

우를 실행시켜 사전에 문제점을 도출하고 분석할 수 있는 시뮬레이션에 효과적으로 적용될 수 있다[12].

본 논문에서는 워크플로우의 수행자들로 구성되는 워크플로우 기반 소셜 네트워크[13-16]에서 수행자간의 업무전달 관계를 확률적으로 나타내는 모델을 제안한다. 기존에 제안된 확률적 워크플로우 모델들은 주로 워크플로우의 제어흐름 관점에서 단위업무간의 실행순서 또는 전체 실행경로를 확률적으로 모델링하는 것이 목적이었다. 이는 워크플로우 모델의 병목현상 및 수행시간 예측, 실행경로 분류[3]와 같은 제어흐름 관점의 분석에 적용될 수 있으나, 자원 관점을 중심으로 하는 분석에 한계점을 가진다. 반면에, 본 논문의 목적은 워크플로우의 자원 관점에서 업무를 담당하는 수행자간의 업무전달 관계를 확률적으로 모델링하는 방법을 제안하는 것이다. 업무전달 관계는 이러한 워크플로우 기반 소셜 네트워크에 존재하는 자원관점 속성 중에 하나이며, 프로세스 경영 기반 조직의 업무 네트워크 분석에 적용될 수 있는 대표적인 속성이다. 이를 확률적으로 모델링하기 위해서는 단위업무간의 전이관계와 업무와 수행자간의 할당 관계를 고려해야 한다. 이에 본 논문에서는 확률적 워크플로우 모델과 확률적 업무전달 관계 모델을 각각 정형적으로 정의한다. 또한 제어흐름 중심의 확률적 워크플로우 모델로부터 자원중심의 확률적 업무전달 관계 모델을 추출하기 위한 알고리즘을 제안한다. 결과적으로 제안된 모델은 자원 관점의 워크플로우 시뮬레이션 또는 모델-로그 비교분석 과정에 활용될 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로서 이전에 제안된 확률적 워크플로우 모델링 방법들에 대하여 요약한다. 3장에서는 업무전달 관계에 영향을 미치는 선택적 분기와 업무할당의 개념과 확률적 워크플로우 모델의 정형적 정의에 대해 설명한다. 4장에서는 확률적 업무전달 관계 모델의 정형적 정의와 확률적 워크플로우 모델로부터 이를 추출하기 위한 알고리즘에 대해서 설명하며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

확률적 워크플로우 모델링을 위한 정형 방법에는 SPN(Stochastic Petri Nets)[7], PEPA(Performance Evaluation Process Algebra)[8], SAN(Stochastic Automata Networks)[9], sICN(Stochastic Information Control Net)[10] 등이 있다.

Braghetto et al.[9]에서는 BPMN(Business Process Modeling and Notation)[17]으로 정의된 워크플로우 모델

을 확률 기반의 SAN 모델로 변환하는 알고리즘을 제안하였다. Ellis et al.[10]에서는 워크플로우의 제어흐름에서 선택적 분기(OR-fork)와 병렬적 분기(AND-fork)의 확률을 통해 생성될 수 있는 모든 실행경로의 확률을 구할 수 있음을 증명했다. 또한 생성된 모델의 실행경로는 이벤트 로그로부터 발견된 실행경로와 비교분석하여 워크플로우 모델에 대한 충실도(fidelity)를 분석할 수 있음을 보였다. 이와 같이 워크플로우는 기본적으로 단위업무의 순서를 나타내는 제어흐름을 중심으로 표현되기 때문에, 위의 정형 방법론들과 이를 적용한 기존의 연구들은 제어흐름에 대한 확률적인 표현과 이와 관련된 분석 및 예측에 중심을 두었다.

반면에, Braghetto et al.[18]에서는 자원 관점에서 워크플로우 모델의 성능을 평가하기 위해, SAN을 기반으로 자원 활용도(resource utilization)를 측정하기 위한 모델을 제안하였다. 또한 Lin et al.[19]에서는 업무 수행자의 전문성과 업무전달 관계를 기반으로 은닉 마코프 모델을 이용하여 워크플로우 처리의 효율성을 극대화하기 위한 전담 팀을 구성하는 방법을 제안하였다. 해당 연구에서의 업무전달 관계는 단순히 특정 두 수행자 사이에서 발생한 모든 업무전달 빈도를 바탕으로 업무전달 관계 확률을 구하는 반면에, 본 논문에서는 두 수행자 사이의 업무전달 관계를 각각의 단위업무별로 고려하기 때문에, 더 세밀하게 업무전달 네트워크를 확률적으로 모델링할 수 있다는 차이점을 가진다.

