

워크플로우 기반 인적 자원 소속성 분석을 위한 업무수행자 이분 행렬 생성 알고리즘[☆]

An Activity-Performer Bipartite Matrix Generation Algorithm for Analyzing Workflow-supported Human-Resource Affiliations

안 현¹ 김 광 훈^{1*}
Hyun Ahn Kwanghoon Kim

요 약

본 논문에서는 워크플로우 기반 인적 자원의 소속성 분석을 위한 업무수행자 이분 행렬 생성 알고리즘을 제안한다. 워크플로우 기반 인적 자원은 워크플로우 관리 시스템에 의해 관리되는 조직의 모든 수행자들을 말하며, 워크플로우 모델의 실행 과정에서 특정 업무 집합에 참여하게 된다. 이러한 워크플로우 모델에 정의된 수행자들과 업무들과의 소속성을 나타내는 소셜 네트워크를 업무수행자 소속성 네트워크라 정의하였으며, 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 워크플로우 모델로부터 발견된 업무수행자 소속성 네트워크 모델(APANM)에 대한 이분 행렬을 생성하기 위한 알고리즘이다. 결론적으로, 알고리즘에 의해 생성된 업무수행자 이분 행렬은 중심성(centrality), 밀집도(density), 상관 관계(correlation)와 같은 다양한 소셜 네트워크 관련 속성들을 분석하는데 적용될 수 있으며, 이를 통해 워크플로우 기반 인적 자원의 소속성에 대한 유용한 지식을 획득할 수 있다.

주제어 : 워크플로우, ICN 워크플로우 모델, 비즈니스 프로세스 인텔리전스, 소속성 네트워크

ABSTRACT

In this paper, we propose an activity-performer bipartite matrix generation algorithm for analyzing workflow-supported human-resource affiliations in a workflow model. The workflow-supported human-resource means that all performers of the organization managed by a workflow management system have to be affiliated with a certain set of activities in enacting the corresponding workflow model. We define an activity-performer affiliation network model that is a special type of social networks representing affiliation relationships between a group of performers and a group of activities in workflow models. The algorithm proposed in this paper generates a bipartite matrix from the activity-performer affiliation network model(APANM). Eventually, the generated activity-performer bipartite matrix can be used to analyze social network properties such as, centrality, density, and correlation, and to enable the organization to obtain the workflow-supported human-resource affiliations knowledge.

☞ keyword : Workflow, ICN Workflow Model, Business Process Intelligence, Affiliation Network

1. 서 론

워크플로우 관리 시스템(Workflow Management System)이란 조직 내에서 운용되는 모든 비즈니스 프로세스들과 그에 관련된 인적 자원 및 관련 데이터, 업무 응용 프로그램 등을 통합하여 관리해주며, 사전에 정의된 비즈니스 프로세스의 흐름에 맞게 모든 업무 처리에 대한 자동화

를 지원하는 시스템을 말한다[1]. 비즈니스 프로세스 수행을 워크플로우 관리 시스템에 의해 자동화하기 위해서는 개념적 수준의 비즈니스 프로세스를 모델링 틀을 통해 워크플로우 모델의 형태로 명세해야 하는데, 여기서 워크플로우 모델을 구성하는 기본 엔티티 유형으로는 단위 업무(activity), 역할, 수행자, 데이터 저장소, 호출 애플리케이션 등이 있다. 즉, 워크플로우 모델이 내포하고 있는 정의 정보는 업무 정의 정보 외에도 그와 연관된 엔티티 유형간의 할당 정보를 포함하고 있으므로, 여러 관점에서 워크플로우 모델을 분석할 수 있다. 특히 조직 관점에서 워크플로우 모델은 인적 자원 그룹의 업무 패턴, 이들간의 소셜 네트워크, 협업 관계 등을 반영하기 때문에, 이러한 관점에서 비추어 볼 때, 워크플로우 관리 시스템

¹ Department of Computer Science, Kyonggi University, Gyeonggi-do, 443-760, Korea

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

[Received 23 January 2013, Reviewed 4 February 2013, Accepted 21 March 2013]

[☆] 본 연구는 한국연구재단에서 지원하는 2012년도 기초연구사업(No. 2012006971)의 연구수행으로 인한 결과물임.

은 사람 중심의 시스템이라고 볼 수 있다.

최근에는 여러 산업 방면에서의 빠른 워크플로우 관리 시스템의 도입과 함께 이에 관련된 기술들에 대한 관심이 고조되고 있는데, 비즈니스 프로세스 인텔리전스(Business Process Intelligence)기술은 이러한 워크플로우 관련 기술의 핵심 연구 분야중 하나로써 비즈니스 프로세스(워크플로우 모델)를 대상으로 분석을 실시함으로써, 이와 관련된 데이터를 발견 및 재발견하고, 이것을 가공하여 조직의 비즈니스 활동에 유용한 지식으로 제공해줌으로써, 조직의 지속적인 비즈니스 프로세스 개선 활동을 지원하기 위한 기술이다[6,16]. 워크플로우 분야에서 BPI기술의 연구 범위는 정의 시점의 워크플로우 모델 또는 실행 시점의 로그 데이터로부터 워크플로우 관련 지식을 발견하는 워크플로우 발견/재발견 또는 워크플로우 마이닝 기술을 포함한다[8,10-12,15].

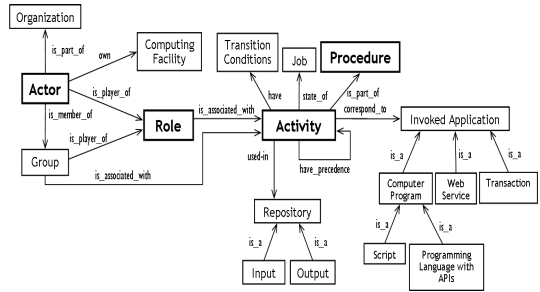
결론적으로 BPI기술은 최근에 대부분의 조직에서 발생하고 있는 비즈니스 프로세스 절차의 복잡화, 그리고 규모의 비대화에 따른 워크플로우 모델링 시점에서의 복잡성 증가와 워크플로우 모델에 대한 효과적인 검증의 어려움을 해결하며, 방대한 규모의 로그 데이터로부터 가치있는 워크플로우 관련 지식을 발견하기 위한 방법으로, 최근 워크플로우 관련 연구 분야로서 그 중요성이 높아지고 있다. 그러나 기존의 많은 BPI 관련 연구들이 분석의 대상을 워크플로우의 업무 또는 구조(제어 흐름) 측면에 한정되어 진행되었으며, 이는 실질적으로 업무를 수행하는 워크플로우 기반 인적 자원에 관련된 지식을 획득하기에 많은 제한점을 가지고 있다.

