

자율 분산 협조 시스템을 위한 계층화 기법

김 환 성* · 문 형 수** · 정 희 균** · 이 철 영***

A Study on the Hierarchical Approach for Autonomous Decentralized Cooperation System

Hwan-Seong Kim · Hyong-Soo Moon · Hye-Kyun Jeong · Chel-Young Lee

Abstract

Autonomous decentralized system has several agents which are consisted of some ACP (autonomous control processor) and interact among them to realize the desired total performance of the system. In the view point of system configuration, we propose a hierarchical approach for the construction of autonomous decentralized cooperation system. The concepts of autonomous, decentralization and cooperation are described individually and these relations are expressed in engineering fields. A hierarchical approach is proposed in the relation of between autonomous, decentralization and cooperation. Thus it can make easy to constructs the autonomous decentralized system. A harbor container terminal system is applied to show the concepts of hierarchical approach.

1. 서 론

최근, 시스템이 복잡하고 대규모화됨에 따라 보다 다양성, 유연성, 신뢰성의 요구가 증대되고 있고, 이를 위해 종래의 중앙 집중형 시스템 대신 자율분산 협조 시스템이 주목받고 있다. 자율분산 협조 시스템이란 시스템을 구성하는 각 요소(서브 시스템)가 각각 자율성을 지니고 행동하면서 서로 협조하여 시스템 전체로서 질서를 생성하는 시스템을 말한다(1,2).

종래의 중앙 집중형 시스템은 주어진 조건에 대해서만 시스템을 설계하므로 높은 성능을 얻을 수 있으나, 환경 및 시스템 내부 변화로 인하여 시스템의 전체적인 성능이 저하되기 쉬우며, 시스템이

*김환성 : 한국해양대학교 공과대학 물류시스템공학과 전임강사

**문형수 : 한국해양대학교 물류시스템공학과 대학원(석사과정)

**정희균 : 한국해양대학교 물류시스템공학과 대학원(박사과정)

***이철영 : 한국해양대학교 공과대학 물류시스템공학과 교수

기동된 이후의 사양 및 운용에 대한 수정, 변경을 행하기 위해서는 시스템의 설계자는 기본 설계까지 검토할 필요가 있다.

이에 반하여 자율분산 시스템에서는 각 요소의 서브 시스템의 자율성에 의존하여 수행하므로 전체적인 성능은 다소 떨어지나, 시스템의 변화 및 시스템의 사양변경 등에 유연성을 지니고 있다. 또한, 자율분산 시스템은 유연성을 증대시키기 위해서는 각 서브 시스템간에 협조성이 중요하며, 이를 위해 서로 정보 공유를 이루어야 한다.

현재까지의 자율분산 시스템은 FMS 및 물류 반송시스템을 주축으로 하는 생산시스템에 도입되었으며, 주로 AGV 반송시스템에 대한 연구로서 자율분산 협조형의 AGV를 위한 경로계획에 관한 연구(30) 및 AGV 반송시스템에 대한 전략 자율형성에 관한 연구(4) 등이 있으며, 자율분산 시스템의 서브 시스템의 계층이 변화할 때 소정의 계층구조를 유지할 수 있는 고찰 방법(5) 등이 제안되고 있으며, 개별적인 서브 시스템의 자율성의 계층화 및 알고리즘 구성에 관해 주로 연구되고 있으나, 대규모 시스템의 분산화, 자율화, 협조화의 계층화에 관한 연구는 수행되지 않았다.

본 연구에서는, 공학적인 측면에서 대규모 시스템의 자율분산 협조 시스템의 구성에 관한 전략적인 계층화 기법에 대해 논하고자 한다. 자율, 분산, 협조의 각각 기능을 공학적인 측면에서 서술하였으며, 각 구조 및 연계관계에 대해서 다루었다. 또한, 이들의 연계관계를 이용한 계층적 기법에 대해서 제안하고, 마지막으로는 항만 컨테이너 터미널의 자율분산 시스템의 구성에 관하여 예를 들어서 보인다.