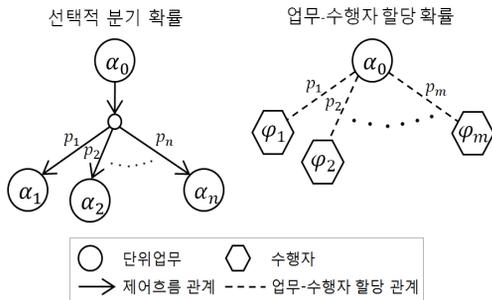
3. 확률적 워크플로우 모델

본 장에서는 제어흐름 중심의 확률적 워크플로우 모델의 정형적 정의와 업무전달 관계의 기반이 되는 선택적 분기 및 업무할당의 확률에 대해서 설명한다.

3.1 선택적 분기 및 업무할당 확률

Ellis et al.[10]에서는 워크플로우 모델을 확률적으로 나타내기 위해 업무간의 제어흐름(control flow)에서 발생할 수 있는 선택적 분기(OR-fork)와 병렬적 분기(AND-fork)의 확률을 바탕으로 발생할 수 있는 모든 실행순서에 대한 확률을 표현하였다. 하지만, 본 논문에서 다루는 업무전달 관계를 확률적으로 나타내기 위해서는 기존의 선택적 분기에 더하여 업무와 수행자간의 할당 확률을 추가적으로 포함해야 하며, 각각의 개념에 대한 설명은 다음과 같다.

- 선택적 분기: 비즈니스 과정에서의 의사 결정 또는 특정 조건에 따른 업무의 분기를 의미. BPMN 표준에서는 비즈니스 업무처리 상황에서의 선택적 분기를 모델링하기 위한 포괄적 분기(inclusive OR)와 배타적 분기(exclusive OR)와 같은 선택적 분기 타입을 지원한다.
- 업무할당: 단위업무와 이를 처리할 수행자를 배정하는 것. 비즈니스 환경에서는 보통 업무의 우선순위, 수행자의 업무 숙련도, 업무하중을 고려해서 업무를 할당할 수행자를 결정한다.



(그림 1) 선택적 분기 확률과 업무-수행자 할당 확률의 개념

(Figure 1) Probability concepts of OR-fork and activity-performer assignment

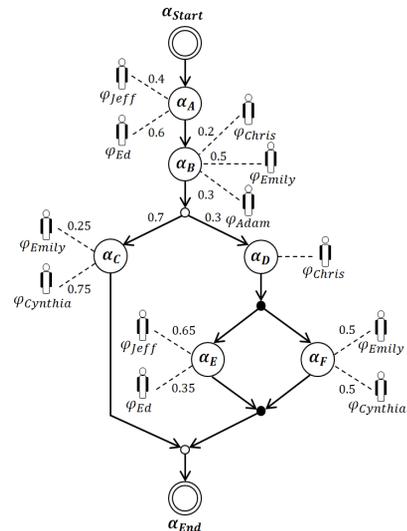
위의 그림 1은 선택적 분기와 업무-수행자 할당에 대한 확률을 각각 개념적으로 나타낸다. 선택적 분기 확률은 선행업무(α_0)에서 각각의 후행업무($\alpha_1, \dots, \alpha_n$)로 전이될 확률(p_1, \dots, p_n)을 각각 나타내며, 확률들의 총합은 1을 만족한다. 업무-수행자 할당 확률은 업무(α_0)가 각각의 수행자($\varphi_1, \dots, \varphi_m$)에게 할당되는 확률(p_1, \dots, p_m)을 나타내며, 마찬가지로 확률들의 총합은 1을 만족한다.

3.2 확률적 워크플로우 모델의 정형적 정의

본 논문에서 다루는 확률적 워크플로우 모델은 기존의 워크플로우 모델링 방법론인 정보제어넷(Information Control Net)[20]을 기반으로 한다. 기본적으로 정보제어넷에서 단위업무와 수행자간의 할당 관계는 수행자가 논리적 조직단위인 역할(role)에 소속되고, 그 역할이 단위 업무를 담당하는 형태로 형성된다. 하지만, 본 논문에서는 정형적 정의의 간결함을 위해 업무와 수행자가 직접적으로 할당되었다고 가정하였으며, 다음 그림 2는 확률적 워크플로우 모델의 예제를 시각적으로 나타낸다. 예

제 모델의 제어흐름은 6개의 단위업무($\alpha_A \sim \alpha_F$), 선택적 분기/결합 게이트웨이(\circ), 그리고 병렬적 분기/결합 게이트웨이(\bullet)로 구성되며, 총 6명의 수행자가 각각 담당하는 단위업무에 연결되어 있다.

