http://dx.doi.org/10.3745/KIPSTD.2011.18D.4.261

엔터프라이즈 시스템에서 효과적인 서비스 모니터링을 위한 복합 이벤트 모델의 설계

금 득 규[†] · 이 남 용[††]

요 약

최근의 경쟁적 비즈니스 환경은 각 기업으로 하여금 민첩성과 유연성을 요구하게 되었고, 이를 위하여 기업에서 제공하는 서비스에 대한 실시간 모니터링과 이를 통한 조기 의사 결정이 기업의 핵심 경쟁력이 되었다. 또한, 엔터프라이즈 시스템에서 발생하는 수 없이 많은 다양한 이벤트들을 효과적으로 처리하기 위하여 의미 있는 데이터를 필터링 할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 하지만, 이와 관련된 기존의 연구는 BPEL엔진이나 미들웨어의 API에 의존한 모니터링으로 서비스 결함 발견에 그치고 있거나 낮은 단계의 이벤트(low-level event)에 기반한 단순 이벤트 처리에 그치고 있어, 기업에 유용한 비즈니스 정보를 제공하기에는 한계가 있다. 본 논문에서는 다중 상황 검출(situation detection)을 통해 보다 가치 있고 유용한 비즈니스 정보의 제공을 가능하게 하는 확장된 복합 이벤트 모델(complex event model)을 제시한다. 구체적으로, 먼저 엔터프라이즈 시스템에서의 이벤트 처리 아키텍처를 제안하고, 제안된 아키텍처에 적합한 이벤트 메타모델을 정의한다. 정의된 메타모델을 기초로 다양하고 진보된 이벤트 연산자와 복합 이벤트 패턴, 그리고 키(key) 등 이벤트 처리 언어를 구성하는 요소의 문법과 의미를 제안한다. 또한, 보다 정교한 이벤트 분석을 위한 이벤트 컨텍스트 매커니즘을 제안한다. 마지막으로 응용사례를 통하여 본 연구의 적용 가능성을 보여주고, 다른 이벤트 모델과의 비교를 통해 본 이벤트 모델의 장점을 제시한다.

키워드 : 이벤트 주도 아키텍처, 복합 이벤트, 이벤트 처리, 서비스 지향 아키텍처, 서비스 모니터링

The Design of a Complex Event Model for Effective Service Monitoring in Enterprise Systems

Deuk Kyu Kum[†] · Nam Yong Lee[††]

ABSTRACT

In recent competitive business environment each enterprise has to be agile and flexible. For these purposes run-time monitoring of services provided by an enterprise and early decision making through this becomes core competition of the enterprise. In addition, in order to process various innumerable events which are generated on enterprise systems techniques which make filtering of meaningful data are needed. However, the existing study related with this is nothing but discovering of service faults by monitoring depending upon API of BPEL engine or middleware, or is nothing but processing of simple events based on low-level events. Accordingly, there would be limitations to provide useful business information. In this paper, through situation detection an extended complex event model is presented, which is possible to provide more valuable and useful business information. Concretely, first of all an event processing architecture in an enterprise system is proposed, and event meta-model which is suitable to the proposed architecture is going to be defined. Based on the defined meta-model, It is presented that syntax and semantics of constructs in our event processing language including various and progressive event operators, complex event pattern, key, etc. In addition, an event context mechanism is proposed to analyze more delicate events. Finally, through application studies application possibility of this study would be shown and merits of this event model would be present through comparison with other event model.

Keywords : Event Driven Architecture, Complex Event, Event Processing, Service-oriented Architecture, Service Monitoring

1. 서 론

최근의 복잡한 비즈니스 환경은 기업의 유연하고 민첩한 대응을 요구하게 되었고, 이를 위해서 ERP, CRM, MES와 같은 유효한 엔터프라이즈 시스템들이 도입되어 기업의 업

† 종신회원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정
†† 정 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 교수
논문접수 : 2011년 6월 7일
수 정 일 : 1차 2011년 7월 7일
심사완료 : 2011년 7월 12일

무수행 능력을 향상시켜 왔다[1]. 더 나아가 실시간 의사결정의 중요성이 증대됨으로써 의미 있는 정보를 제공하고 위험 또는 기회 발생 등의 변화에 신속하게 대응하도록 하는 것이 기업의 핵심 경쟁력이 되었다. 이러한 상황에서 서비스 지향 아키텍처(Service Oriented Architecture, SOA)와 이벤트 주도 아키텍처(Event Driven Architecture, EDA)가 이들 엔터프라이즈 시스템과 솔루션들을 지원하는 소프트웨어 아키텍처로 주목을 받고 있다[2].

SOA는 애플리케이션 독립적인 서비스들의 재 사용을 극대화함으로써 IT 적응성과 효율성을 증가시키지만, 전통적인 요청/응답(request/reply), 동기화(synchronous) 의사소통 방식 등으로 의사소통 과부하가 많이 발생하며, 소요 시간이 오래 걸려 서비스에서 일어난 이벤트나 익셉션 발생 등 빠른 처리를 요하는 모니터링에는 적합하지 않다[2][3][4]. 이에 반해 EDA는 발행 및 구독(publish-and-subscribe), 비동기화(asynchronous) 의사소통 방식으로 이러한 문제의 해결책이 될 수 있다. 또한, 민첩성과 대응성을 보장하며, 엔터프라이즈 시스템에서 발생하는 다양한 이벤트들을 효율적으로 수집하고 효과적으로 분석하기 위해 SOA를 보완하는 역할을 할 수 있다[2][3]. 하지만, 효과적인 서비스 모니터링을 위해 EDA를 적용하거나 특화시킨 연구는 많이 진행되지 않았다. 이와 관련된 기존의 연구는 BPEL엔진이나 미들웨어의 API에 의존한 모니터링으로 서비스 결함 발견에 그치고 있거나 낮은 단계의 이벤트에 기반한 단순 이벤트 처리에 그치고 있어 비즈니스 수준의 유용한 정보를 제공하는데 부족한 면이 있다.

복합 이벤트(complex event) [5]는 이벤트들간의 연관 관계를 이용해서 정의되며, 특정 상황에서 자동적으로 적절한 반응을 보여야 하는 시스템들에서 이벤트-조건-행동(event-condition-action, ECA) 규칙을 이용한 체계적인 구현 방법을 제공한다.

본 논문에서는 복잡한 비즈니스 환경에서 발생하는 다양한 이벤트들을 효과적으로 처리하기 위하여 복합 이벤트 기술을 고려하여 확장된 복합 이벤트 모델을 제시하고, 제안된 이벤트 모델이 어떻게 엔터프라이즈 시스템에서의 서비스 모니터링에 응용될 수 있을지 보인다. 구체적으로 우리는 본 연구에서 먼저 엔터프라이즈 시스템에서의 이벤트 처리 아키텍처를 제안하고, 정형 명세 기법을 사용하여 이벤트 타입을 정의한 후 이를 기초로 이벤트 메타모델을 정의한다. 제안한 이벤트 메타모델은 OASIS Web Services Distributed Management Event Format (WEF) [6] 표준을 기반으로 정의되어 WEF를 준수한 이벤트 처리 시스템 및 서비스 모니터링 도구에서 확장 및 사용이 가능하다. 정의된 메타모델을 기초로 이벤트 계층 표현, 시간 및 인과관계 연산 등을 지원하는 다양하고 진보된 이벤트 연산자와 복합 이벤트 패턴, 규칙 그리고 키 등 이벤트 처리 언어를 구성하는 요소의 문법과 의미를 제안한다. 또한, 보다 정교한 이벤트 분석을 가능하게 해주는 이벤트 컨텍스트 매커니즘을 제안한다. 마지막으로 응용사례를 통하여 본 연구의 효과성과 적용 가능성을 보여준다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 관련연구를 서술하며, 3장에서는 이벤트 처리 기술을 적용한 엔터프라이즈 시스템에서의 이벤트 처리 아키텍처를 제안하고, 4장에서는 복합 이벤트 모델의 설계 기준과 이를 준수하는 이벤트 모델을 설계하고 각 요소 별로 자세히 설명한다. 5장에서는 응용 사례를 기술하고, 6장은 기존 연구들과의 비교를 통해 제안된 이벤트 모델의 우수성을 보인 후, 마지막 7장은 논문을 요약하며 향후 연구를 제시한다.

2. 관련 연구

기존의 순수 SOA 기술만을 이용한 서비스 모니터링에 관한 연구는 BPEL 엔진이나 미들웨어를 이용한 방법을 사용했다. 즉, 기존의 여러 품질 모델에 공통적으로 들어가 있는 시간, 가용성, 신뢰성, 보안성 등의 품질 매트릭을 계산하기 위하여 JMX(Java Extension Management) API를 사용하여 데이터를 수집하였다. 이는 JMX등의 외부 환경을 통해 얻어 올 수 있는 데이터만으로 수집 가능한 데이터의 범위를 제한 시켰다. Lin의 연구에서는 Enterprise Service Bus(ESB)를 확장시킨 Llama라는 미들웨어를 제안하였다[7]. 이 미들웨어는 서비스 모니터링을 위한 컴포넌트, 서비스의 결함을 알기 위한 컴포넌트, 서비스 결함을 진단하는 컴포넌트로 구성된다. Llama에서 서비스의 실행시간을 모니터링 하기 위한 방법으로 ESB에서 제공하는 모니터링 API나 추가한 컴포넌트인 Profiling Interceptors를 사용하여 모니터링 데이터를 얻어오는 방법을 제시한다. Baresi의 연구에서는 기존에 제시한 모니터링 기법 Dynamo와 Astro의 통합한 모니터링 프레임워크를 제안하였다[8]. Dynamo는 관점지향 프로그래밍(Aspect-Oriented Programming, AOP)을 사용하여 BPEL 프로세스가 동작하는 동안 BEPL 엔진이 수집할 수 있는 모니터링 데이터를 얻어 오는 방법이다. Astro는 독립된 소프트웨어 모듈을 사용하여 RTML(Run-Time Monitor specification Language)로 정의된 속성을 확인하는 방법이다.