2. 자율 분산 협조성

자율분산 협조 시스템의 기본적인 구조는 Fig. 1과 같이 각 agent와 서브시스템의 임무를 수행할 수 있도록 판단하는 프로세서를 지닌 ACP(autonomous control processor)로서 구성된다.

2.1. 분산성

자율분산 협조 시스템의 구성을 위해서는 각 agent와 ACP의 분산화가 필요하며, 전체 시스템의 내고장성, 유연성, 비간섭화를 고려해서 분산화를 행하여야 한다.

· 내고장성을 고려한 분산화 기법 : 자율분산 시스템에서 내고장성이란 시스템이 고장으로 인하여 소정의 임무수행에 영향 적도록 하는 것을 말하며, 고장이 발생하더라도 나머지의 기능을 이용하여 충분히 임무를 수행할 수 있는 기능을 추구한다.

내고장성의 강화를 위해서는 기능상 동일한 임무를 수행할 수 있는 agent로 분산화 하는 방법이 고려되며, 각 ACP의 조작부 및 센서의 고장에 대비한 각 조작부 및 센서부의 멀티화도 포함된다. 대부분의 내고장성은 기능상 하드웨어에 좌우되므로 초기부터 고장에 강하도록 설계하는 것이 중요하다.

· 유연성 향상 : 자율분산 시스템은 고정된 임무뿐만 아니라 환경 및 목표의 변화에 자율적으로 대처해야 하므로 각 agent는 다양한 환경에 적용할 수 있도록 분산화해야 한다. 즉, 대규모 시스템의

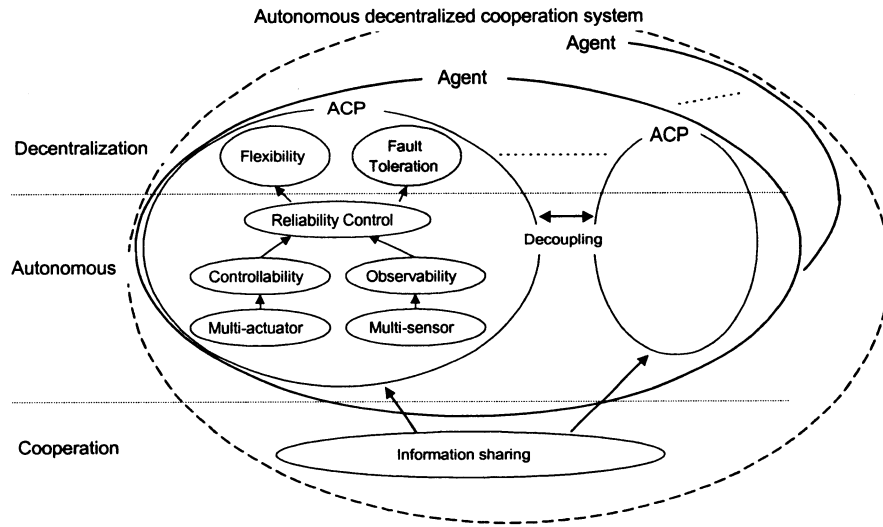


Fig. 1 Configuration of autonomous decentralized cooperation system

분산화 방법에 따라서 각 서브 시스템의 유연성을 향상시킬 수 있으며 이것은 환경에 대한 적응도를 나타내기도 한다.

· 비간섭화 : 시스템을 분산화 할 때, 각 ACP는 상호 독립화하여 분산화해야 한다. 만일, 완전한 독립적인 형태의 분산화가 불가능한 경우에는 간섭이 가능한 적게 되도록 분산화를 행하는 방법이 고려된다. 즉, 이와 같은 비간섭화를 고려한 분산화는 각 agent의 효율적인 임무수행이 가능하도록 하며, 고장에 의한 각 agent의 협조성을 높이는 역할을 한다.

2.2. 자율성

자율성에는 자율기능성, 가제어성, 가관측성, 신뢰성으로 분류되며, 각각에 대한 설명은 다음과 같다.

· 자율기능성 : 자율 기능성은 일반적으로 다양한 제어이론에 근거하여 설계되며, 지능제어 형태로서는 퍼지, 뉴럴 네트워크, GA, 인공지능 등을 들 수 있으며, 그 이외 적용제어형태 및 현대제어이론에 근거한 강인 제어계 설계법 등으로 나눌 수 있다.

