추상화에 기반을 둔 실시간 항법 및 배송 시스템의 명세 및 행위적 동일성 검증을 위한 정형 기법

Formal Method for Specification and Verification of Behavioral Equivalences of Real-time Navigation and Transportation Systems Based on Abstraction

최정란*, 이문근**
전북대학교 컴퓨터통계정보학과*, 전북대학교 전자정보공학부**

Jung-Rhan Choi(jlchoi@chonbuk.ac.kr)*, Moon-Kun Lee(moonkun@chonbuk.ac.kr)**

요약

프로세스 대수는 다음과 같은 이유 때문에 실시간 항해 및 배송 시스템에 적용하기에는 부적당하다: 1) 특정한 지정학적 공간 내에서의 프로세스들의 분산성에 대한 표기가 부족하고, 2) 그 공간 내에서의 프로세스들의 이동성이 분산성으로부터 확연히 구분하여 표기되지 않는다. 이 대수들이 이런 시스템에 적합하기 위해서는 이런 분산성에 적용되는 공간정보의 표기와 이 공간 내에서의 이동성에 대한 표기를 구분해야할 필요성이 있다. 본 논문에서는 이러한 목적, 즉 공간정보와 이동정보를 구분하기 위해여 새로운 정형기법, 즉 CARDMI (Calculus of Abstract Real-Time Distribution, Mobility and Interaction)를 제안한다. CARDMI에서는 이동체 간의 동일성을 검증하기 위하여 공간 및 상호작용에 관한 연역규칙과 공간 추상화에 기반한 동일성을 정의한다. 특히 이 동일성은 공간적 추상화를 반영한 계층적 동일성을 가능하게 하며 이를 통해 다수의 추상화 단계에서의 동일성을 검증하게 한다. CARDMI는 물리적인 배송 시스템뿐만 아니라 콘텐츠를 실시간으로 배달하는 사이버 시스템에도 적용할 수 있다.

■ 중심어 : ㅁ정형기법 ㅁ항법 ㅁ하이퍼그래프 ㅁ추상화 ㅁ동일성 ㅁ

Abstract

A number of process algebras are not well suitable for real-time navigation/delivery systems due to the following reasons: 1) lack of representation of process distributivity over some geographical space and 2) the indistinction of representation of process mobility from process distributivity over the space. To make the process algebra suitable to the systems, it seems to be necessary to separate the space representation from the mobility representation. This paper presents a formal method for this purpose, namely, Calculus of Abstract Real-Time Distribution, Mobility, and Interaction (CARDMI). For analysis and verification of behavioral properties, CARDMI defines a set of the spatial, temporal and the interactive deduction rules and a set of equivalence relations. The rules and equivalences can be abstracted hierarchically due to the spatial abstraction, too. CARDMI can be applied to virtual navigation/delivery system for contents, too.

■ keyword : ㅁFormal Method | Navigation | Hyper Graph | Abstraction | Equivalenceㅁ

접수번호 : #080913-001
접수일자 : 2008년 09월 13일
심사완료일 : 2008년 11월 08일
교신저자 : 최정란, e-mail : jlchoi@chonbuk.ac.kr

I. 서 론

분산실시간시스템의 행위적 특성들, 예를 들면 안전성, 일관성, 동일성 등을 명세, 분석, 검증 및 예측하기 위해 CCS(Calculus of Communicating Systems)[1], pi-calculus[2][3], mobile ambient calculus[5], 들과 같은 프로세스 대수들이 개발되었다. 그러나 이러한 프로세스 대수는 1) 특정한 지정학적 공간 내에서의 프로세스들의 분산성에 대한 표기가 부족하고[3][5], 2) 그 공간 내에서의 프로세스들의 이동성이 분산성으로부터 확연히 구분하여 표기되지 않는다는 이유 때문에 실시간 항해 및 배송 시스템(RNTS: real-time navigation/transportation systems)에 적용하기에는 부적합하다고 평가할 수 있다[3][5]. 다시 말하면 RNTS에서는 일반적으로 동적으로 변화되는 2 또는 3차원 공간정보의 표현과 그 공간에서 항해 및 배달을 담당하는 이동체(mobile agent)의 이동정보를 표현할 수 있어야 한다. RNTS 측면에서 각 대수별로 그 제약점을 정리하면 다음과 같다:

1) CCS는 프로세스가 속한 또는 상호작용을 하는 공간에 대한 정보를 정의하지 않았다. 결과 CCS는 공간 내에서 이동체의 이동정보를 표현할 수 없다.
2) Pi-calculus는 CCS처럼 공간정보를 정의하지 않고 있다. 하지만 포트(port)를 가진 프로세스들의 동적인 연결 및 단절을 통해 이동체의 동적인 이동정보를 간접적으로 표현하고 있다.
3) Mobile ambient calculus는 프로세스가 속한 '장소(ambient)'의 범위를 통한 공간정보를 가지고 있고 장소 간에 동적인 범위의 변화를 통해 프로세스의 이동정보를 표현하고 있다. 그러나 이동성이 이동성의 정의에 의해 장소 간의 범위 및 포함 관계를 변화시키기 때문에 공간정보가 장소의 이동정보에 종속이 되어 이동정보가 공간정보로 표현하지 못하는 상황이 발생될 수 있다.

RNTS를 대수로 표현하기 위해서는 RNTS가 적용되는 공간정보의 표기와 이 공간 내에서의 RNTS를 구성하는 이동체 이동정보의 표기를 구분해야할 필요성이 있다.

