

뇨 분석용 strip의 분광학적 특성분석을 위한 DEVS 모델링 및 시뮬레이션

DEVS Modeling and Simulation for spectral characteristic on the strip of urin examination

조용재, 김재호*, 남기곤*, 김재형**, 전계록***
부산대학교 의공학협동과정, 부산대학교 전자공학과*,
인제대학교 물리학과**, 부산대학교 병원 의공학과***

Y. J. Cho, J. H. Kim*, K. G. Nam*, J. H. Kim**, K. R. Jun***
Dept. of Interdisciplinary program in Biomedical Eng., Pusan National Univ.
*Dept. of Electronic Eng., Pusan National Univ.
** Dept. of Physics., Inje Univ.
***Dept. of Medical Eng., Pusan National Univ.

ABSTRACT

This paper describes a methodology for the development of models of discrete event system. The methodology is based on transformation of continuous state space into discrete one to homomorphically represent dynamics of continuous processes in discrete events.

This paper proposes a formal structure which can coupled discrete event system models within a framework. The structure employs the discrete event specification formalism for the discrete event system models. The proposed formal structure has been applied to develop a discrete event specification model for the complex spectral density analysis of strip for urin analyzer system. For this, spectral density data of strip is partitioned into a set of phases based on events identified through urine spectrophotometry. For each phase, a continuous system of the continuous model for the urine spectral density analysis has been simulated by programmed C++.

To validate this model, first develop the discrete event specification model, then simulate the model in the DEVSIM++ environment. It has the similar simulation results for the data obtained from the continuous system simulation. The comparison shows that the discrete event specification model represents dynamics of the urine spectral density at each phase.

서론

신장은 혈액이 전신을 순환하면서 운반한 노폐물

과 여분의 수분을 여과하여 뇨를 배설하는 기관이다. 신장을 위시하여 뇨를 생성하고 배설하는 기능을 담당하고 있는 기관들에 이상이 있을 경우 노폐물이 배설되지 않는다는지 또는 배설되어서는 안되는 물질 등이 뇨에 포함되게 된다. 이러한 물질들의 양적, 질적 변화와 이상 물질의 출현으로 인해 신장과 뇨료에서 발생하는 질환 뿐만아니라 심장, 간장, 내분비선, 그리고 인체 내의 여러 기관들의 기능에 관한 진단의 보조 역할을 담당하는 뇨검사는 임상에서 각종 질환의 진단에 필수적으로 시행하는 루틴 검사로 인식되고 있다.

일반적인 사용되는 뇨검사 방법으로는 뇨량(urine volume), 뇨색조(color), 냄새(odor), 반응(reaction), 뇨비중(specific gravity), 뇨삼투압(osmolality), 혼탁도(cloudiness)등을 활용하는 성상(icon) 검사법과 시험지법에 의한 뇨검사법, 뇨침사(mediation) 검사법, 뇨석(stone) 검사법 등이 사용되고 있다. 이러한 방법들 외 간단한 시험지법 즉 "dip and read" 방법도 많이 사용되고 있다. 이 검사법은 조작이 간단하고 다항목 검사를 동시에 실시할 수 있으므로 종래의 시험지 관찰법에 비해 많은 이점과 특징이 있다. 따라서 최근에는 뇨에 함유된 10가지 이상의 성분들에 민감하게 반응하는 시약이 착색된 스트립(strip)을 사용하는 시험지법과 스트립에 가시광선 영역의 광을 조사하여 스트립의 농도 변화를 검출하는 광도법(photometry)이 병행된 뇨검사 방법이 사용되어 지고 있다[1],[2].

본 연구에서는 이산 사건 시스템(discrete event system : DES) 모델링에 사용되는 DEVS 형식론[6-10]을 사용하여 동적시스템(dynamic system) 중의 하나인 뇨 분석용 strip의 분광학적 특성분석을 위한 모델을 모델링하고 시뮬레이션 하였다. 본 연구에서 DES 시뮬레이션에 사용된 도구는 DEVS형식론을 C++로 구현시킨 DEVSIM++[10]을 사용하였다. DEVS형식론을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과

일반적인 뇨 분석에서 사용되는 시스템의 실험결과와 유사하였으며, 모델의 구성이 보다 간단하고, 시뮬레이션 속도도 상당히 개선되었음을 알 수 있었다.

