

프랙탈 생산 시스템에서의 멀티에이전트를 위한 플랜 조율 체계

Plan-coordination architecture for Multi-agent in the Fractal Manufacturing System (FrMS)

차영필, 정무영
포항공과대학교 산업경영공학과 / 제품생산기술연구소

Abstract

In this paper, a plan-coordination architecture is proposed for multi-agent control in the fractal manufacturing system (FrMS). A fractal in FrMS is a set of distributed agents whose goal can be achieved through cooperation, coordination, and negotiation with other agents. Since each agent in the FrMS generates, achieves, and modifies its own plan fragments autonomously during the coordination process with other agents, it is necessary to develop a systematic methodology for the achievement of global plan in the manufacturing system. The heterarchical structure of the FrMS provides a compromised plan-coordination approach, it compromise a centralized plan-generation/execution (which mainly focuses on the maximization of throughput) with a distributed one (which focuses on the autonomy of each module and flexibility of the whole system). Plan-coordinators in lower level fractal independently generate plan fragments according to the global plan of higher level fractal, and plan-coordinators in higher level fractal mediate/coordinate the plan fragments to enhance the global performance of the system. This paper assumes that generation method of the plan fragments and the negotiation policy of the fractal is achieved by a simple process, and we mainly focuses on the information exchanging and distributed decision making process to coordinate the combinations of plan fragments within a limited exchange of information.

Keywords

Fractal manufacturing system, multi-agent systems, plan-coordination

1. 서론

제품 사이클과 기술수준의 빠른 변화와 이로 인한 리드타임의 감소로 인해 제조 산업은 빠른 변화를 겪고 있다. 생산 기능 모듈 및 생산량의 신속한 적응력은 동적인 제조 및 비즈니스 환경에서 살아남기 위한 중요한 요소이다. 이에 대응하기 위한 새로운 생산 시스템은 소비자의 요구 변화에 따라 제품 생산을 위한 shop이 재구성되기 쉬워야 하며, 확장이 용이해야 한다. 이러한 생산 시스템의 변화는 shop floor control system (SFCS)의 변화로 나타난다. 과거의 제어 시스템은 주로 중앙집중형 체제 (centralized architecture) 혹은 계층형 체제 (hierarchical architecture)를 기반으로 했으나, 현재는 분산 체제(decentralized architecture) 혹은 혼성 체제 (hybrid architecture) 가 제어 시스템에 이용되고 있다. 이러한 경향은 제조 분야의 제어 시스템에도 영향을 미치고 있다. 시스템에 속한 각 요소 혹은 모듈들이 독립적으로 목표를 수행해가는 분산 체제 혹은 혼성 체제로 바뀌어감에 따라, 기존의 조율 방식(coordination approach)은 더 이상 효과적인 해결책을 제공하지 못한다. 과거의 조율 방식은 분산 시스템의 분산 문제 해결방식을 반영하지 않는 정적인 정책을 사용하기 때문에, 현재 분산 체제 하에서는 시스템의 성능을 극대화하지 못할 뿐 아니라, 폴트-톨러런트(fault-tolerant) 한 시스템을 구축할 수 없게 된다.

생산 시스템 분야에서 이러한 분산 체제를 도입하면서 차세대 생산 시스템으로 BMS (Bionic or Biological Manufacturing System), HMS (Holonc Manufacturing System), 그리고 FrMS(Fractal Manufacturing System) 등 몇 가지가 제세되었다. 특히 근래에는 FrMS의 개념, 특성 및 구조에 대한 연구가 진행되었다 (Ryu and Jung, 2003; Ryu and Jung, 2004). 본 연구는 MAS(Multi-agent System)의

관점에서 FrMS를 접근하여 FrMS 내의 agent 간의 플랜을 생성하고 교환하고 수정하는 플랜 조율(plan coordination) 체제에 대하여 다룬다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 연구 대상인 FrMS에 대하여 간략히 소개하고, 3장에서는 전반적인 플랜 조율에 대하여 설명한다. 4장에서는 프랙탈 생산 시스템에서의 플랜 조율 방법을 다루고, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고 추후 연구 과제를 제시한다.