본 논문에서는 이러한 공간정보와 이동정보를 구분하기 위하여 새로운 정형 기법, 즉 CARDMI (Calculus of Abstract Real-Time Distribution, Mobility and Interaction)를 제안한다. CARDMI에서는 공간정보와 이동정보를 다음과 같이 구분한다. 특히 공간정보와 이동정보도 같이 추상화될 수 있다:

1) 공간정보: CARDMI에서는 공간을 포트를 가진 노드들의 집합과 노드들 간의 포트를 연결하는 에지들의 집합으로 정의된 하이퍼 그래프(hyper graph)로 표현한다. 이 그래프를 편의상 지도(map)라 부르며, 노드는 지정학적 공간에서의 지점이나 영역을 의미하고 선을 그 지점 또는 영역들을 연결하는 도로를 의미할 수 있다. 특히 노드들 간에는 포함관계가 설정될 수 있어 영역정보의 추상화와 이를 반영한 에지들의 추상화 또한 가능하다. 이 포함관계는 동적으로 재형상화될 수 있어 동적으로 변하는 지정학적 공간도 표현할 수 있다.
2) 이동정보: 본 논문에서의 이동성은 실시간 항해 및 배송을 담당하는 이동체의 이동공간을 의미하며 CARDMI에서의 이동성은 그래프 상에서의 이동경로를 의미한다. 이동 경로는 연속적인 노드를 연결하는 에지들의 이음이며 필요에 따라 이동시 전달해야 할 물품, 시간 및 장소와 같은 시공간에 대한 제약조건을 노드에 정의할 수 있고 물품의 전달방식 또는 이동체(들) 간의 상호작용에 대한 제약조건(i.e, 1:1 or n:m 동기 비동기)은 물품에 정의할 수 있다 - 여기에서 이동체는 포트를 가지고 있지 않다. 이러한 제약조건들은 공간의 추상화와 같이 동일하게 추상화될 수 있다.

CARDMI에서는 이동체 간의 동일성을 검증하기 위하여 공간, 시간 및 상호작용에 관한 연역규칙과 bisimulation[11]의 추상화에 기반한 동일성을 다음과 같이 정의한다:

1) 연역규칙: CARDMI는 이동공간에서 이동체가 순차적, 선택적 및 상호작용적으로 어떻게 이동하는지를 공간적 및 시간적 측면에서 정의하고 있다. 또한 CARDMI는 공간정보의 추상화에 따라 이동정보가 어떻게 추상화되는지 정의하고 있다.

2) 동일성: 동일성은 이동공간에서 두 개의 이동체가 어떻게 동일하게 이동하는가를 결정하는 문제이다. 그러나 공간성과 이동성의 추상화가 가능하기 때문에 CARDM에서는 공간과 이동 측면에서의 추상화된 동일성을 정의한다.

CARDM는 추상화가 가능한 공간정보와 이동정보, 그리고 이를 기반으로 한 연역규칙과 동일성을 통해 RNTS를 다단계로 명세와 검증할 수 있게 한다.

CARDM의 대표적인 특징들을 정리하면 다음과 같다:

1) 공간정보와 이동정보가 분리되었다.
2) 공간정보와 이동정보가 추상화될 수 있다.
3) 동일성도 공간과 이동측면에서 각각 추상화될 수 있다.
4) 시간정보도 공간과 이동정보에 따라 추상화 될 수 있다.
5) 이동체가 포트를 가지고 있지 않고, 공간 내의 영역이 포트를 가지고 있다.
6) 이동체는 특정 영역 내에서 물품을 주고받을 수 있다.
7) 다수 대 다수의 동기/비동기식 상호작용이 가능하다.

CARDM는 실제 지능형 교통 시스템[7], 텔레매틱스[8], LBS 시스템[8], PDA 기반 실시간 전자배송 시스템[9], 지능형 물류유통관리 시스템[10] 등에 적용할 수 있다.

논문 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 대수와 비교분석을 제시한다. 3절에서는 공간정보를 표현하기 위한 하이퍼그래프를 제공한다. 4와 5절에서는 각각 이동정보를 표현하는 문법과 의미, 즉 연역규칙을 설명하고, 6장에서는 동일성을 공간과 이동의 추상화 측면에서 설명한다. 7장에서는 예제를 제시하고 이를 기반으로 추상화측면에서의 동일성을 분석 및 논의한다. 그리고 마지막으로 8장에서 향후연구내용 및 결론을 기술한다.

II. 관련연구

CCS[1]는 두 프로세스 사이의 병렬적 통신을 수행하기 위해 제안된 프로세스 기반 명세언어이다. 기본적인 프로세스의 동작을 수행하기 위해 선택(choice), 선행(prefix), 재명명(relabeling)을 정의하고 있다. 또한 언어의 의미론적 실행은 추론 규칙을 통해 기본동작, 선택, 병렬 결합, 제한, 재명명을 정의하고 있다. CCS에서 정의하는 동작의 의미는 프로세스가 한 상태에서 다른 상태로의 전이를 의미한다.

두 프로세스의 상호작용을 수행하기 위해 병렬 결합("|")과 제한("\")을 활용하여 개별적인 통신 동작을 정의하고, 이러한 상호작용은 " " 동작에 의해 외부로부터 감춰지도록 하였다. 다시 말해, 프로세스는 다른 프로세스와의 통신을 위해 입력과 출력 포트가 존재한다. 이들이 서로 통신을 수행하기 위해서는 동일한 레이블의 입력과 출력 포트가 있어야 하며, 두 프로세스는 상호작용을 위해 결합("|")하여 새로운 프로세스로써 동작하게 된다. 새로운 프로세스의 동작은 이전 두 프로세스가 수행하는 동작들의 집합으로 이루어진다. CCS는 프로세스들 간의 행위적 동일성을 검증하기 위해 bisimulation을 정의하고 있다.

Pi-calculus[2][3]는 구조가 변하는 프로세스들을 자연스럽게 표현할 수 있는 통신 시스템을 위한 calculus이다. Pi-calculus는 CCS의 대수적 속성을 모두 표현하고 있으며 여기에 이동성을 추가하였다. 즉, 시스템의 에이전트들이 임의로 연결되어 있고, 이웃 에이전트들간의 통신을 통해 연결 정보의 변화를 전달할 수 있도록 하였다. Pi-calculus는 변수와 상수들을 구분하지 않고 통신 연결들이 '이름(채널)'에 의해 식별되며 계산은 이름에 의한 통신이 연결을 통과하는 것으로 CCS를 좀 더 단순화 하였다.

