

정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델

A Cloud Workflow Model Based on the Information Control Net

순 카 이¹
Kai Sun

안 현²
Hyun Ahn

김 광 훈^{2*}
Kwanghoon Pio Kim

요 약

본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅 환경을 기반으로 하는 실시간 엔터프라이즈 워크플로우 관리 시스템을 구현하는데 있어서 반드시 수반되어야 하는 워크플로우 모델링 방법론으로서 정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 모델은 클라우드 서비스 배치모델을 기반으로 하는 클라우드 워크플로우 아키텍처, 즉 조직 수준 클라우드 배치모델, 커뮤니티 수준 클라우드 배치모델, 공적 수준 클라우드 배치모델, 혼합형 클라우드 배치모델 등으로 분류되는 클라우드 배치모델에 따른 클라우드 워크플로우 아키텍처를 지원하는 것을 목적으로 한다. 이 모델은 전통적으로 엔터프라이즈 워크플로우의 대표적인 정형적 모델링 기법인 정보제어넷 모델링 방법론을 클라우드 배치모델과 연계할 수 있도록 확장시킨 수학적 그래프 모델이다. 결론적으로, 본 논문에서는 제안된 정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델을 적용할 수 있는 클라우드 워크플로우 아키텍처와 그에 따른 클라우드 워크플로우 서비스를 설계함으로써 제안된 모델의 적용가능성을 검증한다.

☞ 주제어 : 클라우드 컴퓨팅 환경, 워크플로우 모델, 정보제어넷 모델링 방법론, 클라우드 서비스 배치모델, 클라우드 워크플로우 아키텍처, 클라우드 워크플로우 서비스, 실시간 엔터프라이즈 워크플로우

ABSTRACT

This paper proposes a cloud workflow model theoretically supported by the information control net modeling methodology as a cloud workflow modeling methodology that is mandatory in implementing realtime enterprise workflow management systems running with cloud computing environments. The eventual goal of the cloud workflow model proposed in this paper is to support those cloud workflow architectures reflecting the types of cloud deployment models such as private, community, public, and hybrid cloud deployment models. Moreover, the proposed model is a mathematical graph model that is extended from the information control net modeling methodology used in conventional enterprise workflow modeling, and it aims to theoretically couple this methodology with the cloud deployment models. Finally, this paper tries to verify the feasibility of the proposed model by building a possible cloud workflow architecture and its cloud workflow services on a realtime enterprise cloud workflow management system.

☞ keyword : cloud computing environments, workflow models, information control nets, cloud service deployment models, cloud workflow architectures, cloud workflow services

1. 서 론

엔터프라이즈 클라우드 워크플로우 서비스는 엔터프라이즈 워크플로우 기술과 웹 서비스 기술 그리고 클라우드 컴퓨팅 기술의 융합을 통한 엔터프라이즈 클라우드 워크

플로우 관리 시스템의 지원을 필요로 한다. 즉, 최근에 연구개발 이슈로 급부상하고 있는 실시간 엔터프라이즈 워크플로우 (realtime enterprise workflows) 분야와 과학기술 워크플로우 (scientific workflows) 분야의 핵심 기반 기술인 워크플로우 관리 시스템은 해당 워크플로우를 모델링하는 빌드타임 시스템과 모델링된 워크플로우 모델을 실행시키는 런타임 시스템으로 구성된다. 특히, 클라우드 컴퓨팅 기술과의 융합을 통해 엔터프라이즈 빅 데이터나 과학 및 공학 분야의 빅 데이터에 대한 절차적 태스크 생성과 분석을 가능하게 하는 클라우드 워크플로우 기술은 프로세스 기반의 기업정보시스템과 프로세스 기반의 과학 및 공학 데이터 관리 시스템을 구현하기 위한 차세대 컴퓨팅 기술로서 주목받고 있다. 특히, 고성능의 컴퓨팅 장비와 초고속 인터넷 그리고 웹 서비스를 기반으로 하는 클라우드

1 BISTel, Inc., Seoul, 06754, Korea

2 Division of Computer Engineering, Kyonggi University, Gyeonggi, 16227, Korea.

* Corresponding author (kwang@kgu.ac.kr)

[Received 11 December 2017, Reviewed 13 December 2017(R2 4 April 2018), Accepted 12 April 2018]

☆ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (Grant No. 2017R1A2B2010697).

드 컴퓨팅 기술은 기존의 엔터프라이즈 워크플로우(또는 비즈니스 프로세스) 관리 시스템을 초대형 실시간 엔터프라이즈 워크플로우 관리 시스템으로 발전시키는데 있어서 핵심적인 분산처리 인프라 기술이다. 따라서, 본 논문의 궁극적 목적은 클라우드 컴퓨팅 및 분산처리 기술을 엔터프라이즈 워크플로우 시스템 자체의 실행환경 뿐만 아니라 응용 프로그램 실행환경을 위한 컴퓨팅 인프라로 활용함으로써 차세대 프로세스 기반 기업정보시스템인 엔터프라이즈 클라우드 워크플로우 관리 시스템의 구현과 그 응용 범위의 확장을 도모하는데 있다.