선택적 분기란 앞서 설명했듯이, 하나의 선행업무가 다수의 후행업무를 가지며, 특정 분기조건에 의해 하나의 후행업무가 선택되어 워크플로우가 진행되는 기본적인 제어흐름 패턴이다. 예를 들어, 업무 α_B 는 선택적 분기 게이트웨이에 의해 업무 α_C 와 업무 α_D 로 제어흐름이 나뉘며, 워크플로우 실행 시점에 게이트웨이의 분기 조건에 의해 하나에 후행업무로 전이된다. 업무할당은 워크플로우 실행 시점에서 담당자로 명시된 수행자 그룹에서 하나의 수행자에게 업무를 할당하는 이벤트를 말한다. 예를 들어, 워크플로우 설계 시점에서 업무 α_B 를 담당할 수행자로 $\varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Adam}$ 을 배정했을 때, 워크플로우 실행 시점에서는 매번의 업무 케이스(또는 워크아이템)마다 이를 처리할 수행자를 3명의 수행자 그룹에서 선택하게 된다. 그러므로 선택적 분기와 업무할당의 개념에 확률을 추가하고, 이를 통해 확률적으로 수행자간의 업무전달 관계를 표현할 수 있다.



(그림 2) 확률적 워크플로우 모델 예제

(Figure 2) Example of stochastic workflow model

다음 [정의 1]은 확률적 워크플로우 모델에 대한 정형적 정의를 나타낸다. 여기서 확률 집합은 $P \in (0, 1]$ 와 같이 나타내며, 멱집합은 $\wp()$ 와 같이 나타낸다.

[정의 1] 확률적 워크플로우 모델, $\Lambda = [\text{function}(\delta, \gamma),$

$\text{set}(\mathbf{A}, \mathbf{C}, \mathbf{E}_t, \mathbf{E}_a)]$

- 단위업무 집합, $\mathbf{A} = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\};$
- 수행자 집합, $\mathbf{C} = \{\varphi_1, \dots, \varphi_m\};$
- 업무전이 간선 집합,
 $\mathbf{E}_t \subseteq (\mathbf{A} \times \mathbf{A}) = \{(\alpha_i, \alpha_j), 1 \leq i, j \leq n (i \neq j)\};$
- 업무할당 간선 집합,
 $\mathbf{E}_a \subseteq (\mathbf{A} \times \mathbf{C}) = \{(\alpha_i, \varphi_j), 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m\};$
- 업무전이 관계 함수, $\mathbf{f}: \delta = \delta_o \cup \delta_p;$
 - $\delta_o: \mathbf{A} \rightarrow \wp(\mathbf{A})$ 는 특정 단위업무와 그 단위업무에 후행하는 다수의 단위업무들과의 매칭을 정의한 다중값 함수이며, $\delta_p: \mathbf{E}_t \rightarrow \mathbf{P}$ 는 특정 선행업무와 후행업무로 구성되는 업무전이 간선과 이에 해당하는 확률간의 매칭을 정의한 단일값 함수이다.

• 업무할당 관계 함수, $\mathbf{f}: \gamma = \gamma_c \cup \gamma_p;$

- $\gamma_c: \mathbf{A} \rightarrow \wp(\mathbf{C})$ 는 특정 단위업무와 그 단위업무를 담당하는 다수의 수행자들과의 매칭을 정의한 다중값 함수이며, $\gamma_p: \mathbf{E}_a \rightarrow \mathbf{P}$ 는 특정 단위업무와 수행자로 구성되는 업무할당 간선과 이에 해당하는 확률간의 매칭을 정의한 단일값 함수이다.

아래 표 1은 확률적 워크플로우 모델의 정형적 정의 방법을 기반으로 그림 2의 예제 모델에 대한 정형 명세 결과를 나타낸 것이다. 업무전이 관계 함수(δ)를 통해 단위업무간의 선행행 관계와 이들간의 업무전이 확률을 정형적으로 명세할 수 있다. 또한 업무할당 관계 함수(γ)를 통해 단위업무와 이를 담당하는 수행자 할당 정보 및 이에 대한 확률을 정형적으로 명세할 수 있다.