DEVS 형식론

일반적으로 시스템의 모델링은 대개 수학적인 형식론(formalism)에 의해 표현된다. 연속시스템(CS : continuous system) 모델링에는 미분방정식 등을 사용한다. 그러나 이산사건시스템(discrete event system : DES) 모델링의 경우는 일반적인 형식론은 존재하지 않으므로 여러 가지 형식론 즉, Temporal 로직, 시간 페트리네트(time-petri nets), 그리고 DEVS (discrete event specification system) 등이 사용되고 있다. DES는 임의의 시간에 상태천이가 발생되며 한 상태에 머무르는 시간도 랜덤(random)한 특징을 가지고 있다. 이러한 DES 모델을 모델링 할 경우 사용하는 수학적 형식론인 DEVS 형식론은 1972년 Zeigler에 의해 제안되었으며, 집합이론에 기반을 두며, DES를 계층적인 구조를 지니는 모듈들로 구성하여 모듈화한 클래스(Atomic, Coupled)모델로 구분한다. 여기서 Atomic 모델은 시스템을 더 이상 분해할 수 없는 시스템의 구성원으로 표현하는 모델이며, DEVS 형식론에 의해 다음과 같이 정의된다.

- M= $\langle X, S, Y, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda, ta \rangle$
- X : external input event set ;
- S : sequential state set ;
- Y : output event set ;
- $\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$, external transition function;
- $\delta_{int} : S \rightarrow S$, internal transition function;
- $\lambda : S \rightarrow Y$, output function;
- ta : $S \rightarrow R^+_{0,\infty}$, time advance function ;

여기서 시간진함수 ta는 0을 포함한 양의 실수의 집합이고, 상태집합 Q는 다음과 같이 정의된다.

$$Q = \{(s, e) | s \in S \text{ and } 0 \leq e \leq ta(s)\}$$

그리고 Coupled 모델은 여러 개의 Atomic 모델들을 결합하여 규모가 큰 모델로 확장시키는 역할을 한다. Coupled 모델 CM의 정의는 다음과 같다.

- CM= $\langle X, Y, M, EOC, EIC, IC, SELECT \rangle$
- X : external input event set ;
- Y : output event set ;
- M : DEVS component set ;
- EIC : external input coupling ;
- EOC : external output coupling ;
- IC : internal coupling ;
- SELECT : subset of $M \rightarrow M$: (tie-breaking rule);

뇨 분석 시료의 분광학적 특성 분석

뇨 분석용 스트립의 분광학적인 특성을 검출하기 위하여 사용된 광모듈(optic module)은 뇨에 함유된 화학적인 응답특성과 분광학적인 특성에 의해 반사되는 광량을 Photo diode로 검출한 후 측정 결과치가 임상적인 관점에서 어떠한 상태에 있는지를 판정하여야 한다. 여기서 LED는 테스트 파라메타의 표면을 각도를 가지고 정해진 파장의 빛을 일정한 시간동안 조사한다. 그림 1에 각 LED의 특성 곡선을 나타내었다. 그 빛은 테스트 파라메타의 칼라에 일치하는 intensity에 따라서 반사되어 진다. 반사된 빛은 테스트 파라메타 바로 위에 위치한 Detector 즉, Photo Diode에 의해 검출된다. 그림 2에 파장에 따른 Photo Diode의 특성 곡선을 나타내었다.

