



한국정보과학회 컴퓨터시스템연구회

2010년도 동계 워크샵

2010년 1월 25일 - 1월 27일, 강원도 휘닉스파크 한화콘도

주최: 한국정보과학회 컴퓨터시스템 연구회

주관: 고려대학교 융합소프트웨어 전문대학원

포항공과대학교 이동단말 내장형 소프트웨어 연구센터

선문대학교 차세대 임베디드 SW 개발환경 연구센터

건국대학교 무인비행체 SW 융합연구센터

경북대학교 임베디드 소프트웨어 협동연구센터

후원: 로보빌더 (<http://www.robobuilder.net>)

미니로봇 (<http://www.minirobot.co.kr>)

SRC (Science Academy Robot Creation, <http://www.robotsrc.com>)

카이로봇 (<http://www.kairobot.co.kr>)

휴인스 (<http://www.huins.com>)

한백전자주 (<http://www.hanback.co.kr>)

프로그램

- 일시 : 2010. 1. 25(월) - 1.27(수)
- 장소 : 강원도 휘닉스파크 한화콘도
- 주최 : 한국정보과학회 컴퓨터시스템연구회
- 주관 : 고려대학교 융합소프트웨어 전문대학원
 - 포항공과대학교 이동단말 내장형 소프트웨어 연구센터
 - 선문대학교 차세대 임베디드 SW 개발환경 연구센터
 - 건국대학교 무인비행체 SW 융합연구센터
 - 경북대학교 임베디드 소프트웨어 협동연구센터
- 후원 : 로보빌더 (<http://www.robobuilder.net>) 미니로봇 (<http://www.minirobot.co.kr>)
 SRC (Science Academy Robot Creation, <http://www.robotsrc.com>)
 카이로봇 (<http://www.kairobot.co.kr>) 휴인스 (<http://www.huins.com>)
 한백전자주 (<http://www.hanback.co.kr>)

1월 25일 (월)	
시간	프로그램
12:50 - 13:00	개회식 (사회: 김진수 교수)
13:00 - 15:00	Session 1: Cyber-Physical System 좌장: 이창건 교수 (서울대) - Cyber-Physical Systems: Introduction and Challenges / 신인식 교수 (KAIST) - New Frontiers in Wireless Sensor Networks: Heterogeneity and Mobility / 오성희 교수 (서울대) - CPS의 고신뢰 자율제어 핵심기술 개발 / 박승민 팀장 (ETRI)
15:00 - 15:15	Coffee Break
15:15 - 16:00	Keynote Speech 1 - ICT 진화 전망과 SKT 추진 방향 / 임종태 원장 (SK텔레콤)
16:00 - 18:00	Session 2 : 포스터 논문 발표 및 로봇 전시회
18:00 - 18:30	컴퓨터 시스템 연구회 총회
18:30 - 20:30	연회 (Banquet)

1월 26일 (화)	
시간	프로그램
9:00 - 11:00	Session 3 : Multi-Core Architecture 좌장: 김태현 교수 (서울시립대) - HyperX: Topology, Routing, and Packaging of Efficient Large-Scale Networks / 안정호 교수 (서울대) - Design of On-Chip Networks in Future Manycore Processors / 김동준 교수 (KAIST) - 실시간 ray tracing을 위한 멀티코어 연구 동향 및 ray tracing HW 설계 소개 / 박우찬 교수 (세종대)
11:00 - 11:15	Coffee Break
11:15 - 12:00	Keynote Speech 2 - 멀티코어 기반 CE 기기에서의 System S/W 이슈 및 동향 / 최종덕 전무 (삼성전자)
12:00 - 13:30	중식
13:30 - 15:30	Session 4 : Multi-core Software 좌장: 정성우 교수 (고려대) - A Software SVM Approach for Heterogeneous Accelerator Multicore Architectures / 이재진 교수 (서울대) - General Purpose Computing with GPUs / 한환수 교수 (성균관대) - Multi-core Programming Model for CE Devices / 서상범 상무 (삼성중기원)
15:30 - 15:45	Coffee Break
15:45 - 17:45	Session 5 : New Comers 좌장: 윤성로 교수 (고려대) - Hybrid System Emulation / 서태원 교수 (고려대) - Many-core system-on-chip architecture: memory & network-on-chip issues / 유승주 교수 (포항공대) - Bayesian decoding for intracortical neural interface systems / 김성필 교수 (고려대) - Greening Datacenters: Cutting-edge issues swirling around virtualization, multicores, and GPUs / 서의성 교수 (울산과기대)
1월 27일 (수)	
9:00-11:00	자유토론 : 차세대 컴퓨터 사회: 김진수 교수 (성균관대)
11:00-11:10	폐회사

동적환경에서 분산로봇 경로 찾기 알고리즘

김학수^o, 조진성

경희대학교 컴퓨터공학과
pradise@khu.ac.kr , chojs@khu.ac.kr

A Decentralized Robot Navigation Algorithm in Dynamic Environments

Hak soo KIM^o, Jinsung Cho
Dept. of Computer Engineering
Kyung Hee Univ.