(표 1) 확률적 워크플로우 모델의 정형적 표현

(Table 1) Formal representation of the stochastic workflow model

$\Lambda = [\text{function}(\delta, \gamma), \text{set}(\mathbf{A}, \mathbf{C}, \mathbf{E}_t, \mathbf{E}_a)]$	/* 확률적 워크플로우 모델	
$\mathbf{A} = \{\alpha_{start}, \alpha_A, \alpha_B, \alpha_C, \alpha_D, \alpha_E, \alpha_F, \alpha_{end}\}$	/* 단위업무 집합	
$\mathbf{C} = \{\varphi_{Jeff}, \varphi_{Ed}, \varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Adam}, \varphi_{Cynthia}\}$	/* 수행자 집합	
$\mathbf{E}_t = \{(\alpha_{start}, \alpha_A), (\alpha_A, \alpha_B), (\alpha_B, \alpha_C), (\alpha_B, \alpha_D), (\alpha_C, \alpha_{end}), (\alpha_D, \alpha_E), (\alpha_D, \alpha_F), (\alpha_E, \alpha_{end}), (\alpha_F, \alpha_{end})\}$	/* 업무전이 간선 집합	
$\mathbf{E}_a = \{(\alpha_A, \varphi_{Jeff}), (\alpha_A, \varphi_{Ed}), (\alpha_B, \varphi_{Chris}), (\alpha_B, \varphi_{Emily}), (\alpha_B, \varphi_{Adam}), (\alpha_B, \varphi_{Cynthia}), (\alpha_C, \varphi_{Emily}), (\alpha_C, \varphi_{Cynthia}), (\alpha_D, \varphi_{Chris}), (\alpha_E, \varphi_{Jeff}), (\alpha_E, \varphi_{Ed}), (\alpha_F, \varphi_{Emily}), (\alpha_F, \varphi_{Cynthia})\}$	/* 업무할당 간선 집합	
/* 업무전이 관계 함수	$\delta_o(\alpha_{start}) = \{\{\alpha_A\}\};$	$\delta_o(\alpha_A) = \{\{\alpha_B\}\};$
	$\delta_o(\alpha_B) = \{\{\alpha_C\}, \{\alpha_D\}\};$	$\delta_o(\alpha_C) = \{\{\alpha_{end}\}\};$
	$\delta_o(\alpha_D) = \{\{\alpha_E, \alpha_F\}\};$	$\delta_o(\alpha_E) = \{\{\alpha_{end}\}\};$
	$\delta_o(\alpha_F) = \{\{\alpha_{end}\}\};$	$\delta_o(\alpha_{end}) = \emptyset;$
	$\delta_p(\alpha_{start}, \alpha_A) = \{\{1\}\};$	$\delta_p(\alpha_A, \alpha_B) = \{\{1\}\};$
	$\delta_p(\alpha_B, \alpha_C) = \{\{0.7\}\};$	$\delta_p(\alpha_B, \alpha_D) = \{\{0.3\}\};$
	$\delta_p(\alpha_C, \alpha_{end}) = \{\{1\}\};$	$\delta_p(\alpha_D, \alpha_E) = \{\{1\}\};$
	$\delta_p(\alpha_D, \alpha_F) = \{\{1\}\};$	$\delta_p(\alpha_E, \alpha_{end}) = \{\{1\}\};$
	$\delta_p(\alpha_F, \alpha_{end}) = \{\{1\}\};$	
/* 업무할당 관계 함수	$\gamma_c(\alpha_{start}) = \emptyset;$	$\gamma_c(\alpha_A) = \{\{\varphi_{Jeff}\}, \{\varphi_{Ed}\}\};$
	$\gamma_c(\alpha_B) = \{\{\varphi_{Chris}\}, \{\varphi_{Emily}\}, \{\varphi_{Adam}\}\};$	$\gamma_c(\alpha_C) = \{\{\varphi_{Emily}\}, \{\varphi_{Cynthia}\}\};$
	$\gamma_c(\alpha_D) = \{\{\varphi_{Chris}\}\};$	$\gamma_c(\alpha_E) = \{\{\varphi_{Jeff}\}, \{\varphi_{Ed}\}\};$
	$\gamma_c(\alpha_F) = \{\{\varphi_{Emily}\}, \{\varphi_{Cynthia}\}\};$	$\gamma_c(\alpha_{end}) = \emptyset;$
	$\gamma_p(\alpha_A, \varphi_{Jeff}) = \{\{0.4\}\};$	$\gamma_p(\alpha_A, \varphi_{Ed}) = \{\{0.6\}\};$
	$\gamma_p(\alpha_B, \varphi_{Chris}) = \{\{0.2\}\};$	$\gamma_p(\alpha_B, \varphi_{Emily}) = \{\{0.5\}\};$
	$\gamma_p(\alpha_B, \varphi_{Adam}) = \{\{0.3\}\};$	$\gamma_p(\alpha_C, \varphi_{Emily}) = \{\{0.25\}\};$
	$\gamma_p(\alpha_C, \varphi_{Cynthia}) = \{\{0.75\}\};$	$\gamma_p(\alpha_D, \varphi_{Chris}) = \{\{1\}\};$
	$\gamma_p(\alpha_E, \varphi_{Jeff}) = \{\{0.65\}\};$	$\gamma_p(\alpha_E, \varphi_{Ed}) = \{\{0.35\}\};$
	$\gamma_p(\alpha_F, \varphi_{Emily}) = \{\{0.5\}\};$	$\gamma_p(\alpha_F, \varphi_{Cynthia}) = \{\{0.5\}\};$