위의 두 연구에서는 BPEL 엔진이나 미들웨어에 의존하여 주고 받는 메시지를 획득하는 방법만을 제안했기 때문에 서비스 결함 발견에 그치고 있다. 또한, SOA의 요청 및 응답, 동기화 의사소통 방식, 폴링 방식의 상호작용 모델로 의사소통 과부하가 많이 발생하며, 소요 시간이 오래 걸려 서비스에서 일어난 이벤트나 익셉션 발생 등 빠른 처리를 요하는 모니터링에는 적합하지 않으며[3][4], 언제 새로운 정보가 생성되고, 언제 생성된 정보를 요청해야 하는 지 알 수 없다[2].

EDA는 서비스 기반으로 통합된 정보시스템 구조에서 다양한 이벤트 상황을 바탕으로 이벤트 교환, 이벤트 트리거, 실시간 대응을 구현하여 상품과 서비스 그리고 정보를 최소한의 지연을 보장하는 방법으로 인도하는 방식이다[9]. EDA는 발행 및 구독, 비 동기화 의사소통 방식, 푸쉬 방식의 상호작용 모델로 짧은 소요시간과 많은 처리량 그리고 적은

의사소통 과부하 등 서비스 모니터링에 있어 주요한 장점들을 가지고 있다[3][4][9]. 또한, 필요한 정보를 구독/ 등록한 수요자에게 공급자가 해당 정보를 먼저 제공함으로써 잠재적인 기회와 위협에 조기 대응을 가능하게 한다[2][3]. 이벤트를 다루기 위한 기술은 이벤트 처리 방법에 따라 크게 다음과 같이 나눌 수 있다[9].

- 단순 이벤트 처리: 발생한 이벤트들은 모두 의미 있는 이벤트로 간주하고 각각의 이벤트 내용에 따라 대응되는 액션을 수행한다. 발행/구독 방식이나 중재 방식에 의해 이벤트 처리를 제공한다.
- 스트림 이벤트 처리: 의미 있는 이벤트와 무의미한 이벤트가 같이 발생하는 대량의 이벤트 스트림을 대상으로 하며, 필터링 등을 수행하여 의미 있는 이벤트 정보만 뽑아서 응용에 전달 혹은 서비스와 연동한다.
- 복합 이벤트 처리: 여러 이벤트 소스로부터 발생한 이벤트를 대상으로 이들 조합의 의미를 발견하고 영향을 분석하여 적용 및 처리하는 것을 의미한다[5]. 단순 이벤트 처리가 하나의 이벤트를 대상으로 한 반면, 복합 이벤트 처리는 여러 이벤트간의 다양한 관계를 분석한다.

McGregor의 연구에서는 비지니스 프로세스 성능 측정을 위한 솔루션 매니저 서비스 (Solution Manager Service, SMS) 아키텍처를 제안하였다[10]. 제안된 아키텍처는 웹서비스 로그를 지원하며 이벤트 프로세싱 컨테이너 (Event Processing Container)를 통하여 실시간에 많은 수의 프로세스 이벤트들을 처리할 수 있도록 하였다. 하지만 모니터링 대상이 낮은 단계의 이벤트(low-level event)에 기반한 단순 이벤트 모니터링에 그치고 있어, 기업에 유용한 비즈니스 정보를 제공하기에는 한계가 있다.

보다 구체적이고 의미가 있는 복합 이벤트를 처리하기 위한 기술은 능동 데이터베이스(active database)[11] 와 이벤트 상관에 기반한 네트워크 관리 시스템 분야에서 먼저 연구되었다. Snoop[12]은 이벤트 명세를 표현하기 위한 언어로서 ECA 규칙을 사용하여 시스템에서 벌어지는 상황에 따라 자동적으로 반응하도록 설계된 능동 데이터베이스 시스템을 위해 제안되었다. 특징으로는 이벤트 수식어와 복합 이벤트 표현을 위한 이벤트 연산자를 제시하고 있으며, 이벤트 절은 복합 이벤트의 형식으로 표현되고 조건 절에는 부가적인 조건들을 기술한다. Liu[13]는 이벤트의 타입에만 의존하는 복합 이벤트 정의 방법은 본질적으로 모호성을 가지고 있으며, 그에 대한 부분적 해결책인 이벤트 소비 모드(event consumption mode)도 유연하지 못하다고 지적하였다. 대안적인 복합 이벤트 정의 방법으로 실시간 시스템의 명세에 주로 사용되는 Real-Time Logic(RTL)[14]의 이벤트 모델을 확장하여 이벤트 인스턴스에 기반한 복합 이벤트 정의 방법과 관련 이벤트 연산자를 정의하였다.

위의 두 연구에서는 이벤트 처리를 위하여 일반적인 ECA 규칙을 사용하였으며, 능동 데이터베이스와 네트워크 관리 시스템이라는 특정 도메인에 초점을 맞추어 설계된 시스템으로 이벤트 표현 능력이 제한되었고, 이로 인해 부분적인 솔루션만 제공함으로써 본격적인 복합 이벤트를 지원하여 정제된 상황 파악을 통해 원인 분석을 보다 쉽게 할 수 있도록 하기에는 한계가 있다.

Luckham의 연구에서는 복합 이벤트 처리의 구현을 위해 RAPIDE 언어를 개발하였으며 이벤트의 연관성(causality) 정보를 사용하여 이벤트 poset(partially ordered set of events)를 정의하였다[15]. 이를 바탕으로 이벤트 패턴, 추출, 결합(event pattern, filtering, aggregation) 등의 기술을 사용한 이벤트 모델을 제안하였다. 하지만 수집되는 이벤트의 메타모델이나 구체적인 형태는 언급하지 않았으며, 이벤트 인스턴스 단위의 명세도 고려되지 않았다.

3. 제안하는 엔터프라이즈 이벤트 처리 아키텍처의 구성도

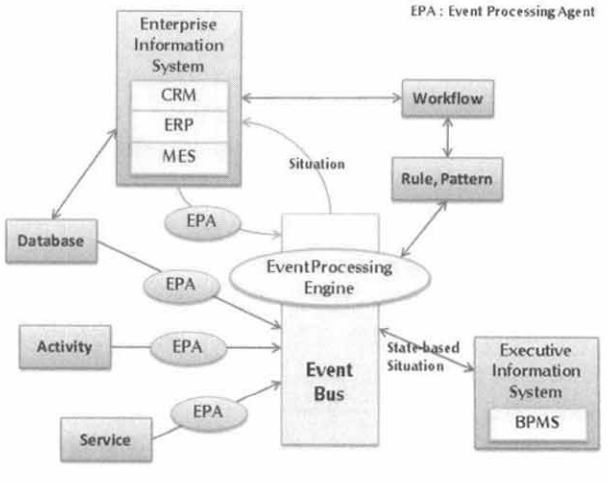
본 장에서는 엔터프라이즈 시스템에서의 이벤트 처리 아키텍처와 적용 기술을 제안하고, 제안된 아키텍처의 차별적 특성을 알아본다.

3.1 제안하는 이벤트 처리 아키텍처의 구성

이벤트 처리는 새로운 기술이 아니지만 능동 데이터베이스와 네트워크 관리 시스템과 같은 특정 영역에 국한되어 사용되어 왔거나 엔터프라이즈 시스템의 전체적인 조망 없이 독립적으로 사용되어 왔다[3]. 하지만, 이벤트 처리는 서비스 모니터링을 위하여 기업의 내/ 외부에서 발생하는 이벤트들을 효과적으로 분석하여 보다 가치 있고, 유용한 비즈니스 정보의 제공 및 응대(response), 조치(action)를 취하는데 있어 핵심 역할을 할 수 있다.

제안하는 엔터프라이즈 이벤트 처리 애플리케이션 아키텍처는 (그림 1)과 같이 표현할 수 있다.

공급자와 수요자, 그리고 고객 등에 의해서 수행되는 다양한 업무 수행 활동은 서비스, 액티비티, 데이터 베이스, 그리고 엔터프라이즈 시스템 등을 통해 많은 이벤트들이 생성될 수 있다. 이 이벤트들은 일반적으로 비즈니스 액티비티



(그림 1) 엔터프라이즈 이벤트 처리 아키텍처

(business activity)에 대한 데이터와 메시지를 포함하고 있으며 특히, ERP, CRM, MES 그리고 SCM과 같은 엔터프라이즈 인포메이션 시스템은 액티비티의 기록에 해당하는 많은 이벤트를 발생시킨다[1]. 입력, 수정, 삭제와 같은 데이터 변환으로 인해 데이터베이스로부터 이벤트가 발생할 수도 있으며, SOA의 모든 서비스 역시 이벤트를 발생 시킬 수 있다. 비즈니스 프로세스 관리 시스템(Business Process Management System, BPMS)은 비즈니스 프로세스 관리와 실행(execution)에 효과적이고 통합적인 도구로 널리 받아들여지고 있으며 [16], 비즈니스 프로세스 내의 논리적 단계를 형성하는 업무 단위인 액티비티의 실행을 통해 발생한 이벤트를 바탕으로 업무 자동화를 수행한다[16].

(그림 1)에서 이벤트 처리 에이전트(Event processing agent, EPA)는 발생한 이벤트들을 수집하여 중복된 이벤트들을 필터링하고, 이벤트 포맷을 매치(match)시키는 등의 선처리 과정을 수행하는 역할을 한다. EPA의 선처리 과정을 거친 이벤트들은 특정 규칙과 패턴을 적용하기 위하여 이벤트 버스로 이동되며, 이벤트 처리 엔진(Event Processing Engine)의 처리 과정을 거쳐 가공 및 정제된 형태로 수요자에게 보내진다. 이벤트 처리 과정에서 검출된 복합 이벤트나 상황은 의사 결정에 필요한 정보를 지원하며, 규칙과 패턴은 사전에 정의될 수 있다.

3.2 제안된 이벤트 처리 아키텍처의 차별적 특성

본 절에서는 3.1절에서 제안된 엔터프라이즈 이벤트 처리 아키텍처의 차별적 특성을 알아본다. 이벤트 처리 아키텍처의 핵심 기능은 수많은 이벤트들을 실시간으로 수집하고, 수집한 이벤트를 분석하며, 적절히 대응하는 3가지로 정의할 수 있다[9]. 제안된 엔터프라이즈 이벤트 처리 아키텍처는 일반적인 이벤트 처리 아키텍처 기능을 엔터프라이즈 시스템에서의 서비스 모니터링에 응용될 수 있도록 설계하였으며 4장에서 제안하는 복합 이벤트 모델 특히, 이벤트 메타모델의 설계를 위한 기초를 제공한다.