2. 프랙탈 생산시스템

프랙탈 생산시스템(FrMS)는 유연성(flexibility), 적응성(adaptability), 자가 유사성(self-silarity), 그리고 재구성 능력(re-configurability) 등의 특성 지님으로써 오늘날의 제조 환경에 부응할 수 있는 차세대 생산 시스템이다. 프랙탈 및 프랙탈 생산 시스템의 정의는 다음과 같다 (Ryu and Jung, 2003).

- Fractal : 자가 유사성을 지닌 에이전트(agent)로써, 다른 프랙탈과의 협력(cooperation), 조율(coordination) 및 협상(negotiation)을 통하여 목표를 달성한다.
- FrMS : 다수의 프랙탈 컨트롤러로 구성된 유연성, 포트 톨러런스 등의 특성을 지닌 생산 시스템으로써, 생산 시스템의 효율성과 성능을 위해서 프랙탈들이 자가적으로 재구성될 수 있다.

<그림 1>은 FrMS의 자가 유사성을 보여준다. 그림에서와 같이 프랙탈은 기본적으로 다섯가지의 기능모듈(observer, analyzer, resolver, organizer, reporter)로 구성되어있다.

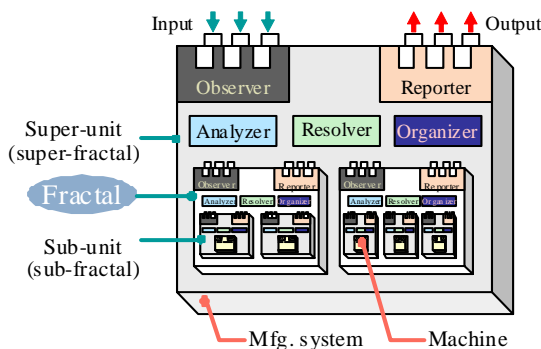


그림 1. FrMS의 구조

프랙탈은 FrMS에서의 위치에 따라 역할이 다르다. <표 1>은 프랙탈의 위치에 따른 세 가지 역할을 정리한 것이다. 주어진 역할을 수행하기 위한 프랙탈 내부 모듈의 차이는 있어도 기본적인 구조

는 프랙탈의 자가 유사성에 의해 보존된다(문정태 외, 2004)

표 1. 프랙탈의 세 가지 역할

역 할	설 명
매니저	최상위 프랙탈. 사람이나 다른 시스템으로부터 생산 시스템을 운영하기 위한 프로세스 정보, 플랜 등을 받는다.
중계자	매니저와 컨트롤러 사이에 존재하는 프랙탈. 상위 레벨의 프랙탈로부터 수행해야 할 작업과 플랜을 받아 하위 프랙탈들에게 분산시킨다. 하위 프랙탈들의 협상을 도와준다. 중계자 프랙탈끼리도 계층을 이룰 수 있다.
컨트롤러	최하위 프랙탈. 기기에 연결되어 기기를 제어하는 역할을 수행 한다.

FrMS에서 각각의 에이전트(혹은 프랙탈)은 각자의 목표에 따라 각자의 이익과 효율을 극대화하는 방향으로 결정을 내리고 작업을 수행하기 때문에 프랙탈의 조율은 전체 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 문제이다. 조율 문제는 플랜 수립, 작업 할당, 작업 스케줄링, 충돌 감지 및 해결(conflict detection/resolutio), 등 많은 문제들의 기반이 된다.

3. 플랜 조율

분산 지능 분야의 연구는 크게 DPS(Distributed Problem Solving) 과 MAS(Multi-agent system) 두 가지의 접근방향이 있다. DPS에서는 시스템 전반적인 성능과 확장성(scalability), 모듈화(modularity) 그리고 신뢰성(reliability) 등에 중점을 두고 에이전트를 설계한다. 이러한 DSP 연구에서의 중요한 문제는 전체 문제를 푸는데 있어서 각자의 독립적인 에이전트를 어떻게 함께 작동하도록 하느냐 하는 것이다. 그러나 MAS 연구에서는 에이전트가 언제나 서로 협력할 수 있도록 확립적으로 디자인되는 것이 아니라, 에이전트 각자가 협력을 통해서 이익을 볼 수 있을 경우에만 서로 협력을 한다. MAS 연구에서의 중요한 연구주제는 협력을 위한 공통의 기반을 어떻게 상호 인지하도록 하느냐에 있다. 본 연구에서 다루고 있는 FrMS는 기본적으로 MAS에 기반한 프랙탈에 중점을 두고 있으나, 프랙탈의 혼성적 계층구조를 이용해 DPS 접근방식을 통한 시스템 전체의 효율 향상 역시 꾀하는 구조이다.