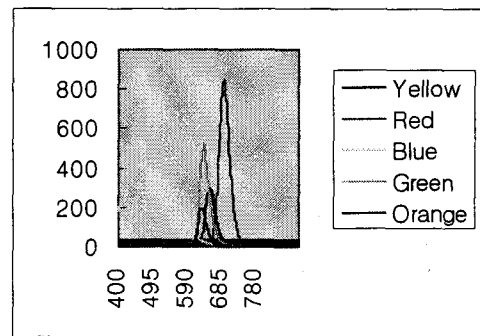


그림 1. LED의 특성 곡선
Fig. 1. Characteristic curve of LED

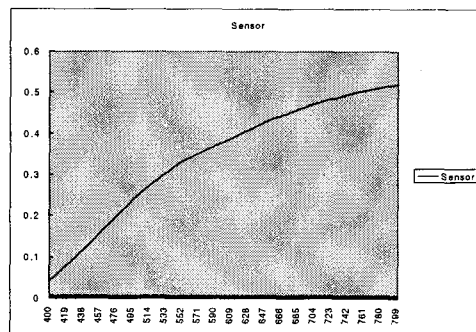


그림 2. 포토 다이오드의 특성 곡선
Fig. 2. Characteristic curve of Photo-diode

뇨 분석 strip의 상 식별과 상 분할

뇨 분석 strip의 분광학적 특성분석을 위하여 이산 사건들의 분할, 각 이산사건에 대응하는 상들과, 각 상태들의 영역을 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 이산사건 분할
Table1. Discrete Event Partitioning for the Urine

| Condition | Phase | State Range |
|--|---------|-------------|
| Occult Blood | RED | 620 - 690nm |
| Ketones Bilirubin Protein | GREEN | 500 - 630nm |
| Urobilinogen Glucose | BLUE | 470 - 600nm |
| Ketones Bilirubin Protein Nitrite | ORANGE1 | 500 - 630 |
| PH | ORANGE2 | 600 - 660nm |

DEVS 모델에서 정의된 Atomic 모델과 Coupled 모델의 형태구조를 이용하여 뇨 분석용 스트립의 분광학적 특성을 구하기 위한 DEVS 모델을 개발하고자 한다. 이를 위하여 다음의 가정이 만족되어야 한다. 첫째, 뇨 분석용 스트립의 입력, 출력, 그리고 상태 집합(동적시스템 데이터)등을 DEVS 형식론을 사용하여 DEVS 모델로 구현하기 위해서는 연속시스템 상태공간을 DEVS 상태공간으로 사상하기 위하여 LED의 광원에 따른 시료들의 반응특성을 분할하여 상(Phase)들을 식별하여야 한다.

둘째, 사상기준을 정의하고, 이산사건들을 분할하여야 한다. 여러 가지 기준이 있으나 본 논문에서는 시간과 LED에 따른 시료의 반응특성에 따라 분할하였다. 셋째, M(Atomic Model)을 수행하기 위한 뇨의 분광학적 특성을 나타내는 특성함수를 정의하여야 한다.

상기의 가정에 의해, CS에서 연속적으로 발생하는 사건(event)을 사건목록(event list)이라는 데이터 파일에 저장한 후 DES에서 이산적으로 발생하는 사건들을 식별하여 사건목록(event list)에 수록된 값으로 상전이(phase transition)를 수행하도록 하였다. 이 방법을 사용한 이유는 뇨 분석용 시료들의 실험치들을 구할 수 있으며, 실험치들을 이용하여 DEVS 특성함수들을 구할 수 있으며 그리고 측정된 시료에서의 상 전이가 이산사건에서의 상 전이와 호환될 수 있기 때문이다 그림 3에서 시료들의 광원에 조사되었을 때 시간에 따른 응답 특성곡선을 보여주고 있다.

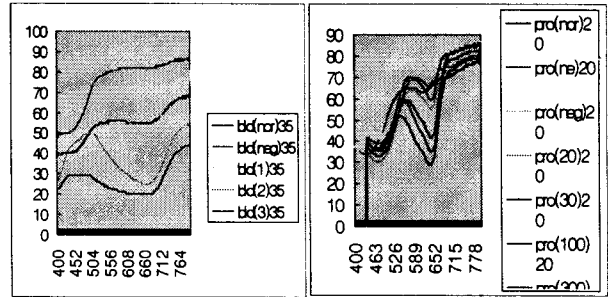


그림 3. 파라메타(시료)의 실험 그래프
Fig. 3. Experimental graph of Parameter(strip)
(a) Bilirubin (b) Protein