제안된 아키텍처의 차별적 특성을 이벤트 처리 아키텍처의 3가지 기능 대응의 요소로 살펴보면 다음과 같다.

이벤트 수집: 엔터프라이즈 환경에서 발생하는 다양한 이벤트들을 EPA를 통하여 수집하고 처리함으로써 즉, 이벤트 소스와의 직접적인 상호작용을 EPA만 가능하도록 함으로써 이벤트 소스와 이벤트 버스간의 모듈성을 향상 시키며, EPA의 선처리 과정을 통하여 의미 있는 데이터를 필터링함으로써 효과적으로 이벤트를 처리할 수 있다. 또한, 각각의 이벤트 소스를 담당하는 근접한 EPA가 이벤트를 수집하게 되어 시간 효율성을 증대 시킬 수 있다.

이벤트 분석: 이벤트 버스로 이동된 이벤트들은 본 논문에서 제시하는 다중 상황 검출(situation detection)을 가능하게 하는 복합 이벤트 모델을 기반으로 이벤트 처리 엔진의 처리 과정을 거치면서 특정 규칙과 패턴을 적용하여 효과적이고 정교한 이벤트 분석을 가능하게 한다. 이에 대한 자세한 내용은 4장에서 기술한다.

응대 및 조치: 본 논문에서 제시하는 복합 이벤트 모델은 복잡한 비즈니스 환경의 적용이 가능하며 이를 통한 유용한 비즈니스 정보의 제공 및 이상 징후의 검출을 자동화하여, 변화에 능동적으로 대응할 수 있다. 또한, 검출된 주목할 만한 상황에 대한 대응으로서 엔터프라이즈 시스템의 특정 기능을 작동시키거나 BPMS의 특정 비즈니스 프로세스를 실행 시키는 등 관리자로 하여금 적절한 조치를 취할 수 있게 한다.

4. 제안하는 복합 이벤트 모델의 설계

본 장에서는 3장에서 제안한 엔터프라이즈 시스템에서의 이벤트 처리 아키텍처를 고려하여 서비스 모니터링을 위한 복합 이벤트 모델을 설계하고 자세히 설명한다. 첫째, 먼저 설계기준을 제시하여 기존 연구와의 차별성을 식별하고, 보다 확장된 복합 이벤트 모델을 정의하기 위한 기반을 마련한다. 둘째, 이벤트를 정형적으로 정의하고, 이를 기초로 이벤트 메타모델을 정의함으로써 이벤트 처리를 위한 확실한 기초를 제공한다. 셋째, 복합 이벤트 패턴, 연산자 그리고 키를 포함하는 이벤트 처리 언어를 구성하는 요소의 문법과 의미를 제안한다. 넷째, 수집된 이벤트들의 집합으로부터 더 많은 상황 정보를 검출하기 위해 복합 이벤트 모델의 핵심 구성 요소 중 하나인 이벤트 컨텍스트를 제시한다.

4.1 복합 이벤트 모델의 설계 기준

본 논문에서 제안하는 복합 이벤트 모델은 본격적인 복합 상황 인지를 통하여 정제된 상황 파악을 통해 효과적인 원인 분석과 조치를 취하는 것을 가능하게 하기 위하여 다음과 같은 설계기준을 적용하였다.

- 이벤트의 정형 명세: 모호성 없는 이벤트 명세를 위해 이벤트 타입을 정형 명세 기법을 사용하여 정의하여 이벤트 메타모델 및 이벤트 처리를 위한 확실한 기초를 제공하고, 이벤트 타입뿐만 아니라 이벤트 인스턴스 단위로도 이벤트 명세를 할 수 있도록 인스턴스 지칭 연산자를 제공한다.
- 이벤트 메타모델 제공: 이벤트 메타모델은 이벤트 처리를 위해 필요한 구문과 규칙을 명확하게 명시한 모델로 다양한 이벤트 소스들로부터 발생하는 이벤트를 받을 때 필요한 이벤트의 형식을 정의하고 [6], 효과적인 이벤트 처리 및 분석을 위한 기초를 제공한다.
- 이벤트 계층 지원: 이벤트를 계층적으로 구조화 시키는 것은 복잡성을 컨트롤하기 위한 디자인 기술이다. 기본(primitive) 이벤트의 경우에는 시스템 이벤트로서 미리 정의된 계층이 있는 경우가 많으나 [14], 복합 이벤트의 계층 정의에 관한 연구는 활발하지 않았다. 본 연구에서는 복합 이벤트 계층에 대한 지원과 함께 계층 간의 관계를 나타낼 수 있는 연산자를 제공한다.
- 시간 및 인과 관계 연산자 제공: 실시간 모니터링을 위해서는 발생되는 이벤트 인스턴스 간의 정확한 타이밍 제약

에 관한 명세가 가능해야 한다[17]. 본 연구에서는 이벤트 인스턴스 간의 시간적 관계를 원활하게 표현할 수 있는 연산자를 제공한다. 특히, 지정 시간(point time)외에 간격 시간(interval time)을 지정할 수 있도록 연산자를 확장한다. 또한, 이벤트 간의 원인-결과 관계를 나타내는 직/간접 인과관계 연산자를 제공한다.

- 이벤트 컨텍스트 정보 제공: 복합 이벤트 처리를 위한 다양한 연산자와 규칙, 기능을 제공하는 것 외에 보다 정교한 다중 상황 검출을 위해 이벤트 데이터와는 독립적으로 이벤트 컨텍스트 정보를 제공할 수 있는 매커니즘을 지원한다.

4.2 이벤트 정의

이벤트는 특정 시점에 발생하는 사건으로 관심 도메인 내에서 중요한 의미를 가질 수 있는 인스턴스로 정의할 수 있다[3]. 이벤트는 필요한 정보 예를 들어 이벤트가 발생한 시간, 위치 등의 정보를 포함한 이벤트 인스턴스로 표현 될 수 있으며, 이벤트 타입은 이벤트 인스턴스들의 공통된 속성들을 추출하여 추상화 레벨에서 기술한 것이다.

본 논문에서는 이벤트 타입을 'E' 또는 'e'로 표기하기로 하고, 다음과 같이 정형적으로 정의한다.

정의 1: 이벤트 타입 E는 다음과 같이 정의될 수 있다.
$E = (id, a, c)$

각 이벤트 타입은 유일한 id로 식별되며, a는 이벤트의 특성을 결정짓는 애트리뷰트의 집합으로 $a=\{attr_1, attr_2, \cdots, attr_n\}$, $n \geq 0$와 같이 정의한다. c는 발생한 해당 이벤트의 원인이 되는 즉, 인과관계가 있는 이벤트들을 포함하는 인과관계 벡터(causality vector) [17]으로 $c=\{e_1, e_2, \cdots, e_n\}$, $n \geq 0$와 같이 정의한다. 인과관계 벡터는 인과관계 연산자를 이용하여 이벤트 간의 원인-결과 관계를 도출하여 이벤트간의 행위 분석(behavior analysis)을 용이하게 한다. 이벤트 타입을 정형 명세 기법을 사용하여 정의하면 (그림 2)와 같다.

> The set of event types ΣE is a finite set $\Sigma E = \{E_1, E_2, \cdots, E_n\}$, $n \geq 0$. An event type E is a tuple $E = (id, a, c)$ where id is a unique identifier (event name) such that $\forall E_i, E_j \in \Sigma E, i \neq j : E_i.id \neq E_j.id$. and $a = \{attr_1, attr_2, \cdots, attr_n\}$, $n \geq 0$, is a finite set of attributes. and $c = \{e_1, e_2, \cdots, e_n\}$, $n \geq 0$, is a finite set of causality vector. An attribute attr is a tuple $attr = (id, type)$ where id is a unique identifier (attribute name) such that $\forall E \in \Sigma E, \forall attr_i, attr_j \in E.attrs, i \neq j : attr_i.id \neq attr_j.id$ *and type is an attribute type,* $type \in \{number, boolean, string, dateTime\}$.

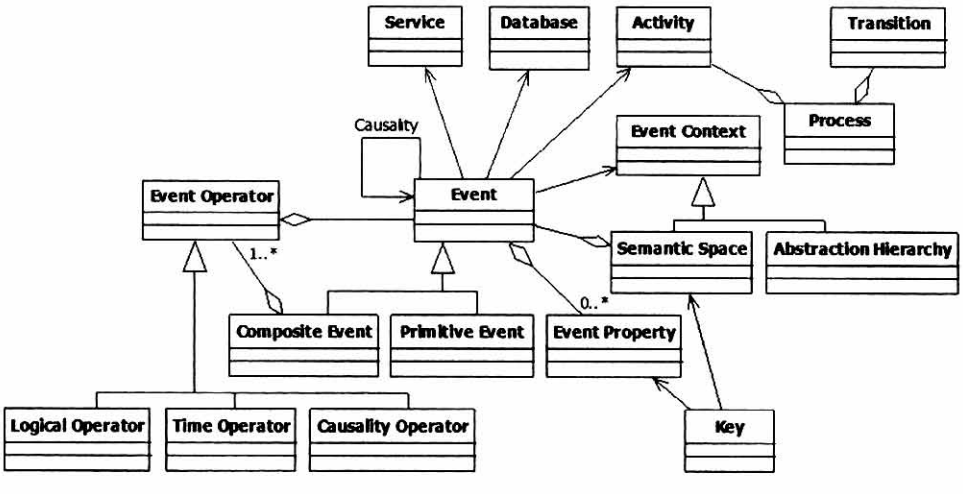
(그림 2) 이벤트 타입의 정형 명세

4.3 이벤트 메타모델

이벤트 메타모델은 수집된 이벤트 데이터를 잘 분석하여 비즈니스 수준의 유용한 정보를 제공하기위해 서비스, BPEL, 액티비티, 데이터 베이스 등의 이벤트 소스가 되는 곳으로부터 이벤트를 받을 때 필요한 이벤트의 형식을 정의한 모델이다[6]. 이벤트는 서로 독립적인 것이 아니라 본질적으로 다른 요소들과 서로 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이를 정형화된 메타모델로 표현하면 (그림 3)과 같다.

