단위 공간에서 가장 최적의 조건에서 청소를 완료할 수 있는 청소로봇에게 우선적으로 해당 청소공간을 할당할 수 있기 때문에 청소로봇의 개수가 늘어날수록 청소효율을 높일 수 있는 청소로봇을 선택할 확률이 높아지게 된다. 따라서 위의 그래프와 같이 운용 청소로봇의 개수가 증가할수록 청소효율도 증가하는 결과를 얻을 수 있게 된다. 하지만 상대적으로 청소로봇의 개수가 증가함에 따라 청소효율이 증가하는 폭은 감소하는 것으로 나타난다. 이는 청소공간이 유한하기 때문인데, 표 1에서도 청소로봇의 개수가 증가할수록 청소로봇 당 평균 소비전력량이 감소하는 폭이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

References

- [1] H. Yaïche, R. R. Mazumdar, and C. Rosenberg, "A game theoretic framework for bandwidth allocation and pricing in broadband net-works," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 8, no. 5, pp. 667 - 678. Oct. 2000.
- [2] H. Park and Mihaela van der Schaar, "Bargaining strategies for networked multimedia resource management," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 55, no. 7, pp. 3496-3511, Jul. 2007.
- [3] Z. Han, Z. Ji, and K. J. R. Liu, "Fair multiuser channel allocation for OFDMA networks using nash bargaining and coalitions," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 53, pp. 1366-1375, Aug. 2005.
- [4] R. Mazumdar, L. G. Mason, and C. Douligeris, "Fairness in network optimal flow control: Optimality of product forms," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 5, pp. 775-782, May 1991.
- [5] A. Feiten and R. Mathar, "Optimal power control for multiuser CDMA channels," *IEEE ISIT'05*, pp. 1903-1907, Adelaide, Australia, Sept. 2005.
- [6] I. Ahmad and J. Luo, "On using game theory for perceptually tuned rate control algorithm

for Video Coding,” *IEEE Trans. Circuits and Syst. for Video Technol.*, vol. 16, no. 2, pp. 202-208, Feb. 2006.

- [7] J. Nash, “The bargaining problem,” *Econometrica*, vol. 18, pp. 155-156, Apr. 1950.
- [8] H. Park, “Multimedia communications and network resource management based on bargaining solutions from cooperative game theory in multi-user environment,” *KICS Inf. Commun. Mag.*, vol. 26, no. 7, pp. 24-29, Jul. 2009.
- [9] E. Kalai and M. Smorodinsky, “Other solutions to Nash’s bargaining problem,” *Econometrica*, vol. 43, no. 3, pp. 513-518, May 1975.
- [10] E. Kalai, “Proportional solutions to bargaining situations: Interpersonal utility comparisons,” *Econometrica*, vol. 45, no. 7, pp. 1623-1630, Oct. 1977.
- [11] H. Park and M. van der Schaar, “Coalition-based resource negotiation for multimedia applications in informationally decentralized networks,” *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 11, no. 4, pp. 765-779, Jun. 2009.
- [12] mamirobot Mami K3, mamirobot Corporation from <https://www.mamirobot.co.kr>.
- [13] E. Kim, H. Park, and P. Frossard, “Low complexity iterative multimedia resource allocation based on game theoretic approach,” *IEEE ISCAS*, pp. 1099-1102, Seoul, Korea, May 2012.

최 지 수 (Jisoo Choi)



2014년 2월: 이화여자대학교 공
학사
2014년 3월~현재: 이화여자대
학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 게임이론을 이용한
협상 해법

박 형 곤 (Hyunggon Park)



2004년 2월: 포항공과대학교 공
학사
2006년 3월: 미국 University of
California, Los Angeles
(UCLA) M.S.
2008년 12월: 미국 University
of California, Los Angeles
(UCLA) Ph.D.
2010년 2월: 스위스 Swiss Federal Institute of
Technology, Lausanne (EPFL) 신호처리 연구실 선
임연구원
2010년 3월~현재: 이화여자대학교 전자공학과 조교수
<관심분야> 게임이론을 이용한 유/무선/P2P, 네트워크
분산적 자원 관리, 네트워크 코딩을 이용한 멀티미디
어 전송