뇨 분석용 strip의 분광학적 특성분석을 위한 DEVS Atomic 모델

표 2. 뇨 분석용 strip의 파라메타 값 및 LED 명세
Table 2. Parameter value & LED specification of Urine analyzing strip

| Parameter | Emitting Color | Measuring head |
|------------------|----------------|----------------|
| Urobilinogen | B | 470nm |
| Glucose | G | 555nm |
| Ketones | G/O | 555/620nm |
| Bilirubin | G/O | 555/620nm |
| Protein | O/O | 620nm |
| Nitrite | R | 660nm |
| PH | O | 620nm |
| Occult Blood | R/G | 660/555nm |
| Specific Gravity | O | 620nm |

표 2.에 정의된 뇨 분석용 strip의 파라메타 값 및 조사되는 LED를 참조하여 DEVS 모델의 명세를 DEVS 형식론에 의해 나타내면 표 3.과 같다.

표 3. 뇨 분석 strip의 DEVS Atomic 모델의 명세
Table 3. DEVS Atomic model specification of Urine analyze strip

$$M_{Atomic} = \langle X, S, Y, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda, t_a \rangle$$

$X = \{ (Li(\lambda), R_{jk}(\lambda), S(\lambda)) \};$
 $Y = \{ (V) \}, V \in R^0;$

$$V(i, j, k) = \int Li(\lambda) * R_{jk}(\lambda) * S(\lambda) d\lambda$$

i (LED): R, G, B, O
 j (측정 검사항목): Bil, Bld, Glu, Ket, Nit, PH, Uro, Sg, Pro
 k (첨가 물질): nor., neg., pos., 1, 2, 3, ...
 λ (파장): 400 - 800

$\phi \in \{ (Phase) \times (Send, Passive) \};$
 $\delta_{ext} = \{ (\sigma, \phi), e, V \};$
 $\lambda(\sigma, \phi) \leftarrow V;$
 $t_a(\sigma, \phi) \leftarrow \sigma (35 / 45 \text{ sec});$

뇨 분석용 strip의 분광학적 특성 분석을 위한 DEVS 모델 시뮬레이션

뇨 분석용 strip의 분광학적 특성분석을 위한 DEVS 모델을 시뮬레이션하기 위하여 DEVS 형식론을 C++로 구현한 DEVSIM++ 을 사용하였다. 본 연구에 적용된 시뮬레이션의 절차는 다음과 같다.

