Regular paper http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2014.9.1.61

의료기관 RFID 도입을 위한 시뮬레이션 기법

류우석*

A Simulation Technique for RFID Adoption in Hospital

Woo-Seok Ryu*

요 약

RFID는 유헬스의 핵심 기술로서 환자 위치 추적 관리, 의료 자산관리 등 다양한 목적으로 의료기관에 적용될 수 있다. 하지만, 정작 의료기관에서는 높은 도입 비용으로 인하여 RFID 도입이 기대와 달리 적극적이지 못한 실정이다. 도입 검토 단계에서 정확한 비용과 도입 효과를 산정하는 것은 의료기간에서의 RFID 확산에 꼭 필요하다. 본 논문에서는 의료기관에서 RFID 도입시 예상되는 비용 및 효율을 평가하기 위한 시뮬레이션 기법을 제안한다. 의료기관을 대상으로 하여 태그를 부착한 환자의 이동을 가상으로 모델링하는 기법을 제시한다. 그리고 환자의 이동에 따른 RFID 태그 인식 시뮬레이션을 통해 태그 인식 이벤트를 생성하는 방법을 제시한다.

ABSTRACT

As a key technology of U-health, RFID can be applied to the hospitals in a variety of cases such as patient tracking, medical instrument management, and so on. However, adoption of RFID in healthcare does not reach expectations because of huge cost. Exact estimation of cost and effectiveness will boost adoption of RFID in healthcare. This study proposes a novel simulation technique to evaluate cost and effectiveness of RFID in hospital environment. To do this, this study proposes a technique for modeling patients' movements in a hospital. Based on the model, this study provides how to obtain tag event dataset by means of simulating identifications of RFID tags that are attached to patients.

키워드

RFID, Dataset, Simulation, Ubiquitous, Healthcare
RFID, 데이터셋, 시뮬레이션, 유비쿼터스, 헬스케어

Ⅰ. 서 론

RFID 기술은 무선 주파수를 통해 태그를 부착한 물품의 이동을 리더가 자동으로 식별함으로써 물품의 위치를 추적하는 기술이다. RFID 기술은 제조물류, 공급망 관리, 자산관리 등에 광범위하게 활용되고 있으며 특히 u-Health의 핵심 기술로 각광받고 있다[1][2][3]. 보건의료 분야의 경우 의약품 공급망 관리, 병원 내 환자 위치 관리, 약제 투약 관리, 의료 기자재 자산 관리 등 다양한 분야에 RFID가 적용되고 있다[4][5].

병원에 RFID를 도입하는 경우 의료시간 단축, 비용절감, 환자 안전 향상, 의료 사고 억제 등의 다양한 이점에도 불구하고, 병원의 RFID 도입은 그리 활발하

* 교신저자(corresponding author) : 부산가톨릭대학교 병원경영학과(wsryu@cup.ac.krl)
접수일자 : 2013. 11. 12 심사(수정)일자 : 2013. 12. 16 게재확정일자 : 2014. 01. 13

지는 않은 실정이다. 그 이유로 전파방해로 인한 의료기기 문제 등의 기술적인 부분 이외에도 프라이버시, 표준화, 비용 등의 문제가 제시되고 있다[5]. 그중에서도 비용은 리더, 태그 등의 하드웨어, 소프트웨어, 유지보수 등을 포함하여 초기 도입 비용이 매우 높은 특성이 있다. 이에 따라 도입 비용에 따른 효과를 산정하기가 매우 어려운 문제가 있다.

RFID 도입 비용의 예측을 위한 방법론으로서 실제 상황을 모방하여 실행하는 시뮬레이션 기법이 적용될 수 있다[6][7][8]. RFID 시뮬레이션은 의료기관 내에 가상의 RFID를 설치하고 환자 또는 물품에 부착된 태그를 이동시킴으로써 가상의 태그 인식 이벤트들을 생성하는 방법이다. 가상 설치된 RFID 리더 및 태그를 통해 하드웨어 비용을 추산할 수 있으며, 생성된 태그 인식 이벤트 데이터셋을 통해서 소프트웨어 비용을 추산할 수 있다. 또한 생성된 데이터셋은 분석을 통해 RFID 도입 효과를 예측하는데 활용할 수도 있다. 즉, 시뮬레이션을 통해 도입 효과 및 비용을 미리 산정하는 것은 물론 RFID 도입의 적정성을 평가하는 데도 매우 유용하다.