4. 확률적 업무전달 관계 모델

본 장에서는 워크플로우의 업무 수행자들 사이에서 발생하는 업무전달 관계를 개념적으로 정의하고, 이를 확률적으로 표현하기 위한 업무전달 관계 모델을 정형적으로 정의한다. 또한 3장에서 정의한 확률적 워크플로우 모델로부터 확률적 업무전달 관계 모델을 추출하는 알고리즘에 대해서 설명한다.

4.1 업무전달 관계의 정의

본 논문에서 다루는 업무전달 관계는 선행수행자에서 후행수행자로 특정 업무를 전달하는 관계로 정의할 수 있다. 그러므로 이의 확률을 구하기 위해서는 업무간의 전이 관계, 특히 선택적 분기에 따른 확률과 업무와 수행자간의 할당 확률을 고려해야 한다. 그림 2의 예제에서 예를 들면, 단위업무 α_B 를 수행하는 φ_{Chris} 와 단위업무 α_C 를 수행하는 φ_{Emily} 의 경우, 이들간의 업무전달 관계는 업무 α_B 를 매개로 선행수행자 φ_{Chris} 와 후행수행자 φ_{Emily} 간의 연결 관계로 간주할 수 있다. 그러므로, 이들간의 업무전달 관계의 확률은 단위업무 α_B 에서 단위업무 α_C 로 선택적 분기가 발생할 확률(70%)과 단위업무 α_B 와 φ_{Chris} 간의 업무할당 확률(20%), 그리고 단위업무 α_C 와 φ_{Emily} 간의 업무할당 확률(25%)을 곱하여 3.5%의 확률이 된다. 결론적으로 업무전달 관계는 프로세스 경영 중심의 조직에서 구성원간의 업무 네트워크 구조를 분석할 때 가장 직관적으로 살펴볼 수 있는 소셜 네트워크 속성이다.

4.2 확률적 업무전달 관계 모델

확률적 업무전달 관계 모델은 수행자간의 업무전달 관계를 확률적으로 표현하는 모델로서, 방향성 그래프로서 앞서 정의한 확률적 워크플로우 모델과 마찬가지로 정보제어넷을 기반으로 다음과 같이 정의할 수 있다.

[정의 2] 확률적 업무전달 관계 모델,

$$M = [\text{function}(\chi), \text{set}(A, C, E_h)]$$

- 단위업무 집합, $A = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$;
- 수행자 집합, $C = \{\varphi_1, \dots, \varphi_m\}$;
- 업무전달 간선 집합,

$$E_h \subseteq (C \times C) = \{(\varphi_i, \varphi_j), 1 \leq i, j \leq m\};$$

- 업무전달 관계 함수, $f: \chi = \chi_c \cup \chi_p$;

- $\chi_c: C \rightarrow \wp(C)$ 는 특정 단위업무와 그 단위업무를 담당하는 다수의 수행자들과의 매칭을 정의한 다중값 함수이며, $\chi_p: E_h \rightarrow (A \times P)$ 는 특정 두 수행자로 구성되는 업무전달 간선과 이에 해당하는 확률간의 매칭을 정의한 단일값 함수이다.

4.3 추출 알고리즘

다음 표 2는 확률적 워크플로우 모델을 입력받아 확률적 업무전달 관계 모델을 출력으로 하는 추출 알고리즘을 나타낸다. 두 수행자간의 업무전달 관계의 확률은 알고리즘 라인 9와 같이 선행업무와 선행수행자간의 업무할당 확률, $\gamma_p(\alpha_i, \varphi_k)$, 선행업무와 후행업무간의 업무전이 확률, $\delta_p(\alpha_i, \alpha_j)$, 그리고 후행업무와 후행수행자간의 업무할당 확률, $\gamma_p(\alpha_j, \varphi_l)$ 을 모두 곱하여 구해진다. 다음 표 3은 그림 2의 확률적 워크플로우 모델 예제로부터 추출 알고리즘에 의해 발견된 확률적 업무전달 관계 모델의 정형 명세 결과를 나타낸다.