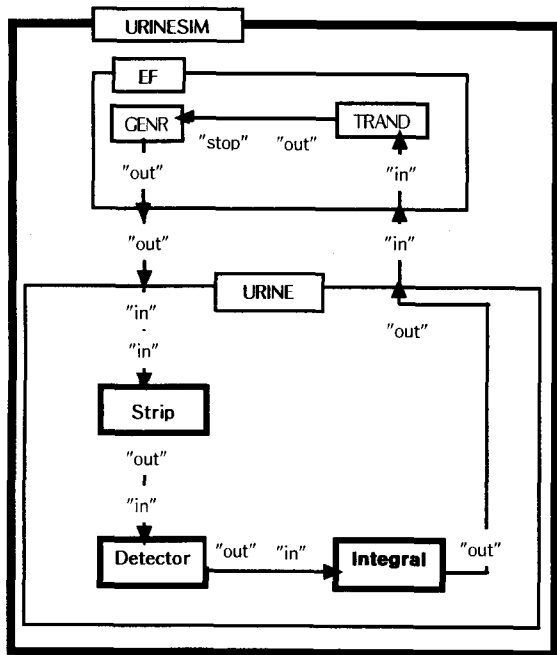


그림 4. 뇨 분석용 strip의 분광학적 특성분석 DEVS 모델

Fig. 4. Optic characteristic analyze DEVS model of Urine analyzing strip

제안한 뇨 분석용 strip의 분광학적 특성분석을 얻기 위한 시스템의 CS모델을 사용하여 측정된 결과 데이터(LED, 시료, Photo-diode)의 특성 곡선을 관찰한 후 각각의 LED에 반응하는 시료의 반응 곡선을 이용하여 파라메타값을 쉽게 구별할 수 있는 구간을 상천이를 일으키는 구간으로 판별하여 여러개의 상으로 분할한 후 각 파형별 상들의 특성을 나타내는 다항식을 구성하여 이들을 이용하여 전달함수를 구하였다. 전달함수는 각 모델의 입력과 출력의 다항식을 이용하여 구하였다. 따라서 각 상별 각 파형별 다항식을 이용하여 각 상별 전달함수를 구하고 이들을 사건목록(Event list)에 저장하였다. 그 후 외부입력 사건, 외부천이 함수, 내부천이 함수, 그리고 시간전진 함수 등이 입력되면 사건목록에 수록된 상천이를 수행하여 출력을 구한다. 이러한 과정을 간략하게 나타내는 뇨분석 strip의 DEVS 모델 블록다이어그램은 그림 4와 같다. 그림 4에서 Atomic 모델은 GENR, TRANSD, Strip, Detector, Integral이고 Coupled 모델은 EF, URINE 이다. 그림 4에서 제시한 Atomic 모델의 기능은 다음과 같다. GENR 모델은 각 LED 특성곡선에 따라 빛을 조사(발생)하여 Coupled 모델인 URINE으로 보낸다. Atomic 모델 TRANSD는 Integral 모델에서 적분한 데이터(Voltage)를 입력받아 저장하거나 화면에 출력한다. 만약 시뮬레이션을 끝내고자 할 때에는 출력단자(out port)에 "STOP" 메시지를 보낸다. Coupled 모델 URINE이 수행하는 기능은 다음과 같다. EF에서 발생한 LED의 광원 데이터를 입력단자 "in"로부터 전달 받고, 출력단자 "out"을 통하여 처리한 데이터를 전송한다. URINE에는 3가지 Atomic 모델들이 존재하는 데 각각의 Atomic 모델들은 전달함수가 존재하게 된다. 각각의 Atomic 모델들은 입력단자를 통하여 들어오는 데이터를 외부천이 함수 및 내부 천이함수를 거쳐 각각의 출력함수를 통하여 출력 포트에 데이터를 전송하며, 각 출력함수는 입력데이터와 시뮬레이션 시간을 전달함수에 대입하여 출력을 구한다. 이러한 전반적인 과정을 거쳐 뇨 분석용 strip의 DEVS 모델 시뮬레이션이 수행된다.

본 연구에서 구현한 모델들의 시뮬레이션을 수행한 결과의 파형들은 그림 5, 6과 같다. 각각의 모델의 출력을 일반적인 CS의 출력 파형과 비교해 보면 거의 일치하는 파형을 구현해 내는 것을 볼 수가 있다. 그림에서 세로축과 가로축은 Light Source의 세기와 무관한 비율을 검출하기 위하여 White에 대한 Response $V(i, j=\text{white paper}), k)$ 를 구하여 Normalize 시킨 결과를 Green/Red, Blue/Green의 비로서 나타내었다. 그림에서와 같이 Bld에서는 각 시

료들의 시간에 큰 변화없이 LED(B,G)에 따라 쉽게 분리할 수 있지만 Protein에서는 여러개의 LED를 조사하여 세밀하게 분리하여야 함을 알 수 있다.