요 약

로봇공학은 여러 로봇과 장치들이 협력, 협동을 통하여 한계 이상의 일을 처리하는 형태로 발전하고 있다. 이러한 협력과 협동을 위해서는 정보 및 명령을 주고받는 통신능력과 위치 이동 능력이 필요하다. 본 연구는 이러한 많은 수의 로봇으로 이루어진 Networked Robots 시스템에서 발생한 정보를 처리하고, 명령을 내려 목적지까지 이동하는 분산 로봇 경로 찾기 알고리즘을 제안한다. 본 논문은 중앙집중 방식의 문제를 해결하고, 동적으로 변화하는 환경에서 확장성과 낮은 통신 사용량을 가지는 분산로봇 경로 찾기 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

현재 로봇공학은 한 개의 로봇이 아닌 여러 로봇이 협력, 협동을 통해 각 로봇의 한계 이상의 일을 할 수 있는 Networked Robots으로 발전하고 있다. 협력, 협동함으로써 다양한 응용에 유연한 일의 처리가 가능하며, 여러 로봇들이 효과적으로 일을 처리하기 위해서 정보 교환을 위한 통신 능력과 원하는 위치까지의 경로 설정과 이동능력이 필요하다.

통신을 이용한 로봇 시스템은 인터넷을 통한 로봇의 개발을 통하여 센서네트워크에서 확장된 개념을 통해 유비쿼터스 시스템을 지나 현재 통신을 통해 협력, 협동하는 로봇 시스템의 형태인 Networked Robots으로 발전하였다. 이는 로봇끼리의 통신뿐만 아니라 센서 혹은 다른 장치와 통신할 수 있고, 기존의 통신망을 이용할 수 있다.

이러한 Networked Robots 시스템은 통신을 통하여 정보를 주고받아 정보의 처리를 통하여 명령을 내리게 되며, 유선 통신을 이용하는 경우와 달리 무선 통신을 이용함으로써 자유로운 이동이 가능하다.

로봇은 다양한 어플리케이션이 이용되며 창고, 위험지역에서의 이동로봇의 경우 넓은 지역에 많은 로봇이 분산 배치된다. 로봇은 제한된 주위인식과 통신거리를 가지고 있기 때문에 로봇간 통신을 통해 효율적인 이동이 필요하다.

Networked Robots의 발전에 따라 여러 로봇들이 협력하는 경로 찾기 알고리즘에 대해 많은 연구가 되었다. 경로 찾기 문제는 공간을 어떻게 공유할 것인가를 해결하는 것으로서 여러 로봇이 최단 거리, 최소 이동시간을 가지기위해 크게 두 가지 문제가 해결되어야 한다. 첫 번째, 여러 로봇이 경로를 설정하는 문제와 두 번째, 다른 로봇과 장애물의 충돌방지와 교착상태를 피해야 한다.

경로를 설정하는 방법을 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 모든 정보를 이용하는 중앙 집중 방식은 최적경로를 찾을 수 있지만 두 가지 문제를 가지고 있다. 첫 번째, 확장성이 떨어지게 된다. 한 개의 로봇이 목적지까지 경로를 계산함으로써 인하여 많은 계산량을 가지게 되며, 환경이 커짐에 따라 경우 계산량은 계속 증가한다. 두 번째, 통신 사용량이 증가한다. 국부적인 환

경 변화에 시작로봇까지 정보를 전송하기 위해 메시지를 전송함으로써 전체적인 통신 사용량이 증가한다. 본 논문은 모든 환경정보를 받아 경로를 설정하는 중앙 집중 방식의 문제를 해결하기 위하여 분산 경로설정 방식을 제안한다.

2. 관련연구

최근, Networked Robots (N·R)[1, 2, 3]의 발전에 따라 여러 로봇들이 협력하는 경로 찾기 알고리즘에 대해 많은 연구가 되었다. 많은 수의 로봇의 경로를 설정하는 것은 한 개의 로봇의 경로를 설정하는 것 보다 매우 어려운 문제이다. 여러 로봇의 경로 찾기 문제는 공간을 어떻게 공유할 것인가를 해결하는 것이다. 그렇기 때문에 연구된 한 개의 로봇을 위한 경로찾기 알고리즘은 사용할 수 없다.

여러 로봇이 최단 거리, 최소 이동시간을 가지기위해 크게 두 가지 문제가 해결되어야 한다. 첫 번째, 여러 로봇이 경로를 설정하는 문제와 두 번째, 다른 로봇과 장애물의 충돌방지와 교착상태를 피해야 한다.