본 논문에서는 특히 엔터프라이즈 클라우드 워크플로우 관리 시스템 구현의 이론적 바탕이 되는 정보제어넷(Information Control Nets [1]) 기반 클라우드 워크플로우 모델을 제안한다. 전통적으로 엔터프라이즈 워크플로우 또는 비즈니스 프로세스에 대한 대표적인 수학적 모델링 방법론으로 사용되고 있는 정보제어넷에 대한 개념적 확장을 통하여 클라우드 배치 모델, 즉 조직(private) 수준 클라우드 배치모델, 커뮤니티(community) 수준 클라우드 배치모델, 공적(public) 수준 클라우드 배치모델, 혼합형(hybrid) 클라우드 배치모델로 분류되는 클라우드 배치모델을 워크플로우 모델링 시점에 명시적으로 반영할 수 있도록 한 것이 제안하는 모델의 개념적 핵심내용이다. 결과적으로, 정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델은 엔터프라이즈 클라우드 워크플로우 관리 시스템을 구성하는 빌드타임 서브시스템과 런타임 서브시스템을 설계 및 구현하는데 이론적 기반이 된다. 즉, 클라우드 배치 모델과 연계된 클라우드 컴퓨팅 환경을 클라우드 워크플로우 모델의 실행 엔진을 구현하는 설계개념인 클라우드 워크플로우 아키텍처 뿐만 아니라 해당 모델을 구성하는 단위업무들의 응용 프로그램 실행 컴퓨팅 환경에 반영시킬 수 있는 이론적 기반으로서 정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델을 제안한다.

본 논문의 내용은 다음과 같이 구성된다. 제 2 장에서는 클라우드 워크플로우 기술, 특히 클라우드 워크플로우 모델링 방법들에 대한 기존의 연구결과들에 대한 기여내용을 소개하고, 본 논문에서 제안하는 모델과의 차이와 연구 범위에 대해서 기술한다. 제 3 장에서는 클라우드 워크플로우 메타-모델을 제안함으로써 클라우드 워크플로우 모델을 구성하는 핵심 개체 유형들과 이들 간의 관계를 정의한다. 제 4 장에서는 본 논문의 핵심 내용인 정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델의 정형적 정의를 제안한다. 끝으로, 제 5 장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구에 대해서 설명한다.

2. 관련연구

본 논문에서 제안하는 정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델과 직·간접적으로 연관되어 지금까지 수행되어 온 연구는 다음과 같은 세 가지 유형으로 나뉘어 수행되어 왔는데, 클라우드 워크플로우 모델과 클라우드 워크플로우 아키텍처 그리고 클라우드 워크플로우 서비스에 대한 연구가 그것이다. 클라우드 워크플로우 아키텍처에 대한 연구는 클라우드나 그리드 컴퓨팅 환경과 전통적인 엔터프라이즈 워크플로우 관리 시스템과의 융합을 통한 새로운 유형의 엔터프라이즈 워크플로우 시스템 아키텍처와 이를 위한 프레임워크 개발을 중심으로 수행되어 왔고, 클라우드 워크플로우 모델은 클라우드 컴퓨팅 환경에서의 프로세스 기반 태스크들의 상호작용 모델링을 중심으로 수행되어 왔다. 이 세 가지 유형의 연구결과들 중에서 대표적이고 중요한 연구내용을 간단히 요약하면 다음과 같다.

먼저, 클라우드 컴퓨팅 환경과 엔터프라이즈 워크플로우 기술의 융합과 클라우드 워크플로우 아키텍처에 관한 연구결과로서, Huang [2] 의 연구에서는 전통적인 엔터프라이즈 정보 시스템에서 추구하는 최신 정보기술의 적용 이슈와 정보인프라의 성능향상 이슈를 동시에 개선하기 위한 접근방법으로 클라우드 컴퓨팅 기반의 워크플로우 관리 시스템을 제안하였으며, 이를 통해 비용절감이라는 핵심적인 잇점을 달성함과 동시에 엔터프라이즈의 비즈니스 프로세스 실행의 균형있는 조화와 최적화 그리고 유연성이 향상된 변화 관리라는 추가적인 잇점을 달성할 수 있음을 제시하였다. Liu [5]의 연구에서는 스마트-시티 구현을 위한 접근방법으로 클라우드 컴퓨팅 유틸리티를 기반으로 하는 워크플로우 응용 프로그램의 실행 환경을 제공함으로써 궁극적으로 스마트-시티를 특징지우는 빅 데이터와 초대형 과학기술 실험데이터에 대한 분산 및 병렬 처리를 지원할 수 있음을 제시하였다. 특히, 이 연구에서는 스마트-시티를 효율적으로 지원할 수 있는 클라우드 컴퓨팅 기반 워크플로우 아키텍처의 유형들과 성능중심의 분류기준을 제시하였다. Liu [6]의 연구에서는 그 연구결과를 특별이슈를 통한 시리즈 저서를 통해 발표하면서 클라우드 워크플로우 시스템의 기술적 배경에서부터 아키텍처, 국제표준참조모델에 따른 기능적 구조, 서비스 품질, 그리고 SwinDeW-C 클라우드 워크플로우 시스템을 통한 사례연구에 이르기까지 체계적인 연구결과를 발표하였다. 특히, Aneka 클라우드 아키텍처를 기반으로 하는 클라우드

드 워크플로우 아키텍처를 제안함으로써 클라우드 아키텍처를 구성하는 기능적 계층, 즉 응용계층, 플랫폼계층, 통합자원계층, 네트워크계층과 그에 대응하는 클라우드 워크플로우 아키텍처의 기능적 계층들과의 개념적 적합성을 제시하였다. Pandey [8]의 연구에서는 기존의 워크플로우 응용 영역에서 직면하고 있는 규모의 확장성 문제와 온디맨드 형태의 서비스 요구에 대한 해결방안으로 클라우드 컴퓨팅 패러다임을 적용한 워크플로우 엔진 아키텍처를 설계하였다. 특히, 이 연구에서 설계한 클라우드 워크플로우 엔진 아키텍처는 플러그인 방식의 워크플로우 자원 연결 기능을 웹 서비스 환경과 Gridbus Broker와 Globus 툴킷과 같은 그리드 컴퓨팅 환경을 통해 제공함으로써 규모의 확장성을 제공할 수 있는 응용 관리 기능 뿐만 아니라 클라우드 컴퓨팅 환경과의 통합 서비스를 제공할 수 있도록 설계되었다.