이에 본 논문에서는 기존의 업무 관점이 아닌 사람 관점으로 워크플로우 모델을 분석하고 인적 자원에 관련된 지식을 효과적으로 획득하기 위해 워크플로우 기반 조직에서 운용되는 업무들과 이를 수행하는 인적 자원간의 소속 관계를 나타내는 업무-수행자 소속성 네트워크 모델(Activity-Performer Affiliation Network Model, 이하 APANM)을 발견하고, 이것을 이분 행렬의 형태로 표현하기 위한 생성 알고리즘에 대하여 기술한다. 업무-수행자 이분 행렬은 발견된 APANM으로부터 본 논문에서 제안하는 이분 행렬 생성 알고리즘을 통해 생성되며, 이를 바탕으로 다양한 중심도(centrality)분석 기법과 대응 분석(correspondence analysis)기법을 적용하여 워크플로우 기반 인적 자원의 소속성에 대한 지식을 발견할 수 있다.

2. ICN 워크플로우 모델

ICN(Information Control Nets) 워크플로우 모델[2,7]은 본 논문의 배경 이론으로써 프로세스를 정형적, 가시적으로 명세하기 위한 전통적인 방법론이다. 비즈니스 프로세스 또한 ICN을 기반으로 모델링 할 수 있으며, 이를 ICN 워크플로우 모델이라 정의한다.

ICN 워크플로우 모델은 워크플로우를 명세하는데 필수적으로 요구되는 엔티티들과 이들간의 상호 관계를 나타내는 워크플로우 메타 모델[7]을 기반으로 한다. (그림 1)은 워크플로우 메타 모델을 나타내는데, 여기서 워크플로우 모델을 구성하는 필수 엔티티들은 워크플로우 프로시저, 단위 업무(액티비티), 역할, 수행자, 연관 데이터, 천이 조건, 호출 프로그램 등이 있다.



(그림 1) 워크플로우 메타 모델
(Figure 1) The workflow meta-model

위의 워크플로우 메타 모델을 바탕으로 워크플로우 모델을 $\Gamma = (\delta, \rho, \gamma, \lambda, \epsilon, \pi, \kappa, \mathbf{I}, \mathbf{O})$ 와 같이 9개의 튜플로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 워크플로우 모델의 단위 업무와 역할간의 할당 관계와 역할과 수행자간의 할당 관계를 통해 업무-수행자 소속성 네트워크를 발견하는 과정을 다루므로, ICN 워크플로우 모델에서 단위 업무와 조직 단위(역할, 수행자)와의 할당 정보를 나타내는 조직 관점의 ICN 워크플로우 모델에 대해서 정의하였다. 여기서 \mathbf{A} 는 단위 업무들의 집합이며, \mathbf{R} 은 역할들의 집합, \mathbf{P} 는 수행자들의 집합을 나타낸다.

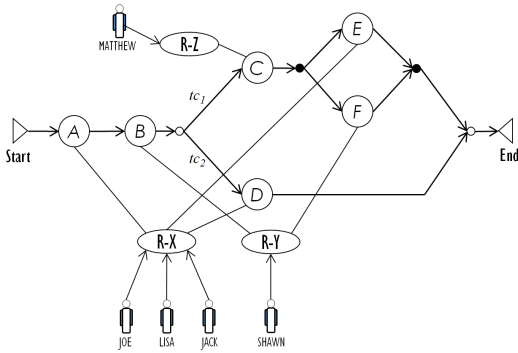
[정의 1] 조직 관점의 ICN 워크플로우 모델의 정의 $\Gamma_{\mathbf{R}} = [\text{function}(\epsilon, \pi), \text{set}(\mathbf{A}, \mathbf{R}, \mathbf{P})]$

- 단위 업무들의 집합, $\mathbf{A} = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$;
- 역할들의 집합, $\mathbf{R} = \{v_1, \dots, v_m\}$;
- 수행자들의 집합, $\mathbf{P} = \{\phi_1, \dots, \phi_k\}$;

- $\epsilon = \epsilon_r \cup \epsilon_a$ /* 단위 업무와 역할간 할당 함수 */
- $\epsilon_r : A \rightarrow R$ 은 특정 단위 업무와 그 단위 업무의 실행을 담당하는 하나의 역할과의 매칭을 정의한 단일 값 함수이며, $\epsilon_a : R \rightarrow A$ 는 특정 역할과 그 역할이 담당하는 다수의 단위 업무와의 매칭을 정의한 다중 값 함수이다.
- $\pi = \pi_c \cup \pi_r$ /* 역할과 수행자간 할당 함수 */
- $\pi_c : R \rightarrow P$ 은 특정 역할과 그 역할에 배정된 다수의 수행자와의 매칭을 정의한 다중 값 함수이며, $\pi_r : P \rightarrow R$ 는 특정 수행자와 그 수행자가 속한 다수의 역할과의 매칭을 정의한 다중 값 함수이다.