각 제어계 설계법에 의해 설계된 제어계가 자율성을 지니기 위해서는 독립적으로 행동할 수 있어야 하며, 이를 위해서는 조작단, 센서부, 제어부를 지니고 있어야 한다. 제어부에서는 각각 환경 및 목표의 변화에 대해 평가함수를 가지고 있어야 하며, 평가함수가 최소가 되는 ACP가 임무를 수행한다. 이러한 결정을 위해서는 차후 서술되는 협조성이 중요하게 작용된다.

· 가제어성 : 현대제어이론에서의 가제어성은 시스템의 입력을 조작하여 시스템의 상태를 원하는 대로 만들 수 있는 성질을 나타내며, 가제어성이 만족되지 않으면 제어하는 자체가 의미가 없으며 제어가 되지 않는다. 이러한 성질은 출력과는 관계하지 않고, 다만 입력과 상태만에 의해서 정해진다.

자율분산 시스템에서는 제어 조작단이 많을수록 가제어성을 만족하기 쉽고, 이것은 제어가 용이함

을 나타내며, 고장에 의해 조작단이 감소하면 제어하기 어렵게 되는 것을 의미한다. 또한, 가제어성은 조작단의 멀티화(multi-actuator)로 관련되며, 조작단이 감소하여 비 가제어화 되는 개수를 내고장성의 척도로 판단할 수 있다. 또한, 조작단의 멀티화는 성에너지화 및 시스템의 고성능화를 이룰 수 있다.

자율분산 시스템의 가제어성의 특징은 대칭성을 들 수 있다. 예를 들어서 자율분산 시스템을 간단히 하기 위해 동일한 조작단을 복수 개를 설계하여 거대한 시스템을 구성하는 경향이 있으나, 조작단의 고장으로 인하여 각 조작단에 대해서 대칭으로 시스템이 구성된다면, 이것은 단일 입력을 두 개의 시스템에 입력하는 것과 같게 되므로 비 가제어성이 된다. 따라서, 내고장성을 향상시키기 위한 조작단의 설계 문제도 신중히 검토되어야 한다.

· 가관측성 : 가관측성은 가제어성의 쌍대성 원리로서 현대제어이론의 기초 중의 일 부분이다. 가제어성은 입력과 상태만의 관계를 다루고 있는 반면에 가관측성은 입력과 출력을 이용하여 상태량을 추정하는 관계를 다루고 있다. 즉, 센서로부터 검출된 출력의 정보와 인가한 조작단의 정보를 이용하여 현재의 시스템의 상태를 추정하는 기구를 말한다.

가관측성은 일반적으로 센서의 개수에 의해서 지배되며, 가관측성의 향상을 위해서 센서의 멀티화(multi-sensor)가 요구되고 있으며, 이러한 멀티화는 자율분산 시스템의 제어 성능의 향상에 영향을 미치고 있다. 또한, 센서의 멀티화는 내고장성의 증대를 꾀하는데 이용된다. 그러나, 센서의 고장을 판단하는 알고리즘이 필요하며, 센서 및 조작단의 고장 진단 및 분리에 복수 관측기의 구성에 의해 방법이 제안되고 있다(6,7).

· 신뢰성 제어계에 기초한 자율성의 확대 : 멀티 조작단화 및 멀티 센서화로 구성된 자율분산 시스템은 내고장성을 향상시킬 수 있다. 그러나, 지나치게 많은 멀티화는 오히려 시스템을 거대화시킬 뿐만 아니라, 제어계 설계에 악 영향을 끼치게 된다. 따라서, 내고장성을 지니는 최소의 조작단 및 센서의 멀티화가 필요하며, 이를 이용한 제어계 설계법이 요구된다.

멀티화된 조작단과 센서의 정보를 이용하여 고장진단을 행하여 고장난 조작단 및 센서를 정확히 분리 진단을 행하며, 현존하는 조작단과 센서를 이용하여 내고장성을 극대화시키는 신뢰성 제어계 설계법이 고려될 수 있다. 이것은 조작단과 센서가 충분치 않는 경우에도 관측기법을 이용하여 상태를 추정하며, 간접적인 입력을 결정하도록 설계함으로써 신뢰성을 높일 수 있다.