의료기관에서 RFID 도입 여부를 검증하기 위한 시뮬레이션은 몇 가지 요구 조건을 만족해야 한다. 첫째, 의료기관의 내부 구조를 표현할 수 있어야 한다. 둘째, 의료기관 내의 다양한 부서를 방문하는 환자 및 물품의 이동을 가상으로 표현할 수 있어야 한다. 셋째, 시간의 흐름에 따라 시계열 태그 인식 이벤트 데이터셋을 생성할 수 있어야 한다.

RFID 시뮬레이션과 관련한 기존의 연구는 태그 인식 이벤트 데이터셋의 생성기법에 관한 연구로부터 출발하였다. 초기의 연구들은 RFID 소프트웨어의 성능 평가를 목적으로 하여 리더의 에뮬레이션을 통한 대량의 데이터셋을 생성하는데 중점을 두고 있다[9]. 이 연구는 RFID 리더의 기능을 에뮬레이션하는 것에 초점을 맞춤에 따라 환자 및 물품의 이동을 가상으로 표현하는 데에는 한계가 있다. 이후 RFID 응용환경의 가상화를 통해 다양한 RFID 환경에서의 태그 이동을 시뮬레이션하는 기법이 제시되었다[10][11]. 사용자의 간단한 설정을 통해 시뮬레이션을 수행하고 이를 통해 데이터셋을 생성시킬 수 있는 기법이다. 하지만, 이 방법들도 생산라인, 공급망 등 태그의 이동이 비교적 단순하고 명확한 경우에만 적용 가능하며 병원과 같이 태그의 이동이 비교적 복잡한 경우를 표현하지 못하는 문제가 있다.

본 논문에서는 기존의 연구 중 RFID 시뮬레이션 네트워크 모델(RSN)[11]을 확장하여 태그의 복잡한 이동을 표현하고 이를 기반으로 의료기관 시뮬레이션을 수행하기 위한 기법을 제안한다. 환자의 움직임 패턴을 고려한 태그 상태 모델을 제시하고 이를 RSN과 결합함으로써 병원에서의 다양한 환자 이동에 따른 시뮬레이션을 실행하는 기법을 제시한다. 이를 통해 병원과 같은 복잡한 환경에서도 시뮬레이션을 통한 비용 및 효율성 평가가 가능함을 입증하고자 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 선행 연구인 RFID 시뮬레이션 네트워크 모델을 간략히 기술하고, 3장에서는 병원 응용환경을 대상으로 한 시뮬레이션 모델을 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션 모델에서 환자의 이동을 표현하기 위한 태그 상태 모델 및 이에 기반한 시뮬레이션 기법을 제안한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구를 기술한다.

II. RFID 시뮬레이션 네트워크 모델

기존의 리더 에뮬레이션을 이용한 데이터셋 생성 기법은 RFID의 기술적 특성인 태그의 통신장애로 인한 데이터 유실, 반복 이벤트 생성 등이 고려되지 않으며, RFID 응용 환경의 특성인 태그의 이동경로 및 이동 패턴 등이 전혀 반영되지 않음에 따라 생성된 데이터셋의 활용도가 매우 제한적이었다. RFID 시뮬레이션 네트워크 모델(RSN)[11]은 RFID 환경의 여러 특성들을 고려하여 실제 RFID 환경을 그대로 모방함으로써 RFID 환경 내에서의 태그의 이동을 네트워크 그래프 형식으로 표현한 모델이다.

RSN의 표현 기법은 그래프 모델인 페트리넷[12]을 확장한 형태로써 페트리넷을 구성하는 장소(Place), 이동(Transition), 토큰(Token)등의 구성요소 이름을 RFID 환경에 맞게 리더(Reader), 프로세스(Process), 태그(Tag), 아크(Arc)로 재 정의한 모델이다. 여기서 리더는 RFID 리더를 의미하며, 프로세스는 RFID 리더의 안테나 신호가 미치지 못하는 영역을 의미한다. 즉, RSN을 이용한 시뮬레이션은 태그들이 아크를 따라 리더와 프로세스 두 종류의 노드들을 방문하면서

실행되며, 태그가 리더 노드에 머물러 있는 동안 태그 인식 이벤트들이 생성된다.