- $\epsilon_r(\alpha_{start}) = \{\emptyset\}; \epsilon_r(\alpha_A) = \{v_{R-X}\};$
- $\epsilon_r(\alpha_B) = \{v_{R-Y}\}; \epsilon_r(\alpha_C) = \{v_{R-Z}\};$
- $\epsilon_r(\alpha_D) = \{v_{R-X}\}; \epsilon_r(\alpha_E) = \{v_{R-X}\};$
- $\epsilon_r(\alpha_F) = \{v_{R-Y}\}; \epsilon_r(\alpha_{end}) = \{\emptyset\};$
- $\epsilon_a(v_{R-X}) = \{\alpha_A, \alpha_D, \alpha_E\};$
- $\epsilon_a(v_{R-Y}) = \{\alpha_B, \alpha_F\};$
- $\epsilon_a(v_{R-Z}) = \{\alpha_C\};$

- 역할과 수행자간 할당 관계의 정형적 표현, $\pi = \pi_c \cup \pi_r$,
- $\pi_c(v_{R-X}) = \{\phi_{joe}, \phi_{lisa}, \phi_{jack}\};$
- $\pi_c(v_{R-Y}) = \{\phi_{shawn}\};$
- $\pi_c(v_{R-Z}) = \{\phi_{matthew}\};$
- $\pi_r(\phi_{joe}) = \{v_{R-X}\}; \pi_r(\phi_{lisa}) = \{v_{R-X}\};$
- $\pi_r(\phi_{jack}) = \{v_{R-X}\}; \pi_r(\phi_{shawn}) = \{v_{R-Y}\};$
- $\pi_r(\phi_{matthew}) = \{v_{R-Z}\};$



(그림 2) ICN 워크플로우 모델 예제의 가시적 표현
(Figure 2) Graphical representation of the ICN-based workflow model

위와 같은 조직 관점의 ICN 워크플로우 모델의 정의 원리에 따라 본 논문의 예제로서, 위의 (그림 2)와 같이 가시적 표현 방법으로 정의된 ICN 워크플로우 모델 예제를 단위 업무와 역할간의 할당 관계와 역할과 수행자간의 할당 관계를 나타내는 조직 관점의 ICN 워크플로우 모델(Γ_R)로 정형적으로 표현하였다. 위와 같은 조직 관점의 ICN 워크플로우 모델의 정의 원리에 따라 본 논문의 예제로서, 위의 (그림 2)와 같이 가시적 표현 방법으로 정의된 ICN 워크플로우 모델 예제를 단위 업무와 역할간 할당 관계와 역할과 수행자간 할당 관계를 나타내는 조직 관점의 ICN 워크플로우 모델(Γ_R)로 정형적으로 표현하였다.

- 단위 업무와 역할간 할당 관계의 정형적 표현, $\epsilon = \epsilon_r \cup \epsilon_a$

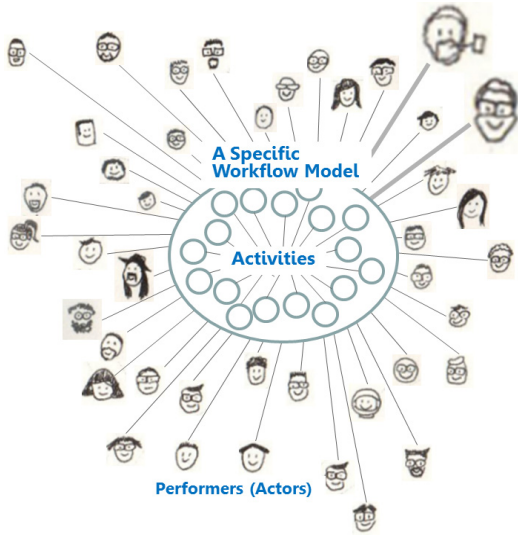
3. 업무-수행자 소속성 네트워크 발견 알고리즘

본 장에서는 ICN 워크플로우 모델로부터 발견되는 업무-수행자 소속성 네트워크 모델(APANM)에 대한 정형적 정의와 이를 발견하기 위한 알고리즘에 대하여 설명한다. 업무-수행자 소속성 네트워크 발견 알고리즘은 앞서 정의한 ICN 워크플로우 모델에서 단위 업무와 역할간 할당 관계, 역할과 수행자간 할당 관계의 정의를 포함하는 조직 관점의 ICN 워크플로우 모델을 입력으로 하며, 출력 형태는 업무와 수행자간 소속 관계를 나타내는 APANM이다.

3.1 업무-수행자 소속성 네트워크 모델 정의

앞서 정의했듯이, ICN 워크플로우 모델의 제어 흐름은 일련의 단위 업무들과 그들간의 실행 순서를 통해 정의되며, 실질적인 단위 업무들의 실행은 각 단위 업무를 담당하는 역할(role)과 그 역할에 속한 수행자들에 의해 수행된다. 아래 (그림 3)은 특정 워크플로우 모델의 단위 업무들과 이를 수행하는 수행자들과의 할당 관계를 나타낸 것이다.

업무-수행자 소속성 네트워크는 워크플로우 모델에 정의된 단위 업무들과 수행자들과의 소속 관계를 나타내는 소셜 네트워크라고 정의할 수 있다[4,5,15,18]. 이에 대한 모델인 APANM은 정형적으로 $A = (\sigma, \psi)$ 와 같이 2



(그림 3) 워크플로우 기반의 업무-수행자 소속 지식
(Figure 3) The workflow-based activity-performer affiliation knowledge

개의 튜플로 표현되며, 각각의 정의는 다음과 같다. 여기서 \mathbf{A} 는 단위 업무들의 집합이고, \mathbf{P} 는 수행자들의 집합, \mathbf{V} 는 링크 강도치의 집합, $\mathbf{E_p}$ 는 수행자와 단위 업무간의 링크 집합, $\mathbf{E_a}$ 는 단위 업무와 수행자간의 링크 집합을 말한다.