(표 2) 확률적 업무전달 관계 모델의 추출 알고리즘
(Table 2) Extraction algorithm of the stochastic work-handover relationship model

Algorithm 1 Stochastic Work-Handover Relationship Model Extraction	
Input	A Stochastic Workflow Model, $A = (\delta, \gamma)$;
Output	A Stochastic Work-Handover Relationship Model, $M = (\chi)$;
1:	BEGIN PROCEDURE
2:	FOR ($\forall \alpha_i \in A$) DO
3:	FOR ($\forall \alpha_j \in \delta_o(\alpha_i)$) DO
4:	IF ($(\gamma_c(\alpha_i) \neq \emptyset \text{ AND } \gamma_c(\alpha_j) \neq \emptyset) == \text{True}$) THEN
5:	FOR ($\forall \varphi_k \in \gamma_c(\alpha_i)$) DO
6:	FOR ($\forall \varphi_l \in \gamma_c(\alpha_j)$) DO
7:	$E_h \leftarrow E_h \cup (\varphi_k, \varphi_l)$;
8:	$\chi_c(\varphi_k) \leftarrow \chi_c(\varphi_k) \cup \varphi_l$;
9:	$prob \leftarrow \gamma_p(\alpha_i, \varphi_k) \times \delta_p(\alpha_i, \alpha_j) \times \gamma_p(\alpha_j, \varphi_l)$;
10:	$\chi_p(\varphi_k, \varphi_l) \leftarrow (\alpha_i, prob)$;
11:	END FOR
12:	END FOR
13:	ELSE
14:	continue;
15:	END FOR
16:	END FOR
17:	END PROCEDURE

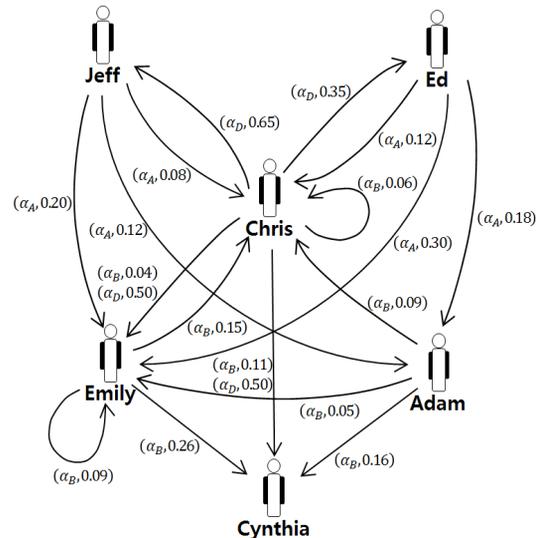
(표 3) 확률적 업무전달 관계 모델의 정형적 표현
(Table 3) Formal representation of the stochastic work-handover relationship model