2.1 중앙집중식 경로 설정

중앙 집중방식은 단 하나의 경로라도 있다면 경로를 찾을 수 있으며 최적 경로를 구할 수 있다. 하지만, 공간이 커지는 것에 급격한 정보량 증가와 이에 따른 많은 계산량 때문에 기존의 연구는 휴리스틱 기법을 사용하였다.

지금까지 Robot Navigation 정적인 환경에서 주위의 모든 위치정보와 자신의 위치를 알고 있는 상황에서 경로찾기 알고리즘에 대해 연구되었다. 또한, 여러 로봇으로 이루어진 분산 로봇들의 효과적인 움직임을 위한 알고리즘이 개발되었다.[4, 5, 6, 7] 모든 로봇이 경로 유전자를 가지는데[4, 7]기법은 경로가 겹치는 부분을 최소화 하여 충돌과 최단거리 문제를 해결하였다. 우선순위 기반으로 A*알고리즘을 이용한 기법[8]은 교착상태 문제를 해결하고 경로 찾는 확률을 높였다. 하지만, 로봇은 자신의 모든 장애물과 다른 로봇의 경로를 알아야 하기 때문에 여전히 많은 통신량과 계산량의 문제가 해결되지 않는다.

2.2 보로노이 다이어그램을 이용한 경로설정

보로노이 다이어그램[9]은 이론이 완벽할 뿐 아니라 다양한 응용분야에 연구되어지고 있다. 그중 하나로 길찾기 알고리즘에도 사용되고 있다. 보로노이 다이어그램에 의해 설정된 경로

“이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 지원(No. 2009-0083992)과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터지원사업(NIPA-2009-(C1090-0902-0002))의 연구결과로 수행된 연구임.”

는 장애물을 최대한 멀리하는 경로로서 충돌을 최소화한 경로이다. 보로노이 다이어그램으로 만들어진 뼈대 안에서 최단거리 알고리즘을 수행하여 경로를 만들 수 있다.

3. 제안하는 경로 찾기 알고리즘

넓은 지역에서 많은 로봇간의 충돌방지와 최단경로를 고려한 경로를 만들기 위해서는 많은 양의 정보가 필요하다. 또한, 이 정보를 제한된 시간 내에 알고리즘을 수행 하는 것은 매우 어렵다. 경로를 설정하는 방법은 크게 중앙집중 방식과 분산방식으로 나눌 수 있다. 중앙 집중방식은 최적의 해를 구할 수 있지만 실제 로봇이 이동하기 위해서는 많은 통신과 계산을 제한된 시간에 처리해야 하기 때문에 적합하지 않다. 따라서 분산방식(Decoupled)이 제안되었으나 모든 다른 로봇의 경로와 환경을 알고 있는 상황에서의 경로설정 방법으로 실제 응용에 사용하기 힘들다.

제안하는 방안은 변화하는 환경에서 적은 통신과 계산으로 최적경로를 설정함으로써 제안된 시간 안에 경로를 구할 수 있으며, 적은 에너지를 소비한다.

3.1 Networked Robots 시스템 구성

Networked Robots 시스템은 센서 네트워크와 같이 에너지와 계산능력의 제약이 크지 않다. 정보 처리 및 명령을 내릴 수 있는 계산, 통신능력을 가지고 있기 때문에 $N \cdot R$ 으로 구성된 시스템은 정보가 Centralized하게 Server에서 처리되어 다시 명령을 내리는 형태가 아니라, Source에서 가까운 로봇이 이를 처리하고 명령을 내리는 Distributed 시스템으로 동작한다.

정보는 로봇으로부터 요청되어 받을 수 있고, 다른 센서 및 로봇이 전송 할 수 있다. 정보는 한 로봇이 처리 하며 중복 처리를 막고 병렬적인 계산이 필요한 경우를 위해 다른 로봇에게 계산된 결과 정보를 전송한다. 그 후 필요 로봇 및 장비에게 명령을 내리기 위해 필요 메시지를 Broadcast한다.

로봇은 사용자의 명령 혹은 정보의 처리를 통해 수행해야 할 일이 결정되는 경우에 동작을 시작하게 된다. 사람 혹은 다른 로봇으로부터 명령을 받는 경우에는 바로 동작을 시작하게 되지만, 정보의 경우에는 어떠한 장비가 얼마나, 어디서 필요한지 정보의 처리를 통하여 결정하게 된다.