[정의 2] 업무-수행자 소속성 네트워크 모델(APANM)의 정의 $\Lambda = [\text{function}(\sigma, \psi), \text{set}(\mathbf{A}, \mathbf{P}, \mathbf{V}, \mathbf{E_p}, \mathbf{E_a})]$

- 단위 업무들의 집합, $\mathbf{A} = \{ \alpha_1, \dots, \alpha_n \}$;
- 수행자들의 집합, $\mathbf{P} = \{ \phi_1, \dots, \phi_k \}$;
- 링크강도치의 집합, \mathbf{V} ;
- 수행자와 단위 업무간의 링크 집합, $\mathbf{E_p} = \mathbf{P} \times \mathbf{A} = \{ (\phi_i, \alpha_j), 1 \leq j \leq n; 1 \leq i \leq k \}$;
- 단위 업무와 수행자간의 링크 집합, $\mathbf{E_a} = \mathbf{A} \times \mathbf{P} = \{ (\alpha_i, \phi_j), 1 \leq i \leq n; 1 \leq j \leq k \}$;
- $\sigma = \sigma_p \cup \sigma_v$ /* 업무 소속 관계 함수 */
 - $\sigma_p : \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{A}$ 는 특정 수행자와 그 수행자가 소속된 다수의 단위 업무와의 매칭을 정의한 다중 값 함수이며, $\sigma_v : \mathbf{E_p} \rightarrow \mathbf{V}$ 는 특정 수행자와 그 수행자가 소속된 특정 단위 업무 쌍 (ϕ_i, α_j) 과 그에 대한 링크 강도치와의 매칭을 정의한 단일 값 함수이다.
- $\psi = \psi_a \cup \psi_v$ /* 수행자 참여 관계 함수 */

- $\psi_a : \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{P}$ 는 특정 단위 업무와 그 단위 업무에 참여하는 다수의 수행자와의 매칭을 정의한 다중 값 함수이며, $\psi_v : \mathbf{E_a} \rightarrow \mathbf{V}$ 는 특정 단위 업무와 그 단위 업무에 참여하는 특정 수행자 쌍 (α_i, ϕ_j) 과 그에 대한 링크 강도치와의 매칭을 정의한 단일 값 함수이다.

APANM에서 단위 업무와 수행자간의 연결 강도는 그들의 링크 강도치 값에 의해 측정된다. 그러므로 업무-수행자 소속성 네트워크 모델은 링크 강도치의 종류에 따라 이진(binary) 업무-수행자 소속성 네트워크 모델, 가중(valued) 업무-수행자 소속성 네트워크 모델로 나뉘어진다. 이진 업무-수행자 소속성 네트워크 모델의 경우 단위 업무와 수행자간의 연결 강도는 0 또는 1의 이진 값을 가지며, 가중 업무-수행자 소속성 네트워크 모델은 확률, 강도, 빈도 등등의 다양한 형태의 가중 값을 적용할 수 있다. APANM에 대한 가시적 표기법은 수행자를 정육각형으로, 단위 업무는 원으로 표기하며, 그들간의 소속 링크는 직선 또는 곡선의 화살표로 표기한다. 그리고 수행자와 단위 업무의 소속 링크상에는 각 소속 관계의 강도를 나타내는 링크 강도치를 위치시킬 수 있다.

3.2 업무-수행자 소속성 네트워크 발견 알고리즘

ICN 워크플로우 모델로부터 업무-수행자 소속성 네트워크를 발견하는 알고리즘은 다음의 (그림 4)와 같다. 발견 알고리즘의 입력은 ICN 워크플로우 모델이며, 최종 수행 결과인 출력은 발견된 업무-수행자 소속성 네트워크 모델(Λ)이다. 이 발견 알고리즘에 의해 발견되는 지식은 수행자의 업무 소속 지식과 단위 업무의 수행자 참여 지식으로 구성된다. 결과적으로, (그림 4)에서 제안한 알고리즘의 시간복잡성은 $O(N+M)$ 이며, 여기서 N 은 입력 워크플로우 모델을 구성하는 단위 업무의 수, M 은 입력 워크플로우 모델에 할당된 수행자의 수를 의미한다.

본 논문에서 제안하는 발견 알고리즘은 이진 업무-수행자 소속성 네트워크 발견에 대한 알고리즘이다. 그러므로 단위 업무와 수행자간의 소속 링크는 0 또는 1의 값을 가진다. (그림 2)의 ICN 워크플로우 모델에 업무-수행자 소속성 네트워크 발견 알고리즘을 적용한 결과, 생성된 업무-수행자 소속성 네트워크 모델의 정형적 표현은 다음과 같다.

Activity-Performer Affiliation Network Discovery Algorithm:

Input An ICN-based Workflow Model, $I' = (\sigma, \rho, \gamma, \lambda, \varepsilon, \pi, \kappa, \mathbf{I}, \mathbf{O})$; /* ICN 워크플로우 모델 */
Output An Activity-Performer Affiliation Network Model, $A = (\sigma, \psi, S)$; /* 업무-수행자 소속성 네트워크 모델 */
Begin Procedure
 /* $\sigma = \sigma_p \cup \sigma_v$: 업무 소속 관계 함수에 의한 업무 소속 지식 및 링크 강도치 발견 */
For ($\forall \varphi \in C(\text{performer} - \text{set})$) **Do** /* 여기서, φ 는 수행자, P 는 수행자의 집합이다. */
 Begin
 Add all members of $(\varepsilon_a(\pi_p(\varphi)))$ **To** $\sigma_p(\varphi)$;
 Add "weight - value $\leftarrow 1$ " **To** $\sigma_v(\text{all edges of } (\varphi, \sigma_p(\varphi)))$;
 End
 /* $\psi = \psi_a \cup \psi_v$: 수행자 참여 관계 함수에 의한 수행자 참여 지식 및 링크 강도치 발견 */
For ($\forall \alpha \in A(\text{activity} - \text{set})$) **Do** /* 여기서, α 는 단위 업무, A 는 단위 업무의 집합이다. */
 Begin
 Add all members of $(\pi_c(\varepsilon_p(\alpha)))$ **To** $\psi_a(\alpha)$;
 Add "weight - value $\leftarrow 1$ " **To** $\psi_v(\text{all edges of } (\alpha, \psi_a(\alpha)))$;
 End
End Procedure

(그림 4) 업무-수행자 소속성 네트워크 발견 알고리즘

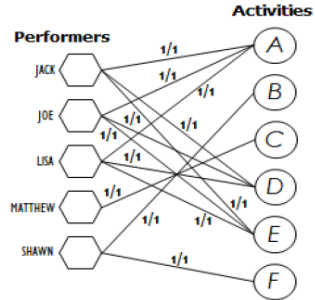
(Figure 4) Activity-Performer affiliation network discovery algorithm