RSN에는 두가지 실행 규칙이 포함되어 있는데 이는 각각 태그 이동 규칙과 이벤트 생성 규칙이다. 태그 이동 규칙은 시간 경과에 따른 이동, 복수 개의 태그들로 이루어진 태그 그룹의 이동, 그룹의 분할 이동, 여러 리더로의 분배 이동으로 구성되며 이 규칙들은 리더 또는 프로세스 노드의 속성으로 표현된다. 이벤트 생성 규칙은 리드 사이클, RF노이즈 등의 리더 노드의 속성으로 표현하여 리더 노드에서 이벤트를 생성할 때 실제 RFID 리더와 매우 유사하게 이벤트를 생성하도록 하는 특징이 있다.

그러나, RSN에서 태그들은 네트워크를 통해 미리 제시된 흐름에 따라 일관된 형태로 이동하게 되므로, 생산 라인(Production Line) 등과 같이 물품의 이동이 정해진 경로를 따라 자동으로 이동하는 응용환경에 적합하게 설계되어 있다. 환자 등의 사람이 태그를 부착한 경우에는 태그가 임의에 가까운 이동을 하기도 하고 또 한 곳을 여러 번 방문하기도 하므로 RSN에서는 이를 표현하는 데 한계가 있다.

III. 병원에서의 RFID 시뮬레이션

본 논문에서는 의료기관에서의 RFID 시뮬레이션을 위해 앞장에서 제시된 RFID 시뮬레이션 모델을 확장하여 적용하고자 한다. 보다 구체적으로, 응급 환자의 위치추적을 위해 RFID 시스템을 병원 내 응급실에 도입하는 것을 가정하고, 이를 예시로 하여 시뮬레이션 기법을 제시한다.

그림 1은 RSN을 이용하여 병원 응급실을 가상으로 표현한 예시이다. 예시에서는 응급실, 진료실, 임상병리실, 그리고 방사선실을 갖춘 전형적인 병원의 구조를 모델로 간략화하여 표현하였으며, 이에 따라 6개의 리더와 6개의 프로세스로 도시된 것을 확인할 수 있다. 응급실에는 외부로 통하는 출입구와 내부로 통하는 문에 리더가 각각 설치되 있으며, 진료실, 임상병리실, 방사선실에도 환자의 이동을 파악할 수 있도록 각각 문에 리더가 설치되어 있다.

그림 1에 도시된 예시에서의 태그 흐름의 시나리오는 다음과 같다. 응급 환자가 병원 응급실에 도착하면 먼저 환자에게 태그를 부착하는데 이때 리더 r_2를 통해서 태그를 인식시키고 이를 환자에게 부착한다. 환자에게 부착된 태그는 이후 진료 과정에서 응급실의 출입구(r_3)를 통과하여 진료실, 임상병리실 또는 방사선실을 방문하고 다시 응급실로 돌아오게 된다. 이후 응급 처치가 완료되면, r_2를 통해서 태그를 마지막으로 인식한 후 태그를 부착 해제한다. 단, 이 예시에서는 표현의 단순화를 위해 입원실은 제외하였으며, 진료진이 응급실을 방문하여 진료 과정에서 모바일 RFID 리더를 사용하여 환자에게 부착된 태그를 인식하는 시나리오를 배제하였다.

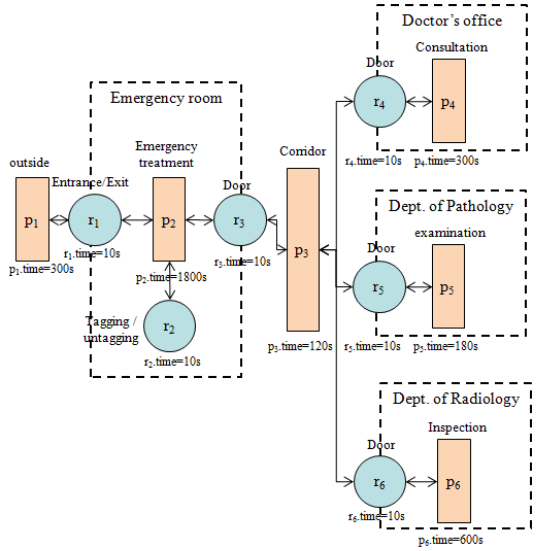

그림 1. 응급실에서의 시뮬레이션 모델 예시
Fig. 1 An example of the simulation model for emergency room