클라우드 워크플로우 모델과 관련된 연구결과로서, Naghibzadeh [7]의 연구에서는 클라우드 컴퓨팅 환경에서 실행되는 워크플로우 기반의 복합형 계산업무 스케줄링과 계산 업무들간의 상호작용을 모델링하기 위한 일명 TIPG (task interaction-precedence graph) 모델을 제안하였다. 즉, 전형적인 워크플로우 모델은 비순환 방향성 그래프 (DAG: Directed Acyclic Graph) 모델을 기반으로 하는 그래프 모델이고, 이러한 그래프 모델은 클라우드 워크플로우를 실행하는 동안에 발생할 수 있는 계산 업무들간의 직·간접적인 상호작용에 대한 모델링 기능을 지원하지 못한다는 근본적인 한계를 내포하고 있다. 따라서, 이러한 근본적인 한계를 극복하고 클라우드 워크플로우가 갖는 특성을 만족시킬 수 있는 모델링 방법으로서 기존의 TIG (task interaction graph) 기법을 확장시킨 TIPG 모델링 기법을 제안하였다. 저자의 주장에 의하면, TIPG 모델링 기법은 클라우드 워크플로우를 구성하는 계산 업무들간의 상호작용 모델링 뿐만 아니라 통신 모델링, 그리고 선행관계 (precedence) 모델링을 포함하므로 클라우드 워크플로우 모델링에 적합한 기법임을 강조하고 있다. Zhou [9]의 연구에서는 Aneka 클라우드 컴퓨팅 환경에서 실행 가능한 클라우드 워크플로우 엔진 아키텍처를 설계 및 구현하였고, 그의 모델링 기법으로는 페트리넷 (petri-net) 기반의 모델링 기법을 적용하였다. 특히, 기존의 제어흐름 중심의 페트리넷을 확장하여, 데이터흐름과 자원흐름을 포함하여 클라우드 워크플로우를 모델링하기 위한 3DWFN (three-dimension workflow net) 모델을 제안하였다.

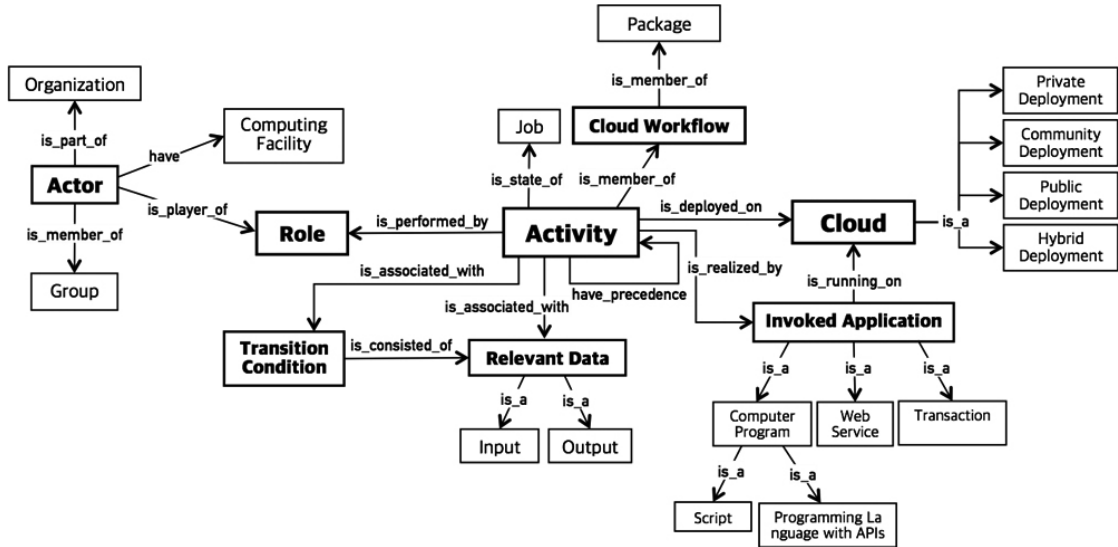
위와 같이 클라우드 워크플로우 모델과 아키텍처 그리고 시스템 및 서비스를 중심으로 하는 기존의 주요 연구

결과에 대한 내용을 요약하여 기술하였다. 하지만, 기존의 연구결과에서는 본 논문의 핵심연구주제인 클라우드 워크플로우 모델로서 적용가능할 수준의 이론적 합리성과 구체성을 만족할 수준으로 제안된 연구내용을 발견할 수 없었다. 특히, 전통적인 워크플로우 기술영역에서 대표적인 워크플로우 모델링 기법으로 인정받고 있는 정보제어넷 모델링 방법론의 이론적 확장을 통해 클라우드 워크플로우 아키텍처와 모델링 기법으로서 적용가능한 클라우드 워크플로우 모델은 본 논문에서 최초로 제안되는 것이며, 결과적으로 본 논문의 기여와 의미가 크다고 할 수 있다.