Pi-calculus는 채널이 다른 채널을 이동할 수 있는 프로세스 calculus이다. 프로세스의 이동은 프로세스에 언급된 채널의 이동으로 표현된다. 즉, 프로세스가 스스로 이동함을 명시적으로 표현하고 있지 않다.

Mobile ambient calculus[4][6]는 계산이 발생하는 제한된 장소를 정의하는 다양한 측면과 이동 코드를 강조하는 '이동 계산(mobile computation)'과 같은 분야에서 효율적인 calculus이다. 이러한 계산이 발생할 수 있는 장소를 'ambient'라 하였고 네트워크 도메인, 메모리 위치의 범위, 웹 페이지 또는 물리적 컴퓨터 등을 들 수

있다. 장소는 계산이 발생할 범위를 정의하고 그 범위를 쉽게 설정하기 위한 컨테이너와 같은 역할을 한다. 또한 컨테이너 안에 컨테이너를 포함할 수 있는 계층적 구조를 쉽게 표현할 수 있도록 하였다. 'in'과 'out' 연산자를 통하여 한 장소에서 다른 장소로 쉽게 이동할 수 있도록 정의하고 있다.

Mobile ambient calculus는 pi-calculus에서 제안한 이름에 의한 통신 이론을 기반으로 하고 있고 장소의 이동을 명시적으로 표현하고 있다.

III. 하이퍼 그래프(Hyper Graph)

본 절에서는 RNTS가 적용되는 공간정보를 표현하기 위한 하이퍼 그래프를 정의한다.

[정의 3.1] (하이퍼 그래프, Hyper Graph)

하이퍼 지도(hyper-map) , 여기에서 ≤, 노드(점)의 집합, , 예지(선)의 집 ≤ 합이고 □ , 여기에서 □는 두 노드사이의 지리적 포함관계를 정의하고 있다.

□

여기에서 는 노드 간의 포함관계를 나타내며 이 포함관계에 의해 추상화가 결정된다.

[예제 1] [그림 1]은 하이퍼 그래프 을 도식화 한 것이다. 여기에서 는 각각 다음과 같이 정의 되었다:

,

,

.

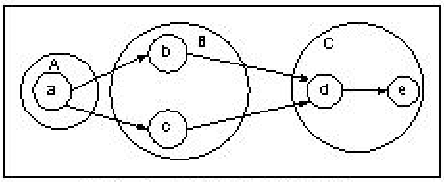

그림 1. 하이퍼 그래프 예제

[정의 3.2] (추상 하이퍼 그래프, Abstract Hyper Graph)

하이퍼 지도 ₩ , 여기에서 [정의 3.1]이고, ₩

⊆ ⊆ ∈ □ ∈

∨ □ ∈

∈ ∧ □ ∈ ∧ □ ∈

∈ ∧ □ ∈ ∧ □ ∈

∈ ∧ □ ∈ ∧ □ ∈

∈ ∧ □ ∈ ∧ □

□

하이퍼 그래프에서 노드의 추상화는 관련 예지의 추상화를 수반한다. 추상화된 예지의 원 노드정보를 보존하기 위해서 예지의 추상화된 목적 또는 대상 노드 정보에 이 정보를 아래첨자에 표기한다. [그림 1]에서 노드 가 노드 로 추상화 될 수 경우 는 로 표기할 수 있다. 이러한 표기 방식은 재귀적으로 적용될 수 있다. 즉 노드 는 노드 로 추상화 될 수 있는 경우, 는 다시 로 표기할 수 있다.

[예제 2] [그림 2]는 [예제 1]([그림 1])의 하이퍼 그래프 를 노드 와 로 추상화한 추상 하이퍼 그래프 ₩ 이다. 여기에서 는 각각 다음과 같이 정의되었다:

, ₩

, 는 의 .

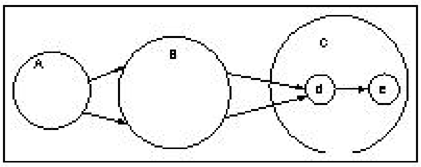

그림 2. [A, B]로 추상화된 [그림 1]의 예제

[정의 3.3] (포트 하이퍼 그래프, Ported Hyper Graph)

의 하이퍼 지도 , 단 ≤ ≤ , ∈ ≤ , ≤ (여기에서 는 노드 의 포트의 집합이다.)

∈

≤ ≤ , 는 [정의 3.1]의 와 같다 □

[예제 3] [그림 3]은 [예제 1]([그림 1])의 하이퍼 그래프 에 포트를 정의한 포트 하이퍼 그래프 이다. 여기에서 는 각각 다음과 같이 정의되었다.

, 는 의 .

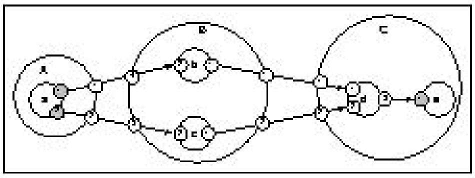

그림 3. 포트를 가진 [그림 1]의 예제

하이퍼 그래프는 정의 3.1의 , 즉 노드 간의 포함관계를 재정의함으로써 재형상화할 수 있다. 예를 들면, [그림 1]에서 의 에 를 포함시킴으로 [그림 1]이 [그림 4]와 같이 재형상화된다. 즉 의 범위가 를 포함하게 된다.

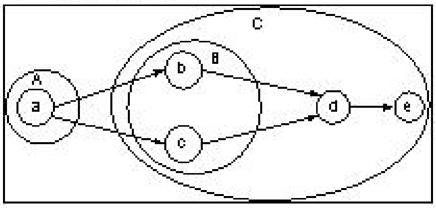

그림 4. [그림 1]의 재형상화

Ⅳ. CARDMI 문법(Syntax)

공간 지도상에서 이동체의 행위를 정의하기 위해 다음과 같은 표기를 사용한다.