3.2 보로노이 포인트를 이용한 경로설정

보로노이 다이어그램을 이용한 경로 찾기 알고리즘[10]은 충돌방지와 최단거리를 만족하지만 여러 로봇이 이동하는 환경에 적합하지 않다. 보로노이 다이어그램을 수행한 정보는 모든 환경정보를 전송하는 것 보다는 적은 데이터를 보내게 된다. 하지만 선으로 만들어진 경로를 더욱 줄이기 위해 보로노이 다이어그램을 이용한 보로노이 포인트를 제안한다. 로봇은 자신 주변을 센싱한 값을 통해 주위 지도를 만들었을 때 환경 정보를 점으로 전송함으로써 적은 통신량과 줄 수 있다. 또한 점으로 이루어진 경로설정으로 계산량을 줄일 수 있다.

3.3 분산 로봇 경로 설정 알고리즘

위험지역, 경계지역, 무인 창고에서의 자율 이동로봇은 분산 로봇 시스템의 좋은 예이다. 로봇은 주변 환경을 인식하는 센싱 거리의 한계와 통신 거리의 한계를 가지고 이동을 위해 경로를 설정하여야 한다. 넓은 공간에서 많은 수의 로봇이 충돌방지와 최단거리를 고려해야 하며, 제한된 시간내에 경로를 설정해야 한다. 이것은 매우 어려운 일이다.

중앙 집중방식은 많은 정보로 인한 통신과 계산의 한계에서 경로를 설정하기 위해 휴리스틱 기법을 사용하였다. 하지만, 여전히 많은 통신량과 한 곳에서의 많은 계산량을 가지며 넓은 공간에서 활용되는 응용에 확장이 불가능하다. 이를 위해 분산 경로설정기법[8, 11]이 제안되었다. 모든 로봇은 평등하게 취급되며 중앙 집중 방식과 같이 통제를 하는 서버나 로봇이 없다. 이러한 기법들은 로봇의 수가 늘어나는 것과 공간이 넓어 지는 것에 대해 중앙 집중 방식보다 좋은 결과를 가진다. 하지만, 로봇이 이동할 때 이동 로봇 자신을 기준으로 많은 정보가 집중되며 계산함으로써 인해 제안시간 내에 경로를 만들기 어려운 문제를 가지고 있다. 또한, 분산 경로설정 방법은 분산 시스템이 경로를 찾을 수 있으나 출발 로봇을 기준으로 중앙 집중식으로 경로가 설정된다. 한 개의 로봇에 많은 정보가 집중되고 계산

하는 문제를 해결하기 위해 본 논문은 Decentralized 기법을 제안한다.

중앙 집중 방식과 분산 방식 모두 Source로부터 Request을 보내고 Ack을 받는 방식을 사용한다. 하지만, 한 개의 로봇에게 많은 데이터가 집중되어 계산되는 중앙집중 방식은 공간이 더 넓어지는 경우 많은 정보를 제한된 시간 내에 계산하기 힘들어진다. 또한 불필요한 부분의 장애물 지도까지 계산하여 필요하지 않은 계산을 하게 된다.

제안된 Decentralized 방식은 경로에 필요한 부분의 정보만 받아 분산 계산된다.

3.3.1 Decentralized 기법의 작동 절차

본 논문에서 제안하는 Decentralized 기법은 보로노이 다이어그램을 이용한 보로노이 포인트를 이용하여 적은 데이터 전송과 적은 계산량을 분산하여 수행한다. Request Message 전송과 정에서 경로 로봇의 계산을 통해 최단 경로를 설정하게 된다. 주변 환경 탐색 거리보다 통신 거리가 넓기 때문에 경로의 로봇은 자신이 알고 있는 Open Point를 이웃 로봇에게 전송하면 전 로봇이 알고있는 Open Point를 알고있는 로봇에 한해 메시지를 다른 로봇에게 재전송 하게 된다. 이러한 방법을 사용하면 실제 경로가 있는 경로로 메시지가 전송되기 때문에 목적지 로봇은 Source로부터 메시지를 통해 최단경로를 알 수 있다.

Decentralized 기법은 Source 로봇이 Serch Message를 작성, 전송하는 과정을 수행한다. 경로 로봇은 이 메시지를 Serch Message를 보내게 된다. 전 지역에 Serch Message가 전송되어 목적지에 도달하게 되면 목적지 로봇은 Path Message를 역전송하게 된다.

3.3.2 장애물 변화에 따른 경로 설정

$N \cdot R$ 의 응용은 주변 환경이 변화 할 수 있다. 로봇은 장애물이 변화에 다른 경로를 설정 할 수 있어야 한다. Centralized 방식은 경로가 두절되는 경우 Source로 이것을 알려주고 다시 경로를 설정하게 된다. 두절된 경로가 Source로부터 먼 경우 많은 로봇을 거쳐서 경로가 두절된 것을 알게 되며, 재 경로 설정을 위해 많은 메시지 전송과 계산이 필요하다. Decentralized 방식은 경로 설정에 이용한 정보를 이용하여 경로 로봇이 지역적으로 두절된 경로를 연결해 준다. 이러한 능력을 위해 경로 로봇은 두절된 경로를 발견할 경우 Repair Message를 전송하고, 이를 받은 로봇은 자신이 알고 있는 정보를 사용하여 수정된 경로를 알려준다.