본 논문에서 제안한 이벤트 메타모델은 OASIS WEF [6] 표준을 기반으로 정의되어, WEF를 준수한 이벤트 처리 시스템 및 서비스 모니터링 도구에서 사용이 가능하며, 효과적인 이벤트 처리 및 분석을 위한 기초를 제공한다.

이벤트는 일반적으로 기본 이벤트와 복합 이벤트로 분류될 수 있으며, 둘 모두 이벤트 속성(event property)으로 특징지어지고, 이벤트들 사이에는 인과관계가 존재한다. 연산자는 복합 이벤트 또는 상황을 형성시키기 위하여 이벤트들을 함께 결합시키는 역할을 하며 논리, 시간, 인과관계 연산자로 분류된다. 이벤트 컨텍스트는 수집된 낮은 단계(low level)의 이벤트에서 유용한 비즈니스 정보를 제공하기 위한 높은 단계(high level)의 이벤트로 변환되는 과정에서 보다



(그림 3) 이벤트 메타모델

정교한 다중 상황 검출을 위해 필요하며, 의미 공간(semantic space), 추상화 계층(abstraction hierarchy)을 포함한다. 키는 생성된 이벤트 인스턴스들을 분류 및 분할하는 기준이 된다. 이벤트 컨텍스트와 키에 대한 자세한 내용은 4.4절에서 기술한다.

4.4 복합 이벤트 처리 규칙

원시 이벤트(raw event)는 이벤트 소스로부터 이벤트에 해당하는 상황은 검출되었으나 아직 이벤트 처리 시스템이 처리하도록 적합하게 기본 이벤트의 모습을 갖추지 못한 것을 말한다. 이러한 원시 이벤트는 흔히 동기화가 되지 않은 타임스탬프 혹은 중복된 데이터와 같은 노이즈가 포함되어 있을 수 있다. 다음은 기본 이벤트 명세(specification)를 위한 문법 및 구체적인 한 예를 보여준다. 제조라인의 설비운영 상황에서 발생하는 이벤트를 MES 시스템을 통하여 수집할 때의 예로 기본 이벤트 LightEvent는 LightSensor로부터 발생되며 세 개의 속성을 갖는다. 그 중 SerialNumber는 센서의 위치와 시간을 병합하여 만들고 나머지 속성은 해당되는 원시 이벤트의 속성을 가져온다. 노이즈 필터로써 LightFilter1 이후에 LightFilter2를 적용하고 있다.

정의 2: 기본 이벤트는 다음과 같이 명세할 수 있다.

Primitive 기본 이벤트 이름
From 원시 이벤트 소스
Attributes 속성 이름 정의 및 원시 이벤트로부터의 대응
[NoiseFiltering 노이즈필터]

```
Primitive LightEvent
From LightSensor
Attributes { SerialNumber = Location + Time;
  LightIntensity = SignalStrength;
  Energy = RemainBattery }
NoiseFiltering { LightFilter1; LightFilter2 }
```

정의 3: 본 논문에서 복합 이벤트는 다음과 같이 명세할 수 있다.

Complex 복합 이벤트 이름 [subof 이벤트 이름들]{
Pattern 이벤트 패턴절 = {EACH} 연산자 (피 연산자 {(CON)}, ···)
[Where 조건절 = { [동치성 체크], 매개변수 조건} {CONTEXT 컨텍스트 정보 {KEY 키} } {WITHIN, INTERVAL, AT}]
[Action 이벤트 처리절]
}

Complex 키워드 뒤에는 정의하고자 하는 복합 이벤트의 이름을 지정한다. Pattern 키워드 뒤에는 검출하고자 하는 이벤트 패턴을 지정한다. Where 키워드 뒤의 조건 절에는 부가적으로 이 복합 이벤트를 유발(trigger)시킬 조건을 지정한다. Action 키워드 뒤에는 이벤트 처리를 위한 메쏘드의 이름을 지정한다. 조건절과 이벤트 처리절은 생략 가능하다.

패턴절에서 중괄호 "{}"은 옵션 항목을 표시하고, EACH 키워드는 복합 이벤트의 모든 인스턴스가 보고되어야 하는 것을 의미한다. EACH를 명시하지 않을 경우 첫 번째 복합 이벤트 인스턴스만 보고된다. CON 키워드는 특정 이벤트 인스턴스를 검색하도록 사용된다. 예를 들어 (reader="05AE")와 같이 리더기를 통하여 입력된 값이나, 특정 이벤트의 아이디를 지정할 수 있다. 조건절에서 동치성 체크는 이벤트들 간의 동일한 속성(attributes)에 대한 값(value)이 동일한지의 여부를 검사하고, 매개변수 조건은 매개변수인 피 연산자간의 제약 조건을 명시한다. CONTEXT 키워드 뒤에는 보다 정교한 다중 상황을 검출하기 위한 컨텍스트 정보를 기술하고, Key 키워드는 이벤트 인스턴스를 분류하는데 사용된다. WITHIN, INTERVAL, AT 키워드는 각각 복합 이벤트의 발생 시간 범위, 간격 시간, 특정 지정 시간을 표시한다.

다음은 복합 이벤트를 명세한 구체적인 한 예를 보여준다. 냉장고 생산 라인의 제조 공정 중 발생한 이벤트들을 MES, ERP 시스템을 통하여 수집하여 복합 이벤트를 검출하는 예로 특정 위치의 내/ 외부에서 순차적으로 발생한 이벤트 x(리더기 입력 값="05AE"), y에 대하여 refrigerator-id의 동일 여부를 체크하고, 매개변수인 중량의 크기 조건과 작업 교대라는 이벤트 컨텍스트 정보를 참조하여 10분 안에 상황이 종료되는 복합 이벤트를 검출한다.

```
Complex WeightCheck {
  Pattern ( EACH SEQ (IN_FOAM_ROOM (reader="05AE") x, OUT_FOAM_ROOM y)
  Where ( [refrigerator-id] and x.weight>y.weight
          CONTEXT work shift
          WITHIN 10 min )
}
```

이벤트 패턴절에 나오는 이벤트 인스턴스는 as를 사용하여 임의의 변수로 표현할 수 있다. 이렇게 표현된 변수는 해당 이벤트 인스턴스를 대표하며, 해당 이벤트 인스턴스의 속성 등을 참고하기 위해 사용된다. 다음은 엔터프라이즈 시스템에서 제공하는 트랜잭션 서비스 중 발생하는 복합 이벤트를 검출하기 위한 예로 AbortTransaction 이벤트가 발생하면 그것의 속성인 critical의 값을 검사하여 참이면 Log.logmessage 메쏘드에 인자로 전달하여 호출한다.

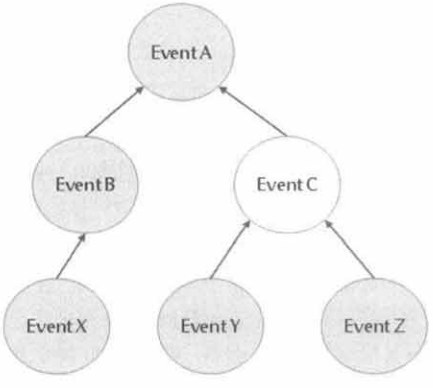
```
Complex TransactionCancel {
  Pattern ( AbortTransaction as x )
  Where ( x.critical = true )
  Action Call( Log.logmessage(x) )
}
```

이어지는 연산자 정의에서 이벤트 연산자의 문법과 의미를 자세히 설명한다.

(1) 연산자 정의

복합 이벤트는 이벤트 모델에서 제공되는 이벤트 연산자에 따라 그 표현력(expressiveness)이 달라진다. 본 연구에서 제안하는 이벤트 연산자는 Liu[13]와 실시간 모니터링 시스템[15][18] 등 기존의 연구결과를 개선 및 확장하여 엔터프라이즈 시스템의 서비스 모니터링에 적합한 이벤트 연산자를 설계한다.

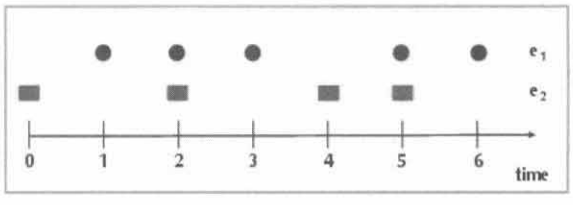
계층 지원 연산자: 복합 이벤트를 다루기 위한 주요 개념 중 하나는 이벤트의 계층적 구조화이다. 본 논문에서 제공되는 이벤트 계층 지원 연산은 다음과 같다. 이벤트 정의 시 상위 계층의 이벤트 명시를 위해 subof 연산자를 둔다. 복합 이벤트의 명세 시에 이벤트의 이름은 자동적으로 해당 이벤트를 포함한 하위 계층의 모든 이벤트들에 반응한다. 만일 하위 이벤트들을 제외하고 싶다면 이벤트 이름 뒤에 ! 연산자를 쓰면 된다. 예를 들어 복합 이벤트 CChildEvent가 CParentEvent의 하위 계층으로 선언된 경우(즉, CChild-Event subof CParentEvent), CParentEvent 이벤트는 CChildEvent을 포함하지만 CParentEvent! 이벤트는 CChildEvent을 포함하지 않게 된다. 예를 들어 EventA - EventC! or EventB 복합 이벤트는 EventA를 포함한 하위 이벤트들 혹은 EventB를 포함한 하위 이벤트에 대해 반응하지만 EventC에 대해서는 반응하지 않는다. 특히 EventC가 EventA의 하위 이벤트일 때 다음의 (그림 4)는 독립적인 이벤트 계층 중 사용자가 원하는 일부만을 이벤트 계층 연산을 통해 선택할 수 있음을 보인다.



(그림 4) 이벤트 계층 지원

이벤트 인스턴스 지칭 연산자: 이벤트는 이벤트 타입에 의해 정의되며, 이벤트 타입은 많은 이벤트인스턴스를 가지고 있을 수 있다. 이벤트 타입으로만 명세에 표시하면, 복합 이벤트의 검출 시에 후보가 되는 이벤트의 인스턴스가 다수 존재할 때 어느 인스턴스를 사용하며 어떻게 이력 버퍼(history buffer)에서 삭제할 지에 대한 해결이 필요하다.