- = ≤ ≤
  : 이동체를 표기하는 기호들의 집합이다.
- ∈ ∉ ≤
  : 이동체에 의해 전달되는 개체를 표기하는 기호들의 집합이다.
- = ≤ ≤ ≤ ≤
  : 공간 지도 상에서 노드나 지점들을 표기하기 위한 기호들의 집합이다.
- ⊆ : 지도에서 노드나 지점에 대한 포함관계를 나타내는 것으로써, 는 이동체가 반드시 경유해야하는 지점을 나타낸다.
- ∈ ∈
  : 노드의 이름은 이동체의 이동 동작을 표기하기 위한 기호들의 집합이다. 여기에서 단일 이동 동작을 위한 와 는 시작과 종료 노드이고, 는 의 포트중의 하나이고, 는 의 포트 중 하나를 의미한다.
- = ≤ ≤
  : 지도상에서 이동체의 경로들을 표기하기 위한 기호들의 집합이다.
- ≤ ≤
  : 재명명 함수들의 집합으로 다음과 같은 함수적 관계를 가진다. ∀ ∈ ∃ ∈ , (∈ ′) 일 때 ′ ′ 의 형태로 표현할 수 있다.

표기 편리상 · 와 같이 의미적 명확성을 갖는 경우나 추상화된 그래프의 경우처럼 · 에서 와 또는 포트가 생략되어 '· ' 또는 ' · ', '· ' 등으로 표기할 수 있다.

[정의 4.1]은 CARDMI에서 이동체의 이동규칙을 정의하기 위해 필요한 문법을 의미한다.

[정의 4.1] CARDMI 문법

□ □ □ □ □ □ □

□

[정의 4.2] 다중 결합(Multiple composition)

다중 선택과 병렬 결합은 다음과 같은 표기들로 표현된다:

□

|| □ □

단일 이동체의 이동 수식에 대한 각 표기의 의미는 다음과 같다: 아무 동작을 하지 않는 " ", 선행 동작을 위한 "· ", 선택을 위한 " ", 제한을 위한 "₩", 재명명을 위한 "[]". 이들의 의미적 해석은 다음과 같다:

- 는 이동체를 위한 이동 수식이다. 로 표기하며, 여기에서 는 이동체이고, 는 전송 객체의 집합이다. 여기에서 는 이동체의 행위이다.
- □는 복수 이동체의 이동수식이다. 로 표기하며, 여기에서 는 하이퍼 그래프를 나타낸다.
- " "은 무동작을 나타내며, 지도상에서 이동의 종료를 의미한다.
- "· " 이동을 나타내며, 특정 지점/영역에서 다른 지점/영역까지의 에지를 의미한다.
- " "는 이동체의 경로내에서 방문하고자 하는 장소(지점/영역)을 나타낸다. 는 로의 이동; 는 가 아닌 다른 장소로의 이동; 는 운송을 위해 를 가지고 로 이동; 와 는 에서 운송되기 위한 객체 에 대해 로 각각 동기와 비동기적인 이동; 는 를 운송하고 에서 되돌려 주기 위한 의 동기적 이동; 와 는 에서 각각 운송될 객체가 없는 순수한 동기와 비동기적 이동; 은 생략될 수 있고, 는 객체의 리스트가 될 수 있다.
- " "는 선택(choice)를 의미하고, 다음 이동을 위해 중에 한 지점이나 영역으로의 이동을 선택 한다.
- "₩"는 제한(restriction)을 의미하고, 다른 이동체가 해당 지점이나 영역에서 상호작용을 할 수 없도록 하기 위해 지점이나 영역을 외부로부터 숨기기 위한 연산자로 사용된다. 예를 들어, 이동체 가 에게 라는 물건을 동기적으로 전달하기 위해 임의의 동작을 수행하였다면 다음과 같이 표현할 수 있다: ₩
- " "는 함수 의 정의에 의해 지점과 영역의 이름을 재명명한다.
- " "은 의 반복을 나타낸다. 여기에서 은 유한한 자연수이며, 반복의 회수를 표현하고 있다. 예를 들어, 는 이동체가 이나 혹은 동작을 3회 수행하고 동작을 수행하고 종료함을 의미한다.
- " "는 이동체들의 병렬 결합을 의미한다.
- " "는 이동체들 사이의 동기적 상호작용에 대한 병렬 결합을 나타낸다. CARDM는 1대 1과 m 대 n의 동기적 상호작용을 모두 지원한다. 예를 들어,

|

는 이 동기적으로 객체 를 각각 , , 에게 운송하는 수식을 나타낸다. 이러한 운송에 대해 다른 이동체의 방해를 막기 위해 를 제한하여 다음과 같이 표현할 수 있다:

· ′

· ′ · ′ ₩

· " "는 이동체들간의 비동기적 상호작용을 의미한다. CARDM는 1대 1과 m 대 n의 비동기적 상호작용을 모두 지원한다. 예를 들어,

| |

· ′ · ′

· ′ ·는 ′ 는 과

에게 각각 비동기적으로 과 를 운송하고 는 에게 비동기적으로 운송하는 수식을 나타낸다.

· 연산자 우선순위는 다음과 같다:

· ₩ ‖ , 예를 들어, · ₩ .