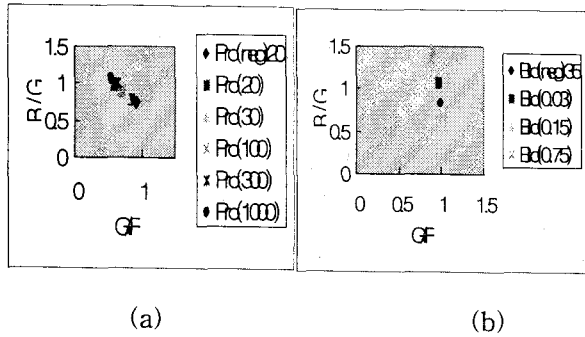


그림 5. LED에 따라 각 시료의 분포집단(CS)
(a) Bld (b) Protein

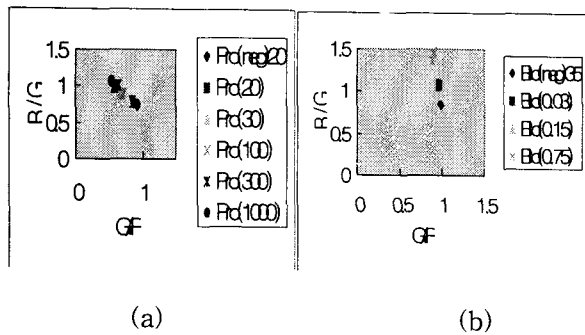


그림 6. LED에 따른 각 시료의 분포집단(DES)
(a) Bld (b) Protein

결론

본 연구에서는 CS를 DEVS 모델로 해석할 수 있는 형식론을 제시하고, 이러한 DEVS 형식론을 바탕으로 CS에서의 동적상태를 DES의 상태공간으로 등가적으로 변환하여 시뮬레이션을 수행하였다. 적용된 DEVS 모델의 방법론과 제안된 모델의 타당성을 검증하기 위해 생체에서 발생하는 노를 분석하는 노 검사용 strip의 분광학적 특성분석 시스템을 일례로 도입하였다. 노에서 측정되는 시료들과 LED의 특성 곡선 그리고 Photo-diode의 검출 데이터들을 시간에 따라 적분하여 발생하는 데이터들의 변화를 관찰하여 상태천이가 발생하는 레도를 구분하여 노 분석 시스템을 여러 개의 Atomic 모델로 나타내었으며, Coupled 모델로 결합하여 하나의 모듈로서 이를 DEVS 형식론을 C++로 구현시킨 DEVSIM++를 사용하여 수행하였다. 그리고 CS의 시료들을 고려하여

모델의 파라메타를 설정한 CS의 다양한 동적 특성에 관한 시뮬레이션을 수행하여 얻은 데이터 파형의 출력파형을 DEVSIM++을 수행시킨 결과와 비교·검토한 결과 CS에서 상태천이가 발생하는 시간과 DEVS에서 상 천이가 발생하는 시간이 일치하였으며, 같은 시간에서의 출력값들이 거의 유사하였다. 따라서 본 모델링 및 시뮬레이션은 타당함을 알 수 있으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. DEVS 모델을 적용하여 시뮬레이션을 수행하므로 일반적으로 계산이 간단하고 계산속도가 훨씬 개선됨을 알 수 있다.
2. CS 모델에서는 상태별로 미분방정식을 적용하나, DEVS 모델에서는 각각의 모델에 대해서 상 별로 전달함수를 구하여 상별로 각기 다른 다항식을 적용하므로 CS보다 모델을 간단하게 구성할 수 있다.
3. DEVS 모델은 모듈형식의 계층적 구조로 구성하므로 확장성, 재사용성, 상속성이 뛰어나며 시뮬레이션 구현이 용이함을 알 수 있다.

그리고 이와같은 모델을 사용하면 생리학 또는 병리학적인 여러 현상들을 이해하기 위한 유용한 도구로 사용되리라고 생각된다. 끝으로 본 모델링의 응용 예로는 노 분석용 strip의 분광특성을 지능적으로 제어하는 이산사건에 근거한 제어시스템을 설계하는데 이용될 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌 (REFERENCES)

1. Kanai Izmi, "임상검사법제노", 고문사, 1984.
2. 강두희. 생리학, 신광출판사, 1992.
3. 허수진, 정찬수, "간접 전과광의 수광효율에 관한 연구", 의공학회지, Vol. 13, No. 3, 1992.
4. 전계록, "생명과학 위한 기기분석", 교보문고, 1992
5. 박기채외, "기기분석의 원리", 심구당, 1994.
6. 전계록, "DEVS/CS 혼합 모델을 적용한 심장시스템의 시뮬레이션." 1992,
7. 조용재, 1997, "DEVS 형식론을 적용한 심혈관 시스템 모델링 및 시뮬레이션."
8. 김탁곤, "이산사건 시스템 모델링 시뮬레이션 기법", 전자공학회지, 제 19권, 제 1호, pp. 105-114, 1992.
9. B. P. Zeigler, "Object-oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models : Intelligent Agents and Endomorphic systems." Academic Press, 1990
10. T. G. Kim. 1994a. "DEVSIM++ User's Manual : C++ Based Simulation with Hierarchical Modular DEVS Models," Tech. Report CORE-94-1, CORE-LAB., KAIST.