앞에서 언급한 환자의 이동 시나리오를 RSN 관점에서 설명하면 태그는 최초 r_2에서 생성되어 r_2에 부여된 시간(time) 속성이 경과하면 r_2와 연결되어 있는 p_2로 이동한다. 즉, 모든 노드들에는 시간 속성(time)이 부여되어 있으며 해당 노드에 머물러 있는 태그들은 시간 속성에서 기술된 시간이 경과하면 연결되어 있는 다른 노드로 이동하게 된다. 그런데, 응급실을 의미하는 p_2와 통로를 의미하는 p_3 노드에는 각각 여러 리더가 연결되어 있으므로 해당 노드에 위치한 태그가 이동할 다음 노드의 선정이 필요하다. 즉, r_3에서

p_3으로 이동한 태그들은 진료실, 임상병리실, 방사선실로 이동가능하고, 또한 다시 r_3를 통해 응급실로 돌아갈 수도 있다. 기존의 RSN에서는 다음 노드를 결정하기 위해서 순차 순환 분배(Round-Robin Distribution), 확률 함수(Probability Function) 등과 같은 분배 함수(Distribution Function)을 통해서 결정되었는데, 예시와 같은 경우에는 순차 순환 분배나 확률함수를 그대로 적용하기 어렵다. 예시와 같은 병원에서의 환자 이동을 결정하기 위한 태그 이동 제어 기법은 다음 장에서 설명한다.

Ⅳ. 시뮬레이션에서의 태그 이동 제어

본 논문에서는 병원에서의 환자 이동을 정교하게 표현하기 위해 태그 상태 모델(Tag state model)을 RSN에 추가한다. 이는 노드의 이동규칙을 통해 태그의 흐름을 일괄적으로 제어하는 RSN과는 달리 각 태그 별로 고유한 비즈니스 상태를 유지할 수 있다. 이에 따라 기존의 순차 순환 분배, 확률 함수를 통한 분배가 아닌 태그의 상태 기반 전이(Status-Based Transition)를 가능하게 한다.

4.1 태그 상태 모델링

RSN에 태그의 상태를 추가하기 위해 RSN의 구성요소 중 하나인 태그의 정의를 <tid, rid, ts>의 세개의 속성에서 <tid, rid, ts, status>의 네 개의 속성으로 확장한다. 여기서 tid는 태그의 식별자, rid는 태그가 처음 인식되는 리더의 식별자, ts는 태그가 리더 rid에 최초 인식될 시간, 그리고 status는 태그의 상태를 의미한다. status에 포함될 수 있는 값은 실체화된 RSN 인스턴스별로 달리 설정한다. 예를 들어 그림 1의 예시에서는 태그의 상태 t.status를 {A, P, R, C}로 정의할 수 있으며, 이 값의 의미는 각각 접수, 병리검사, 방사선검사, 진료로 구분한다.

그림 1에서 제시된 응급실에서의 환자의 상태 전이는 그림 2와 같이 도시될 수 있다. 환자는 접수 이후에 임상병리검사 후 진료를 받거나 추가적으로 방사선 검사 후 진료를 받게 된다. 또 다른 경우 임상병리검사를 제외하고 바로 방사선검사 후 진료를 받을 수도 있다. 즉, 상태 간의 전이에서 여러 가지 경로가 발생할 수 있다. 태그 상태 모델에서는 상태 전이가 가능한 경로만 표현하고 있으며, 태그 상태 모델에 기반한 세부적인 태그 이동 기법은 다음 절에 제시한다.

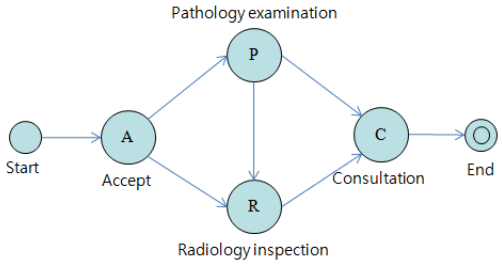

그림 2. 응급실 환자의 상태 모델링 예시
Fig. 2 An example of the state model of patients

4.2 상태 기반 태그 이동 기법

태그 각각에 상태가 설정되면 RSN에 두가지 추가 작업이 필요하다. 첫 번째는 네트워크 내에서의 태그 이동 과정에서 태그의 상태를 변화시키는 것이다. 이는 그림 1의 예시에서 볼 때 p_4, p_5, p_6를 방문하는 태그에 대해 각각 C, P, R의 상태를 설정함으로써 가능하다. 그리고, 두 번째는 태그 상태를 기반으로 각 노드에서 다음 노드로 이동하기 위한 규칙을 생성하는 것이다.