본 논문에서는 확장된 이벤트 소비 모드를 지원하며, 특정 이벤트 인스턴스를 지칭할 수 있는 인스턴스 지정 연산 역시 제공함으로써 기존 연구에서 확장된 모델을 제공한다. 먼저 length와 use를 사용하여 최초 발생부터 몇 번째 이벤트 인스턴스까지 사용하고 이후는 폐기할 것인 지 결정할 수 있다. 예를 들어 length(50), use(first)로 지정하면 첫 번째 발생한 인스턴스부터 50번째까지 사용하고 이후에 발생하는 인스턴스들은 폐기함을 의미한다. 특정 이벤트 인스턴스를 지칭 시에는 현재 작성하고 있는 이벤트 인스턴스는 this로 가리킬 수 있고 prev(k)를 이용하여 k번째 이전의 인스턴스를 가리킬 수 있다. 파라미터 없이 (즉 prev로) 사용한 경우는 prev(1)와 같다. 이처럼 이벤트 이름에 인덱스를 사용하여 예전의 인스턴스를 사용할 수 있다. 만일 인덱스를 생략하면 가장 최근에 검출된 인스턴스를 지칭한다. 이벤트 인스턴스 앞에는 @ 연산자를 사용하여 그 이벤트 인스턴스의 타임스탬프를 돌려받을 수 있다. 예를 들어 @prev(1)은 동종의 복합이벤트 중 직전에 일어난 인스턴스의 타임스탬프를 나타낸다. R(Relative) 연산자는 지정된 시간을 기준으로 그때까지 발생된 이벤트들 중 최근 인스턴스를 골라낼 수 있게 한다. 여기에 @ 연산자를 붙여서 그 인스턴스의 타임스탬프를 얻어낼 수도 있다.

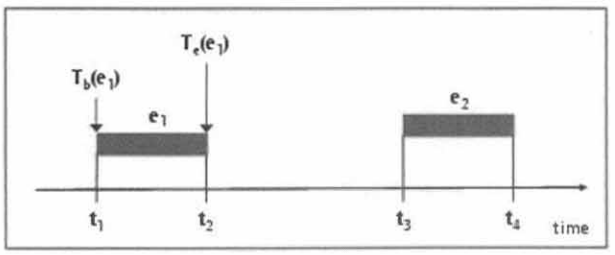


(그림 5) 이벤트 인스턴스 생성

(그림 5)은 어떤 시스템에서 두 종류의 이벤트가 발생한 연혁(event occurrence history)를 보여준다. 예를 들어 이벤트 e_1은 시스템 시간 1, 2, 3, 5, 6에 검출되었고, 각각의 발생에 대해 이벤트 인스턴스가 생성된다. 앞에 제시된 표기법을 이용하면 @(e_1, 1) = 1, @(e_1, 2) = 2, @(e_1, 3) = 3, @(e_1, 4) = 5, @(e_1, 5) = 6이다. R(e_2, @e_1, 3)은 e_1의 가장 최근 인스턴스의 타임스탬프를 기준으로 3번째 이전의 e_2 타입의 인스턴스를 가리킨다. 따라서 @R(e_2, @ e_1, 3) = 2이다.

시간 제약 연산자: 기존 연구에서는 이벤트가 발생한 특정 지정 시간에 대한 연산만 고려하였다. 본 논문에서는 지정 시간외에 간격 시간을 지정할 수 있도록 연산자를 확장한다. (그림 6)에서 이벤트 e_1의 발생이 완료된 시간 t_2가 e_1의 지정 시간이고, [t_1, t_2]는 e_1의 간격 시간이다. 즉, 정의하면 다음과 같다. T(e)가 이벤트 e의 시간을 나타낼 때, T_b(e)는 시작 시간(begin time)을, T_e(e)는 완료 시간(ending time)을 가리킨다. 일반적으로, 기본 이벤트는 지정 시간을 사용하고 복합 이벤트는 간격 시간을 사용한다.

본 논문에서는 서로 다른 이벤트들의 간격 시간들이 서로 독립적일 때 약한 시간 관계를 가졌다고 하며 서로 다른 이벤트들의 간격 시간들이 겹쳐질(overlapped) 때 강한 시간 관계를 가지고 있다고 하고, 다음과 같이 정형적으로 정의한다.



(그림 6) 지정 시간, 간격 시간과 시간 연산자

정의 4: 서로 다른 이벤트 사이의 약한 시간 관계는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$T(e_1) > T(e_2) \Leftrightarrow T_e(e_1) > T_b(e_2)$

정의 5: 서로 다른 이벤트 사이의 강한 시간 관계는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$T(e_1) > T(e_2) \Leftrightarrow T_b(e_1) > T_b(e_2) \wedge T_e(e_1) < T_e(e_2)$

인과관계 연산자: 이벤트 인과관계란 발생된 이벤트들 사이의 의존성을 의미한다. 즉, 먼저 발생 한 이벤트가 이후 발생한 이벤트의 원인이 되는 관계로, 본 논문에서는 직접 인과관계와 간접 인과관계로 분류된다. 직접 인과관계란 원인이 된 이벤트와 결과 이벤트 사이에 중간에 발생한 이벤트가 없는 경우를 의미하고, 간접 인과관계란 원인 이벤트와 결과 이벤트 사이에 중간 이벤트들이 존재하는 경우를 의미한다. 이를 정형적으로 정의하면 다음과 같다.

정의 6: 직접 인과관계는 $\rightarrow$ 연산자를 사용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$e_1 \rightarrow e_2 \Rightarrow e_1 \in e_2.c$

정의 7: 간접 인과관계는 $\overset{*}{\longrightarrow}$ 연산자를 사용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$e_1 \overset{*}{\longrightarrow} e_2 \Rightarrow \exists\ e_i, I \neq 1, 2, e_1 \rightarrow e_i \wedge e_i \rightarrow e_2$

기존 연구 [13][15]에서는 이벤트들의 시간적 선후관계만 다루어 인과관계를 별도의 요소로 다루지 않았다.

(2) 연산자 적용

복합 서비스 (Composite Service)인 비즈니스 프로세스는 하나 이상의 서브 프로세스들로 구성되며 서브 프로세스 역시 더 낮은 단계의 서브 프로세스들로 구성될 수 있다[19]. 이 경우 엔터프라이즈 시스템에서는 하나의 서브 프로세스상의 오류가 관계 있는 다른 서브 프로세스나 다른 단계의 서브 프로세스의 실행에도 영향을 주어 다량의 관련 이벤트가 발생되기도 한다[3]. 이러한 경우에 이벤트 계층 구조와 각종 이벤트 연산자가 관리자로 하여금 "이벤트 홍수"에 빠지지 않고 정확히 진단에 필요한 이벤트만을 필터링 할 수 있는 기능을 제공한다. 예를 들어 다음의 복합 이벤트 CascadingFailure는 가장 하위 계층의 서브 프로세스 오류가 파급되어 2단계 및 1단계 서브 프로세스의 오작동이 감지된 경우에 발생된다.

```
Complex CascadingFailure {
  Pattern ( SEQ( SPFailureLevel3,
  SPFailureLevel2, SPFailureLevel1, 5min))
}
```

다음은 어떤 링크에 이상이 생기면 자동적으로 그 링크에 대한 복구 노력이 행해지는 시스템의 경우, 자동 복구 시스템이 잘못 되었을 상황을 감지해서 이벤트를 발생하는 예이다. 단 링크 이상에 관한 이벤트 중 SystemAllShutDown이벤트는 제외한다.

```
Complex AutoRepairNotOccurWarning {
 Pattern (SEQ( (LinkDown - SystemAllShutDown ) as
        x, (LinkDown - SystemAllShutDown) as y ) )
 Where ( [id] and @R(RepairTry, @y, 1) < @x)
}
```

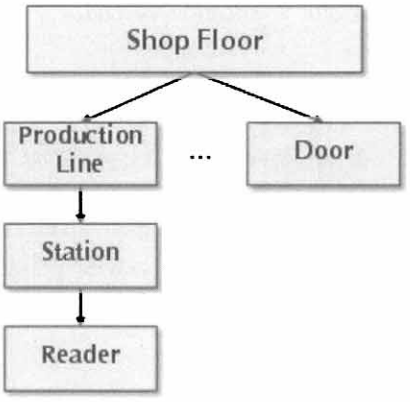
추가적으로 다음과 같은 이벤트를 정의해서 위의 AutoRepairNotOccurWarning가 일어나면 최대 10분에 한번씩 관리자에게 리포트하는 행위를 추가할 수 있다.

```
Complex InfrequentAutoRepairNotOccurWarning {
  Pattern ( AutoRepairNotOccurWarning as x )
  Where ( @this - @prev >= 10min )
  Action Call( Message.SendAdminWarning(x) )
}
```

본 연구의 응용은 엔터프라이즈 시스템의 서비스 관리에만 제한되지 않고 서비스 기반의 컴퓨터 시스템들의 다양한 경우에 적용될 수 있다. 예를 들어 다음의 예제는 인터넷 기반의 전자상거래 시스템에서 소비자가 물건을 찾아 장바구니에 옮기고 대금지불을 하는 구매 절차를 1분 안에 마치는 이벤트를 검출한다. 만일 이러한 패턴이 동일한 물건에 대해 반복된다면 FrequentSamePurchase 이벤트를 발생시킨다. 이러한 복합 이벤트가 짧은 시간 안에 자주 일어난다면 이것은 시스템의 오류로 인해 구매가 비정상적으로 폭증한 것으로 의심해 볼 수 있다.

```
Complex FrequentSamePurchase {
  Pattern ( SEQ(Find as x, MoveToCart as y, Pay, 1min) )
  Where ( [product_id] and @this - @prev <= 1min )
}
Complex FrequentSamePurchaseMoreThan5Within10min {
  Pattern ( COUNT(FrequentSamePurchase , ">=", 5, 10min) )
}
```

```
<SemanticSpace name="work shift">
  <initiator event="shift transition">
    <condition name="executeCondition"
      type="tSourceCondition">
  </initiator>
  <location name="shop floor"/>
  <role name="worker"/>
  <state name="production"/>
  <terminator event="shift transition">
    <condition name="completion"/>
  </terminator>
</SemanticSpace>
```



(그림 7) 의미 공간과 추상화 계층의 예

(3) 이벤트 컨텍스트

이벤트 컨텍스트는 보다 정교한 다중 상황 검출을 위해 낮은 단계의 이벤트에서 높은 단계의 정보로 변환되는 과정에서 필요한 부가적인 정보를 정의할 수 있도록 사용된다. 또한, 키와 함께 사용되어 이벤트 인스턴스를 분류하는 역할을 한다. 이에 대한 자세한 내용은 다음 절에서 기술한다. 이벤트 컨텍스트는 의미 공간과 추상화 계층의 두 가지 요소로 구성된다.