2.3. 협조성

자율분산 협조 시스템에서는 각각 agent가 자율적으로 임무를 수행하며 전체적으로 협조하는 것이 중요하다. 협조성에는 서브 시스템이 다른 서브 시스템의 고장에 무관계하게 상호 협조하는 자율 가협조성이 요구되고 있으며, 협조성 알고리즘 구현이 필요하고 근본적으로는 통신을 바탕으로 한 정보 공유가 필수적이다. 또한 협조를 위해서는 각 agent 및 ACP의 환경을 고려하여 평가함수를 설정해야 한다.

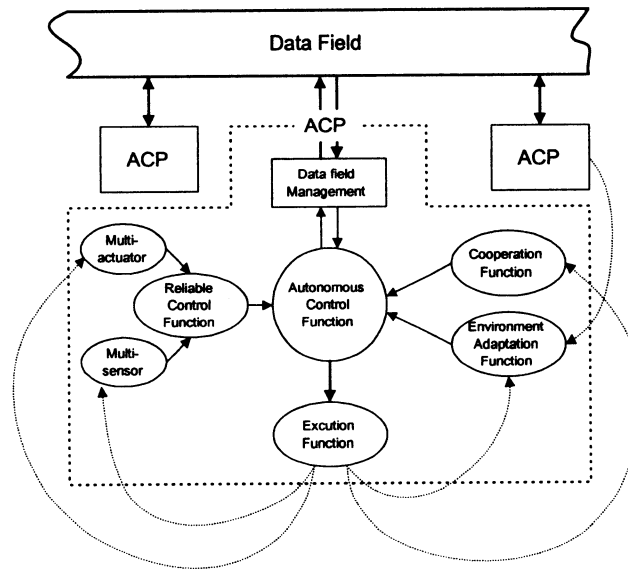


Fig. 2 Functions of autonomous control processor

2.4 자율분산 시스템 구현

자율분산 시스템의 공학적인 구조적인 측면은 Fig. 2와 같다. 집중 관리형 시스템과는 달리 데이터 필드를 지니고 있어 각 지령, 임무 수행 정도 및 환경 정보 등을 기술하며, 각 ACP는 필요한 데이터만을 관리하는 기능을 가지고 있다.

ACP는 기능적으로 데이터 관리, 자율제어, 실행의 3가지의 기능을 가지고 있으며, 자율제어 기능에는 협조기능, 환경적응기능 및 신뢰제어기능을 포함하고 있으며 이들은 실행시의 결과 및 환경에 지배되는 기능들이다. 협조기능에서는 신뢰제어기능의 기능성과 다른 ACP의 기능고장의 고려하여 독립적으로 평가, 판단하여 그 장애의 파급을 극복하고 협조할 수 있도록 한다. 환경적응기능에서는 각 ACP가 처한 환경을 분석하여 이에 대한 평가치를 자율기능 제어에 전달하여 최종적인 실행에 필요한 판단을 하도록 도와주는 역할을 수행한다. 신뢰제어기능에서는 조작단과 센서의 멀티화를 통해서 각각 기능의 이상유무를 감지하여 고장 요소를 정확히 판단한다. 판단된 자료에 의해 신뢰제어기를 이용함으로써 내고장성 및 신뢰성을 증대시키는 역할을 한다.

실행기능에서는 최종적으로 정해진 규칙을 바탕으로 실행하며 주로 조작단의 성능과 관계된 역할을 수행한다.

3. 계층화 기법

본 절에서는 자율분산 시스템을 구성하기 위해 분산화, 자율화, 협조화 기능을 고려하며, 이들 관

계를 이용한 평가치 또는 trade-off에 의해서 설계하는 계층화기법을 다루고 있다.

3.1 분산-자율성

대규모 시스템은 기본적으로 각 agent로 분산화를 행한 후, agent내에서 ACP로 분산화를 행한다. 대부분의 경우 대규모 시스템은 하드웨어 기능별로 분산화 되어 분산화에 문제가 없으나, 전체 공정이 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있는 경우 분산화를 행할 경우는 목적별로 분산화하는 경우가 타당하다. 구체적인 분산화기법에 대해서는 차후 연구가 필요하다.