- 업무 소속 지식, $\sigma = \sigma_p \cup \sigma_v$
 - $\sigma_p(\phi_{joe}) = \{\alpha_A, \alpha_D, \alpha_E\}$;
 - $\sigma_v(\phi_{joe}, \alpha_A) = \{1\}$; $\sigma_v(\phi_{joe}, \alpha_D) = \{1\}$;
 - $\sigma_v(\phi_{joe}, \alpha_E) = \{1\}$;
 - $\sigma_p(\phi_{lisa}) = \{\alpha_A, \alpha_D, \alpha_E\}$;
 - $\sigma_v(\phi_{lisa}, \alpha_A) = \{1\}$; $\sigma_v(\phi_{lisa}, \alpha_D) = \{1\}$;
 - $\sigma_v(\phi_{lisa}, \alpha_E) = \{1\}$;
 - $\sigma_p(\phi_{jack}) = \{\alpha_A, \alpha_D, \alpha_E\}$;
 - $\sigma_v(\phi_{jack}, \alpha_A) = \{1\}$; $\sigma_v(\phi_{jack}, \alpha_D) = \{1\}$;
 - $\sigma_v(\phi_{jack}, \alpha_E) = \{1\}$;
 - $\sigma_p(\phi_{shawn}) = \{\alpha_B, \alpha_F\}$;
 - $\sigma_v(\phi_{shawn}, \alpha_B) = \{1\}$; $\sigma_v(\phi_{shawn}, \alpha_F) = \{1\}$;
 - $\sigma_p(\phi_{matthew}) = \{\alpha_C\}$;
 - $\sigma_v(\phi_{matthew}, \alpha_C) = \{1\}$;

- $\psi_a(\alpha_E) = \{\phi_{joe}, \phi_{lisa}, \phi_{jack}\}$;
- $\psi_v(\alpha_E, \phi_{joe}) = \{1\}$; $\psi_v(\alpha_E, \phi_{lisa}) = \{1\}$;
- $\psi_v(\alpha_E, \phi_{jack}) = \{1\}$;
- $\psi_a(\alpha_F) = \{\phi_{shawn}\}$;
- $\psi_v(\alpha_F, \phi_{shawn}) = \{1\}$;

발견된 APANM의 정형 표현에서 수행자의 업무 소속 지식($\sigma = \sigma_p \cup \sigma_v$)은 특정 수행자가 참여(소속)하는 단위 업무들을 나타내며, 단위 업무의 수행자 참여 지식($\psi = \psi_a \cup \psi_v$)은 특정 단위 업무에 참여하는 수행자들을 나타낸다. 결국 두 가지 속성간의 소속 관계를 나타내는 소속성 네트워크의 특성에 따라, APANM 또한 수행자 관점의 소속성 관련 지식과 단위 업무 관점의 소속성 관련 지식을 가진다. 아래 (그림 5)는 발견 알고리즘을 통해 추출된 APANM에 대한 가시적 표현이다.

- 수행자 참여 지식, $\psi = \psi_a \cup \psi_v$
 - $\psi_a(\alpha_A) = \{\phi_{joe}, \phi_{lisa}, \phi_{jack}\}$;
 - $\psi_v(\alpha_A, \phi_{joe}) = \{1\}$; $\psi_v(\alpha_A, \phi_{lisa}) = \{1\}$;
 - $\psi_v(\alpha_A, \phi_{jack}) = \{1\}$;
 - $\psi_a(\alpha_B) = \{\phi_{shawn}\}$;
 - $\psi_v(\alpha_B, \phi_{shawn}) = \{1\}$;
 - $\psi_a(\alpha_C) = \{\phi_{matthew}\}$;
 - $\psi_v(\alpha_C, \phi_{matthew}) = \{1\}$;
 - $\psi_a(\alpha_D) = \{\phi_{joe}, \phi_{lisa}, \phi_{jack}\}$;
 - $\psi_v(\alpha_D, \phi_{joe}) = \{1\}$; $\psi_v(\alpha_D, \phi_{lisa}) = \{1\}$;
 - $\psi_v(\alpha_D, \phi_{jack}) = \{1\}$;



(그림 5) 발견된 APANM의 가시적 표현

(Figure 5) Graphical representation of the discovered APANM

4. 업무-수행자 이분 행렬 생성 알고리즘

발견된 업무-수행자 소속성 네트워크에 대해 분석 기법을 적용하기 위해서는 발견된 APANM에 대한 이분 행렬이 필요하며, 이러한 행렬을 업무-수행자 이분 행렬 (Activity-Performer Bipartite Matrix)이라고 정의한다. 본 장에서는 ICN 워크플로우 모델로부터 발견한 APANM의 이분 행렬을 생성하기 위한 알고리즘에 대하여 설명하고, 생성된 이분 행렬에 대한 기본적인 분석에 대하여 기술한다.

4.1 업무-수행자 이분 행렬 정의

업무-수행자 이분 행렬은 APANM을 구성하는 업무와 수행자, 두 개의 속성을 가지며, 이들간의 소속 관계를 나타내는 이분 행렬이다. 여기서 업무는 보통 워크플로우 모델에 정의된 하나의 단위 업무인 액티비티를 말한다. 그러나 소속성 네트워크 분석 범위가 하나의 워크플로우 모델이 아닌 다수의 워크플로우 모델을 포함한 프로세스 패키지, 더 나아가 다수의 프로세스 패키지까지 확장한다면 업무-수행자 이분 행렬이 표현하는 업무의 범위는 조직 전체로 확장될 수 있다. 즉, 업무-수행자 이분 행렬 X^{PA} 는 수행자 중심의 부분 행렬 ($Z_p[p_{i,j}]_{g \times h}$) 과 업무 중심의 부분 행렬 ($Z_a[a_{i,j}]_{h \times g}$)로 이루어진 대