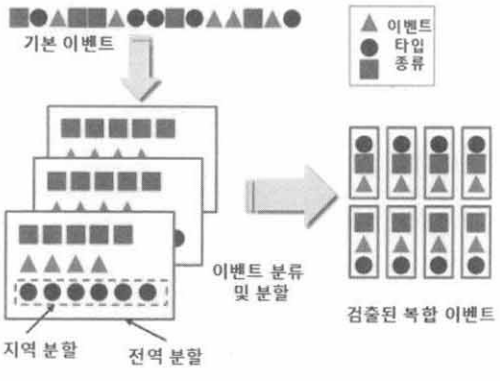
의미 공간은 상황 검출과 관련된 일시적인 컨텍스트이다. 일시적이라는 말은 의미 공간이 여러 상황들을 포함하는 시간 윈도우이기 때문이다. 의미 공간은 이벤트 데이터와는 비교적 독립적인 컨텍스트 정보, 예를 들면 (그림 7)에서 볼 수 있는 것처럼 location(위치), role(역할), state(상태) 등의 요소를 포함하며 initiator(개시 이벤트)와 terminator(종료 이벤트)로 명명되는 두 가지 이벤트를 발생시켜 시작과 종료의 경계를 설정한다. 즉, initiator의 발생은 의미 공간을 초기화하는 역할을 하고, terminator의 발생은 의미 공간을 종료시키는 역할을 한다. (그림 7)의 의미 공간 정의에서 initiator와 terminator의 condition에 의해 정의된 조건이 충족될 경우 의미 공간이 각각 생성 및 종료된다.

추상화 계층은 의미 공간에서 정의된 속성에 대하여 그 특성을 반영한 범위를 계층 구조로 정의한다. 정의된 속성은 복합 이벤트의 성격에 따라 위치, 조직, 제품 등과 같이 서로 다른 규격을 적용하는 대상들일 수 있다. 예를 들어 그림 7에서 의미 공간의 location에 정의된 "Shop Floor(생산 현장)"라는 하나의 항목은 위치에 대하여 높은 단계에서 낮은 단계로 계층화하여 표현할 수 있다. 즉, 이벤트를 수집하는 "reader"가 최하위 단계이고 "shop floor"가 가장 높은 단계로 정의되어 있다. 이와 같이 추상화 계층을 사용함으로써 다양한 이벤트들을 처리하는 과정에서 이벤트 속성들의 추상화가 가능하고 이를 통해 이벤트들을 분류하기가 용이해진다. 또한, 앞서 기술한 인과관계 벡터, 인과관계 연산자와 함께 사용하여 원인-결과 관계를 도출하여 이벤트간의 행위 분석을 용이하게 할 수 있다. 즉, 관심사항에 대하여 근본 원인이 된 이벤트와 해당 이벤트의 최하위 계층의 이벤트 소스까지 검출해 냄으로써 정교한 이벤트 분석을 가능하게 한다.

(4) 이벤트 인스턴스 분류를 위한 키(key)의 정의

생성된 이벤트 인스턴스들은 키의 값에 따라 분류 및 분할된다. 키는 같은 이벤트 타입으로 정의된 여러 이벤트 인스턴스들을 매치(match)시키는데 사용된다. 즉, 서로 다른 이벤트 인스턴스에 속한 속성들의 값을 통하여 이벤트 인스턴스들 사이의 의미적 동일성을 판단하는데 사용된다.

키는 이벤트 컨텍스트의 요소이자 시간 윈도우인 의미 공간과 함께 사용되어 서로 다른 단계의 이벤트 인스턴스들을 분할 할 수 있다. 전역 키(global key)는 이벤트 인스턴스들의 공통 속성으로서 이를 기준으로 의미 공간을 분할하고, 지역 키(local key)는 분할된 전역 분할 그룹 내에서 각각의 이벤트 인스턴스를 분할하는 기준이 된다. 이를 그림으로 표현하면 (그림 8)과 같다.



(그림 8) 이벤트 인스턴스의 분류 및 분할

정의 8: 전역 키는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$global\ key=\{attr \mid attr \in situaton.operand.a\ and\ attr \in situation.semanticspace.initiator.a\ and\ a \in situation.semanticspace.terminator.a\}$$

정의 9: 지역 키는 다음과 같이 정의할 수 있다.
local key={attr | attr ∈ situation.operand.a}

본 연구에서 제안된 복합 이벤트 모델은 정형화 된 이벤트 타입과 인스턴스의 명세를 지원하며 다양하고 풍부한 연산자와 규칙, 기능을 제공하여 기존의 단순한 ECA 기반의 이벤트 명세와 처리가 아닌 복잡한 비즈니스 환경의 적용과 표현의 용이성을 고려하여 설계되었다. 또한, 이벤트 메타모델과 이벤트 컨텍스트, 키 등의 매커니즘을 제공하여 보다 정교한 이벤트 분석을 가능하게 한다.

5. 본 연구의 응용 사례

본 장에서는 제안된 복합 이벤트 모델의 적용성 및 응용성을 보여주기 위해서 제조업체의 냉장고 생산 라인의 비즈니스 프로세스 모델을 적용한다. 먼저 적용할 시나리오에 대하여 기술하고, 시나리오에서 발생할 수 있는 주목할 만한 상황을 제안된 이벤트 모델을 이용하여 명세한 후, 응용사례 연구의 결과로 장점을 기술한다.

5.1 시나리오

적용될 시나리오는 한 가전업체의 냉장고 생산 공장의 제조 업무로 RFID 리더기가 각 생산 라인의 주요 위치에 설치되어 있고 이를 통하여 이벤트를 수집한다고 가정한다. 시나리오의 구성은 <표 1>과 같다.

(그림 9)는 <표 1>의 시나리오를 적용하여 복합 서비스인 비즈니스 프로세스 형태로 표현한 것이다. 비즈니스 프로세스 모델링은 BPEL 2.0 표준을 준수하는 오픈 소스인 Apache ODE [20]를 사용하였다. (1) ~ (6)은 <표 1>의 시나리오의 순서가 비즈니스 프로세스 모델에서 어느 부분(액티비티)에 매핑되는지를 표현한 것이다.

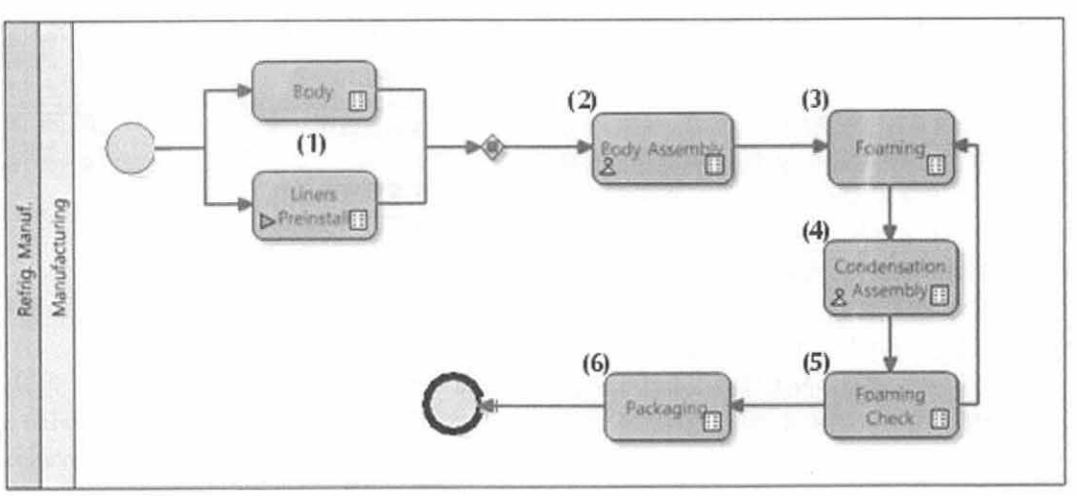
〈표 1〉 냉장고 생산 공정 시나리오

(1) 냉장고 몸체와 미리 덧입혀진 포장용 안감들은 동시에 준비되며, 둘 모두 준비가 되면 프로세스가 시작된다. (2) 작업자는 냉장고의 밑판과 뒷판 등 몸체를 조립하고, (3) 기포를 생성하여 고분자 수지 내에 분산시켜 제품을 제조하는 발포성형 작업을 거쳐, (4) 모델 별 해당 압축기(compressor)를 투입하여 냉장고와 압축기를 조립한다. (5) 발포성형 공정에서 생성된 기포에서 셀의 크기, 형태, 분포 등 체크 항목을 점검하고 품질이 적절치 못할 경우 해당 냉장고는 (3)번 작업으로 돌아간다. (6) 마지막으로 준비된 포장용 안감을 사용하여 포장한다.

5.2 복합 이벤트의 명세

앞서 정의한 시나리오에 대하여 운용과 관리 두 가지 측면에서 본 연구에서 제안된 복합 이벤트 모델을 응용해본다.