기능별로 분산화를 행할 경우 분산과 자율성의 관계를 고려한 계층화법은 Fig. 3에서 나타나 있듯이 각 agent별로 분산화를 행하고, 각 ACP별로 분산화를 행한다. 그 후, 각 ACP의 조작단과 센서

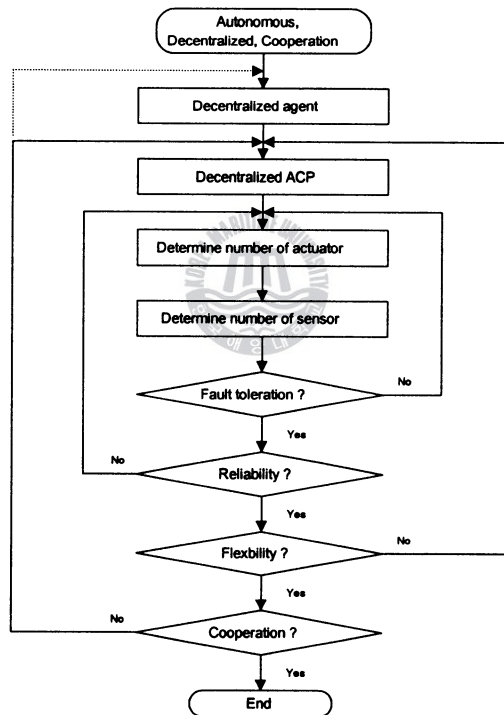


Fig. 3 Hierarchical flow chart for autonomous decentralized cooperation system

개수를 내고장성이 강하도록 배치 및 결정하며, 고장 발생시의 신뢰성을 향상시킬 수 있도록 설계해야 한다. 만일 이때 신뢰성에 대한 평가치에 도달하지 않는 경우는 조작단과 센서를 재배치 및 재결정을 반복하여 수행한다.

유연성은 각 ACP의 분산화와 관계가 있으므로, 유연성에 대한 평가치를 검토한 후, ACP의 분산화를 행한다. 또한 기능별 분산화의 경우, 유연성은 ACP의 대수에 관계가 있으므로 ACP의 증감으로 유연성의 평가치가 만족되도록 한다.

3.2 분산-자율-협조성

협조성의 계층화는 분산-자율의 계층화를 행한 결과를 기초로 한다. 협조성은 외부 환경에 대한 고려가 중요하므로, 협조성을 증대시키기 위해서 agent 및 ACP의 분산을 검토한다. 먼저 ACP의 분산으로 협조성의 평가치를 결정하며, 그 결과에 따라서 agent의 분산성을 결정하는 trade-off를 행한다.

4. 항만 컨테이너 터미널의 적용

항만 컨테이너 터미널의 구성은 Fig. 4와 같이 나타내어지며, 구성요소는 크게 컨테이너선, 암벽 크레인, 무인반송차(AGV), 컨테이너 야드, transfer 크레인으로 된다. 여기서 각 agent의 기능을 살펴보면 다음과 같다.

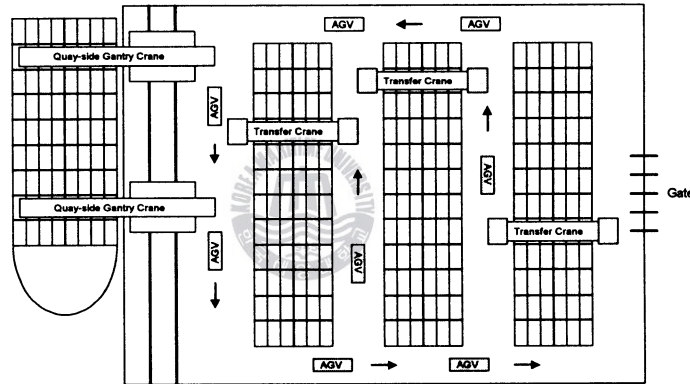


Fig. 4 Configuration of harbor container terminal system

- 암벽 gantry 크레인 agent : 터미널의 통제에 따라 컨테이너선에서 컨테이너를 하역하여 AGV에 적재하는 작업을 행한다. 하역 컨테이너의 위치에 따라 각 암벽 크레인 은 평가치를 계산하여 하역을 수행한다.