3. 클라우드 워크플로우 메타-모델

본 장에서는 클라우드 워크플로우 모델을 정의하는데 필수적으로 요구되는 개체유형들의 집합과 그들간의 관계를 정의한 클라우드 워크플로우 메타-모델에 대해서 설명한다. 해당 메타-모델은 클라우드 워크플로우를 구성하는 단위업무들과 그들의 물리적 실현대상인 응용 프로그램의 실행환경으로서 클라우드 배치모델을 반영하기 위해 정보제어넷 메타-모델을 확장한 것이다. 그림 1은 클라우드 워크플로우 메타-모델을 나타내며, 이를 구성하는 개체유형들의 개념적 정의는 다음과 같다.

- (1) 클라우드 워크플로우 (cloud workflow): 클라우드 워크플로우는 액티비티라고 정의되는 단위업무들의 집합과 이들간의 실행순서로 정의된다. 정의된 클라우드 워크플로우는 단위업무들의 실행순서로 정의되는 제어흐름과 함께 각 단위업무의 입출력 데이터들로 정의되는 데이터흐름 그리고 각 단위업무의 실현 객체인 호출 프로그램의 클라우드 컴퓨팅 실행환경인 클라우드 배치모델을 내포하고 있다. 특히, 제어흐름은 해당 클라우드 워크플로우를 구성하는 단위업무들간의 네 가지의 기본적인 제어흐름 유형, 즉 순차적 (sequential), 선택적 (disjunctive), 병렬적 (conjunctive), 반복적 (repetitive) 제어흐름 유형들의 조합으로 정의된다.
- (2) 액티비티 (activity): 클라우드 워크플로우를 구성하는 기본 단위업무에 대한 개념적 용어이다. 액티비티의 유형은 작업 (work) 액티비티, 블록 (block) 액티비티, 서브프로세스 (subprocess) 액티비티, 게이트웨이 (gateway) 액티비티, 그리고 이벤트 (event) 액티비티 유형으로 구분된다. 이들 액티비티 유형들간에는 실행 시간에 따른 선후행 관계를 정의할 수 있으며, 이러한



(그림 1) 클라우드 워크플로우 메타-모델
(Figure 1) Cloud Workflow Meta-Model

관계는 앞서 기술한 기본적인 제어흐름 개체유형을 통해 정의된다. 각 액티비티 유형에 대한 속성은 다음과 같다.

- 작업 액티비티 유형은 연관된 호출 프로그램과 그의 클라우드 배치모델에 따른 클라우드 컴퓨팅 환경상에서 실행되는 단위업무를 의미하며, 정의되어야 할 속성은 클라우드 배치 모델, 호출방식, 입출력 연관데이터, 수행자 소속의 역할, 수행자 결정조건, 실행 제한시간 등이 있을 수 있다.
- 블록 액티비티 유형은 일반적으로 반복순환실행을 필요로 하는 일련의 액티비티들과 그들간의 선후행관계로 정의되며, 출구조건을 만족할 때까지 반복적으로 순환실행하게 된다.
- 서브프로세스 액티비티 유형은 해당 액티비티의 실행이 호출 프로그램이 아닌 다른 프로세스의 실행을 정의하는 액티비티이다. 즉, 서브프로세스 액티비티에 할당된 다른 프로세스는 해당 프로세스의 서브프로세스로 정의된다. 특히, 많은 수의 액티비티가 연관되는 클라우드 워크플로우의 경우는 관리의 편리성으로 위하여 다수의 서브프로세스로 나누어 정의할 수도 있다.
- 게이트웨이 액티비티 유형은 클라우드 워크플로우의 제어흐름 유형인 선택적, 병렬적, 반복적 제어흐름을 나타내는 액티비티 유형이다.

- 이벤트 액티비티 유형은 클라우드 워크플로우의 인스턴스들을 실행할 때 필요로 되거나 예외사항을 처리하기 위해서 요구되는 다양한 유형의 이벤트를 정의하는데 활용되며, 일반 액티비티와 연계되어 정의될 수도 있다. 대표적인 이벤트 액티비티는 프로세스의 시작 이벤트와 종료 이벤트, 타이머 이벤트, 메시지 이벤트 등이 있다.
- (3) 역할(role)과 수행자(actor): 역할과 수행자 개체유형은 클라우드 워크플로우 모델을 위한 조직정보를 정의하는 핵심요소이다. 클라우드 워크플로우를 구성하는 작업액티비티들에는 그의 실행을 담당하는 역할과 그 역할을 수행할 수행자를 할당해야 한다.
 - (4) 연관데이터 (relevant data): 연관데이터 개체유형은 클라우드 워크플로우 인스턴스의 실행시에 요구되는 각 액티비티의 입출력 데이터를 의미한다. 특히, 연관데이터 개체는 클라우드 워크플로우 모델링 도구의 한 구성요소로서 연관데이터 관리 모듈에 등록되어야 하며, 이 등록된 연관데이터 객체들은 해당 클라우드 워크플로우를 구성하는 액티비티 수행에 요구되는 입출력데이터와 워크플로우의 제어흐름을 결정짓는 천이조건으로 사용된다.
 - (5) 천이조건 (transition condition) : 클라우드 워크플로우의 제어흐름에는 액티비티 실행순서를 제어하기 위한 천이조건들을 정의해야 한다. 이 천이조건들의 변수들

은 연관데이터 개체들이며, 일반적으로 다양한 논리연산자들을 통해 천이조건을 정의하게 된다.