$\Lambda = [\text{function}(\chi), \text{set}(\mathbf{A}, \mathbf{C}, \mathbf{E}_h)]$	/* 확률적 업무전달 관계 모델	
$\mathbf{A} = \{\alpha_{start}, \alpha_A, \alpha_B, \alpha_C, \alpha_D, \alpha_E, \alpha_F, \alpha_{end}\}$	/* 단위업무 집합	
$\mathbf{C} = \{\varphi_{Jeff}, \varphi_{Ed}, \varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Adam}, \varphi_{Cynthia}\}$	/* 수행자 집합	
$\mathbf{E}_h = \{(\varphi_{Jeff}, \varphi_{Chris}), (\varphi_{Jeff}, \varphi_{Emily}), (\varphi_{Jeff}, \varphi_{Adam}), (\varphi_{Ed}, \varphi_{Chris}),$ $(\varphi_{Ed}, \varphi_{Emily}), (\varphi_{Ed}, \varphi_{Adam}), (\varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}), (\varphi_{Chris}, \varphi_{Cynthia}), (\varphi_{Emily}, \varphi_{Emily}), (\varphi_{Emily}, \varphi_{Cynthia}),$ $(\varphi_{Adam}, \varphi_{Emily}), (\varphi_{Adam}, \varphi_{Cynthia}), (\varphi_{Chris}, \varphi_{Chris}), (\varphi_{Emily}, \varphi_{Chris}), (\varphi_{Adam}, \varphi_{Chris}), (\varphi_{Chris}, \varphi_{Jeff}),$ $(\varphi_{Chris}, \varphi_{Ed}), (\varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}), (\varphi_{Chris}, \varphi_{Cynthia})\}$	/* 업무전달 관계 간선 집합	
/* 업무전달 관계 함수 $\chi_c: C \rightarrow \wp(C)$	$\chi_c(\varphi_{Jeff}) = \{\{\varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Adam}\}\};$ $\chi_c(\varphi_{Chris}) = \{\{\varphi_{Jeff}, \varphi_{Ed}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Cynthia}, \varphi_{Chris}\}\};$ $\chi_c(\varphi_{Adam}) = \{\{\varphi_{Jeff}, \varphi_{Ed}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Cynthia}, \varphi_{Chris}\}\};$	$\chi_c(\varphi_{Ed}) = \{\{\varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Adam}\}\};$ $\chi_c(\varphi_{Emily}) = \{\{\varphi_{Jeff}, \varphi_{Ed}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Cynthia}, \varphi_{Chris}\}\};$ $\chi_c(\varphi_{Cynthia}) = \{\{\varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}, \varphi_{Adam}\}\};$
$\chi_p: \mathbf{E}_h \rightarrow (\mathbf{A} \times \mathbf{P})$	$\chi_p(\varphi_{Jeff}, \varphi_{Chris}) = \{\{\alpha_A, 0.08\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Jeff}, \varphi_{Adam}) = \{\{\alpha_A, 0.12\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Ed}, \varphi_{Emily}) = \{\{\alpha_A, 0.3\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Chris}, \varphi_{Emily}) = \{\{\alpha_B, 0.035\}, \{\alpha_D, 0.5\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Emily}, \varphi_{Emily}) = \{\{\alpha_B, 0.088\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Adam}, \varphi_{Emily}) = \{\{\alpha_B, 0.053\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Chris}, \varphi_{Chris}) = \{\{\alpha_B, 0.06\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Adam}, \varphi_{Chris}) = \{\{\alpha_B, 0.09\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Chris}, \varphi_{Ed}) = \{\{\alpha_D, 0.35\}\};$	$\chi_p(\varphi_{Jeff}, \varphi_{Emily}) = \{\{\alpha_A, 0.2\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Ed}, \varphi_{Chris}) = \{\{\alpha_A, 0.12\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Ed}, \varphi_{Adam}) = \{\{\alpha_A, 0.18\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Chris}, \varphi_{Cynthia}) = \{\{\alpha_B, 0.105\}, \{\alpha_D, 0.5\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Emily}, \varphi_{Cynthia}) = \{\{\alpha_B, 0.263\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Adam}, \varphi_{Cynthia}) = \{\{\alpha_B, 0.158\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Emily}, \varphi_{Chris}) = \{\{\alpha_B, 0.15\}\};$ $\chi_p(\varphi_{Chris}, \varphi_{Jeff}) = \{\{\alpha_D, 0.65\}\};$

위의 확률적 업무전달 관계 모델에 대한 명세 결과를 통해, 6명의 수행자 그룹 내에서 6개의 단위업무를 매개로 하여 총 19개의 업무전달 관계가 발생한 것을 알 수 있다. 확률적 업무전달 관계 모델에서는 워크플로우의 특징으로 인해 특정 두 수행자 사이에는 다수의 업무전달 관계가 존재할 수 있으며, 또한 특정 단일 수행자가 자기 자신으로 업무전달 관계가 발생하는 것이 가능하다. 기본적으로 확률적 업무전달 관계 모델은 방향성 그래프로 나타낼 수 있으며, 이에 대한 시각적 표기는 다음과 같은 규칙을 준수한다.

- 확률적 업무전달 관계 모델을 구성하는 각각의 노드는 수행자이며, 노드들을 연결하는 간선하는 수행자간의 업무전달 관계를 나타낸다.
- 두 수행자를 연결하는 간선은 선행수행자에서 후행수행자로 이어지는 방향성 간선(directed edge)이며, 두 수행자 사이의 업무전달 관계를 나타낸다. 그러므로 간선 위에는 업무전달 관계를 매개하는 단위업무와 업무전달 확률을 표시한다.
- 두 수행자 사이에는 다수의 간선이 존재할 수 있으며, 시각적 편의를 위해 하나의 간선으로 나타낸다.
- 한 명의 수행자는 선행업무와 후행업무에 모두 참여할 수 있으므로, 자기전이(self-transition)가 발생할 수 있다. 아래 그림 3은 그림 2의 확률적 워크플로우 모델로부터

터 표 2의 추출 알고리즘에 의해 최종적으로 발견된 수행자간의 확률적 업무전달 관계 모델을 시각적으로 나타낸 것이다.



(그림 3) 추출된 확률적 업무전달 관계 모델
(Figure 3) Extracted stochastic work-handover relationship model

5. 결 론

업무전달 관계는 프로세스 경영 중심의 조직에서 구성원 그룹 내에서 발생하는 대표적인 워크플로우 기반 소셜 네트워크 속성이다. 본 논문에서는 이러한 업무전달 관계를 확률적으로 표현하기 위한 모델을 제안하였다. 또한 기존의 제어흐름 중심의 확률적 워크플로우 모델로부터 확률적 업무전달 관계 모델을 추출하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 기존의 제어흐름 관점에 한정되었던 워크플로우 분석 및 예측 결과를 보완하고 자원 관점의 새로운 분석 활동을 가능케 할 것으로 기대한다.