3.4 보로노이 포인트

분산 로봇의 경로 찾기 알고리즘에서 각 로봇이 보내는 주변 장애물 정보 메시지의 양은 매우 많다. 따라서 이 메시지의 크기를 줄임으로서 전체적인 통신량을 크게 줄일 수 있다.

본 논문에서는 보로노이 다이어그램을 이용한 보로노이 포인트를 제안한다. 기존의 보로노이 다이어그램을 이용한 경로 설정은 장애물 간 중앙 경로를 설정함에 따라 충돌방지에 좋다. 이러한 장점을 이용하면서 압축된 정보를 보내기위해 각 로봇은 주변 정보를 보로노이 다이어그램을 통한 보로노이 포인트를 만들어 필요 로봇에게 전송한다.

로봇은 환경 정보를 보내기 위해 환경을 모두 전송한다. 이러한 방식은 많은 데이터를 전송 할 뿐 아니라, 많은 계산을 유발한다. 중앙 그림과 같은 보로노이 다이어그램을 이용하면 충돌 방지와 상대적으로 작은 데이터량을 가지지만, 오른쪽 그림과 같이 보로노이 포인트를 이용하면 더 작은 데이터로 더 작은 계산량을 가질 수 있다.

4. 성능평가

Decentralized 기법은 경로의 계산을 경로 로봇이 분산 계산하여 적은 시간 안에 경로를 만들 수 있다. 두절된 경로를 재 설정함에 따라 짧은 시간 내에 최단거리를 만들 수 있으며, 보로노이 포인트를 이용하여 전체 통신량을 줄인다. 4.1에서 언급된 환경에서 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

Centralized기법과 제안한 Decentralized 기법을 비교 분석하였다.

공간의 크기와 로봇의 수의 변화에 따른 결과를 얻기 위해 6,12개의 로봇 40m X 40m, 80m X 80m의 4가지 시나리오에서의 성능평가를 실시하였다. 정확한 성능평가 및 장애물의 변화에 따른 성능평가를 위해 각 시나리오에 배치가 다른 4번과 같은 배치에서 장애물이 3번 변화 한다.

로봇이 한쪽에 배치되어 정확한 성능이 나오지 않는 경우를 막기 위해 받은 보로노이 다이어그램을 통해 배치되며, 나머지 반의 로봇은 임의로 배치된다. 로봇은 1m/s로 이동하며, 정보 센싱은 실제 초음파 거리센서의 거리와 같은 3M로 가정한다. 통신거리는 실내에서의 무선랜 통신거리인 25M로 가정한다.

모든 로봇은 절대 위치를 오차 없이 알고 있으며, 장애물 센싱에도 오차가 없다고 가정한다. 시뮬레이션은 C++을 이용하여 구현하였다.

Decentralized 기법은 Open Point로 이루어진 경로를 이용하기 때문에 [식 2]를 이용하여 각 로봇의 이동거리를 계산한다. 모든 로봇의 이동거리는 [식 2]를 이용하여 계산한다. 전송량은 같은 크기의 Request와 다른 크기의 Ack의 합으로 구해진다.[식 3, 4] 계산량은 각 Ack에 대한 데이터 크기를 곱하여 얻을 수 있다.

[식 1] A length of path (Decentralized)(원)

[식 2] Distance of all Robots (Decentralized)(오른)

$$P_i = \sum_{i=1}^{N-1} \|O_{i+1,j+1} - O_{i,j}\| \quad T = \sum_{i=1}^N P_i$$

[식 3] Centralized ack traffic [식 4] Decentralized ack traffic

$$CA = \sum_{i=1}^N C_i \quad DA = \sum_{i=1}^N D_i$$

[식 5] Sum of Centralized traffic

$$TC = \alpha \cdot \sum R_i + \beta \cdot \sum CA_i$$

[식 6] Sum of Decentralized traffic

$$TD = \alpha \cdot \sum R_i + \gamma \cdot \sum CD_i$$

4.2 결과 및 분석

4.1에서 언급된 환경에서 시뮬레이션 모델과 시나리오를 통해 성능을 분석한 결과 로봇이 많을수록, 장애물 지도가 커질수록 Decentralized 기법이 Centralized 기법보다 좋은 성능을 보였다.