- (6) 호출 프로그램 (invoked application): 해당 개체유형은 특정 액티비티의 물리적 구현을 의미하며, 호출 프로그램의 실행과 연계된 클라우드 컴퓨팅 환경, 즉 클라우드 배치 모델이 적용될 경우에는 그에 따른 실행환경이 정의되어야 한다. 또한, 그 호출 프로그램의 종류에 따라서 클라우드 워크플로우 관리 시스템의 특성이 결정되게 된다. 즉, 호출 프로그램이 일반 컴퓨터 프로그램이라면 전통적인 워크플로우 관리 시스템이며, 웹서비스라면 웹서비스 기반 워크플로우 관리 시스템, 그리고 트랜잭션이라면 트랜잭션 워크플로우 관리 시스템으로 분류할 수 있다.

- (7) 클라우드 배치 모델 (cloud deployment model): 클라우드 워크플로우의 핵심적인 특징은 워크플로우 엔진의 실행환경으로 클라우드 컴퓨팅 환경을 이용하는 경우와 앞서 정의한 워크플로우 호출 프로그램의 실행 환경으로 클라우드 컴퓨팅 환경을 이용하는 경우로 구분된다. 즉, 전자는 클라우드 워크플로우 아키텍처를 설계하고 이를 기반으로 하는 클라우드 워크플로우 엔진을 구현하는데 있어서 핵심기능과 구현요소들의 실행에 클라우드 배치 모델을 연계하는 것이고, 후자는 클라우드 워크플로우의 응용 프로그램들을 구현하고 실행하는데 있어서 해당 호출 프로그램의 실행에 클라우드 배치 모델을 연계하는 것이다. 본 논문에서 제안하는 클라우드 워크플로우 모델은 이상의 두 가지 경우 모두에 적용될 수 있도록 각 액티비티 개체유형에 클라우드 배치 모델을 명시적으로 정의하도록 설계하였다. 본 논문의 클라우드 워크플로우 모델에 연계될 수 있는 클라우드 배치 모델로서 대표적인 조직 수준, 커뮤니티 수준, 공적 수준, 혼합형 클라우드 배치 모델을 정의하면 다음과 같다.

- 공적 수준 클라우드 배치 모델: 일명 **public cloud deployment model** [10] 이라고 하며, 클라우드 컴퓨팅 환경으로서 가장 일반적인 클라우드 배치 모델이다. 이 모델에서는 클라우드 컴퓨팅 환경을 구성하는 물리적인 모든 자원들의 소유와 운용 권한이 제3자의 클라우드 서비스 공급자에게 주어진다. 그 공급자는 공공의 인터넷 환경을 통해 클라우드 컴퓨팅 자원을 활용하고자 하는 개인이나 단체 또는 조직들로 구성되는 다양한 형태의 클라이언트들에게 클라우드 서비스를 제공한다. 이 배치 모델은 최저 수준의 경제적·기술적 부담으로 최고 수준의 비

용절감을 제공할 수 있다는 점에서 유용한 클라우드 배치 모델이다.

- 조직 수준 클라우드 배치 모델: 일명 **private cloud deployment model** [10] 이라고 하며, 특정 조직 전용의 클라우드 서비스를 제공하기 위한 클라우드 배치 모델이다. 이 모델의 주요 적용 목적은 비용절감의 목적보다는 조직에 속한 데이터센터의 솔루션 가상화와 분산된 정보기술서비스의 합병에 초점을 두고 있다. 또한, 조직 수준 클라우드 배치 모델의 주요 잇점은 조직자체가 자신이 관리하고 운영하는 조직데이터, 정보보호가이드라인, 시스템성능 등에 대한 충분한 수준의 자체제어와 조정능력을 확보할 수 있다는 점이다. 특히, 정보보호관점에서는 매우 탁월한 수준의 가치가 보장될 수 있다는 점에서 많은 조직들이 관심을 갖고 도입을 고려하고 있다.
- 커뮤니티 수준 클라우드 배치 모델: 일명 **community cloud deployment model** [10] 이라고 하며, 여러 조직들에 의해 공유된다는 점에서는 공적 수준 클라우드 배치모델과 비슷하지만 같은 공통의 관심사로 연결되는 일련의 조직 그룹에 속한 고객들로 구성되는 특정 커뮤니티에 의해서만 배타적으로 전용되는 클라우드 컴퓨팅 환경을 의미한다. 이 모델은 해당 커뮤니티나 제3자 그룹 또는 이들의 조합에 속하는 하나 이상의 조직들에 의해서 소유되고 관리되고 운용된다. 또한 이 모델에서는 커뮤니티를 구성하는 멤버 조직들과 그들의 자원들간의 상호운용성과 회원관리를 포함한 준용해야하는 규칙들을 주요 요구사항으로 마련되어 있어야 한다.
- 혼합형 클라우드 배치 모델: 일명 **hybrid cloud deployment model** [10] 이라고 하며, 두 가지 이상의 클라우드 배치 모델이 혼합된 형태의 모델이다. 혼합형 클라우드 배치 모델을 구성하는 클라우드 컴퓨팅 환경들은 그들간의 작업부하 균등화를 위한 데이터와 응용 프로그램의 자유로운 이동을 가능하게 하는 표준 또는 전용사용권 기술을 함께 공유할 수 있도록 해야 한다. 이 모델은 가장 복잡하고 관리하기 힘든 형상을 갖는 모델인데 반하여 경제적인 측면에서 가장 유용한 모델이라서 최근의 많은 조직들이 선호하고 있는 추세이다.