다음 노드로 이동하기 위한 규칙을 생성하는 것은 프로세스 노드의 분배 이동 규칙을 재정의함으로써 가능하다. 즉, 프로세스 노드에서 태그 상태를 기반으로 분배하기 위한 분배 함수를 설정하는 것인데, 그림 1의 예시에서는 노드 p_2와 p_3에 대해 분배 함수를 설정하는 것이 필요하다. p_2의 경우 응급실 외부로 잠깐 나가는 것을 제외하면 r_3을 통해 다른 부서로 방문하거나 r_2에 인식 후 태그를 부착 해제하는 경우가 있다. 즉, 태그의 상태가 C인 경우에 다시 r_2로 방문하게 하여 해당 태그의 생명주기를 종료시킬 수 있으며, 그 외의 상태인 경우에는 확률함수를 이용하여 r_1 또는 r_3 둘 중 하나의 리더로 이동시킬 수 있다.

p_3에서는 분배 규칙이 보다 복잡하다. p_3로 진입할 수 있는 리더는 r_3, r_4, r_5, r_6 네 개의 리더이며, 각각 다른 의미를 가지고 있으므로 태그의 상태에 따라 이동시킬 노드를 결정하는 것이 필요하다. p_3에서의 분배 함수는 그림 3과 같이 표현될 수 있다. 분배 함수는 해당 태그에 대해서 이후 이동할 다음 노드를 결

정하는 함수로서 그림 3에서 제시된 p_3의 분배 함수는 그림 2의 태그 상태 모델에 기반하여 분배 규칙을 설정한 예시이다.

그림 3의 분배 함수를 설명하면 태그의 상태가 A인 경우 50%의 확률로 r_5 또는 r_6로 이동시켜서 각각 임상병리검사 또는 방사선 검사를 받도록 한다. 그리고, 태그의 상태가 P인 경우는 80%의 확률로 의사진료를 받도록 하되 20%의 확률로 방사선검사를 추가로 받도록 설정하였다. 그리고, 방사선검사까지 받아서 태그의 상태가 이미 R로 된 경우에는 의사 진료를 받을 수 있도록 r_4로 이동시킨다. 진료까지 모두 받은 경우에는 다시 응급실로 돌아갈 수 있도록 r_3로 이동시킨다.

```
Procedure Distribution_P3(t)
 1  t is a tag in P3
 2  Begin
 3    if t.status = A then
 4       if rand(1) <= 0.5 then
 5          return r5
 6       else
 7          return r6
 8       end if
 9    else if t.status = P then
10     if rand(1) <= 0.8 then
11          return r4
12       else
13          return r6
14       end if
15    else if t.status = R then
16       return r4
17    else
18       // when t.status is C
19       return r3
20    end if
21  End
```

그림 3. p_3 노드에서의 분배 함수 예시
Fig. 3 An example distribution function for node p_3

그림 2에서 제시된 태그 상태 모델은 그림 3과 같이 RSN의 분배 함수를 통해 구현 될 수 있음을 입증하고 있다. 그림 3은 하나의 예시 함수일 뿐이며, 실제 태그 상태 모델 구축과 분배 함수 구현은 응용 환경 및 시뮬레이션 수준에 따라 달라진다. 예를 들어, 그림 3에 제시된 분배 함수에 추가하여 직전에 방문한 노드 정보를 포함하여 더욱 정교한 규칙을 설정하는 것도 가능할 것이다.