<그림 2>는 MAS에서 조율(coordination)의 개념을 나타낸다. 조율은 독립적인 작업플랜, 플랜이 실행될 환경이나 그 상태, 사용 가능한 작업 등을 입력으로 받아 조율이 완료된 작업플랜을 그 결과로 내놓는 과정이다 (Mandiau & Piechowiak, 1998).

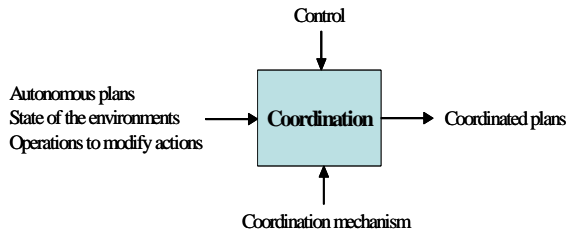


그림 2. MAS에서의 조율

조율을 수행하기 위해서 에이전트는 통신, 플랜 간의 간섭에 대한 판단, 조율을 위한 해결, 플랜의 수정 등을 해야 한다. 일반적으로 조율은 다음과 같이 몇 단계의 과정으로 이루어진다 (Martial, 1992).

- (1) 개별 부분플랜의 수립: 각각의 에이전트가 자율적이고 독립적으로 부분 플랜을 생성한다. 그리고 다른 에이전트에게 플랜을 전달한다.
- (2) 관계(relation) 감지: 플랜 간의 가능한 부정적 혹은 긍정적 관계를 인식하고 평가한다.
- (3) 토픽(topic) 선택: 이전단계에서 감지된 관계에 내포된 토픽을 선택한다.
- (4) 전략 선택: 감지된 관계를 해결하기 위한 전략을 선택한다. 여기서는 heuristics 등을 포함한 다양한 추론 방법이 사용될 수 있다.
- (5) 협상: 일반적으로 조정자(coordinator)가 에이전트들이 수락할 수 있는 플랜을 찾도록 중재한다.
- (6) 플랜 수정: 협상 결과에 따라 에이전트는 그들의 각각의 플랜을 수정하고 확정한다.

MAS의 구조에 따라 플랜수립 및 조율의 구조도 크게 3가지로 나누어진다 (Ferver, 1999). 먼저 “중앙집중 플래닝” 방식은 하나의 플래너 에이전트가 나머지 에이전트들의 플랜을 전부 생성하여 분배하는 방식으로 엄밀한 의미에서의 조율은 필요 없다. “부분 플랜에 대한 중앙집중 조율” 방식은 각각의 에이전트가 플랜을 독립적으로 생성하여 하나의 조정자에게 보내고, 조정자가 조율을 전담하는 방식이다. 마지막으로 “분산 플래닝 및 조율” 방식은 플랜 생성 뿐 아니라 조율 역시 분산 환경에서 플랜을 서로서로 주고받으면서 진행되는 방식이다. FrMS에서의 조율 방식은 기본적으로 “부분 플랜에 대한 중앙집중 조율” 방식에 근접하지만, 다수의 조정자가 존재하는 혼성 방식에 해당한다.

4. FrMS에서의 조율

4.1. FrMS의 조율 구조

FrMS에 존재하는 각 프랙탈은 그 상위의 부모 프랙탈로부터 목표를 상속받아서 플랜을 생성한다. 중계자 프랙탈의 경우 하위 목표를 생성할 수도 있다. 목표(goal), 플랜(plan), 작업(task)의 정의는 다음과 같다.