4. 클라우드 워크플로우 모델

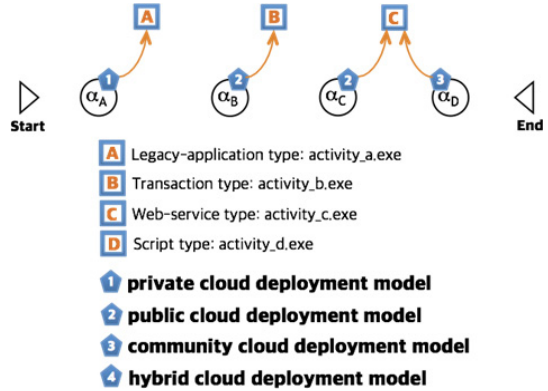
앞서 기술한 클라우드 워크플로우 메타-모델을 기반으로 하는 클라우드 워크플로우 모델은 정보제어넷의 확장으로 통해 정의될 수 있다. 즉, 제안 모델은 그림 1의 클라우드 워크플로우 메타-모델을 구성하는 기본적인 개체 유형들과 그들간의 핵심 관계유형들에 대한 정형적 표기와 그래픽적 표기를 통해 정의된다. 다음은 전통적인 정보제어넷 기반 워크플로우 모델 [1]을 정의하기 위한 핵심 관계유형들이다.

- 액티비티들간의 제어흐름 관계유형
- 액티비티들간의 입-출력 데이터 흐름 관계유형
- 액티비티들과 역할/수행자 사이의 연관 관계유형
- 액티비티들과 클라우드/호출 프로그램 사이의 연관 관계유형

본 논문에서 제안하는 클라우드 워크플로우 모델은 위와 같은 전통적 정보제어넷 기반 워크플로우 모델의 핵심 관계유형들에서 확장되어, 클라우드 관점의 관계유형 (클라우드와 호출 프로그램간 할당 관계)이 추가된 모델이다.

4.1 클라우드 및 호출 프로그램 관계유형

앞서 정의했듯이, 정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델은 일련의 액티비티들로 구성되고, 각각의 액티비티는 해당 워크플로우를 구성하는 단위업무의 개념적 정의를 의미하며, 각 액티비티에 할당된 클라우드 배치 모델, 즉 클라우드 컴퓨팅 환경과 그의 호출 프로그램은 해당 액티비티의 물리적 구현을 의미한다. 결과적으로, 각 액티비티에 할당될 수 있는 클라우드 배치 모델의 종류에 따라서 클라우드 워크플로우 관리 시스템의 특성이 결정되게 된다. 즉, 클라우드 워크플로우 엔진에 플러그인 되어 해당 액티비티의 물리적 실행환경을 제공하는 클라우드 컴퓨팅 환경이 조직 수준 클라우드 배치 모델을 기반으로 한다면 해당 엔터프라이즈 또는 조직에 배타적으로 전용되는 엔터프라이즈 클라우드 워크플로우 관리 시스템이며, 웹서비스 기반의 공적 수준 클라우드 배치 모델을 기반으로 한다면 공적 클라우드 워크플로우 관리 시스템, 커뮤니티 클라우드 배치 모델이라면 커뮤니티 클라우드 워크플로우 관리 시스템, 혼합형 클라우드 배치 모델이라면 혼합형 클라우드 워크플로우 관리 시스템이 되는 것이다.



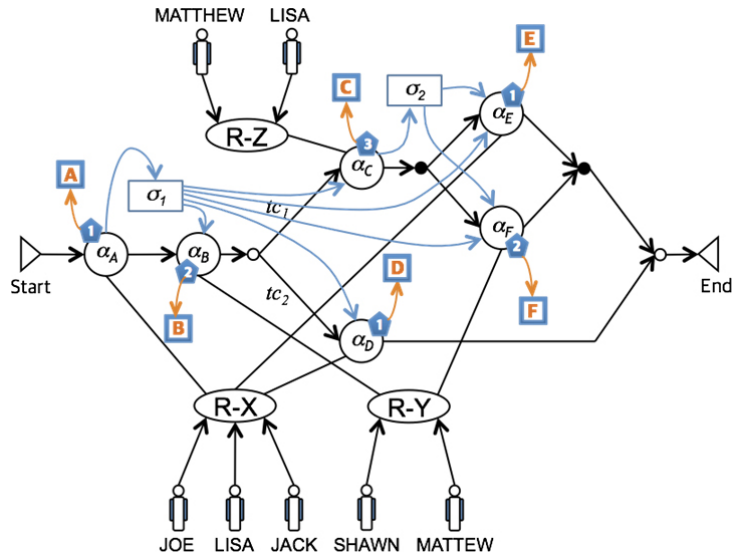
(그림 2) 클라우드/호출 프로그램 관계유형 기본구조
(Figure 2) The Basic Structure of Cloud/Invoked_application Associative Relationships

클라우드 워크플로우 모델의 액티비티에 대한 클라우드 배치 모델과 그의 호출 프로그램의 할당을 정의하기 위한 그래픽적 표기법과 정형적 표기법은 각각 그림 2와 정의 1과 같다. 특히, 호출 프로그램의 개체유형은 일반적인 컴퓨터 응용 프로그램, 트랜잭션, 웹서비스, 스크립트 호출 프로그램 등으로 구분된다.