참 고 문 헌 (Reference)

- [1] S. Huh, "Overview of Business Intelligence Concept," *Communications of Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 21, No. 10, pp. 5-11, 2003.
- [2] W. M. P. van der Aalst, *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Process*, Springer, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-19345-3>
- [3] M. Park, K. Kim, "Control-path Oriented Workflow Intelligence Analyses," *Information Science and Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp. 343-359, 2008.
http://www.iis.sinica.edu.tw/page/jise/2008/200803_02.html
- [4] M. Laguna, J. Marklund, *Business Process Modeling, Simulation, and Design*, Pearson Prentice Hall, 2005.
- [5] S.-H. Rhee, N. W. Cho, H. Bae, "Increasing the Efficiency of Business Processes Using a Theory of Constraints," *Information Systems Frontiers*, Vol. 12, No. 4, pp. 443-455, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10796-008-9145-9>
- [6] F. Bause, P. S. Kritzinger, *Stochastic Petri Nets*, second ed., Vieweg, 2002.
- [7] H. Hermanns, U. Herzog, J.-P. Katoen, "Process Algebra for performance evaluation," *Theoretical Computer Science*, Vol. 274, pp. 43-87, 1998.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3975\(00\)00305-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3975(00)00305-4)
- [8] K. R. Braghetto, J. E. Ferreira, J. M. Vincent, "From Business Process Model and Notation to Stochastic Automata Network," Technical Report (RT-MAC-2011-03), University of Sao Paulo, 2011.
- [9] C. A. Ellis, et al., "Investigations on Stochastic Information Control Nets," *Information Sciences*, Vol. 194, pp. 120-137, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2011.07.031>
- [10] W. M. P. van der Aalst, A. K. Alves de Medeiros, A. J. M. M. Weijters, "Process Equivalence: Comparing Two Process Models Based on Observed Behavior," *Lecture Notes in Computer Science (Business Process Management)*, Vol. 4102, pp. 129-144, 2006.
http://dx.doi.org/10.1007/11841760_10
- [11] K. Kang, H. Yim, *Business Process Management*, Sungandang, 2008.
- [12] W. M. P. van der Aalst, H. A. Reijers, M. Song, "Discovering Social Networks from Event Logs," *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, Vol. 14, pp. 549-593, 2005.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10606-005-9005-9>
- [13] K. Kim, "A Workflow-based Social Network Intelligence Discovery Algorithm," *Journal of Korean Society for Internet Information*, Vol. 13, No. 2, pp. 73-86, 2012.
<http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2012.13.2.73>
- [14] J. Song, et al., "A Framework: Workflow-based Social Network Discovery and Analysis," *Proceedings of the 13th International Conference on Computational Science and Engineering*, pp. 421-426, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1109/CSE.2010.74>
- [15] OMG, *Business Process Modeling and Notation (BPMN) Specification 2.0*, 2009.
<http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>
- [16] K. R. Braghetto, J. E. Ferreira, J. M. Vincent, "Performance Evaluation of Resource-Aware Business Process Using Stochastic Automata Networks," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 8, No. 7(B), pp. 5295-5316, 2012.
- [17] S. Lin, et al., "Effective Team Formation in Workflow Process Context," *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Cloud and Green Computing*, pp. 508-513, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1109/CGC.2013.85>
- [10] K. Kim, C. A. Ellis, "ICN-based Workflow Model and Its Advances," *Handbook of Research on Business Process Modeling*, pp. 34-54, 2009.
<http://dx.doi.org/10.4018/978-1-60566-288-6.ch007>

● 저 자 소개 ●



안 현 (Hyun Ahn)

2011년 경기대학교 컴퓨터과학과(학사)
2013년 경기대학교 일반대학원 컴퓨터과학과(석사)
2013년~현재 경기대학교 일반대학원 컴퓨터과학과(박사 과정)
관심분야 : 워크플로우/BPM, 비즈니스 프로세스 인텔리전스
E-mail : hahn@kgu.ac.kr



김 광 훈 (Kwanghoon Kim)

1984년 경기대학교 전자계산학과(학사)
1986년 중앙대학교 전자계산학과(석사)
1994년 University of Colorado at Boulder 대학원 컴퓨터과학과(석사)
1998년 University of Colorado at Boulder 대학원 컴퓨터과학과(박사)
1998년~현재 경기대학교 컴퓨터과학과 교수
관심분야 : 워크플로우/BPM, RFID/USN 미들웨어, Collaboration Technology
E-mail : kwang@kgu.ac.kr