칭 행렬로 정의될 수 있다. 여기서 g 는 APANM에 정의되어 있는 전체 수행자의 수이며, h 는 전체 업무의 수를 의미한다. 그러므로 X^{PA} 의 크기는 $(g+h) \times (g+h)$ 이며, 이를 구성하는 각각의 부분행렬 Z_p 와 Z_a 의 원소 값 $p_{i,j}$ 과 $a_{i,j}$ 의 할당 조건은 다음과 같다.

$$p_{i,j} = \begin{cases} 1: \text{업무 수행자 } \phi_i \text{는 업무 } \alpha_j \text{에 참여한다.} \\ 0: \text{업무 수행자 } \phi_i \text{는 업무 } \alpha_j \text{에 참여하지 않는다.} \end{cases} \quad (1)$$

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1: \text{업무 } \alpha_i \text{에 업무 수행자 } \phi_j \text{가 참여한다.} \\ 0: \text{업무 } \alpha_i \text{에 업무 수행자 } \phi_j \text{가 참여하지 않는다.} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 수행자 중심의 부분 행렬 Z_p 의 각 행의 합계(D_r)는 각각의 수행자가 참여하는 업무의 수를 나타내는 업무 소속도(invovement)이며, 각 열의 합계(D_c)는 각각의 업무에 참여하는 수행자의 수를 나타내는 수행자 참여도(participation)이다. 업무 소속도와 수행자 참여도에 대한 수식은 다음과 같으며, 업무 중심의 부분 행렬 Z_a 은 이와 반대로 계산하게 된다.

$$\overline{D}_r = \left[\sum_{j=1}^h p_{i,j} \right]_{i=1}^g \quad (3)$$

Binary Activity-Performer Bipartite Matrix Generation Algorithm:

```

Input An Activity-performer Affiliation Network Model,  $A = (\sigma, \psi, S)$ ; /* 업무-수행자 소속성 네트워크 모델 */
Output Binary Activity-Performer Bipartite Matrix,  $X^{PA} = \begin{bmatrix} 0 & Z_p \\ Z_a & 0 \end{bmatrix}_{(g+h) \times (g+h)}$  /* 업무-수행자 이분 행렬 */
-  $Z_p$  is the involvement affiliation matrix /* 업무 수행자 중심의 부분 행렬 */
-  $Z_a$  is the participation affiliation matrix /* 업무 중심의 부분 행렬 */
-  $g$  is the number performers in the set of C /*  $g$ 는 전체 업무 수행자의 수 */
-  $h$  is the number activities in the set of A /*  $h$ 는 전체 업무의 수 */

Begin Procedure
  Initialize
    Set Zero To all entries of  $Z_p = [p_{i,j}]$ ;
    Set Zero To all entries of  $Z_a = [a_{i,j}]$ ;
  For ( $\forall \varphi \in C$ ) Do
    Begin /*  $Z_p[p_{i,j}]_{g \times h}$ 의 업무 소속 관계 */
      Set One To entries of  $Z_p[\varphi, \text{each member(activity) of } \sigma_p(\varphi)]$ ;
    End
  For ( $\forall \alpha \in A$ ) Do
    Begin /*  $Z_a[a_{i,j}]_{h \times g}$ 의 수행자 참여 관계 */
      Set One To entries of  $Z_a[\alpha, \text{each member(performer) of } \psi_a(\alpha)]$ ;
    End
  End Procedure
    
```

(그림 6) 이진 업무-수행자 이분 행렬 생성 알고리즘

(Figure 6) Binary activity-performer affiliation matrix generation algorithm

$$\overline{D_c} = \left[\sum_{i=1}^g p_{i,j} \right]_{j=1}^h \quad (4)$$

4.2 업무-수행자 이분 행렬 생성 알고리즘

본 논문에서는 발견된 업무-수행자 소속성 네트워크 모델(APANM)로부터 자동적으로 이진 형태의 업무-수행자 이분 행렬을 생성하기 위한 알고리즘을 제안한다. 다음 (그림 6)의 알고리즘의 입력은 정형적으로 표현된 업무-수행자 소속성 네트워크 모델의 업무 소속 지식, 수행자 참여 지식이며, 출력은 이진 업무-수행자 이분 행렬 ($X^{P,A}$)이며, 여기서 $X^{P,A}$ 는 업무 소속 관계를 나타내는 부분 행렬 Z_p 과 수행자 참여 관계를 나타내는 부분 행렬 Z_a 를 포함하는 대칭 행렬이다. (표 1)은 발견된 (그림 5)의 APANM에 업무-수행자 이분 행렬 생성 알고리즘을 적용한 결과이다. 생성된 이진 업무-수행자 이분 행렬은 각 수행자에 대한 모든 업무와의 소속 관계와 각 업무에 대한 모든 수행자와의 소속 관계를 나타낸다.

(표 1) 이진 업무-수행자 이분 행렬
(Table 1) Binary activity-performer bipartite matrix

	φ_{jack}	φ_{joe}	φ_{lisa}	φ_{matt}	φ_{sha}	α_A	α_B	α_C	α_D	α_E	α_F
φ_{jack}	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
φ_{joe}	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
φ_{lisa}	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
φ_{matt}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
φ_{sha}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
α_A	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
α_B	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
α_C	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
α_D	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
α_E	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
α_F	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

(표 1)의 결과에서 부분 행렬 Z_p 의 각 행의 합계와 Z_a 의 각 열의 합계는 각 수행자에 대한 업무 소속도를 나타내며, 부분 행렬 Z_p 의 각 열의 합계와 Z_a 의 각 행의 합계는 각 업무에 대한 수행자 참여도를 나타낸다. 이를 통해 해당 예제 워크플로우 모델에 정의되어 있는 수행자는 평균 2.4개의 업무를 수행하며, 단위 업무에는 평균 2명의 수행자가 참여한다는 결과를 얻을 수 있다.