표 2. 목표(goal), 플랜(plan), 그리고 작업(task)

Notation	Description
$g = \langle S, E, P, \Delta, W \rangle$	A goal g where S is a set of start states, E is a set of desired final state, P is the possible action plan for changing the state from a state $s \in S$ to a state $e \in E$, Δ is the priority of the goal and W is the worth of the goal g .
$g_i = \bigcup_j g_{i-1,j}$	A sub-goal g_i where i is the level of the fractal, j is the index of sub fractal.
$P = \langle T, O, C \rangle$	A plan P where T is a list of tasks t composing P , O is the partial order of tasks in T , and C is the cost of the plan P for a fractal to performing the plan.
$T = \langle \Omega, R, T \rangle$	A task T where Ω is a sequence of operators for a fractal to command sub fractals or equipments actually, R is the resources used by the fractal, and T is the time for the execution of operators.

<그림 3>은 FrMS에서 존재하는 두 종류의 조율을 나타낸다. 1차조율(first-order coordination)은 한 부모 프랙탈에 속해있는 자식 프랙탈들 간의 수평적 조율이고 2차조율(second-order coordination)은 상위 프랙탈과 하위 프랙탈 간의 수직적 조율이다. 1차조율은 에이전트 각각의 자율성과 독립성을 중시하는 MAS 접근방식에 가깝고, 2차조율은 시스템 전체의 목표와 효율을 중시하는 DPS 접근방식에 가깝다.

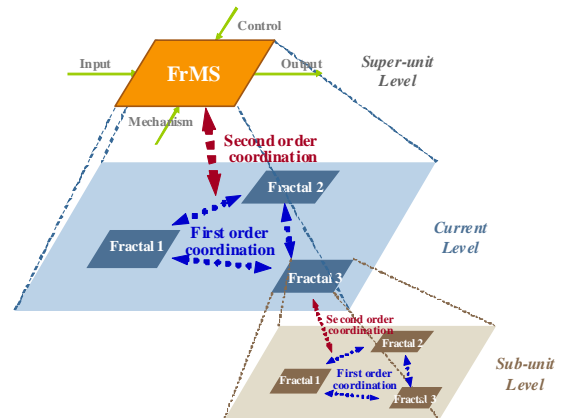


그림 3. FrMS에서의 조율 종류

4.2. 조율 과정

FrMS에서의 조율 과정은 다수의 1차 조율과 2차 조율의 진행에 의해 이루어진다. <그림 4>는 1차 조율과 2차 조율의 예를 나타낸다. 사각형 박스의 프랙탈은 매니저 프랙탈을, 육각형 박스의 프랙탈은 중계자 프랙탈을, 원형 박스의 프랙탈은 컨트롤러 프랙탈이다. 이 예의 프랙탈 구조에서는 두 개의 1차조율(FOC1, FOC2)과 세 개의 2차조율(SOC1, SOC2, SOC3)이 존재한다.