4.2.1 통신량

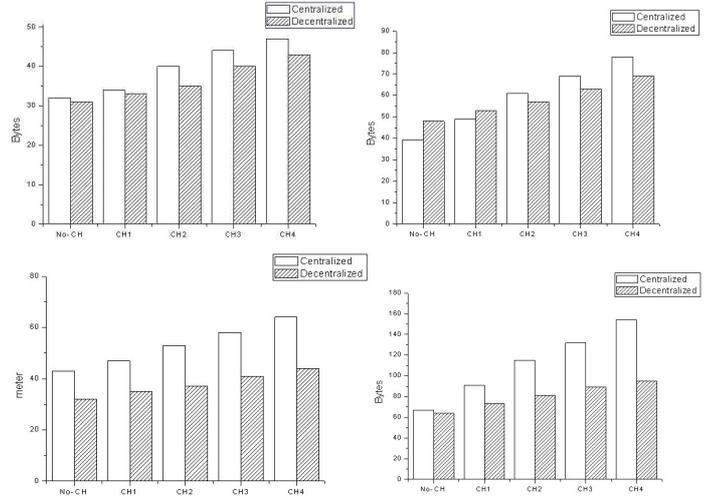
제안된 경로 찾기 알고리즘은 보로노이 포인트를 이용하여 같은 크기의 환경 정보를 전송할 때 데이터의 크기를 줄였다. 그래프 상에서는 상대적으로 적은 통신량을 보이지만 Centralized 기법은 많은 공간을 고려하지 않기 때문에 가장 중요한 최단 경로를 구하지 못하였다. 하지만 Decentralized 기법은 탐색되지 않은 지역까지 정보를 전송하여 통신량은 늘어났지만 최단경로를 구할 수 있었다.

적은 수의 로봇과 작은 공간으로 이루어진 시나리오 1에서의 통신량은 Centralized기법에서 고려된 환경의 크기가 Decentralized기법에서 고려된 환경 크기에 비해 작고, 같은 환경정보를 보낼 때 Decentralized기법이 적은 데이터를 보내기 때문에 큰 차이는 보이지 않는다.

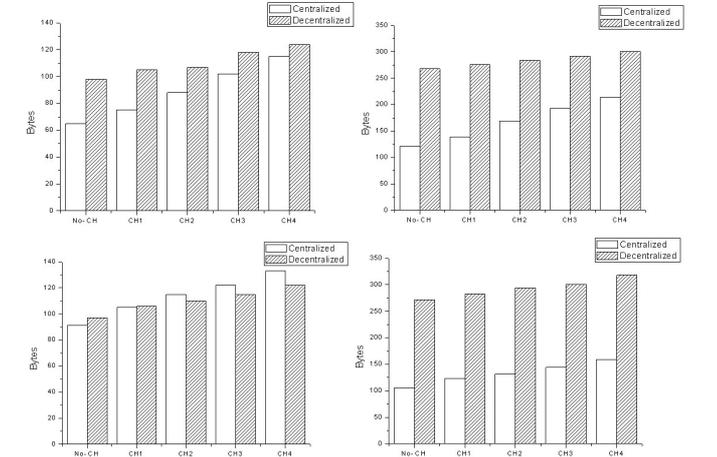
넓은 환경에 적은수의 로봇의 이동(시나리오 2)에서는 변화가 없을 때에는 Decentralized기법이 많은 환경을 고려함으로 더 많은 데이터 전송을 보이지만, Centralized기법은 적은 환경을 고려함에도 불구하고 변화할 때마다 더 많은 데이터 전송을 요구함을 알 수 있다.

시나리오1과 같은 수의 로봇이 전체 환경 크기가 커진 시나리오 3에서는 Centralized기법이 고려된 환경의 크기가 작음에도 불구하고 많은 이동으로 인해 많은 데이터 전송량을 보인다.

넓은 공간에 많은 로봇이 있는 시나리오4는 Decentralized기법이 줄어든 환경데이터를 이용함으로서 많은 공간을 고려했음에도 불구하고 변화하지 않을때도 Centralized기법과 비슷한 전송량을 보였다. 그리고 전체 환경이 변화함에 따라 지역적인 해결을 이용하여 큰 통신량의 증가 없이 경로를 찾을 수 있었다.



[그림 1] Scenario 1, 2, 3, 4의 총 통신량



[그림 2] Scenario 1, 2, 3, 4의 총 계산량

4.2.2 계산량

제안된 경로 찾기 알고리즘은 보로노이 포인트를 이용하여 같은 크기의 환경 정보를 전송할 때 데이터의 크기를 줄였다. 이를 위해서 전송하기 전에 보로노이 포인트를 구하는 오버헤드를 가진다. 하지만 제안된 알고리즘은 A*알고리즘에 비해 복잡도가 낮다. Centralized기법은 탐색되지 않은 공간을 고려하지 않기 때문에 그래프 상에서 볼 때 작은 공간에서는 Centralized 기법과 비슷한 계산량을 가진다. 그리고 넓은 공간에서는 계산량이 많이 줄어든 것을 볼 수 있다. 계산량의 결과를 분석하면 보로노이 포인트를 이용하였음에도 불구하고 더 많은 계산량을 보인다. 하지만 더 많은 지역을 계산함에 따라 생기는 계산량이기 때문에 더 중요한 요소인 최단거리를 구하기 위한 Trade-Off 이다.