4.3 업무-수행자 이분 행렬의 분석

앞서 설명한 (그림 6)의 알고리즘을 통해 업무-수행자

이분 행렬을 생성할 수 있으며, 여기에 연결 중심성 (degree centrality), 근접 중심성(closeness centrality)분석과 같은 기존의 소셜 네트워크 분석 기법[3]을 적용할 수 있으며, 대응 분석(correspondence analysis)기법과 같은 다변량 통계 분석을 통해 업무와 수행자간의 상관 관계 등을 분석할 수 있다. 이번 절에서는 업무-수행자 이분 행렬에 대한 기본적인 분석 과정으로서, 이분 행렬 $X^{P,A}$ 을 구성하는 부분 행렬인 Z_p 와 Z_a 간의 행렬 연산을 통해 수행자의 업무 협업 행렬 $X^P(Z_p \times Z_a)$ 과 업무의 수행자 공유 행렬 $X^A(Z_a \times Z_p)$ 을 계산하고, 이를 통해 수행자간의 업무 협업 관계와 업무간의 수행자 공유 관계를 분석하고자 한다. 아래 (그림 7)은 (표 1)의 업무-수행자 이분 행렬로부터 계산된 업무 협업 행렬(X^P)과 수행자 공유 행렬(X^A)의 결과를 나타낸다.

$$X^P = Z_p \cdot Z_a = \begin{pmatrix} 100110 \\ 100110 \\ 100110 \\ 001000 \\ 010001 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 11100 \\ 00001 \\ 00010 \\ 11100 \\ 11100 \\ 00001 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 33300 \\ 33300 \\ 33300 \\ 00010 \\ 00002 \end{pmatrix}$$

$$X^A = Z_a \cdot Z_p = \begin{pmatrix} 11100 \\ 00001 \\ 00010 \\ 11100 \\ 11100 \\ 00001 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 100110 \\ 100110 \\ 100110 \\ 001000 \\ 010001 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 300330 \\ 010001 \\ 001000 \\ 300330 \\ 300330 \\ 010001 \end{pmatrix}$$

(그림 7) 계산된 업무 협업 행렬(X^P)과 수행자 공유 행렬(X^A)

(Figure 7) co-involvement matrix and co-participation matrix

(그림 7)의 결과를 보면, 업무 협업 행렬(X^P)을 구성하는 대각선에 위치한 단위 원소들은 각각의 수행자에 대한 업무 소속도를 나타내며, 이를 제외한 비대각선의 단위 원소들은 각 행에 해당하는 수행자와 다른 수행자들간의 업무 협업 관계를 나타낸다. 예를 들어, 첫 번째 행에 해당하는 수행자 ϕ_{jack} 은 ϕ_{joe} , ϕ_{lisa} 와 3개의 업무에 동시에 참여하고 있다. 일반적으로 공통의 업무를 수행하는 수행자 그룹내에는 협업 관계가 존재한다고 가정했을 때, 이들간에는 다른 수행자 그룹에 비해 상대적으로 밀접한 협업 관계를 가진다고 유추할 수 있다. 반면에 업무의 수행자 공유 행렬(X^A)의 경우, 대각선의 단위 원소

들은 각각의 업무에 대한 수행자 참여도를 나타내며, 비대각선의 단위 원소들은 각 행에 해당하는 업무와 다른 업무들간의 수행자 공유 관계를 나타낸다. 예를 들어, 첫 번째 행을 나타내는 업무 α_A 는 α_D , α_E 와 공통적으로 수행자 3명($\phi_{jack}, \phi_{joe}, \phi_{lisa}$)을 공유하며, 이들은 비슷한 유형의 단위 업무이거나, 비슷한 유형의 프로세스에 속할 가능성이 크다. 이와 같이 업무-수행자 이분 행렬에는 업무-수행자 소속성 네트워크 관련 지식을 얻기 위한 다양한 분석 기법을 적용할 수 있으며, 정의 시점의 워크플로우 모델이 아닌 실제 워크플로우의 실행 이력인 로그 데이터를 분석하면, 빈도가 적용된 가중 업무-수행자 이분 행렬을 생성할 수 있으며, 이를 통해 좀더 실제적인 워크플로우 기반 인적 자원의 소속성 분석이 가능해진다.

5. 관련 연구

최근에 조직 및 기업의 비즈니스 프로세스의 다양성, 복잡성의 증가에 따라 워크플로우 및 비즈니스 프로세스 기술 분야에서도 이를 효과적으로 해결하기 위한 다양한 연구들이 진행되었다. 최근에는 BPI에 관련된 연구 이슈들이 크게 관심을 받고 있는데, 이는 비즈니스 프로세스를 대상으로 분석을 실시함으로써, 이와 관련된 데이터를 발견 및 재발견하고, 이것을 가공하여 조직의 비즈니스 활동 또는 비즈니스 의사 결정에 유용한 지식을 제공하기 위한 기술을 말한다[6,16]. 워크플로우 모델 및 이력 정보로부터 정보를 발견하는 워크플로우 마이닝(Workflow Mining)[9], 워크플로우 발견 및 재발견[10-12] 기술 또한 광의의 의미에서 BPI 연구 범위에 속한다고 볼 수 있다.

최근에는 워크플로우 기반 조직내의 인적 자원들간의 소셜 네트워크를 분석하기 위한 BPI 연구들이 선행되었는데, [13]에서는 정의 시점의 워크플로우 모델에 정의되어 있는 단위 업무간의 제어 흐름과 단위 업무와 수행자간 할당 정보를 통해 발견되는 수행자 그룹내의 소셜 네트워크를 워크플로우 기반 소셜 네트워크라고 정의하였으며, 이를 발견하기 위한 프레임워크를 제안하였다. 반면에, [9]에서는 실행 시점 또는 실행 완료 시점의 워크플로우 로그 데이터를 분석하여 수행자간의 소셜 네트워크를 재발견하기 위한 마이닝 기법을 제안하였다. [14,17]는 워크플로우 기반 조직의 수행자와 업무간의 소속 관계를 나타내는 워크플로우 협력 네트워크를 제안하였으며, 기존의 워크플로우 기반 소셜 네트워크 분석에 대한 연구들과 차별성을 제시하였다. 본 논문에서는 [14,17]의

워크플로우 협력 네트워크 정의에서 구체적인 업무-수행자 소속성 네트워크의 개념으로 재정의하였으며, 업무-수행자 소속성 네트워크의 분석을 위한 업무-수행자 이분 행렬 생성 알고리즘을 제안하였으며, 앞으로는 워크플로우의 실행 이력인 로그 데이터를 기반으로 소속성 네트워크를 재발견하고 가중 이분 행렬을 생성하기 위한 알고리즘 연구가 추가적으로 필요하며, 이를 통해 기존의 소속성 네트워크의 발견 결과와 비교 과정을 통해 해당 워크플로우 모델의 충실도(fidelity) 등을 분석할 수가 있게 된다.