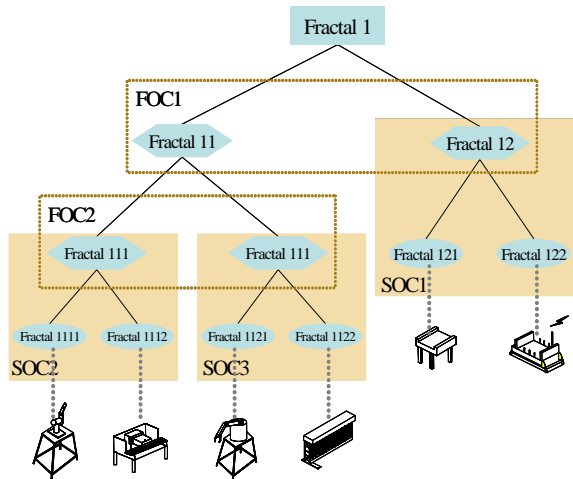


그림 4. 1차조율과 2차조율의 예

<그림 5>는 조율의 전반적 과정을 나타낸다. 먼저 1차조율을 통해 매니저 중계자 프랙탈의 플랜을 조율한다. 이때 매니저 프랙탈은 중계자 프랙탈에게 목표(goal)를 전달하는 역할만 하고 실질적인 플랜의 생성 및 조율은 중계자 프랙탈 간의 정보 교환을 통해 이루어진다. 즉 1차조율은 3장에서 설명한 “분산 플래닝 및 조율”을 따른다. 필요한 1차 조율 과정이 전무 마무리되면 2차조율이 시작된다. 2차조율과정은 컨트롤러 프랙탈의 플랜 및 작업을 조율하는 과정이다. 중계자 프랙탈은 컨트롤러 프랙탈의 플랜을 조율하기 위한 조정자(coordinator) 역할을 한다. 즉, 2차조율은 “부분 플랜에 대한 중앙집중 조율”에 해당한다. 2차 조율의 결과 적어도 한군데 이상에서 조율이 불가능한 상황이 발생할 경우 1차조율이 다시 시작된다. <그림 4>를 예로 들면, 먼저 FOC1이 진행되고 이 과정의 완료는 FOC2와 SOC1의 시작을 유발한다. 그리고 FOC2가 완료되면 SOC2와 SOC3가 진행된다. 만약 SOC1에서 해결될 수 없는 충돌문제로 인해 조율이 완료되지 못하면 이는 다시 FOC1을 유발하고, SOC2나 SOC3 중에 적어도 하나에서 마찬가지 문제가 발생하면 FOC2가 다시 시작된다. 매니저 프랙탈은 이러한 전반적 조율과정을 모니터링하면서 필요할 경우(예를 들어 충돌문제를 지역적으로는 해결할

수 없을 경우) 조율 과정 전체를 관장하여 재시작한다.

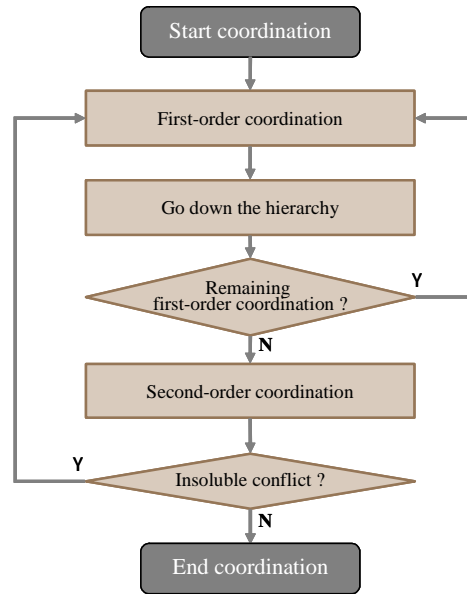


그림 5. 조율 과정

4.3. 조율 방법

1차조율과 2차조율의 세부 과정은 다음과 같다.

• 1차조율

Step 1: 1차조율 공시

매니저 프랙탈(혹은 상위 중계자 프랙탈)이 자신의 하위 중계자 프랙탈에게 조율이 시작됨을 알리는 메시지를 전달한다.

Step 2: 목표의 전달

매니저 프랙탈(혹은 상위 중계자 프랙탈)은 중계자 프랙탈 각각에게 각자의 목표(g_i)를 전달한다. 이 목표는 매니저 프랙탈이 shop에 따라 미리 정해진 objective structure (Cha & Jung, 2003)를 참조하여 생성한 작업 목표이다.

Step 3: 부분 계획의 생성

각 중계자 프랙탈은 상위 프랙탈로부터 할당받은 목표를 수행하기 위한 부분 계획 대안을 독립적으로 생성한다. 부분 계획은 <표 2>에서 설명된 것과 같이 작업 리스트와 작업간의 선행관계, 그리고 각 작업의 비용을 포함한다.

Step 4: 부분 계획정보의 교환

중계자 프랙탈 중에 우선순위가 제일 높은 중계자부터 우선순위가 낮은 중계자 순으로 부분계획 대안 리스트를 전달하고, 리스트를 받은 중계자는 그 대안들 중에 자신의 부분 계획에 영향을 미치지 않는 부분 계획에 해당하는 commitment 리스트를 돌려준다. 이 과정이 모든 중계자 프랙탈이 참여할 때까지 수행된다.

Step 5: 부분계획의 확정

각 중계자 프랙탈은 받은 commitment 리스트를 종합하여 계획 수행 cost를 최소화하는 부분계획을 확정한다.