시나리오1에서는 많은 주변정보를 처리함에 따라 Decentralized기법이 더 많은 계산량을 가진다. 하지만 한 곳에서 계산되는 Centralized기법과 달리 경로에 있는 로봇들의 계산량합이기 때문에 실제 한 로봇의 계산량은 크게 줄어들게 되며, 이를 통해 짧은 시간 내에 결과를 구할 수 있다.

시나리오2에서 Centralized기법의 넓은 공간에서의 이동은 두 절된 공간이동시 통신을 이용하지 않기 때문에 통신량이 줄어들며, 또한 적은 환경내의 경로를 설정하기 때문에 적은 계산량을 가진다. Decentralized기법은 넓은 공간을 고려하여 최단거리를 구하기 위해 많은 계산량을 가지지만, 분산된 계산을 통하여 짧은 계산시간을 가질 수 있다.

시나리오3에서는 작은 공간에 많은 로봇에 의해 거의 모든 공간이 고려되는 경우에는 비슷한 계산량을 보인다. 변화가 없는 경우에는 Decentralized기법이 약간 더 많은 계산을 하지만 변화함에 따라 Centralized기법보다 적은 계산량을 가진다.

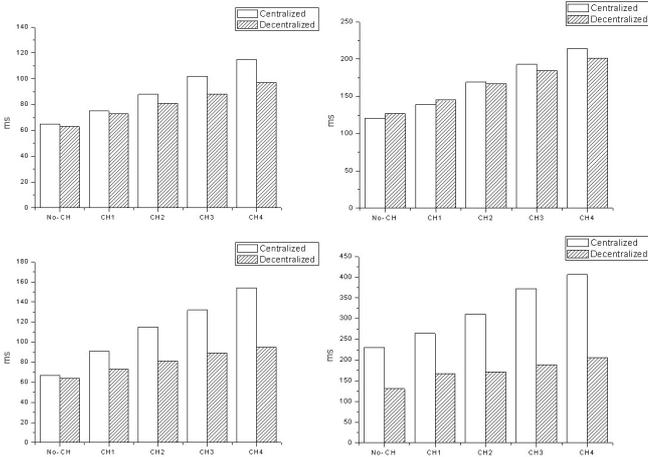
시나리오4에서는 넓은 공간에서는 적은 환경만을 고려되기 때문에 Centralized기법이 적은 계산량을 가지지만, 많은 환경

을 고려하여 로봇의 이동에서 중요한 최단거리를 구하기 위한 오버헤드이다.

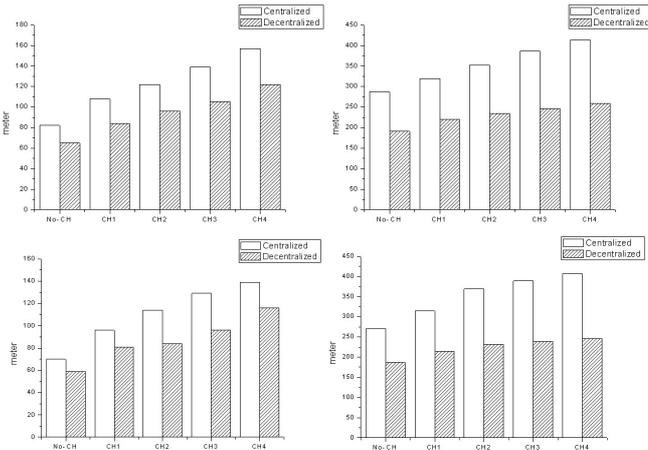
4.2.3 계산 시간

로봇의 경로찾기 알고리즘에서 제한된 시간내에 결과를 구하는 것은 중요한 요소이다. 제안된 알고리즘은 한 로봇에서의 집중된 계산이 아닌 분산된 계산을 통해 빠른 결과를 얻을 수 있으며 결과 분석을 통해 있음을 알 수 있다. [그림 3]에서 Centralized기법과 Decentralized기법은 비슷한 계산시간을 보인다. 하지만, Centralized기법은 한 곳에서 계산된 시간인 반면에 Decentralized기법은 경로 로봇의 계산 시간의 총합이기 때문에 분산 계산을 통해 짧은 시간내에 결과를 얻을 수 있다.

많은 수의 로봇에서는 고려된 공간이 커지는 것에 비례하여 Centralized기법이 많은 시간을 보이는 것에 비해 Decentralized 기법이 적은 계산시간을 가짐을 확인할 수 있다.