[정의 1] 클라우드 및 호출 프로그램 관계유형

$$\Gamma_{IA} = [\text{function}(\omega, \pi), \text{set}(A, C, I)]$$

- 1) 집합: 클라우드 워크플로우 모델의 구성개체집합
 - 액티비티들의 집합, $A = \{a_1, \dots, a_n\}$;
- a_1, \dots, a_n : 작업액티비티
 - 클라우드 컴퓨팅 환경들의 집합, $C = \{c_1, \dots, c_k\}$;
 - 호출 프로그램들의 집합, $I = \{p_1, \dots, p_m\}$;
- 2) 함수:
 - 클라우드 할당 함수, $f: \omega = \omega_c \cup \omega_a$
 - 호출 프로그램 할당 함수, $f: \pi = \pi_p \cup \pi_c$
 - $(f: \omega_c) A \rightarrow C$ 로 정의되는 단일값 매핑함수로서 어느 특정 액티비티, a 와 그의 클라우드 배치 모델과의 매핑을 정의한 함수이다.
 - $(f: \omega_a) C \rightarrow \mathcal{G}(A)$ 로 정의되는 다중값 매핑함수로서 어느 특정 클라우드 배치 모델(c)과 그에 할당되어 있는 액티비티 집합과의 매핑을 정의한 함수이다.
 - $(f: \pi_p) C \rightarrow \mathcal{G}(I)$ 로 정의되는 다중값 매핑함수로서 어느 특정 클라우드 배치 모델(c)과 그의 실행 호출 프로그램들과의 매핑을 정의한 함수이다.
 - $(f: \pi_c) I \rightarrow \mathcal{G}(C)$ 로 정의되는 다중값 매핑함수로



(그림 3) 정보제어넷기반 클라우드 워크플로우 모델 예
 (Figure 3) An Imaginary Example of the ICN-based Cloud Workflow Model

서 어느 특정 호출 프로그램(p)과 그의 실행환경으로 할당되어 있는 클라우드 배치 모델들과의 매핑을 정의한 함수이다.

의 집합을 리턴 값으로 제공하는 함수로 구성된다.

- (1) 클라우드 할당 함수: 클라우드 워크플로우 모델의 정형적 정의에서 클라우드 할당 함수의 의미는 해당 액티비티와 그의 실행환경인 클라우드 배치모델과의 매핑관계를 집합의 개념으로 정의한 것이다. 즉, 이 함수는 어느 특정 액티비티(α)의 실행 클라우드 컴퓨팅 환경(c), 즉 네 가지 유형의 클라우드 배치 모델들 중의 하나로 구성된 특정 클라우드 컴퓨팅 환경(c)을 리턴 값으로 제공하는 함수와 어느 특정 클라우드 컴퓨팅 환경(c)에 할당된 액티비티들의 집합을 리턴 값으로 제공하는 함수로 구성된다.
- (2) 호출 프로그램 할당 함수: 클라우드 워크플로우 모델의 정형적 정의에서 호출 프로그램 할당 함수의 의미는 해당 클라우드 컴퓨팅 환경과 그에 할당된 호출 프로그램들과의 매핑관계를 집합의 개념으로 정의한 것이다. 즉, 이 함수는 어느 특정 클라우드 컴퓨팅 환경(c)에 할당된 호출 프로그램들을 리턴 값으로 제공하는 함수와 어느 특정 호출 프로그램(p)의 실행을 위해 할당된 클라우드 컴퓨팅 환경들

4.2 클라우드 워크플로우 모델 예제

지금까지 기술된 클라우드 워크플로우 메타-모델의 구성개체유형들과 그들간의 연관관계유형들에 대한 정형적 정의와 그래픽표기법을 기반으로 설계한 가상의 정보제어넷기반 클라우드 워크플로우 모델을 그림 3에 나타내었다. 이 가상의 모델은 두 개의 이벤트 액티비티 개체 (Start, End), 여섯 개의 작업액티비티 개체 ($\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C, \alpha_D, \alpha_E, \alpha_F$), 두 가지 유형의 게이트웨이 액티비티 개체 (OR split/join, AND split/join), 세 개의 역할 개체 (R-X, R-Y, R-Z), 다섯 명의 업무수행자 개체 (JOE, LISA, JACK, SHAWN, MATTEW), 두 개의 연관데이터 개체 (σ_1, σ_2), 세 가지 유형, 즉 조직 수준, 공공수준, 커뮤니티 수준 클라우드 배치모델의 클라우드 컴퓨팅 환경 (c_1, c_2, c_3), 여섯 개의 호출 프로그램 ($\theta_A, \theta_B, \theta_C, \theta_D, \theta_E, \theta_F$)으로 구성된다. 특히, 각 작업액티비티 개체의 실제적 실행환경인 클라우드 컴퓨팅 환경의 할당을 정의하는데 있어서 좀 더 명확하게 기술하자면, 클라우드 워크플로우 모델을 정의하는데 있어서 각 액티비티에 할당되는 클라우드 컴퓨팅 환경의 정의는 클라우드 배치 모델의 유형을 정의하는 것을 의미한다. 즉, 해당 작업액티비티의 실행은 연관 호출 프

로그래밍의 실행으로 실현되는데, 이 연관 호출 프로그램의 실행을 위한 클라우드 컴퓨팅 환경의 구성은 모델 설계시에 해당 클라우드 배치 모델 유형으로 정의되고, 해당 모델의 인스턴스 실행시에는 정의된 클라우드 배치 모델 유형으로 구축된 특정 클라우드 컴퓨팅 환경을 할당받는 것을 의미한다.