V. CARDMI 의미(Semantics)

전이는 다음의 규칙 형태로의 집합으로 정의된다.

$$\frac{\text{전제}}{\text{결론}}\ \text{조건}$$

"만약 전제(premise)와 측면 조건(side condition)이 만족되면 결론(conclusion)을 유도할 수 있다"

[정의 5.1] 전이(transition) : 지도상에서 이동체에 의해 노드 에서 까지의 이동 동작은 전이 에 의해 다음과 같이 표현될 수 있다:

· · · □

[정의 5.2] CARDMI의 의미

이동체 의 semantic은 4개의 튜플로 구성된다. , 여기에서 는 정의한 문법을 통해 표현된 이동체의 이동규칙 명세에 관한 수식이고, · 전이관계 → ⊆ × 는 아래 규칙들을 만족한다:

- **Basic**: 어떠한 가정없이 · 동작이 가능하다. · 은 지도상의 에지로써 간주할 수 있다.
- **Alternative**: 가정에 특정 이동 동작의 전이가 발생했다면 선택적 이동 수식은 가정에서 발생된 · 가 수행한 후 수식과 동일한 수식으로 전이한다.
- **Restriction**: 가정에서 · 동작이 가능하다면 가 제한된 전이에서 발생되는 모든 동작은 ≠ 일때만 가능하다.
- **Relabel**: 가정에서 · 동작이 가능하다면 는 재명명 함수인 의 동작을 수행한 후 전제에서 수식에서 의 이름이 에 의해 재명명된다.
- **Parallel**: 가정에서 이 · 동작이 가능하다면 두 이동체가 병렬로 동작할 때 의 · 동작만을 수행 가능하다. 의 · 경우도 동일하다.
- **Loop**: 반복적인 이동에 대한 전이를 나타낸다. 가정에서 · 동작이 가능하다면 위 동작을 번 수행하는 이동 수식이 · 동작이 발생한 후 수식은 번의 반복을 의미하는 수식으로 표현된다.
- **m:n Synchronous interaction**: 를 전달하는 이동체들의 전이들과 지점 에서 안의 개체 를 받기위한 이동체들의 전이들이 발생한다면, 동기적 상호작용은 가정한 전이가 모두 발생할 때 에서 와 와 관련한 모든 이동체들의 전이가 동기적으로 발생한다.
- **m:n Asynchronous interaction**: 이 규칙은 Synchronous interaction과 유사하지만 상호작용이 비동기적으로 수행된다.
- **Abstraction**: 노드와 에지에 관한 두 가지의 추상화 규칙이 있다. 노드 추상화에서 동작은 추상화된 노드들로 변경된다. 에지 추상화에서는 두 동작이 하나의 동작으로 합해진다. 이들 추상화는 재귀적으로 정의될 수 있다.

Basic :	**Alternative:**	**Restriction:** ₩ ₩
Relabeling:	**Loop:**	
Parallel: or		
m-n Synchronization interaction: $\mid$ $\mid$ $\mid$ $\mid$ $\circ$ $\mid$ 여기에서, ≤ 와 ≤ ≤ 은 각각 서로소 집합이고, 이다. ○ 는 · 와 · 의 병렬 결합 후 를 운송하기 위한 동기적 상호작용을 수행하는 동작을 의미한다.		
m-n Asynchronization: $\mid$ $\mid$ $\mid$ $\mid$ $\circ$ $\mid$ 여기에서, ≤ 와 ≤ ≤ 은 각각 서로소 집합이고, 이다. ○ 는 · 와 · 의 병렬 결합 후 를 운송하기 위한 비동기적 상호작용을 수행하는 동작을 의미한다.		
Abstraction: **(1) Node:** ⊆ **(2) Edge:** □		

[예제 5.1] [그림 1]의 를 배경으로 두 개의 이동체 과 가 노드 에서 물품 를 전달하는 이동수식 과 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

, 여기에서

. 만약 노드 가 노드 로 추상화된다면, 과 는 다음과 같이 정의된다.

VI. 행위적 동일성 검증

본 논문은 이동체의 공간정보와 이동정보를 분리하였다. 결과 공간정보의 추상화에 따라 이동정보도 추상화가 되는 결과를 가져왔다. 본 절에서는 이동정보, 즉 하이퍼그래프 내에서 두 이동체가 공간정보의 추상화에 따라 어떻게 행위적으로 동일해지는 지를 보이고자 한다. 특히 non-bisimulation 한 두 개의 이동체를 공간 추상화를 통해 강제적으로 bisimulation하게 하는 관점에서 동일성을 다룬다.

[정의 6.1] (Identical)

두 이동체 과 가 동일한 이동 수식을 가지고 있으면 identical하며, ≡ 로 표기한다. □

두 이동체의 이동 수식이 identical 하다는 것은 두 이동체가 동일한 경로를 가졌을 뿐 아니라 특정 장소에서 물품을 주고받는 행위까지 동일하다는 것을 의미한다.

[정의 6.2] (공간적 동일성)

두 이동체 과 의 이동 수식 과 가 ∀ ∈ 과 에 대하여 다음과 같은 조건이 만족되면 관계 ⊆ ×, 즉 과 는 공간적으로 동일하며(: Spatial Equivalence), 라고 표기 한다.

(i) 일 때, ∃ , 와 ∈ 이 항상 성립한다.

(ii) 일 때, ∃ , 와 이 항상 성립한다. □

공간적 동일성은 두 이동체가 동일한 이동 경로를 가지고 있다는 것을 의미한다.

[예제 6.1] [그림 1]의 하이퍼 그래프를 배경으로 이동체 과 의 이동 수식 과 가 와 같이 정의되었다면, 과 는 [정의 6.2]의 조건을 만족하는 다음과 같은 이 존재함으로 , 즉 공간적으로 동일하다.

, ⊆ ×.

다음 정의는 non-bisimulation 한 두 개의 이동체가 노드를 추상화함으로서 어떻게 두 이동체가 강제적으로 bisimulation하게 되는가를 의미한다.

[정의 6.3] (노드 추상화에 의한 공간적 동일성)

두 이동체 과 의 이동 수식 과 가 ∀ ∈ 과 에 대하여 다음과 같은 조건이 만족되면 관계 ⊆ ×, 즉 과 는 공간적으로 동일하며(: spatial equivalence based on node abstraction), 라고 표기 한다.