• 2차조율

중계자 프랙탈은 1차조율의 결과로 확정된 부분 계획의 각 작업을 수행할 수 있는 장비를 2차조율을 통해서 할당해야한다. 작업 할당은 기본적으로 중계자 프랙탈이 조정자 역할을 하는 협상 과정에 의해서 이루어진다. Shin & Jung (2004)는 분산 환경에서의 모바일 에이전트를 이용한 협상과정을 제안했으며, FrMS에서의 2차조율에도 이 과정을 이용할 수 있다.

Step 1: 2차조율 공시

중계자 프랙탈이 자신의 하위 컨트롤러 프랙탈에게 조율이 시작됨을 알리는 메시지를 전달한다.

Step 2: 작업리스트의 전달

중계자 프랙탈은 작업 리스트를 모든 컨트롤러 프랙탈에게 전달한다.

Step 3: 협상

중계자 프랙탈은 협상 과정을 통해 작업 리스트 각각의 적업에 대해 장비를 할당한다. 이를 위해 먼저 중계자 프랙탈은 협상 대상이 되는 작업을 공시하고, 컨트롤러 프랙탈은 그 작업을 수행할 수 있는 bid를 생성하여 중계자 프랙탈에게 돌려준다. 중계자 프랙탈은 bid를 평가하고 conflict를 고려하여 최종적으로 bid를 award 한다.

Step 4: 작업 확정 / 확정 실패

작업 리스트의 모든 작업에 대하여 장비 할당을 완료한 경우, 컨트롤러 프랙탈은 작업을 확정하고 중계자 프랙탈은 매니저 프랙탈에게 작업이 확정되었음을 알린다.

모든 작업에 대해 장비를 할당할 수 없는 경우 중계자 프랙탈은 매니저 프랙탈 혹은 상위 중계자 프랙탈에게 작업을 확정할 수 없음을 알리고, 이는 다시 상위 조율 작업을 유발한다.

5. 결론

본 연구에서는 프랙탈 생산시스템에서의 멀티 에이전트를 위한 플랜 조율 체계를 제시하였다. 프랙탈 생산시스템은 독립적 프랙탈들이 동적이면서도 느슨한 계층관계를 맺고 있는 구조로써, 계층형 체제와 분산 체제의 혼성적 구조이다. 본 연구에서 제시한 플랜 조율 방식은 이러한 혼성적 구조에 적합한 체제로써, MAS 접근방법과 DPS 접근방법의 장점을 모두 살릴 수 있다. 프랙탈 계층에서의 위치와 조율 방식에 따라 MAS 접근방법에 기초한 1차조율과 DPS 접근방법에 기초한 2차조율로 나누

었다. 1차조율은 중계자 프랙탈의 부분 계획을 수립하는 과정이고 2차조율은 컨트롤러 프랙탈에게 작업을 할당하는 과정이다.

1차조율에서 부분 계획의 대안을 생성하는 구체적인 알고리즘과 2차조율에서 작업 확정 / 확정 실패 결정을 위한 세부적 정책 등은 추후 계속적으로 연구되어야 할 사항이다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-041-D00622).

참고문헌

- 문정태, 차영필, 신문수, 정무영 (2004), 프랙탈 생산시스템의 동적 재구성 프로세스 알고리즘, *IE interface*, 17, 46-51.
- Cha, Y., and Jung, M. (2003), Satisfaction assessment of multi-objective schedules using neural fuzzy methodology, *International Journal of Production Research*, 41(8), 1831-1849.
- Ferber, J. (1999), *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison Wesley Longman.
- Mandiau, R., Piechowiak, S. (1998), Conflict solving into the multi-agent distributed planning. *1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2, 1426.
- Martial, F.V. (1992), Coordinating Plans of Autonomous Agents, *Lecture Notes in AI*, vol. 610, Springer Verlag.
- Shin, M and Jung, M. (2004), MANPro: Mobile Agent-based Negotiation Process for Distributed Intelligent Manufacturing, *International Journal of Production Research*, 42(2), 303-320.
- Ryu, K. and Jung, M. (2003), Agent-based fractal architecture and modelling for developing distributed manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, 41(17), 4233-4255.
- Ryu, K. and Jung, M. (2004), Goal-orientation mechanism in the fractal manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 42(11), 2207-2225.