[그림 3] Scenario 1, 2, 3, 4의 총 계산 시간



[그림 4] Scenario 1, 2, 3, 4의 이동 거리

4.2.4 이동 거리

로봇 계산능력과 통신능력, 에너지의 제약이 적은 편이기 때문에 경로찾기에서 최단거리를 찾는 것은 가장 중요한 요소이다. 제안하는 알고리즘은 짧은 시간내에 많은 공간에 대한 계산을 통하여 최단거리를 구한다. [그림4]을 통해 작은 공간에 많은 로봇이 있는 경우에는 큰 차이가 없지만, 로봇이 적을 때 넓은 공간에서 최단거리를 구할 수 있다. 또한, 통해 넓은 환경을 고려하여 변화가 없을 때 짧은 경로를 얻을 수 있으며, 변화하는 환경에서도 큰 거리의 증가가 없음을 알 수 있다.

시나리오3에서는 연결된 경로를 찾지 못함으로 인해 환경정보를 받지 못하고 이동함으로서 Centralized기법은 큰 이동거리를 가진다.

시나리오3은 시나리오1에 비하여 이미 모든 환경을 고려한 Decentralized기법은 이동거리가 짧아지지 않았으나, 많은 수의 로봇으로 Centralized기법의 이동거리가 줄어들었음을 알 수 있다.

Centralized기법은 시나리오2 에 비해서 시나리오4 에서 로봇의 증가에 따라 약간의 거리가 줄어들었지만 로봇이 두 배 증가함에도 불구하고 큰 이동거리의 감소를 볼 수 없다. 하지만, Decentralized기법은 많은 환경을 고려함에 따라 환경 변화가 없을때도 짧은 경로를 구할 수 있었으며, 환경이 변화함에도 큰 거리의 변화 없이 목적지까지 경로를 구할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 변화하는 환경에서 로봇의 협력, 협동을 통하여 효과적인 일 처리를 하는 Networked Robots 시스템을 위한 분산 로봇 경로 찾기 알고리즘을 제안 한다.

많은 로봇과 장치로 이루어진 분산 환경에서 발생한 정보의 전송, 처리 및 명령을 내리는 Networked Robots 시스템을 제안 하고, 적은 통신량과 계산량으로 최적경로를 설정한다.

제안된 Decentralized 방식은 경로의 설정 단계에서 분산된 계산을 통해 넓은 지역과 많은 로봇에 확장성을 가지고 있다. 또한 두절된 경로와 변화하는 장애물 지도에서도 최적해를 구할 수 있다. Centralized기법의 문제인 확장성과 제안된 시간내에 해를 구할 수 있으며 시뮬레이션 성능 분석결과 확장성, 적은 통신량, 적은 계산량을 가지는 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

6. 참고문헌

[1] The IEEE Robotics and Automation Society: <http://www.ieee-ras.org>. Accessibility verified Dec 19, 2009.

[2] V.Kumar, D. Rus, and G. S. Sukhatme, "Networked robots," in Handbook of Robotics, B. Siciliano and O. Khatib, Eds. New York: Springer-Verlag, 2008, ch. 41, pp. 943-958.

[3] Network Robot Technology: http://www.etri.re.kr/eng/etri/sub02/sub02_4102_1.jsp. Accessibility verified Dec 19, 2009.

[4] Wang Mei, Wu Tiejun, "Cooperative Co-evolution Based Distributed Path Planning of Multiple Mobile Robots", Journal of Zhejiang University SCIENCE, 2005 6A (7), pp.697-706.

[5] M. Bennewitz, W. Burgard, and S. Thrun. Optimizing schedules for prioritized path planning of multi-robot systems. In Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA' 01), Seoul, Korea, 2001.

[6] Yang Dongyong, Chen Jinyin, Matsumoto, N., Yamane, Y., "Multi-robot Path Planning Based on Cooperative Co-evolution and Adaptive CGA, Intelligent Agent Technology, 2006, pp.547-550.

[7] W. Yang. An algorithm for network formation and an implementation of a mobile robotic router system. Master's thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, 2008.

[8] M. Bennewitz, W. Burgard, and S. Thrun. Optimizing schedules for prioritized path planning of multi-robot systems. In Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA' 01), Seoul, Korea, 2001.

[9] F. Aurenhammer, "Voronoi Diagrams", ACM Computing Surveys 23 (1991)345-405.

[10] S. Garrido, L. Moreno, M. Abderrahim, F. Martin, Path planning for mobile robot navigation using voronoi diagram and fast marching., in: Proc of IROS' 06, Beijing, China, 2006, pp. 2376-2381.

[11] Wang Mei, Wu Tiejun, "Cooperative Co-evolution Based Distributed Path Planning of Multiple Mobile Robots", Journal of Zhejiang University SCIENCE, 2005 6A (7), pp.697-706.