(i) ⊙ 일 때, ∃ , ⊙ 와 ∈ 이 항상 성립한다.

(ii) ⊙ 일 때, ∃ , ⊙ 와 이 항상 성립한다.

여기에서 ⊙ 는 추상 하이퍼 그래프(정의 3.2)에서 노드 추상(5절, node abstraction)를 가진 예지에 의한 전이관계를 의미한다.

[예제 6.2] [그림 1]의 하이퍼 그래프를 배경으로 이동체 과 의 이동 수식 과 가 와 같이 정의되었고 [그림 2]에서 보여주는 바와 같이 노드 와 가 노드 B로 추상화가 되었다면, 과 는 [정의 6.3]의 조건을 만족하는 다음과 같은 이 존재함으로 , 즉 노드 추상화에 의해 공간적으로 동일하다.

, ⊆ ×.

다음 정의는 non-bisimulation 한 두 개의 이동체가 에지를 추상화함으로서 어떻게 두 이동체가 강제적으로 bisimulation하게 되는가를 의미한다.

[정의 6.4] (에지 추상화에 의한 공간적 동일성)

두 이동체 과 의 이동 수식 과 가 ∀ ∈ 과 에 대하여 다음과 같은 조건이 만족되면 관계 ⊆ ×, 즉 과 는 공간적으로 동일하며(: spatial equivalence based on edge abstraction), 라고 표기 한다.

(i) 일 때, ∃ , 와 ∈ 이 항상 성립한다.

(ii) 일 때, ∃ , 와 이 항상 성립한다.

여기에서 는 추상 하이퍼 그래프(정의 3.2)에서 에지를 추상화한(5절, 에지 추상화) 에지에 의한 전이관계를 의미한다.

[예제 6.3] [그림 1]의 하이퍼 그래프를 배경으로 이동체 과 의 이동 수식 과 이 와 같이 정의되었고 과 의 에지들이 을 배경으로 추상화가 되었다면, 과 는 [정의 6.4]의 조건을 만족하는 다음과 같은 이 존재함으로 , 즉 에지 추상화에 의해 공간적으로 동일하다.

, ⊆ ×.

다음 정의는 non-bisimulation 한 두 개의 이동체가 노드와 에지를 추상화함으로서 어떻게 두 이동체가 강제적으로 bisimulation하게 되는가를 의미한다.

[정의 6.5] (노드와 에지 추상화에 의한 공간적 동일성)

두 이동체 과 의 이동 수식 과 가 ∀ ∈ 과 에 대하여 다음과 같은 조건이 만족되면 관계 ⊆ ×, 즉 과 는 공간적으로 동일하며(: spatial equivalence based on node and edge abstraction), 라고 표기 한다.

(i) ⊙ 일 때, ∃ , ⊙ 와 ∈ 이 항상 성립한다.

(ii) ⊙ 일 때, ∃ , ⊙ 와 이 항상 성립한다.

여기에서 ⊙ 는 추상 하이퍼 그래프(정의 3.2)에서 노드와 에지를 추상화한(5절, 노드와 에지 추상화) 에지에 의한 전이관계를 의미한다.

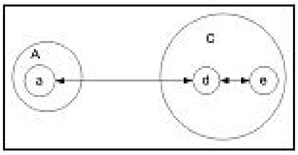

그림 5. 예제 6.4

[예제 6.4] [그림 1]의 하이퍼 그래프를 배경으로 이동체 과 의 이동 수식 과 가 와 같이 정의되었다. [그림 2]에서 보여주는 바와 같이 노드 와 가 노드 로 추상화 되었고 에지들이 을 배경으로 추상화가 되었다면, 과 는 [정의 6.5]의 조건을 만족하는 다음과 같은 이 존재함으로 , 즉 노드와 추상화에 의해 공간적으로 동일하다.

$\odot$ $\odot$

, $\subseteq$ $\times$,

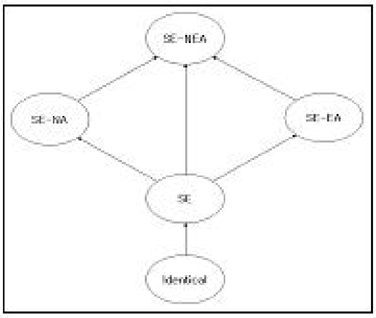

그림 6. 동일성간의 포함관계 lattice

위에서 정의한 여러 유형의 동일성은 [그림 6]과 같은 포함과계를 가진다.

[정리 6.1] $\subseteq$

(Proof)

두 이동체 과 가 하면 이들의 이동수식 이다. 따라서 $\forall \cdot \in$ 과 에 대하여 다음과 같은 조건이 만족된다.

(i) 일 때, $\exists$; 와 $\in$ 이 항상 성립한다.

(ii) 일 때, $\exists$; 와 이 항상 성립한다.

이는 [정의 6.2]에 의해 하다. ∎

(NOTE) ($\not\subseteq$) 정리 6.1의 역은 성립하지 않는다. 그에 대한 반례는 [예제 6.1]의 과 는 하지만 하지 않다. 즉, 하다고 모두 하지는 않다.

[정리 6.2] $\subseteq$

(Proof)

두 이동체 과 가 하면 [정의 6.2]의 (i)과 (ii)를 만족하는 $\forall \cdot \in$ 과 이 존재한다. 에 의한 전이 의 시작 노드 나 종료 노드 를 포함하는 또는 에 대한 추상화가 이루어지면 , 또는 로 표현할 수 있으며, 이는 $\odot$ 로 정의 된다. 즉, 이다. ∎

(NOTE) ($\not\subseteq$) 정리 6.2의 역은 성립하지 않는다. 그에 대한 반례는 [예제 6.2]에서 과 는 하지 않다. 하지만 노드 와 가 각각 노드 로 추상화가 되면 해진다. 즉, 하다고 전부 하지는 않다.