첫째, 먼저 조립 공정에서 부품과 냉장고간의 잘못된 조립 등과 같은 운용측면에서 응용할 수 있다. 예를 들어 다음은 "압축기 조립 활동(Condensation Assembly Activity)"에서 냉장고와 압축기 1대를 조립 시 RFID 리더기 등 센서에 의해 냉장고 및 압축기의 종류가 식별되고 만약 잘못된 압축기가 결합되고 있고 이벤트 간격 시간이 10분일 경우 작업요원에게 잘못된 압축기 종류가 조립되고 있다는 것을 알려주기 위한 복합 이벤트를 검출한다. 조건절의 CONTEXT 키워드 뒤에 명시한 "작업 교대(work shift)"라는 이벤트 컨텍스트 정보는 의미 공간에 포함된 위치, 역할, 상태 정보와 추상화 계층의 계층 구조로 정의된 위치 정보를 통해서 해당 이벤트가 생산 현장에서 작업자가 생산 공정 작업 중 발생한 것이며, 어떤 작업대의 어떤 리더기를 통해 발생하였는지도 알 수 있다. 즉, 근본 원인이 있는 장소를 정확하게 지적할 수 있다. 본 시나리오에 대한 이벤트 컨텍스트의 구체적인 항목별 데이터 값은 4.4절의 (그림 7)에 정의되어있다.



(그림 9) 냉장고 생산 공정의 비즈니스 프로세스 모델

```
Complex TypeCheck {
  Pattern ( A=AND (REFRIGERATOR,
          OR (COMPRESSOR01, COMPRESSOR02)) )
  Where ([compressor_type] and A == NULL CONTEXT
        work shift
      INTERVAL 10 min )
}
```

둘째, 작업 시간 및 품질 관리, 배송 서비스 관리 등과 같은 관리측면에서 응용할 수 있다. 다음은 작업시간과 품질을 정확하게 평가하기 위해 기본 이벤트인 WORKTIME과 QUALITY의 기록에 따라 모든 작업요원의 모든 작업장에서 작업시간과 품질을 분석할 수 있는 복합 이벤트이다.

```
Complex QualityCheck {
  Pattern ( EACH SEQ (WORKTIME, QUALITY) )
  Where ([person_id, station] INTERVAL AUGUST )
}
```

다음은 제품의 배송 서비스 중 배송 착오를 검출할 수 있는 예로, TRUCK 이벤트는 배송 수단인 트럭이 준비되었음을 명세하고, EXIT-READING 이벤트는 context.type의 내용을 통해 올바른 제품과 수요자인지를 확인하고 잘못 되었을 경우 검출되는 복합 이벤트이다.

```
Complex ShipmentCheck {
  Pattern ( EACH SEQ (TRUCK,
          EXIT-READING (type != context. type )) )
}
```

본 연구의 응용은 엔터프라이즈 시스템의 서비스 관리에만 제한되지 않고 다양한 경우에 적용될 수 있다. 예를 들어 다음은 최근 컴퓨터 네트워크 기반의 시스템에 자주 발생하고 있는 DOS(Denial of Service) 공격의 검출 예이다. TCP/IP 프로토콜의 Sync 및 Ack 메시지에 대응되는 SynEvent와 AckEvent를 이용하여 SyncEvent가 AckEvent 없이 같은 소스에서 연속되는 경우 FrequentHalfOpen이벤트를 발생시키고, 이러한 Frequent-HalfOpen 이벤트가 짧은 시간 안에 반복되는 경우 DOS 공격에 대한 경보를 발생시킨다.

```
Complex FrequentHalfOpen {
Pattern ( SEQ(SynEvent as x, ~AckEvent, SynEvent
        as y, 5sec) )
Where ( @this - @prev <= 10sec and x["source"] =
        y["source"] )
}
Complex DosSymptom {
Pattern ( COUNT(FrequentHalfOpen , ">=", 10, 2min) )
Action Call( Message.SendDOSWarning() )
}
```

앞서 정의한 시나리오에 대하여 제안된 이벤트 모델을 응용해 본 결과 수집된 이벤트들의 조합의 의미를 발견하고 이를 해석하여 기업에 보다 가치 있고 유용한 비즈니스 정보의 제공이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이를 운용과 관리 측면으로 나누어 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

1. 운용 측면에서 이벤트들간의 시간, 인과관계 및 계층관계를 추출해 낼 수 있다. 이 기능은 이벤트간 혹은 시스템의 행위 분석을 용이하게 할 수 있다. 또한, 이벤트 컨텍스트 매커니즘은 이들 연산자와 함께 사용되어 관심사항에 대하여 근본 원인이 된 이벤트와 해당 이벤트의 최하위 계층의 이벤트 소스까지 검출해 냄으로써 정교한 이벤트 분석을 가능하게 한다. 이에 대한 예는 TypeCheck 복합 이벤트에서 구체적으로 살펴볼 수 있었다.

2. 관리 측면에서 관리자들의 정확한 판단과 조기 대응을 가능하게 할 수 있다. 위 사례 중 배송 서비스의 예를 들면, 과거의 제품 배송 이력을 분석하여 배송 지연의 문제를 분석하고 현재 진행중인 배송 현황을 개선하고자 할 때, 기존의 방법은 배송 시간에 영향을 미치는 지표를 정성적으로 탐색하여 비즈니스 규칙을 적용하는 정성적 접근법을 사용하였다. 이러한 방법의 경우 예기치 못한 상황이나 새로운 추세를 민첩하게 반영하지 못할 우려가 있다. 본 연구에서 제안된 이벤트 모델은 의사 결정에 필요한 정보를 지원하며, 이상 징후의 검출을 자동화하여, 변화에 능동적으로 대응하면서 이상 징후를 조기 경보 할 수 있다는 장점이 있다.

3. 관리 측면에서 궁극적으로 자동화된 엔터프라이즈 서비스 모니터링을 가능케 한다. 이상 징후 혹은 다중 상황 검출의 자동화와 더 나아가 이에 대한 대응 역시 복합 이벤트의 처리절에 명시함으로써 자동화된 대응 및 조치를 가능케 한다. 이에 대한 예는 FrequentHalfOpen 복합 이벤트에서 살펴볼 수 있었다. 대응은 단순한 경보 발생에서부터 엔터프라이즈 시스템의 특정 기능을 작동시키거나 BPMS의 특정 비즈니스 프로세스를 실행 시키는 등으로 확장될 수 있다.

6. 평 가

기존 연구와 비교해 보면, McGregor[10]는 이벤트 프로세싱 컨테이너를 통하여 실시간에 많은 수의 프로세스 이벤트들을 처리할 수 있도록 하였다. 하지만 기반 이벤트 모델이 단순 이벤트 모델로 복합 이벤트를 지원하지 않아 단순히 알람(alarm) 이벤트의 정적인 포함 관계 기술에 그치고 있다. Snoop[12]은 능동 데이터베이스 시스템을 위해 제안된 이벤트 명세 언어로서 SEQ 및 고정된 시간 윈도우에 대한 지원을 제외하고는 시간적 관계 연산자의 지원이 부족하다. 또한, 복수 개의 이벤트 인스턴스들 중에서 특정 인스턴스를 지정하는 연산자가 없어 복잡한 비즈니스 환경에 적용하기에는

적합하지 않다. Liu[13]는 실시간 시스템의 시간적 양태(temporal behavior)를 기술하기 위해 개발된 Real-Time Logic(RTL)[14]을 확장한 복합 이벤트 모델에 기반하고 있다. 따라서 이벤트 인스턴스 수준의 명세가 가능하고, 단순 계층 지원 연산 및 인과관계 명세를 지원한다. 하지만, 네트워크 관리 시스템이라는 특정 도메인에 초점을 맞추어 제한적인 이벤트 명세만 제공함으로써 복잡한 비즈니스 환경의 적용과 표현에는 한계가 있다. Luckham[15]의 연구에서는 복합 이벤트 구현을 위해 RAPIDE 언어를 개발하였으며 이벤트의 연관성 정보를 사용하여 이벤트 패턴, 추출, 결합 등의 기술을 사용한 이벤트 모델을 제안하였다. 하지만 수집되는 이벤트의 메타모델이나 구체적인 형태는 언급하지 않았으며, 이벤트 타입에 기반한 모델이기 때문에 인스턴스 간의 복잡한 시간 관계를 나타내는 데에는 부족함이 있다.

본 연구에서 제안된 이벤트 모델을 평가하기 위하여 다음과 같은 평가항목을 선정하였다. 선정 기준은 이벤트 모델의 표현력을 결정짓는 연산자의 다양성을 기반으로 관련 연구 [12][13][15]에서 중요하게 언급된 이벤트 계층 및 시간적 관계, 인과관계에 관련된 연산자 항목과 정교한 이벤트 분석을 가능하게 하는 기법 등을 평가 항목으로 선정하였다. 이를 통하여 제안된 이벤트 모델의 특장점을 알 수 있다.

- 기반 이벤트 모델: 이벤트 처리 과정의 기반이 되는 이벤트 모델이 낮은 단계의 단순 이벤트 처리에 기반한 단순 이벤트 모델인지 높은 단계의 정보로 변환되는 복합 이벤트 처리 기반의 복합 이벤트 모델인지에 대한 평가
- 이벤트의 정형 명세: 이벤트 인스턴스들의 클래스에 해당하는 이벤트 타입을 정형 명세 기법을 사용하여 정의함으로써 모호성 없는 이벤트 명세를 지원하며, 이를 통한 이벤트 처리의 확실한 기초를 제공하는지에 대한 평가
- 이벤트 타입에 의한 명세: 이벤트를 정의 또는 명세할 때 이벤트 타입에 의한 명세를 지원하는 지에 대한 평가
- 이벤트 인스턴스 수준의 명세: 이벤트 타입은 많은 이벤트 인스턴스를 가지고 있을 수 있다. 이벤트 타입으로만 명세에 표시하면, 같은 타입의 복수개의 인스턴스가 존재할 때, 복합 이벤트의 검출 시 후보가 되는 이벤트의 인스턴스 중 어느 인스턴스를 사용하며 어떻게 이력 버퍼에서 삭제할 지에 대한 해결이 필요하다. 따라서 특정 인스턴스를 지정하는 인스턴스 지칭 연산자가 필요하다.
- 이벤트 메타모델 정의: 이벤트 메타모델은 이벤트 처리를 위해 필요한 구문과 규칙을 명확하게 명시한 모델로 효과적인 이벤트 처리 및 분석을 위한 모든 요소의 확실한 기초를 제공하며 이벤트 명세의 일관성을 유지하기 위해 필요하다.
- 이벤트 계층 표현: 이벤트를 계층적으로 구조화 시키는 것은 복잡성을 컨트롤하기 위한 디자인 기술로 동등 계층 및 상/하 계층의 이벤트 간에 서로 연관성을 정의해 줌으로써 복잡성을 단순화 시켜줄 수 있으며, 복잡한 비즈니스 환경을 적용 및 표현하기 위해 필요하다.
- 확장된 시간 관계 표현: 실시간 모니터링을 위해서는 발생되는 이벤트 인스턴스 간의 정확한 타이밍 제약에 관한 명세가 가능해야 하며 이를 위해 지정 시간에 대한 연산뿐만 아닌 시간적 관계를 원활하게 표현할 수 있는 연산자가 필요하다.
- 인과관계 명세: 이벤트간의 원인-결과 관계를 도출하여 이벤트간 혹은 시스템의 행위 분석을 용이하게 할 수 있는 인과관계 명세를 지원하는지에 대한 평가
- 정교한 다중 상황 검출 기법: 다양한 연산자와 규칙, 기능을 제공하는 것 외에 이벤트 데이터와는 독립적으로 더 많은 상황 정보를 검출하며 보다 정교한 이벤트 분석을 가능하게 하는 기법을 제공하는지에 대한 평가(본 논문에서는 이벤트 컨텍스트, 키)

이상의 평가 항목으로 <표 2>에서와 같이 기존 연구와 본 논문을 비교해 보았다.