6. 결 론

본 논문에서는 워크플로우 기반 인적 자원과 업무들간의 소속 관계를 나타내는 업무-수행자 소속성 네트워크의 개념과 이를 정형적으로 나타내는 업무-수행자 소속성 네트워크 모델(APANM)을 정의하였다. 또한 ICN 워크플로우 모델로부터 APANM을 발견하기 위한 알고리즘을 제안하였으며, 궁극적으로 업무-수행자 소속성 네트워크 발견 과정의 최종 출력 형태인 업무-수행자 이분 행렬을 생성하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 생성된 업무-수행자 이분 행렬은 워크플로우 기반 인적 자원의 소속성 분석을 위한 다양한 중심성(centrality) 및 조밀도(density) 분석 기법과 대응 분석(correspondence analysis)과 같은 다변량 통계 분석 기법이 적용될 수 있으며, 이를 통해 워크플로우 기반 인적 자원에 관련된 유용한 지식을 제공할 수 있다고 기대된다.

참 고 문 헌(Reference)

- [1] C.A. Ellis, G.J. Nutt, "Office Information Systems and Computer Science", ACM Computing Surveys, Vol. 12, No. 1, pp. 27-60, 1980.
- [2] C.A. Ellis, "Information Control Nets: A Mathematical Model of Office Information Flow", Proceedings of the Conference on Simulation, Measurement and Modeling of Computer Systems, pp. 225-240, 1979.
- [3] D. Knoke, S. Yang, SOCIAL NETWORK ANALYSIS - 2nd Edition, Series: Quantitative Applications in the Social Sciences, SAGE Publications, 2008.
- [4] S.P. Borgatti, D.S. Halgin, "Analyzing Affiliation Networks", The Sage Handbook of Social Network

- Analysis, pp. 417-433, 2010.
- [5] K. Faust, "Centrality in Affiliation Networks", *Journal of Social Networks*, Vol. 19, No. 2, pp. 157-191, 1997.
- [6] D. Grigori, et al., "Business Process Intelligence", *Journal of Computer in Industry*, Vol. 53, No. 3, pp. 321-343, 2004.
- [7] K. Kim, C.A. Ellis, "ICN-Based Workflow Model and Its Advances", *Handbook of Research on Business Process Modelling*, pp. 34-54, 2009.
- [8] W.M.P. van der Aalst, et al., "Workflow Mining: a Survey of Issues and Approaches", *Journal of Data and Knowledge Engineering*, Vol. 47, No. 2, pp. 237-267, 2003.
- [9] W.M.P. van der Aalst, et al., "Discovering Social Networks from Event Logs", *Journal of Computer Supported Cooperative Work*, Vol. 14, No. 6, pp. 549-593, 2005.
- [10] M. Park, K. Kim, "Control-Path Oriented Workflow Intelligence Analyses", *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp. 343-359, 2008.
- [11] M. Park, K. Kim, "A Workflow Event Logging Mechanism and Its Implications on Quality of Workflows", *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 26, No. 5, pp. 1817-1830, 2010.
- [12] K. Kim, C.A. Ellis, "Workflow Reduction for Reachable-path Rediscovery in Workflow Mining", *Foundation and Novel Approaches in Data Mining*, Vol. 9, pp. 288-309, 2006.
- [13] K. Kim, "A Workflow-based Social Network Discovery and Analysis System", *Proceedings of the 1st International Symposium on Data-driven Process Discovery and Analysis*, pp. 163-176, 2011.
- [14] H. Kim, H. Ahn, K. Kim, "A Workflow Affiliation Network Discovery Algorithm", *ICIC Express Letters*, Vol. 6, No. 3, pp. 765-770, 2012.
- [15] M. Skerlavj, et al., "Patterns and Structures of Intra-organizational Learning Networks within a Knowledge Intensive Organization", *Journal of Information Technology*, Vol. 25, No. 2, pp. 189-204, 2010.
- [16] S. Huh, "Overview of Business Intelligence Concept", *Communications of Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 21, No. 10, pp. 5-11, 2003.
- [17] K. Kim, "A Workflow-based Affiliation Network Knowledge Discovery Algorithm", *Journal of Korean Society for Internet Information*, Vol. 13, No. 2, pp. 109-118, 2012.

● 저 자 소 개 ●

안 현

2011년 경기대학교 컴퓨터과학과(학사)
2013년 경기대학교 컴퓨터과학과(석사)
관심분야 : 워크플로우/비피엠 기술, 비즈니스 프로세스 인텔리전스
E-mail : hahn@kgu.ac.kr



김 광 훈

1984년 경기대학교 전자계산학과(학사)
1986년 중앙대학교 전자계산학과(석사)
1994년 University of Colorado at Boulder Department of Computer Science, MS
1998년 University of Colorado at Boulder Department of Computer Science, Ph.D.
1986년 2월~1991년 8월 한국전자통신연구원 연구원
2005년 3월~2010년 2월 University of Colorado at Boulder Department of Computer Science, 방문교수
2007년 7월~2010년 6월 콘텐츠융합소프트웨어연구센터장
1998년 3월~현재 경기대학교 컴퓨터과학과 정교수
2002년 3월~현재 비피엠코리아포럼 부회장
2003년 1월~현재 WfMC ERC Vice-chair
2003년 1월~현재 TTA 정보통신국제표준전문가
2000년 1월~현재 한국인터넷정보학회 이사, 부회장
관심분야 : 워크플로우/비피엠 기술, RFID/USN 미들웨어 기술, Collaboration Technology
E-mail: kwang@kgu.ac.kr