[정리 6.3] $\subseteq$

(Proof)

두 이동체 과 가 하면 [정의 6.2]의 (i)과

(ii)를 만족하는 ∀ · ∈ 과 이 존재한다. 연속적인 · , …, · 에 의한 전이 , …, 가 존재하면 예지 추상화에 의해 이 존재한다. 즉, 하다.

∎

(NOTE) (⊄) 정리 6.3의 역은 성립하지 않는다. 그에 대한 반례는 [예제 6.3]에서 과 은 하지 않다. 하지만 을 배경으로 예지를 추상화하면 해진다. 즉 하다고 전부 하지는 않다.

[정리 6.4] ⊆

(*Proof*)

두 이동체 과 가 하면 [정의 6.2]의 (i)과 (ii)를 만족하는 ∀ · ∈ 과 이 존재한다. 만약 [정리 6.2]의 (a)와 [정리 6.3]의 (a)가 성립되면, ⊙ 과 가 동시에 성립되어 ⊙ 해진다. 즉 하다. ∎

(NOTE) (⊄) 정리 6.4의 역은 성립하지 않는다. 그에 대한 반례는 [예제 6.4]에서 과 는 하지 않다. 하지만 노드 와 가 노드 로 추상화하고 예지들을 을 배경으로 추상화가 하면 해진다. 즉 하다고 전부 하지는 않다.

[정리 6.5] ⊆

(*Proof*)

두 이동체 과 가 하면 [정의 6.3]의 (i)과 (ii)를 만족하는 ∀ · ∈ 과 이 존재한다. 연속적인 ⊙, …, ⊙에 의한 전이 ⊙ , …, ⊙ 가 존재하면 예지 추상화에 의해 ⊙ 이 존재한다. 즉 하다. ∎

(NOTE) (⊄) 정리 6.5의 역은 성립하지 않는다. 그에 대한 반례는 [예제 6.2]의 결과는 하지만 하지 않다. 하지만 을 배경으로 예지들을 추상화하면 해진다. 즉 하다고 전부 하지는 않다.

[정리 6.6] ⊆

(*Proof*)

두 이동체 과 가 하면 [정의 6.4]의 (i)과 (ii)를 만족하는 ∀ · ∈ 과 이 존재한다. · 에 의한 전이 의 시작 노드 나 종료 노드 를 포함하는 또는 에 대한 추상화가 이루어지면 , 또는 로 표현할 수 있으며, 이는 ⊙ 정의된다. 즉 이다. ∎

(NOTE) (⊄) 정리 6.6의 역은 성립하지 않는다. 그에 대한 반례는 [예제 6.3]의 결과는 하지만 하지 않다. 하지만 노드 를 노드 로 추상화를 하면 을 해진다. 즉 하다고 전부 하지는 않다.

VII. 예제 및 분석

[그림 7]은 화물 컨테이너와 기차가 이동할 수 있는 육로를 나타내는 실제 지도이고 [그림 8]은 실제 지도를 하이퍼 그래프로 표현한 것이다. 그래프의 노드 이름은 다음과 같은 의미를 담고 있다: 경인ICD(a), 호법

JC(b), 서대전JC(c), 전주(d), 광주(e), 마산(f), 대구(g), 부산CY(h), 감천한진터미널(i), 원주(j), 홍천(k), 대전(l), 김천(m), 동대구(n), 광명(o), 수원(p), 천안(q), 감만철도CY(r). A~G는 각각 지점들을 포함하는 영역의 이름이다.

그림 7. 철도 및 육로 지도

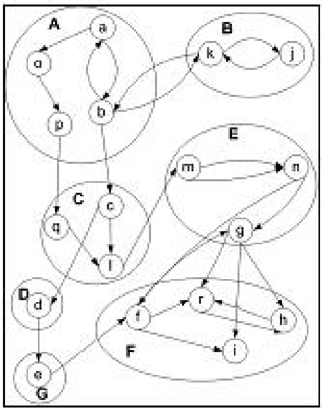

그림 8. 하이퍼 그래프

[그림 7]의 지도를 기반으로 두 화물 컨테이너가 이동한다고 가정했을 때 각 이동체( )는 다음과 같은 요구사항을 가지고 임무를 수행한다.

- 화물차 은 '원주' 공장으로부터 물건을 실어 '서대전JC'를 지나 '감천한진터미널'로 간다.
- 화물차 는 '경인ICD'에서 '서대전JC'을 지나 '부산진CY'로 간다.
- 두 화물차는 '호법JC', '서대전JC', '마산', '부산CY' 지점을 반드시 경유해야 한다.

위 요구사항을 통해 두 이동체의 명세는 다음과 같다. 과 이동 수식은 과 이고, 표기의 편의상 - 의 첨자는 생략한다.

위와 같이 과 의 이동 경로는 동일하지 않을 뿐만 아니라 비결정적 선택 경로를 포함하고 있다. 즉 측면은 동일하지 않다. 임무 수행을 위해 이들이 지나야하는 이동 경로를 중심으로 추상화 시켰을 경우 이들은 [정의 5.2]의 Abstraction (Edge)에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

위와 같이 이동 경로를 추상화 시켰을 경우 두 이동체는 [정의 6.4]에 의해 동일한 이동경로로 표현됨을 알 수 있다. 즉 두 이동체는 측면에서 동일하다.

다시 말해 두 이동체가 요구사항에 따라 임무수행을 완료했는지의 여부는 이들의 정확한 이동 경로는 다르지만 임무 중심의 이동 경로를 볼 때 두 이동체는 동일한 이동 경로를 가지고 있으므로 경유 지점 이동에 대한 임무를 완료했음을 알 수 있다.