〈표 2〉 기존 연구와의 비교 평가

○:지원, △:부분 지원

평가 항목 \ 대상	McGregor[10]	Snoop[12]	Liu[13]	Luckham[15]	본 논문
기반 이벤트 모델	단순 이벤트 모델	복합 이벤트 모델	RTL	복합 이벤트 모델	복합 이벤트 모델
이벤트의 정형 명세		△	△		○
이벤트 타입에 의한 명세		○	△	○	○
이벤트 인스턴스 수준의 명세			○		○
이벤트 메타모델 정의	△				○
이벤트 계층 표현			△	△	○
확장된 시간 관계 표현 (간격 시간)					○
인과관계 명세 (연산자와 인과관계 벡터)			△	○	○
정교한 다중 상황 검출 기법 (이벤트 컨텍스트, 키)					○

7. 결 론

본 연구에서는 복잡한 비즈니스 환경에서 발생하는 다양한 이벤트들을 효과적으로 처리하여 다중 상황 검출을 통해 보다 가치 있고 유용한 비즈니스 정보의 제공 및 조기 대응을 가능하게 하는 확장된 복합 이벤트 모델을 제시하였다. 제안된 이벤트 모델은 엔터프라이즈 시스템에서의 서비스 모니터링에 적합하도록 다양하고 풍부한 연산자와 규칙, 기능 및 보다 정교한 이벤트 분석을 위한 기법 등을 제공한다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 먼저 엔터프라이즈 환경에서 발생하는 다양한 이벤트들을 보다 효율적으로 수집하고 효과적으로 분석, 대응하기 위한 엔터프라이즈 이벤트 처리 아키텍처를 제안하고 이를 통해 복합 이벤트 모델 특히, 이벤트 메타모델의 설계를 위한 기초를 제공하였다.

둘째, 이벤트 타입을 정형 명세 기법을 사용하여 정의함으로써 모호성 없는 이벤트 명세를 지원하며, 이를 통한 이벤트 처리의 확실한 기초를 제공하였다.

셋째, 이벤트 타입뿐만 아니라 이벤트 인스턴스 단위로도 이벤트 명세를 할 수 있도록 인스턴스 지칭 연산자를 제공함으로써 복잡한 비즈니스 환경의 적용을 위한 모델의 표현력을 증가시켰다.

넷째, 이벤트 처리를 위해 필요한 구문과 규칙을 명확하게 명시하며 제안된 이벤트 모델을 구성하는 모든 요소의 확실한 기초를 제공하는 이벤트 메타모델을 정의하였다. 제안된 이벤트 메타모델은 OASIS WEF [6] 표준을 기반으로 정의되었다.

다섯째, 이벤트의 계층적 구조화를 지원하여 동등 계층 및 상/하 계층의 이벤트 간에 서로 연관성을 정의해 줌으로써 복잡성을 단순화 시키며, 복잡한 비즈니스 환경의 적용 및 표현을 용이하게 하였다.

여섯째, 발생되는 이벤트 인스턴스 간의 정확한 타이밍 제약에 관한 명세를 위해 지정 시간외에 간격 시간을 지정할 수 있도록 연산자를 확장하였으며, 이벤트 간의 원인-결과 관계를 도출하여 이벤트간 의 행위 분석을 용이하게 하는 인과관계 연산자를 제공하였다.

일곱째, 이벤트 데이터와는 독립적으로 더 많은 상황 정보를 검출하며 보다 정교한 이벤트 분석을 가능하게 하는 이벤트 컨텍스트 매커니즘을 제공하였다.

이와 같이 설계된 이벤트 모델로써 다양한 사례에 연산자를 적용하여 보았고, 구체적인 응용 사례를 통하여 적용 가능성 및 유효성을 확인할 수 있었다. 마지막으로 기존의 연구들에 비해 본 연구에서 제안된 모델이 가지는 장점을 제시하였다. 제안된 이벤트 모델은 엔터프라이즈 시스템의 서비스 모니터링을 위해 설계되었으나 이에 제한 되지 않고 다양한 응용에 사용될 수 있다.

본 연구는 향후에 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다. 이를 구체적으로 살펴보면 첫째, 제안된 이벤트 모델은 이벤트들간의 계층적 구조를 지원하여, 일반적인 복합 이벤트 시스템에 비해 수행 시간 부담이 예상된다. 또한 이벤트 인스턴스에 대한 연산자 지원 및 시간 관계 연산자 처리에 대해 최적화 전략이 고려 되어야 할 것이다. 둘째, 최적화 전략과 제안된 이벤트 모델의 이벤트 검출 알고리즘 구현 및 실제 시스템에 적용해 보는 것이 필요할 것이다. 셋째, 구현한 프로토타입을 통해 정량적인 성능 측정도 필요할 것이다. 성능 측정 결과를 통해 증진된 표현력과 수행 시간 부담에 대한 분석을 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Nam-Yong Lee, and C.R. Litechy, "An empirical study of software reuse with Special Attention to Ada", Software Engineering, IEEE Transactions , 1997.

[2] K. M. Chandy, "Event-Driven Applications: Costs, Benefits and Design Approaches," *California Institute of Technology*, 2006.

[3] K. M. Chandy, S. Ramo and W. R. Schulte, "What is Event Driven Architecture (EDA) and Why Does it Matter?," *Gartner Inc.*, 2007.

[4] 금득규, 김수동, "효율적인 서비스 모니터링을 위한 이벤트 주도 동적 모니터," *한국정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용*, 제37권 제12호, pp.892-908, 2010년 12월.

[5] D. Luckham, The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems, Addison-Wesley, 2002.

[6] OASIS, Web Services Distributed Management: Management Using Web Services (MUWS 1.0) Part 1 and Web Services Distributed Management: Management Using Web Services (MUWS 1.0) Part 2, 9 March, 2005.

[7] Lin, K., Panahi, N., Zhang, Y., Chang, S.,"Building Accountability Middleware to Support Dependable SOA" IEEE Internet Computing, Vol.13, No.12, 2009.

[8] Baresi, L., Guinea, S., Pistore, M., Trainotti, M., "Dynamo + Astro: An Integrated Approach for BPEL Monitoring," IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2009), pp.230-237, 2009.

[9] Gartner Inc., "Event-Driven Architecture Complements SOA," http://www.gartner.com/Display Document? doc_cd=116081.

[10] McGregor, C., and Schiefer, J., "A web-Service based framework for analyzing and measuring business performance," Information Systems and e-Business Management, Vol.2, No1, pp.89-110, Springer, 2004.

[11] N. W. Paton and O. Diaz, "Active Database Systems," ACM Computing Surveys, 31(1), 1999.

[12] S. Chakravarthy et al., "Composite Events for Active Databases: Semantics, Contexts and Detection," In Proc. of the International Conference on Very Large Data Bases

(VLDB), 1994.
[13] G. Liu et al., "Composite Events for Network Event Correlation," Proc. of the IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network Management, 1999.
[14] A. K. Mok and G. Liu, "Efficient Runtime Monitoring of Timing Constraints," In Proc. of the IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium (RTAS), 1997.
[15] D. Luckham and B. Frasca, "Complex Event Processing in Distributed System," Stanford University Tech, Report CSL-TR-98-754, Mar., 1998.
[16] M. Hellinger and S. Fingerhut, "Business Activity Monitoring: EAI Meets Data Warehousing". eAI JOURNAL, pp.18-21, July, 2002.
[17] C. G. Lee et al., "Monitoring of Timing Constraints with Confidence Threshold Requirements," IEEE Transactions on Computers, 56(7), 2007.
[18] 이기성, 이창하, 이찬근, "이벤트 상관 기반의 네트워크 관리 시스템을 위한 복합 이벤트 모델의 설계," *한국정보과학회논문지: 정보통신*, 제37권 제1호, pp.8-15, 2010년 2월.
[19] Erl, T., SOA Principles of Service Design, Prentice Hall, July, 2007.
[20] Apache ODE, http://ode.apache.org/index.html

금 득 규

e-mail : dkkum73@gmail.com
1995년 강남대학교 산업공학과(공학사)
2005년 숭실대학교 정보통신학과(공학석사)
2006년~현 재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정
2009년~현 재 동서울대학 겸임교수
관심분야 : 서비스지향 아키텍처, 클라우드 컴퓨팅, 엔터프라이즈 시스템 등

이 남 용

e-mail : nylee@ssu.ac.kr
1983년 고려대학교 경영정보학과(석사)
1993년 미시시피주립대학 경영정보학과 (경영학박사)
1979년~1983년 국군정보사령부 정보처 정보시스템분석 장교
1983년~1999년 한국국방연구원 군수체계 및 정보체계연구부장
2000년 한국전자거래학회 논문편집위원장
2004년 한국정보통신기술사협회 회장
1999년~현 재 숭실대학교 컴퓨터학과 교수
관심분야 : 소프트웨어 테스팅, 시스템 엔지니어링 등