- AGV agent : 암벽 크레인 agent로부터 컨테이너를 실어서 컨테이너 야드까지 이동한 후 transfer 크레인 agent에게 컨테이너를 인도한다. 컨테이너를 실을 때, 각 AGV는 평가함수의 계산에 의해 적정한 AGV가 결정된다.

- Transfer 크레인 agent : 컨테이너 야드 내에서 AGV agent로부터 컨테이너를 받아 지정된 야드로 이동하여 적재한다. 그 이외에 컨테이너선, 스트래들 캐리어, 야드, 터미널 게이트 등을 agent로서 구성할 수 있다.

본 연구에서는 Fig. 5와 같이 agent를 3가지로만 결정하였으며, 각 agent의 ACP 대수는 시스템 목표 및 환경변화를 고려하여 결정해야 한다. 또한, ACP의 내고장성, 신뢰성은 하드웨어 측면이 강하므로 각 ACP의 설계 시 반영해야 되며, 만일 기존의 ACP이라면, 각 특성을 반영하여 나머지 신뢰성

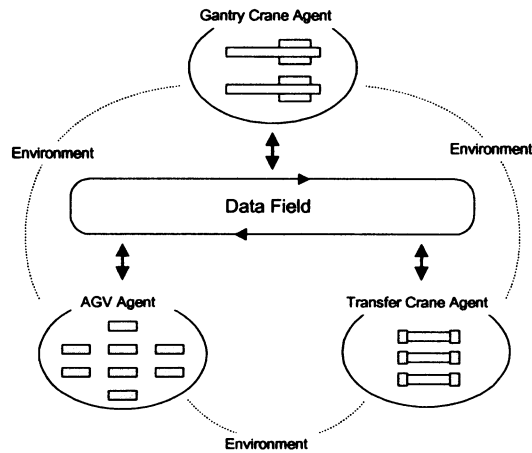


Fig. 5 Agents of autonomous decentralized system for harbor container terminal system

및 유연성의 평가치로서 결정하여 각 ACP의 대수를 결정해야 된다.

본 항만 터미널의 ACP의 대수 결정 및 평가함수 설정에 관한 연구는 차후 진행되어야 하며, 자율성, 신뢰성, 협조성에 관한 알고리즘의 구현도 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 자율분산 협조 시스템의 계층화 기법에 대해서 논하였다. 본 계층화 기법은 자율분산 시스템의 설계에 있어서 유용한 방법으로 목적 및 기능상으로 나누어 설계할 수 있으며, 이를 위해 시스템 설계 상 필요한 개념들을 정리하였다. 이들 개념을 바탕으로 계층화기법을 제안하였고, 예로서 항만 컨테이너 터미널의 자율분산 시스템 설계를 보였다.

참고문헌

1. 井原廣一, “自律分散システム”, 日本電氣學會連合大會, 제30권, 3호, pp. 5-31~36, 1982.
2. 新誠一 外 3人, “自律分散システム”, 日本ファジィ學會, 1995.
3. 임재국, 高橋, 杉本, “자율분산협조형의 AGV를 위한 경로계획에 관한 연구”, 한국경영과학회/대한 산업공학회 '97 춘계학술대회, pp. 267-270, 1997.
4. 東俊光 外 2人, “AGV搬送システムにおける戦略の自律形成の研究”, 日本機械學會論文集(C), 제65권, 629호, pp. 185~191, 1999.
5. T. Seki, Y. Fujimoto, T. Murakami and K. Ohnishi, “A Study for Process of Intelligent Evolution in Decentralized Autonomous System”, 日本電氣學會 研究會 資料, IIC-98-22, pp.

7-12, 1998.

6. 김환성, 김상봉, 川路茂保, “비례적분 관측기를 이용한 시스템의 고장진단”, 한국정밀공학회, 제14권, 제2호, pp. 41-47, 1997.