그러나 두 이동체의 비결정적 선택이나 이들이 상호작용을 필요로 할 경우에 대한 내고장성(fault-tolerance)은 현재의 명세만으로는 증명하기가 어렵다. 그래서 본 논문은 향후 하이퍼 그래프에 실시간 동적 상태 정보(예를 들어, 특정 지점까지의 예상소요시간 등)를 추가하고 이 상태정보를 활용하여 명세 시 동적 확률 값을 제공함으로써 위와 같은 내고장성 문제를 해결할 수 있다. 이 확률 정보는 데드라인과 같은 시간 정보와 같이 이동경로의 최선 경로선택 및 정해진 시간 내의 임무 완료에 대한 안정성을 보장하기위한 검증에 활용될 것이다.

Ⅷ. 결론 및 향후 연구

본 논문은 RNTS를 표현하기 위해 CARDM이라는 정형기법을 제안하였다. CARDM에서는 공간 정보를 이동정보와 분리하였다. 공간 정보는 포트를 가진 노드들의 집합과 노드를 연결하기 위한 에지의 집합으로 표현되는 하이퍼 그래프라 불리는 지도로 표현하였다. 노드는 그들 사이의 포함관계에 따라 계층적으로 추상화 될 수 있고 이를 반영한 에지들의 추상화 또한 가능하다. 특히 이들 포함관계는 동적으로 재형성화 될 수 있어 동적으로 변하는 지정학적 공간도를 표현할 수 있다.

RNTS에서 이동체의 이동성은 실시간 항해 및 배송을 담당하는 이동체의 이동공간을 의미하며 그래프 상에서의 이동경로를 의미한다. 이동경로는 연속적인 노드를 연결하는 에지들의 이음이며 필요에 따라 이동시 전달해야 하는 물품, 시간 및 장소와 같은 시공간에 대한 제약조건을 노드에 정의할 수 있다. 물품의 전달방식 또는 이동체(들)간의 상호작용에 대한 제약조건(i.e. 1:1 or n:m 동기/비동기)을 물품에 정의할 수 있다 - 여기에서는 포트를 가지고 있지 않다는 점에 유의하자. 이러한 제약조건들은 공간의 추상화와 같이 동일하게 추상화될 수 있다.

분석과 검증을 위해 CARDM에서는 이동체간의 동일성을 검증하기 위하여 공간, 시간 및 상호작용에 관한 연역규칙과 bisimulation의 추상화에 기반을 둔 동일성을 정의하였다.

향후 연구로는 비결정적인 RNTS를 확률적으로 표현하기 위한 동적 확률 모델과 실시간적인 이동 정보를 표현하기 위한 시간 모델을 제안하여 자동화된 RNTS를 위한 내고장 모델을 포함할 것이다.

참 고 문 헌

[1] R. Milner, *Communication and Concurrency*, Prentice Hall, 1989.

[2] R. Milner, J. Parrow, and D. J. Walker, *A calculus of Mobile Processes*, Part I, Laboratory for foundations of Computer Science, Computer Science Dep., Edinburgh Univ., Report ECS-LFCS-89-85, 1989.

[3] R. Milner, J. Parrow, and D. J. Walker, *A calculus of Mobile Processes*, Part II, Laboratory for foundations of Computer Science, Computer Science Dep., Edinburgh Univ., Report ECS-LFCS-89-86, 1989.

[4] D. Sangiorgi and D. Walker, *The Pi-Calculus: A Theory of Mobile Processes*, Cambridge Univ. Press, 2003.

[5] L. Cardelli and A. D. Gordon, *Mobile ambients*, Foundations of Software Science and Computational Structures, Maurice Nivat(Ed.), Lecture Note in Computer Science 1378, Springer, pp.140-155, 1998.

[6] M. Merro and M. Hennessy, "Bisimulation congruences in safe ambients," Proceedings of POPL02 ACM Press, New York, pp.71-80, 2002.

[7] J. Z. Hernandez, S. Ossowki, and A. G. Serrano, "Multi-agent architectures for intelligent traffic management systems," Transportation Research Part C, Vol.10, pp.473-506, 2002.

[8] C. Rizos, "Trends in Geopositioning for LBS, Navigation and Mapping," Proceedings of Int. Symp. & Exhibition on Geoinformation 2005, Penang, Malaysia, Sep. 2005.

[9] F. Wu, F. Kuo and L. W. Liu, "The application of RFID on drug safety of inpatient nursing healthcare," Proc. of the 7th Int. Con. on Electronic commerce, ACM, 2005.

[10] C. Wong, D. McFarlane, A. Zaharudin, and V. Agarval, "The intelligent product driven supply chain," Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, Vol.4, Oct. 2002.

[11] D. Park, "Concurrency and Automata on Infinite Sequences," Proceedings of the 5th

GI-Conference on Theoretical Computer Science, pp.167-183, Mar. 1981.

저 자 소 개

최 정 란(Jung-Rhan Choi) 정회원

- 1999년 2월 : 전북대학교 컴퓨터과학과 (이학사)
- 2001년 8월 : 전북대학교 컴퓨터통계정보 (이학석사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 컴퓨터통계정보 박사수료 후 과정중

<관심분야> : 정형기법, 소프트웨어공학, RFID

이 문 근(Moon-Kun Lee) 정회원

- 1989년 : The Pennsylvania State University, Computer Science 학과 졸업(이학사)
- 1992년 : The University of Pennsylvania, Computer and Infor- mation Science 학과 졸업(이공학석사)
- 1995년 : The University of Pennsyl- vania, Computer and Information Science 학과 졸업(이공학박사)
- 1992년 5월~1996년 1월 : 미국, Computer Command and Control Company, Computer Scientist로 근무
- 1996년 4월~1998년 3월 : 전북대학교 컴퓨터과학과 전임강사
- 1998년 4월~1999년 2월 : 전북대학교 컴퓨터과학과 조교수
- 1999년 3월~현재 : 전북대학교 전자정보공학부 부교수

<관심분야> : 정형기법, 소프트웨어 재 · 역공학, 실시간 시스템, 운영체제, 형식언어, 병렬함수언어, 컴파일러 등