5. 결 론

본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅 환경을 기반으로 하는 실시간 엔터프라이즈 워크플로우 관리 시스템을 구현하기 위한 이론적 모델링 방법론으로서 정보제어넷 기반 클라우드 워크플로우 모델을 제안하였다. 또한, 이를 위한 메타모델과 함께 그의 필수적 구성개체 유형들에 대한 정형적 모델과 그래픽적 표기법을 정의하였다. 본 논문에서 제안된 클라우드 워크플로우 모델은 대표적인 수학적 워크플로우 모델링 방법론인 정보제어넷 이론에 클라우드 배치 모델을 기반으로 하는 클라우드 컴퓨팅 환경을 명시적으로 반영하여 확장시킨 형태의 모델이다. 결론적으로 본 논문에서 제안하는 모델은 궁극적으로 엔터프라이즈 워크플로우 서비스를 지원할 수 있는 클라우드 워크플로우 아키텍처의 설계에 적용될 수 있다.

참고문헌(Reference)

- [1] K. Kim, and C. A. Ellis, "ICN-based Workflow Model and Its Advances," *Handbook of Research on Business Process Modelling*, pp. 34-54, 2009. <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-60566-288-6.ch007>
- [2] H. Huang, Y.-L. Zhang, and M. Zhang, "A Survey of Cloud Workflow," *Advanced Materials Research*, Vols. 765-767, pp. 1343-1348, 2013. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.765-767.1343>
- [3] K. Kim, "A layered workflow knowledge Grid/P2P architecture and its models for future generation workflow systems," *Future Generation Computer Systems*, Vol. 23, Issue 3, pp. 304-316, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2006.05.005>
- [4] K. P. Kim, "A Model-driven Workflow Fragmentation Framework for Collaborative Workflow Architectures and Systems," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 35, pp. 97-110, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2011.03.029>
- [5] L. Liu, et al., "A Survey on Workflow Management and Scheduling in Cloud Computing," In *the 14th IEEE/ACM Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing*, 2014. <http://dx.doi.org/10.1109/CCGrid.2014.83>
- [6] X. Liu, et al., "The Design of Cloud Workflow Systems," *Springer Briefs in Computer Science*, Springer, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-1933-4>
- [7] M. Naghibzadeh, "Modeling Workflow of Tasks and Task Interaction Graphs to Schedule on the Cloud," *Future Generation Computer Systems*, Vol. 65, Issue C, pp. 33-45, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2016.05.029>
- [8] S. Pandey, D. Karunamoorthy, and R. Buyya, "Workflow Engine for Clouds," *Cloud Computing: Principles and Paradigms*, John Wiley & Sons, Inc., 2011. <https://www.wiley.com/en-us/Cloud+Computing%3A+Principles+and+Paradigms-p-9780470887998>
- [9] J. Zhou, et al., "Modeling, Design, and Implementation of a Cloud Workflow Engine Based on Aneka," *Journal of Applied Mathematics*, Vol. 2014, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/512476>
- [10] Cloud Strategy Partners, LLC, "IEEE Cloud Computing Tutorial: Cloud Service and Deployment Models," *IEEE eLearning Library*, 2017. <http://cloudcomputing.ieee.org>

◎ 저 자 소 개 ◎



순 카 이 (Kai Sun)

2012년 Dept. of Computer Science and Technology at Shanxi University

2018년 경기대학교 컴퓨터과학과 (이학석사)

2016년~현재 ㈜비스텔 연구원

관심분야 : 워크플로우, 소프트웨어 아키텍처, 클라우드 컴퓨팅, 분산 컴퓨팅, 워크플로우 관리시스템

E-mail : kaisun@bistel.com



안 현 (Hyun Ahn)

2011년 경기대학교 컴퓨터과학과 (이학사)

2013년 경기대학교 컴퓨터과학과 (이학석사)

2017년 경기대학교 컴퓨터과학과 (이학박사)

2018년~현재 경기대학교 컴퓨터공학부 조교수

관심분야: 비즈니스 프로세스 관리 시스템, 비즈니스 프로세스 인텔리전스, 프로세스 마이닝

E-mail: hahn@kgu.ac.kr



김 광 훈 (Kwanghoon Pio Kim)

1984년 경기대학교 전자계산학과 (이학사)

1986년 중앙대학교 전자계산학과 (이학석사)

1994년 Department of Computer Science, Univ. of Colorado Boulder (MS)

1998년 Department of Computer Science, Univ. of Colorado Boulder (Ph.D.)

1986년~1991년 한국전자통신연구원 TDX전자교환기개발단 연구원

1998년~현재 경기대학교 컴퓨터공학부 (워크플로우연구실) 교수

2000년~현재 Workflow Management Coalition, ERC Vice-Chair

2000년~현재 한국인터넷정보학회 창립발기인, 운영이사, 부회장

관심분야: 워크플로우, 비즈니스 프로세스 인텔리전스, 사물인터넷, 빅데이터 분석, 클라우드 컴퓨팅

E-mail: kwang@kgu.ac.kr