Ⅵ. 결 론

의료기관의 경우 RFID의 많은 장점에도 불구하고 여러 가지 문제점, 특히 비용의 문제로 인해 RFID를 활발히 도입하지 못하고 있다. 이에 본 논문에서는 의료기관에서 RFID 도입시 발생하는 비용 및 효율을 정량적으로 분석하기 위한 시뮬레이션 기법을 제시하였다. 제안한 기법은 RFID 데이터셋을 가상으로 생성하기 위한 시뮬레이션 기법인 RFID 시뮬레이션 네트워크 모델을 기반으로 하여 병원 내 환자의 다양한 이동 패턴을 표현하기 위한 태그 상태 모델을 추가한 기법이다. 제안한 태그 상태 모델은 RSN의 태그 각각에 상태 정보를 추가하고 분배 이동 규칙에 태그의 상태 전이(Transition)를 구현함으로써 실현된다는 것을 입증하였다.

본 논문에서 제안한 시뮬레이션 기법의 적용을 통해 RFID 도입을 희망하는 의료기관에서는 각 의료기관에 맞는 RSN 인스턴스를 생성하고 시뮬레이션을 통해 실제와 유사한 데이터셋을 생성함으로써 RFID 도입시 예상되는 RFID 하드웨어 규모, 시스템 부하 등을 간접적으로 산정하고 이를 통해 비용을 보다 구체적으로 산정할 수 있다. 더불어 시뮬레이션을 통해 생성된 태그 인식 이벤트 데이터셋의 분석을 통해 RFID 도입 후의 효용성을 미리 가늠해 볼 수 있을 것이다. 본 논문에서는 모델을 기반으로 한 시뮬레이션 기법을 제한된 리더 수를 사용하여 제시하고 있다. 향후 과제로서 대규모 병원 환경에서의 시뮬레이션 시스템의 설계 및 구현을 통해 본 기법을 검증하는 것이 필요하다.

참고 문헌

[1] G. Q. Huang, Y. F. Zhang, X. Chen, and S. T. Newman, "RFID-enabled real-time wireless manufacturing for adaptive assembly planning and control," *J. of Intelligent Manufacturing*, vol. 19, no. 6, 2008, pp. 701-713.

[2] J. Kim and H. Kim, "Implement of a Bookshelf Management System using powerline communication and RF-ID," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 3, 2010, pp. 288~293.

[3] R. Angles, "RFID Technologies: Supply-Chain Application and Implementation Issues," *Information Systems Management*, vol. 22, no. 1, 2005, pp. 51-65.
[4] S.-F. Tzeng, W.-H. Chen, and F.-Y. Pai, "Evaluating the business value of RFID: evidence from five case studies," *Int. J. of Production Economics*, vol. 112, no. 2, 2008. pp. 601-613.
[5] W. Yao, C.-H. Chu, and Z. Li, "The Adoption and Implementation of RFID Technologies in Healthcare: A Literature Review," *J. Med Syst*, vol. 36, 2012, pp. 3507-3525.
[6] D.-H. Kim, Y.-K. Jeong, and J.-H. Choi, "A Simulation program for verify and reappearance of motor vehicle accident," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 1, 2010, pp. 1~9.
[7] D.-M. Baba, "The Future Vision of Simulation in Healthcare," *Simulation in Healthcare,* vol. 2, no. 2, 2007, pp. 126-135.
[8] D.-Y. Yoo and J.-M. Yang, "A Fire Computer Simulation of Inner Space with Fire Shutters and Refuge Stairs," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 11, 2013, pp. 1617~1623.
[9] J. Lee and N. Kim, "Performance Test Tool for RFID Middleware: Parameters, Design, Implementation, and Features," In *Proc. Int. Conf. Advanced Communication Technology (ICACT 2006)*, vol. 1, 2006, pp. 149-152.
[10] A. Huebner, C. Facchi and H. Janicke. "Rifidi Toolkit: Virtuality for Testing RFID," *ICSNC 2012, The Seventh Int. Conf. on Systems and Networks Communications,* 2012, pp. 1-6.
[11] W. Ryu, J. Kwon, and B. Hong, "A simulation network model to evaluate RFID middlewares," *Int. J. of Software Engineering and Knowledge Engineering*, vol. 21, 2011, pp. 779-801.
[12] L. M. Kristensen, J. B. Jørgensen, and K. Jensen, "Application of coloured petri nets in system development," *LNCS,* vol. 3098, 2004, pp. 19-27.

저자 소개

류우석(Woo-Seok Ryu)

1997년 부산대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
1999년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
2012년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)
2013년~현재 부산가톨릭대학교 병원경영학과 조교수
※ 관심분야 : 의료정보, RFID, U-Health, 빅데이터